

امکان‌سنجی استفاده از گوشی‌های هوشمند در بازسازی معماری داخلی ساختمان بدون استفاده از نقاط کنترل داخلی

محمد عموشاهی^{1*}، اصغر میلان²، یحیی جمور³

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سیستم‌های اداره زمین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران آب و

محیط زیست

Amooshahimohammad3234@gmail.com

² استادیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران آب و محیط زیست

a_milan@sbu.ac.ir

³ دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده عمران آب و محیط زیست

y_djamour@sbu.ac.ir

(تاریخ دریافت: مرداد 1401، تاریخ تصویب: دی 1401)

چکیده

محدودیت زمین در شهرهای بزرگ، باعث رشد و توسعه آن‌ها در بعد عمودی مانند احداث ساختمان‌های چندطبقه و بلندمرتبه و چندمنظوره با تراکم بالا و نیز سازه‌های تودرتو و زیرزمینی مانند مترو و زیرساخت‌های شهری مانند کابل‌های برق، لوله‌های آب و گاز و پارکینگ‌های زیرزمینی شده‌است. تمام این موارد باتوجه به کمبود زمین، باعث افزایش ارزش زمین شده و از طرف دیگر باعث به وجود آمدن مسائل فنی و حقوقی جدید و پیچیده‌ای در مباحث مربوط به کاداستر گردیده‌است. به منظور پاسخگویی به مسائل فنی و حقوقی جدید و برای مدیریت بهتر دنیای سه بعدی، ضروری است تا بعد سوم به کاداستر دوبعدی موجود اضافه شود؛ بنابراین، توجه به مدل‌ها و فرایندهایی که پاسخگوی شرایط جدید باشند، ضروری است. مدل اطلاعات ساختمان (BIM) نشان داده‌است که قابلیت پشتیبانی فنی و حقوقی برای استفاده در کاداستر سه بعدی را دارد. برای تهیه BIM از ساختمان‌های موجود سه روش عمده وجود دارد: 1) استفاده از اسناد و مدارک موجود، 2) استفاده از اسکنرهای لیزری و 3) استفاده از روش فتوگرامتری. اشکال اساسی به کارگیری اسناد و مدارک موجود، عدم نمایش وضع موجود ساختمان و اجزای داخلی آن است. استفاده از دستگاه‌های اسکنر لیزری نیز بسیار پرهزینه است و معمولاً در پروژه‌های بزرگ توجیه اقتصادی دارد. مرحله تارگت‌گذاری در استفاده از روش فتوگرامتری نیز به دو دلیل دشوار است: 1) زمان بر بودن فرایند انجام کار، شامل چسباندن تارگت‌ها و اندازه‌گیری آن‌ها، 2) چسباندن تارگت روی پوشش دیوارهای داخلی مانند گچ، رنگ و یا کاغذ دیواری که باعث خرابی و آسیب به ساختمان می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از یک گوشی همراه هوشمند و تولید ابر نقاط متراکم، مسئله مقیاس قبل از ورود به فضای داخلی ساختمان‌ها تأمین شد و علاوه بر افزایش سرعت و دقت در تهیه BIM، مرحله چسباندن و اندازه‌گیری تارگت‌ها و آسیب به پوشش‌های داخلی ساختمان نیز حذف شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این روش با وجود استفاده از کمترین امکانات موجود، به دقت یک تا دو سانتی‌متر می‌رسد. دقت به دست آمده نشان می‌دهد که امکان استفاده از گوشی‌های هوشمند به منظور تهیه جزئیات مورد نظر معماری داخلی ساختمان‌ها وجود دارد و نتایج آن برای تهیه BIM قابل قبول است.

واژگان کلیدی: فتوگرامتری، فتوگرامتری برد کوتاه، کاداستر سه بعدی، مدل سازی اطلاعات ساختمان، مدل مدیریت املاک

1- مقدمه

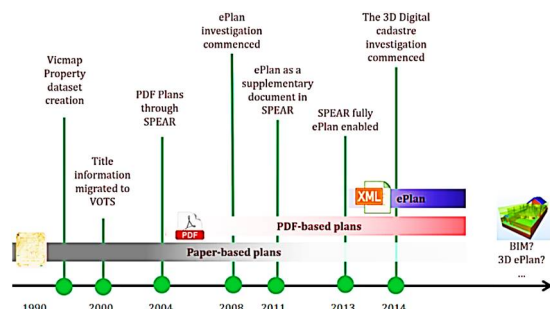
افزایش جمعیت در مناطق شهری و محدودیت در فضا و تأمین زیرساخت‌های شهری، موجب توسعه عمودی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها بر روی و یا در زیرسطح زمین شده‌است [1]. سامانه‌های مدیریت ملک و زمین در حال حاضر برای تفکیک و تعیین حدود املاک واقع در آپارتمان‌ها از نقشه‌های دوبعدی استفاده می‌کنند. در مواردی که شکل و ساختار فیزیکی ساختمان پیچیده باشد، این نقشه‌ها قابلیت کافی و مؤثر برای بصری سازی و انتقال اطلاعات مرتبط با حدود واقعی ملک در بعد سوم (ارتفاع) را دارا نمی‌باشند. علاوه بر این، تعداد زیادی از این نقشه‌های دوبعدی برای ساختمان‌های بلندمرتبه استفاده می‌گردد، که موجب سردرگمی کاربران می‌شود [2].

در نقشه‌های فعلی هر طبقه شامل یک پلان دوبعدی است و در هر نقشه دوبعدی حقوق و ارتفاع‌ها به صورت برجسب درج می‌شود، اما در چاپ خروجی نمایش داده نمی‌شود و تنها در صورت مجلس تفکیکی درج می‌شود. در نهایت، اسناد به صورت تک برگ به مالکین ارائه می‌شود. امروزه نقشه‌های دوبعدی قابلیت کافی برای مدیریت شهرهای بزرگ و پیشرفته را ندارند؛ بنابراین، برای مدیریت بهتر و پاسخ مناسب به مشکلات مذکور در فضاهای دوبعدی، بهره گرفتن از قابلیت‌های فضای سه بعدی ضروری است. به همین خاطر توجه به کاداستر سه بعدی گسترش زیادی یافته‌است و گروه‌های تحقیقاتی بسیاری در مورد الزامات آن متناسب با شرایط کشورهای مختلف در حال تحقیق و بررسی هستند. هدف تمام این تحقیقات افزایش کارایی سیستم‌های کاداستر در فضاهای سه بعدی است.

همان گونه که در مراجع مختلف نیز عنوان شده‌است کاداستر نوعی نقشه برداری ثبتی است که دارای ارزش حقوقی نیز هست و وضعیت املاک را بر اساس پنج معیار ارزش، موقعیت، مالکیت، مساحت و نوع کاربری تعیین می‌کند [3]. بنابراین، در نقشه برداری کاداستر، برخلاف نقشه برداری‌های دیگر، علاوه بر موجودیت‌های فیزیکی، موجودیت‌های حقوقی نیز حائز اهمیت است. حوزه تحقیقاتی کاداستر سه بعدی همانگونه که فدراسیون بین‌المللی نقشه‌برداران (FIG)¹ نیز اعلام نموده‌است، مربوط

به "ثبت وضعیت‌های حقوقی در موقعیت‌های پیچیده سه بعدی" است [4].

ادغام اشیای قانونی و فیزیکی در مدل‌های داده تقریباً پس از معرفی BIM آغاز شد [5]. عطازاده و همکاران نشان دادند که ماهیت چندبعدی و پویای BIM، قابلیت پشتیبانی از مدل‌های قانونی بین‌المللی مانند مدل مدیریت املاک (LADM)²، و حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌های (RRR)³ مربوط به آن را دارد [6]. همچنین، عباس رجبی فرد و همکاران ایشان توضیح دادند که چگونه مدل‌های داده مبتنی بر BIM را می‌توان برای ثبت، مدیریت و نمایش مالکیت قانونی املاک در طول چرخه عمر ساختمان توسعه داد [7]. در میان مدل‌های داده‌های سه بعدی، کلاس‌های بنیادین صنعت (IFC)⁴ قابلیت‌های بالقوه‌ای را برای مدل‌سازی ابعاد حقوقی و فیزیکی املاک شهری فراهم می‌کند [8]. در کشورهای پیشرو در زمینه کاداستر سه بعدی، مانند استرالیا، آینده کاری کاداستر در مدل‌های BIM دیده شده‌است [9] (شکل 1).



شکل 1- اطلاعات کاداستر ویکتوریا (از کاغذی به رقمی)

آمارها نشان می‌دهد پذیرش BIM به طور قابل توجهی رشد کرده‌است. در سال 2011، 43 درصد از پاسخگویان حتی نام BIM را نشنیده بودند. اما امروزه آگاهی، تقریباً جهانی است و 73٪ از BIM استفاده می‌کنند [10]. با توجه به اهمیت مدل‌های BIM در مباحث کاداستر سه بعدی، تحقیقات بسیار گسترده‌ای در این زمینه در گروه‌های تحقیقاتی اکثر مراکز دانشگاهی انجام گرفته و یا در حال انجام است [11]. بنابراین، BIM می‌تواند بستر مناسبی برای پیاده‌سازی کاداستر سه بعدی فراهم کند. با توجه به "سند توسعه فناوری BIM در افق 1404" [12] و "سند چشم انداز و برنامه بلند مدت پیاده سازی مدل

3 Rights restrictions and responsibilities

4 Industry foundation classes

1 International federation of surveyors

2 Land administration domain model

اطلاعات ساخت در پروژه های عمرانی [13] پیش‌بینی می‌شود که BIM از جمله برنامه‌های آینده ایران نیز باشد و برای ساختمان‌های جدید مدل‌های اطلاعات ساختمان بیشتر در دسترس باشند. اما برای استفاده از این مدل‌ها، به‌منظور صدور سند مالکیت، لازم است معماران مدل طراحی شده ساختمان را در اختیار نقشه‌برداران قرار دهند چراکه گاهی اوقات ممکن است مدل ساخته‌شده با طرح مطابقت نداشته باشد. از این‌رو، نقشه‌برداران باید پس از ساخت ساختمان انطباق مدل طراحی شده با مدل ساخته‌شده را تأیید کنند [14].

در حال حاضر و در قدم اول در ایران، باید بتوان مدل اطلاعات ساختمان‌های موجود را به‌صورت گسترده، با قیمت و دقت مناسب تولید کرد. برای ساختمان‌های موجود سه روش عمده برای تهیه BIM وجود دارد:

• استفاده از اسناد و مدارک دوبعدی موجود:

ژانگ و همکاران در تحقیق خود برای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان‌های موجود با استفاده از نقشه‌های دوبعدی، فرایندی شامل سه مرحله مدل‌سازی هندسی، مدل‌سازی معنایی و بررسی کیفیت مدل را عنوان نموده‌اند. هدف مدل‌سازی هندسی، ساخت هندسه سه‌بعدی ساختمان‌ها است. در مقابل، مدل‌سازی معنایی بر استخراج و اضافه نمودن اطلاعات معنایی (مانند شناسایی اتاق، اندازه اجزا، مصالح ساختمانی و غیره) تمرکز دارد. هنگامی که مدل سه‌بعدی ساخته شد، فرایند بررسی کیفیت مدل برای تأیید کامل بودن و صحت آن انجام می‌شود [15]. البته در این روش ممکن است بین مدل تولید شده با وضعیت موجود ساختمان اختلافاتی باشد که لازم است توسط نقشه‌بردار متخصص، مدل تولید شده با وضعیت موجود ساختمان بررسی و تطبیق داده شود.

• استفاده از اسکن‌های لیزری: تکنیک‌های جدید

نقشه‌برداری مبتنی بر اسکن لیزری، یک تکنیک جدید ارزشمند را برای ثبت وضعیت موجود ساختمان ارائه می‌دهند [16]. سانهودو و همکاران در تحقیقات اخیرشان یک چارچوب کامل در فرایند اسکن لیزری به‌منظور جمع‌آوری داده‌های هندسی معرفی کردند که شامل طراحی، نقشه‌برداری و تحلیل داده‌ها است. اولین مرحله تعریف پارامتر پروژه، وضوح و زمان، سطح جزئیات، هزینه و زمان‌بندی است. مراحل بعد شامل

بازدید از سایت و تعیین ایستگاه‌های اسکن است. مرحله بعد نقشه‌برداری و ثبت هرگونه عوارض در محل است. مراحل بعدی که آنالیز داده‌ها نامیده می‌شود شامل ذخیره‌سازی داده‌ها، واردکردن ابر نقاط به نرم‌افزار مناسب کار با ابر نقاط، ترمیم ابر نقاط و در نهایت صدور به نرم‌افزار BIM. در این تحقیق مراحل لازم برای به‌دست‌آوردن ابر نقاطی که به‌منظور تهیه BIM قابل‌استفاده باشند تشریح شده است [17]. اسکن‌های لیزری دقت هندسی بالایی ارائه می‌دهند؛ اما استفاده از روش‌های اسکن لیزری دارای معایبی مانند هزینه بالای تجهیزات و دشواری در اسکن سطوح بازتابنده، تاریک و شفاف، حجم بالای پردازش داده‌ها و مدل‌سازی‌ها، سطوح بسیار زیاد و جزئیات فراوان (LOD¹) هست. در مقابل اگرچه روش فتوگرامتری برد کوتاه، ابر نقاط با جزئیات کمتر را ایجاد می‌کند، ولی اطلاعات بافت را نیز ثبت می‌کند [18].

• استفاده از فتوگرامتری: الگوریتم‌های تطبیق

تصویر می‌توانند برای تولید مدل‌های سه‌بعدی مناسب به‌منظور رقابت با اسکن لیزری با توجه به دقت متریکی که دارند مورد استفاده قرار گیرند. با استفاده از تصاویر، مرزهای قطعه زمین را می‌توان تعریف کرد و داده‌های نما و سقف را می‌توان استخراج نمود. پلان‌های داخلی نیز ممکن است با استفاده از تکنیک‌های فتوگرامتری تولید شوند و با داده‌های خارجی برای یک مدل کامل ترکیب شوند [19]. روش‌های مبتنی بر تصویر، دارای مزایایی از جمله سطح جزئیات مناسب، جنبه‌های اقتصادی، قابلیت حمل، جابجایی در محیط‌های محدود فضایی و زمان کوتاه جمع‌آوری داده‌ها هستند [20]. استفاده از الگوریتم‌های مدل‌سازی مبتنی بر تصویر برای بازسازی ساختمان، یک راه حل کم‌هزینه، قابل حمل و انعطاف‌پذیر است که می‌تواند مدل‌های سه‌بعدی دقیق و واقعی را ارائه دهد [19]، [21]. اما محاسبه مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر تصویر معمولاً کاری است که نیاز به مداخله اپراتورهای متخصص دارد که اندازه‌گیری‌های درستی را بر روی تصاویر متعدد ارائه دهند [22]. توجه داشته باشید اگرچه اسکن‌های لیزری با فتوگرامتری در رقابت هستند، اما این دو فناوری مکمل یکدیگر هستند و ادغام آن‌ها می‌تواند منجر به محصولات دقیق و کامل‌تر شود و زمینه‌های کاربردی جدیدتری را ایجاد کند [23].

استفاده از روش فتوگرامتری باوجود اینکه از نظر تئوری قابلیت بالایی برای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان‌های موجود دارد، اما تاکنون تحقیق عملی به‌منظور بررسی این موضوع صورت نگرفته‌است که در این بررسی تلاش شد خلأ موجود برطرف شود. در استفاده از روش فتوگرامتری با انجام تارگت‌گذاری و عکس‌برداری پوشش‌دار می‌توان ابر نقاط ساختمان را تهیه کرد. اما مرحله تارگت‌گذاری و اندازه‌گیری تارگت‌ها زمان‌بر خواهد بود. همچنین، دقت‌ها در این روش به‌شدت به نحوه صحیح عکس‌برداری و تارگت‌گذاری بستگی دارد. در این تحقیق بر اساس روش‌های فتوگرامتری امکان استفاده از گوشه‌های هوشمند برای تولید معماری داخلی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته‌است و طبق بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص گردید که از این ابزار عمومی که در اختیار اکثر کاربران قرار دارد می‌توان برای تولید اطلاعات موردنظر استفاده نمود و این اطلاعات می‌تواند مبنای صدور سند مالکیت قرار گیرد که در ادامه مطلب جزئیات تحقیق صورت‌گرفته بیان خواهد شد.

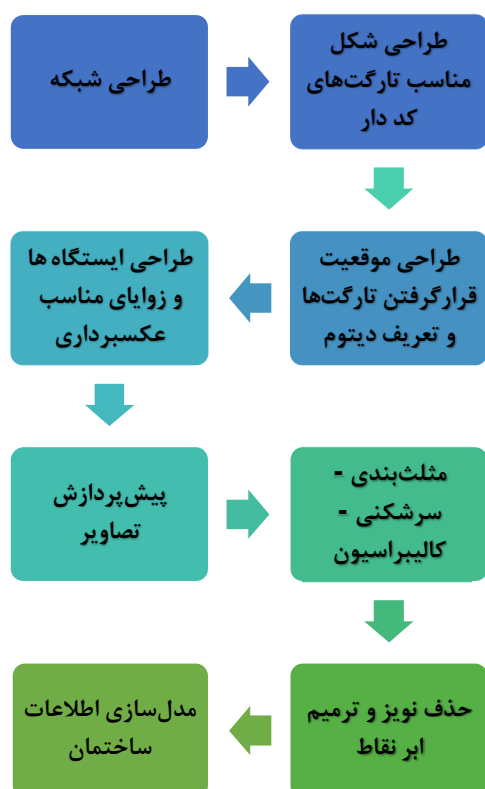
2- روش پیشنهادی

همان گونه که در مطالب بالا اشاره گردید تهیه اطلاعات موردنیاز برای تهیه BIM با توجه به اهمیت آن مورد توجه گروه‌های تحقیقاتی مختلف قرار گرفته‌است که در این مقاله نیز استفاده از گوشه‌های هوشمند با توجه به دردسترس بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. (شکل 2) مراحل تحقیق صورت‌گرفته را بیان می‌کند که در ادامه نیز در مورد آن‌ها توضیحاتی ارائه خواهد شد.

1-2- طراحی شبکه

در پروژه‌های فتوگرامتری برد کوتاه طراحی شبکه یکی از قسمت‌های بسیار مهم و ضروری است؛ چراکه این بخش تأثیر مستقیمی بر روی دقت نهایی کار خواهد داشت. امیر شاهرخ امینی و همکاران در بررسی تأثیر پارامترهای رابطه اساسی طراحی شبکه بر دقت نهایی فتوگرامتری برد کوتاه نشان دادند، با اخذ تصاویر بیشتر در هر ایستگاه تصویربرداری، و همچنین آرایش مناسب ایستگاه‌های تصویربرداری به‌طوری که بزرگ‌ترین حجم هرم را در فضا

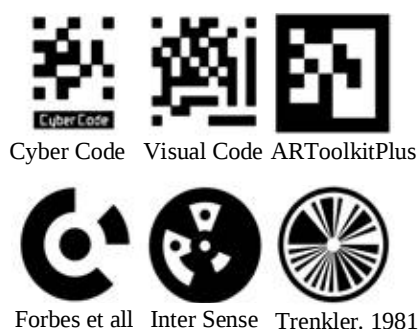
تشکیل دهند، دقت نهایی حاصل از فتوگرامتری برد کوتاه روی نقاط شیئی افزایش می‌یابد [24].



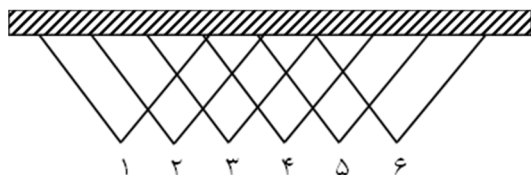
شکل 2- خط روند پیشنهادی به‌منظور تهیه BIM با استفاده از روش فتوگرامتری برد کوتاه

2-2- طراحی شکل مناسب تارگت‌های کددار

تارگت‌های کددار مناسب با قابلیت شناسایی با سرعت، دقت و صحت بالا تأثیر بسزایی روی دقت نهایی مدل دارد. انواع تارگت‌های کددار در (شکل 3) نمایش داده شده‌است.

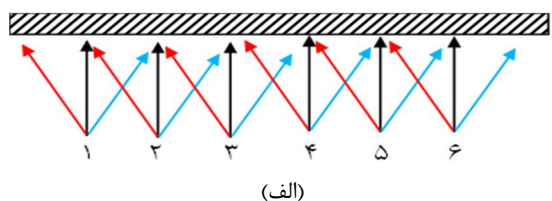


شکل 3- برخی از انواع تارگت‌های کدگذاری شده در فتوگرامتری و بینایی کامپیوتر [25]

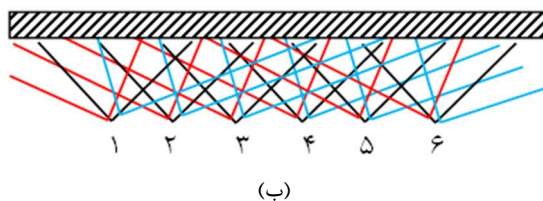


شکل 5- الگوی متداول عکس‌برداری در فتوگرامتری برد کوتاه [26]

حال به‌منظور افزایش پوشش تصاویر و افزایش استحکام شبکه و همچنین به‌منظور افزایش دقت، الگویی مشابه (شکل 6) به‌منظور عکس‌برداری در فضاهای داخلی پیشنهاد می‌شود:



(الف)

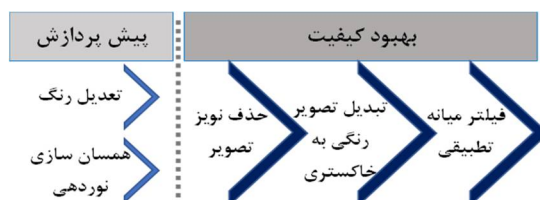


(ب)

شکل 6- الگوی پیشنهادی عکس‌برداری در فضاهای داخلی (الف) جهت‌های عکس‌برداری (ب) پوشش‌های عکس‌برداری

5-2- پیش‌پردازش تصاویر

کیفیت تصویر یک پیش‌نیاز ضروری برای تولید ابر نقاط باکیفیت مطلوب و منطبق بر واقعیت است، مخصوصاً زمانی که باید مجموعه داده‌های بزرگی از تصاویر را مورد پردازش قرارداد. گایانی به کمک همکاران خود، یک خط روند پیش‌پردازشی مؤثر به‌منظور بهبود ابر نقاط را ارائه کردند (شکل 7).

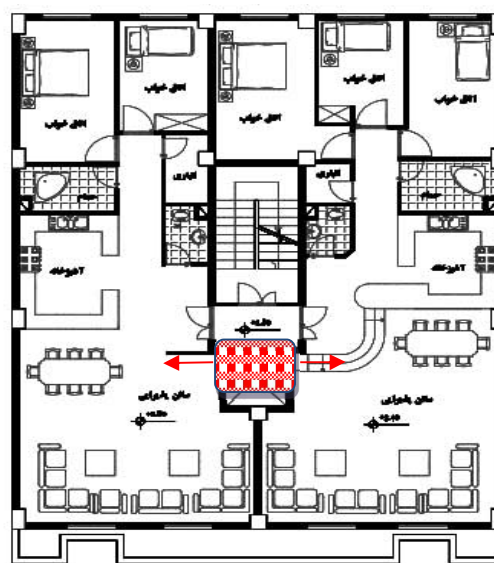


شکل 7- خط روند پیش‌پردازش و بهبود تصویر [27]

ارزیابی‌ها در این مقاله نشان می‌دهد که چگونه یک پیش‌پردازش مؤثر که کل مجموعه داده تصاویر را شامل می‌شود، می‌تواند روند توجیه خودکار و بازسازی ابر نقاط

2-3- طراحی موقعیت قرارگرفتن تارگت‌ها و تعریف دیتوم

در این تحقیق با توجه به اینکه هدف عدم استفاده از تارگت در داخل ساختمان بود سعی شد تراکم تارگت‌ها در قسمت میانی ساختمان، بیشتر باشد. تراکم و دقت بالاتر باعث می‌شود که تا فواصل طولانی تر دقت و هندسه مدل حفظ شود. در این مرحله با قرائت مختصات تارگت‌ها با دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن، دیتوم به‌صورت محلی و بادقت بالا تعیین خواهد شد. (شکل 4) موقعیت پیشنهادی برای قرارگیری تارگت‌های کنترل را نشان می‌دهد.



شکل 4- طراحی موقعیت و نحوه قرارگیری تارگت‌های کنترل

2-4- طراحی ایستگاه‌ها و زوایای مناسب عکس‌برداری

به‌منظور تهیه داده‌های فتوگرامتری، نیاز به تهیه تصاویر با پوشش و نسبت باز به ارتفاع (base/height) مناسب است. همچنین رسیدن به دقت‌های بالا مستلزم دقت در طراحی شبکه و ایستگاه‌های عکس‌برداری است. برای این منظور در این پروژه نیز تمام پارامترهای موردنیاز برای رسیدن به دقت‌های مناسب در مرحله طراحی در نظر گرفته شد که نتایج کار نشان می‌دهد مرحله طراحی به‌درستی انجام گرفته‌است. الگوی متداول ایستگاه‌های عکس‌برداری در فتوگرامتری برد کوتاه در (شکل 5) نمایش داده شده است.

سه‌بعدی متراکم، حتی در مورد بافت‌های ضعیف را بهبود ببخشد (شکل 8).



(الف)



(ب)

شکل 8- (الف) بازسازی سه‌بعدی بدون پیش‌پردازش (ب) بازسازی سه‌بعدی با استفاده از پیش‌پردازش

2-6- مثلث‌بندی - سرشکنی - کالیبراسیون

در این مرحله بر اساس نقاط متناظر استخراج‌شده از تصاویر پوشش‌دار و تارگت‌های کنترل طراحی‌شده فرایند مثلث‌بندی هوایی (AT^1) و سرشکنی دسته بلوک (BBA^2) صورت می‌گیرد. بعد از انجام فرایند مثلث‌بندی و سرشکنی بلوک المان‌های توجیه خارجی سرشکن شده تصاویر به همراه پارامترهای کالیبراسیون دوربین محاسبه خواهند شد. البته ابر نقاط تولید شده در این مرحله دارای تراکم کمتری خواهد بود که پس از آن می‌توان ابر نقاط متراکم را تولید نمود.

2-7- حذف نویز و ترمیم ابر نقاط

بعد از انجام سرشکنی و محاسبه المان‌های توجیه خارجی سرشکن شده، ابر نقاط متراکم تولید خواهد شد. بعد از تولید ابر نقاط متراکم با پس‌پردازش باید نقاط

اشتباه و نویز را از ابر نقاط حذف نمود تا یک ابر نقاط ترمیم شده و ساختاریافته حاصل گردد که از کیفیت لازم به‌منظور استفاده در نرم‌افزارهای مدل‌سازی نیز برخوردار است. برای این منظور از نرم‌افزار RECAP می‌توان استفاده نمود. در نرم‌افزار RECAP پس از پس‌پردازش و ساختاردهی داده‌ها، فرمت خام داده‌ها تبدیل به فرمت rcp می‌گردد و این فرمت توسط نرم‌افزار revit قبل از خواندن خواهد بود [28]. با پس‌پردازش و ساختاردهی به داده‌ها (Indexing)، داده نهایی برای کار بهینه‌تر در نرم‌افزارهای دیگر اتودسک مانند اتوکد یا رویت آماده خواهد بود.

2-8- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

نرم‌افزارهای متنوعی برای کار با ابر نقاط وجود دارد که در (شکل 9) به نمونه‌هایی از این نرم‌افزارها اشاره شده است:

Where can I import the point cloud data?			
View/ Editing	CAD	Modelling software	BIM

شکل 9- نمونه‌هایی از نرم‌افزارهایی که قابلیت کار با ابر نقاط را دارند [29]

همان‌طور که از (شکل 9) نیز مشخص است نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان قابلیت ورود و کار با ابر نقاط را دارند. باتوجه به جزئیات بالایی که ابر نقاط حاصل از فتوگرامتری دارند می‌توان در این نرم‌افزارها مدل‌سازی را با دقت و سطح جزئیات بسیار بالایی تهیه کرد. (شکل 10) مدل اطلاعات ساختمانی که با استفاده از ابر نقاط متراکم تهیه شده‌است را نشان می‌دهد.



شکل 10- از راست به چپ: (الف) ابر نقاط سه‌بعدی (ب) همپوشانی ابر نقاط با مدل اطلاعات ساختمان (ج) مدل اطلاعات ساختمان [30]

3- نتایج عملی

3-1 طراحی شبکه

رابطه کلی انتشار خطا و مبنای طراحی شبکه‌های فتوگرامتری برد کوتاه در (رابطه 1) ارائه شده است [31]:

$$\bar{\sigma}_c = \frac{q}{\sqrt{k}} \cdot S \cdot \sigma = \frac{q}{\sqrt{k}} \cdot \frac{d}{f} \cdot \sigma = \frac{q}{\sqrt{k}} \cdot d \cdot \sigma_a \quad (1)$$

$\bar{\sigma}_c$ متوسط انحراف معیار خطای مختصات XYZ نقاط شی می‌باشد که باتوجه به الزامات کاداستر مسکونی در ایران این مقدار نباید از پنج سانتی‌متر بیشتر باشد. البته در این تحقیق به منظور دستیابی به دقت بالاتر این مقدار یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد. q که ضریب استحکام هندسی شبکه است 0.7 در نظر گرفته شد، k که نشان‌دهنده تعداد تصاویر در هر ایستگاه است یک در نظر گرفته می‌شود، فاصله کانونی دوربین یا همان f ، 5 میلیمتر است و σ نیز که نماد خطای متوسط مختصات xy نقاط عکسی است معادل هشت میکرون می‌باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$0.01 \geq \frac{0.7}{\sqrt{1}} \times \frac{d}{0.005} \times 8 \times 10^{-6} \rightarrow d \leq 8.93 \quad (2)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود برای پیاده‌سازی کاداستر مسکونی بادقت یک سانتی‌متر و با استفاده از تکنیک فتوگرامتری برد کوتاه، فاصله عکس‌برداری می‌تواند تا 8.93 متر باشد که این موضوع نشان‌دهنده قابلیت بالای فتوگرامتری در پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی در ایران است. از طرفی می‌توانیم بگوییم برای حداکثر فاصله عکس‌برداری در فضاهای داخلی محدودیتی نداریم.

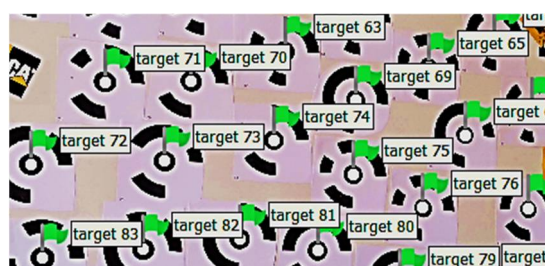
3-2 طراحی شکل مناسب تارگت‌های کددار

در بررسی انجام‌شده، تارگت‌های دو نرم‌افزار متاشیپ و کانکس کیچر مقایسه شد که نتایج کانتکس کیچر بسیار ضعیف‌تر بود. که یکی از دلایل مهم نتایج ضعیف کانتکس کیچر شکل نامناسب تارگت‌های کددار آن بود؛ بنابراین، باتوجه به هندسه و شکل مناسب تارگت‌های کددار متاشیپ، در این تحقیق از این نرم‌افزار و تارگت‌های مخصوص آن استفاده شد [32]. شعاع مرکز تارگت‌ها با

استفاده از (رابطه 3) محاسبه می‌شود که در این بررسی باتوجه به فاصله متوسط 4 متری، از تارگت‌هایی با شعاع دوازده میلی‌متر استفاده شد.

$$\text{Target radius (mm)} = D(m) \times 3 \quad (3)$$

ساختار مناسب تارگت‌ها باعث می‌شود که هنگام شناسایی خودکار تارگت‌ها تقریباً همه تارگت‌های ممکن بادقت بالا شناسایی شوند. در تحقیق پیش رو تقریباً تمامی تارگت‌ها بادقت بالا تشخیص داده شدند (شکل 11).



شکل 11- تارگت‌های شناسایی شده

دقت شناسایی تارگت‌ها بر اساس پیکسل در (شکل 12) مشاهده نمایش داده شده است.

Markers	X (n)	Y (n)	Z (n)	Acc	Error (m)	Projections	Error (pix)
Total Error							
Control points					0.000789		0.630

شکل 12- دقت شناسایی تارگت‌ها

3-3 طراحی موقعیت قرارگرفتن تارگت‌ها و تعریف دیتوم

در این تحقیق از دو صفحه تارگت متقاطع شامل مجموعاً 60 تارگت کنترل با تراکم بالا استفاده شد. همچنین، در انتهای ساختمان نیز از 12 تارگت چک استفاده شد (شکل 13) که تارگت‌های چک در فرایند مثلث‌بندی استفاده نمی‌شوند و تنها برای بررسی دقت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل 13- سمت راست تارگت‌های کنترل متقاطع و مترکم، سمت چپ تارگت‌های چک

مختصات تارگت‌ها به صورت محلی و با دوربین توتال استیشن، بادقت بسیار بالا قرائت شده است. همچنین، مسافت تقریبی طی شده از تارگت‌های کنترل تا تارگت‌های چک در این تحقیق 20 متر است.

3-4- طراحی ایستگاه‌ها و زوایای مناسب عکس برداری

در این تحقیق ابتدا عکس برداری مانند الگوی (شکل 5) انجام شد که همین امر باعث ایجاد خطاهای بسیار بالا و غیرقابل قبول گردید. این امر نشان دهنده این واقعیت است که مرحله عکس برداری و نحوه عکس برداری بخصوص زمانی که نقاط کنترل داخل ساختمان وجود ندارد می تواند تأثیر مضاعفی روی دقت‌ها داشته باشد.

بنابراین، بر اساس نتایج حاصل و باتوجه به رابطه (1) با افزایش تعداد تصاویر در هر ایستگاه دقت‌های به دست آمده بهبود یافت. در نتیجه عکس برداری به این صورت انجام گردید که در هر ایستگاه، از تمام زوایای مورد نیاز عکس برداری شد (شکل 14). این روش بخصوص در تهیه مدل‌های ساختمانی، امکان داشتن تصاویر بیشتر، با پوشش مناسب تر را فراهم می کند و دقت‌های بالاتری را نتیجه می دهد.



شکل 14- نمایش الگوی عکس برداری انجام شده

در این پروژه تنها از ارتفاع میانه عکس برداری صورت گرفت، اما عکس برداری از بالا پایین و وسط، به صورت همگرا نیز می تواند باعث افزایش دقت مدل شود. در این کار از سه پایه عکس برداری استفاده نشد؛ اما در صورتی که سه پایه عکاسی نیز استفاده شود، علاوه بر اینکه لرزش‌ها و اعوجاجات در تصویر به حداقل می رسد، می تواند فرایند تشخیص موقعیت دوربین‌ها را هم بسیار تسریع نماید. به این صورت که هنگام عکس برداری، روی مجموعه تصاویر ایستگاه اول برچسب ایستگاه اول زده شود و در فراداده آن ذخیره شود. این روند تا آخر ادامه پیدا می کند و تکرار می شود. وقتی موقعیت دوربین اولین تصویر از ایستگاه اول

پیدا شد، می توان به عنوان مقدار اولیه برای سایر تصاویر در آن ایستگاه نیز از آن استفاده کرد و همین باعث می شود مقدار زیادی از حجم پردازش کاهش یابد و می توان ابر نقاط را با سرعت چندبرابر و به صورت آنی تهیه کرد. این روش پیشنهادی "برچسب گذاری ایستگاهی" نام گذاری می شود.

3-5- پیش پردازش تصاویر

در این تحقیق ابتدا کنتراست و نور تصاویر به صورت خودکار تنظیم گردید. سپس باتوجه به بافت ضعیف موجود دو بار فیلتر بهبود جزئیات اعمال و پس از آن شفافیت بهبود بخشیده شد و در نهایت برای کاهش نویزهای ایجاد شده از فیلتر میانه 3x3 استفاده گردید. خط روند پیش پردازشی انجام گرفته در (شکل 15) نشان داده شده است.



شکل 15- مراحل پیش پردازشی اعمال شده

پس از این مرحله کیفیت تصاویر مورد بررسی قرار گرفت و برای رسیدن به نتایج قابل قبول تصاویری که عدد image quality آن کمتر از 0/7 باشد از فرایند پردازش کنار گذاشته شدند. بنابراین، در این تحقیق تصاویری با کیفیت بالای 0/7 مورد استفاده قرار گرفته است.

3-6- مثلث بندی - سرشکنی - کالیبراسیون

همان گونه که اشاره گردید، در این تحقیق برای پردازش و مثلث بندی تصاویر اخذ شده از نرم افزار متاشپ استفاده شده است، در این نرم افزار در ابتدا با تولید ابر نقاط کم تراکم (مرحله Align نمودن تصاویر) المان‌های توجیه خارجی تصاویر بعد از سرشکنی محاسبه شدند و سپس ابر نقاط با تراکم بیشتر تولید گردید.

3-7- حذف نویز و ترمیم ابر نقاط

در این مرحله ابر نقاط وارد نرم‌افزار Recap شده و در محیط نرم‌افزاری Recap فرایند ساختاردهی و ترمیم و حذف نویز از داده‌ها صورت گرفته و در نهایت خروجی با فرمت rcp که مناسب و سازگار با نرم‌افزار revit می‌باشد تهیه گردید.

3-8- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

در این مرحله ابر نقاط پردازش شده در محیط Recap وارد نرم‌افزار مدل‌سازی Revit گردید. در این نرم‌افزار با ایجاد مقاطع مناسب (شکل 16) پلان‌های طبقات را ترسیم کرده و با ترکیب آن‌ها در نهایت مدل اطلاعات ساختمان تولید گردید (شکل 17).



(الف)



(ب)

شکل 16- (الف) نمای برش‌های عرضی (ب) مقطع برش داده شده از نمای بالا

3-9- نتایج عددی

این تحقیق چهار بار با حالت‌های گوناگون انجام گرفته است، در همه این حالت‌ها RMSE نقاط کنترل زیر یک میلی‌متر بود که این امر نشان‌دهنده این واقعیت است که مختصات نقاط کنترل در سیستم مختصات محلی، به طور نسبی، بادقت بالا و به طور صحیح قرائت شده‌اند. حالت‌های مختلف انجام شده عبارت‌اند از:

- حالت اول: استفاده از یک صفحه تارگت کنترل، موازی با صفحه تارگت‌های چک.

- حالت دوم: استفاده از یک صفحه تارگت کنترل متقاطع با صفحه تارگت‌های چک.
- حالت سوم: استفاده از هر دو صفحه تارگت کنترل موازی و متقاطع.
- حالت چهارم: استفاده از هر دو صفحه، و حذف نقاط کنترل با خطای بالا که باعث بهینه‌شدن نتایج گردید.



(الف)



(ب)

شکل 17- (الف) همپوشانی ابر نقاط با خطوط مدل اطلاعات ساختمان (ب) مدل اطلاعات ساختمان

جدول 1- مقادیر RMSE نقاط چک در حالات مختلف قرارگیری نقاط کنترل

شماره تحقیق	تعداد نقاط کنترل	تعداد نقاط چک	خطای مسطحانی نقاط چک (متر)	خطای ارتفاعی نقاط چک (متر)	خطای کل نقاط چک (متر)
1	26	12	0/004	0/011	0/011
2	34	12	0/020	0/001	0/020
3	60	12	0/017	0/004	0/017
4	16	12	0/012	0/007	0/014

به‌منظور بررسی دقت‌های قابل دستیابی با استفاده از روش پیشنهادی، مقادیر RMSE نقاط چک در (جدول 1) ارائه شده‌است.

باتوجه به جدول 1 می‌توان نتیجه گرفت که حالت اول دارای کمترین خطای مسطحاتی و در عوض بیشترین خطای ارتفاعی بوده‌است. همچنین، تحقیق دوم دارای وضعیتی معکوس بوده است به‌طوری که دارای بیشترین خطای مسطحاتی و کمترین خطای ارتفاعی است. در تحقیق شماره سه مقدار این دو خطا کمی پخش شده است؛ اما نسبتاً دارای خطای زیادی است. در تحقیق چهارم با انتخاب نقاط کنترل با بالاترین دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی و با رعایت تراکم موردنیاز، با حداقل نقاط کنترل با تراکم مناسب، دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی مطلوب حاصل شده‌است.

3-10- نتیجه‌گیری

در تحقیق‌های صورت گرفته بدترین دقت مسطحاتی 0/020 و بدترین دقت ارتفاعی 0/011 متر بود. همچنین، در

بهترین حالت دقت مسطحاتی 0/004 و ارتفاعی 0/001 متر حاصل شد. باتوجه به دقت‌های به‌دست آمده، با وجود استفاده از حداقل امکانات، به نظر می‌آید می‌توان بدون استفاده از تجهیزات فنی اضافی و گران‌قیمت، تنها با یک تلفن همراه به محل موردنظر رفته و مدل اطلاعات ساختمان را با دقت بسیار بالا تهیه کرد البته به شرطی که اصول عکسبرداری و پردازش تصویر رعایت گردد. باتوجه به دقت بالای این مدل، می‌توان از آن برای اهداف کاداستر سه‌بعدی و صدور اسناد مالکیت بهره گرفت. البته باید توجه داشت این تحقیق صرفاً جهت امکان‌سنجی روش پیشنهادی بود. برای تهیه مدل کامل ساختمان باید در هر طبقه از ساختمان این ابر نقاط تهیه شوند، مدل هر طبقه تولید شود و این مدل‌ها یکپارچه شوند. استفاده از قابلیت‌های مدل اطلاعات ساختمان در پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی دارای مزایایی از جمله کاهش اختلافات حقوقی، مدیریت هزینه‌های عمومی ساختمان و ارزش‌گذاری دقیق املاک می‌باشد.

مراجع

- [1] S. Emamgholian, M. Taleai, and D. Shojaei, "A Novel Approach for 3D Modeling and Geovisualization of Easement Rights in Apartments," *Journal of Geospatial Information Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 173–185, Dec. 2018, doi: 10.29252/jgit.6.3.173.
- [2] Behnam Atzadeh, Mohsen Kalantari, Abbas Rajabi Fard, "Development of building information models for the purpose of property registration in multi-story buildings," *Shahr Nagar Educational Journal*, No. 72, Year 15, 1394. (persian)
- [3] Jamshid Mehrassa, Alireza Hosni, Mohammad Rouhani Moghadam, "Research on the concept of "cadastre" and its role in proving property claims," *Islamic Jurisprudence and Law Studies*, year 12, number 22, 1399. (persian)
- [4] S. Ho, A. Rajabifard, J. Stoter, and M. Kalantari, "Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue?," *Land use policy*, vol. 35, pp. 379–387, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2013.06.010.
- [5] A. Aien, A. Rajabifard, M. Kalantari, and D. Shojaei, "Integrating legal and physical dimensions of urban environments," *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 4, no. 3, pp. 1442–1479, Sep. 2015, doi: 10.3390/IJGI4031442.
- [6] B. Atazadeh, H. Olfat, A. Rajabifard, M. Kalantari, D. Shojaei, and A. M. Marjani, "Linking Land Administration Domain Model and BIM environment for 3D digital cadastre in multi-storey buildings," *Land use policy*, vol. 104, p. 105367, May 2021, doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2021.105367.
- [7] R. Abbas, A. Behnam, and K. Mohsen, "BIM and Urban Land Administration," *BIM and Urban Land Administration*, Jun. 2019, doi: 10.1201/9781351032346.
- [8] M. Barzegar, A. Rajabifard, M. Kalantari, and B. Atazadeh, "An IFC-based database schema for mapping BIM data into a 3D spatially enabled land administration database," *Int J Digit Earth*, vol. 14, no. 6, pp. 736–765, 2021, doi: 10.1080/17538947.2021.1875062.

- [9] H. Olfat, D. Shojaei, M. Briffa, S. Maley, and A. Rajabifard, "Strategic Actions for Increasing the Submission of Digital Cadastral Data by the Surveying Industry Based on Lessons Learned from Victoria, Australia," *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2018, Vol. 7, Page 47, vol. 7, no. 2, p. 47, Feb. 2018, doi: 10.3390/IJGI7020047.
- [10] NBS, "10th National BIM Report | NBS," 2020. <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2020> (accessed Jul. 30, 2022).
- [11] Jesper M. Paasch and J. Paulsson, "New Trends in 3D Cadastre Research - a Literature Survey | TU Delft Repositories," Part of: 7th International FIG Workshop on 3D Cadastres, Oct. 11, 2021. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:4017e461-8ad3-44eb-9cd4-b4cc4f3e4e77> (accessed Jul. 17, 2022).
- [12] Office of National Regulations and Building Control, document on the development of BIM technology on the horizon 1404. 1397. (persian)
- [13] National Planning and Budget Organization, Management and Planning Organization of Tehran Province, vision document and long-term plan for implementation of building information modeling in construction projects. 1400. (persian)
- [14] B. Atazadeh, M. Kalantari, A. Rajabifard, S. Ho, and T. Champion, "Extending a BIM-based data model to support 3D digital management of complex ownership spaces," <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2016.1207775>, vol. 31, no. 3, pp. 499–522, Mar. 2016, doi: 10.1080/13658816.2016.1207775.
- [15] C. Zhang, Y. Zou, and J. Dimyadi, "A Systematic Review of Automated BIM Modelling for Existing Buildings from 2D Documentation," *Proceedings of the 38th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, Nov. 2021, doi: 10.22260/ISARC2021/0032.
- [16] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. 2008. [Online]. Available: www.wiley.com/go/permissions.
- [17] L. Sanhudo *et al.*, "A framework for in-situ geometric data acquisition using laser scanning for BIM modelling," *Journal of Building Engineering*, vol. 28, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.JOBE.2019.101073.
- [18] R. Abbas, A. Behnam, and K. Mohsen, "BIM and Urban Land Administration," *BIM and Urban Land Administration*, Jun. 2019, doi: 10.1201/9781351032346.
- [19] I. Jazayeri, A. Rajabifard, and M. Kalantari, "A geometric and semantic evaluation of 3D data sourcing methods for land and property information," *Land use policy*, vol. 36, pp. 219–230, 2014, doi: 10.1016/j.landusepol.2013.08.004.
- [20] C. Sahin, A. Alkis, B. Ergun, S. Kulur, F. Batuk, and A. Kilic, "Producing 3D city model with the combined photogrammetric and laser scanner data in the example of Taksim Cumhuriyet square," *Opt Lasers Eng*, vol. 50, no. 12, pp. 1844–1853, Dec. 2012, doi: 10.1016/J.OPTLASENG.2012.05.019.
- [21] I. Jazayeri, C. S. Fraser, and S. Cronk, "International Archives of Photogrammetry," 2010. [Online]. Available: <http://www.cgal.org>
- [22] J. L. Lerma, S. Navarro, M. Cabrelles, and V. Villaverde, "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study," *J Archaeol Sci*, vol. 37, no. 3, pp. 499–507, 2010, doi: 10.1016/j.jas.2009.10.011.
- [23] E. P. Baltsavias, "A comparison between photogrammetry and laser scanning," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, no. 2–3, pp. 83–94, Jul. 1999, doi: 10.1016/S0924-2716(99)00014-3.
- [24] A. Sh. Amini, M. Varshosaz, M. s. Seresht, "Investigation of the effect of parameters of the basic relationship of network design on the final accuracy of close-range photogrammetry," 1387.
- [25] S. Tushev, B. Sukhovilov, and E. Sartasov, "Robust coded target recognition in adverse light conditions," *Proceedings - 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018*, May 2018, doi: 10.1109/ICIEAM.2018.8728806.

- [26] R. Jiang, D. v. Jáuregui, and K. R. White, "Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review," *Measurement*, vol. 41, no. 8, pp. 823–834, Oct. 2008, doi: 10.1016/J.MEASUREMENT.2007.12.005.
- [27] M. Gaiani *et al.*, "An Advanced Pre-Processing Pipeline to Improve Automated Photogrammetric Reconstructions of Architectural Scenes," *Remote Sensing 2016*, Vol. 8, Page 178, vol. 8, no. 3, p. 178, Feb. 2016, doi: 10.3390/RS8030178.
- [28] J. Moyano, J. E. Nieto-Julián, L. M. Lenin, and S. Bruno, "Operability of Point Cloud Data in an Architectural Heritage Information Model," *International Journal of Architectural Heritage*, 2021, doi: 10.1080/15583058.2021.1900951.
- [29] C. Tommasi, C. Achille, and F. Fassi, "FROM POINT CLOUD TO BIM: A MODELLING CHALLENGE IN THE CULTURAL HERITAGE FIELD," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B5, pp. 429–436, Jun. 2016, doi: 10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLI-B5-429-2016.
- [30] J. Corso Sarmiento, A. Marco Bercero, J. Casals Fernandez, and P. Garcia-Almirall, "SCAN to BIM beyond a Final BIM: Why, When and How," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 603, no. 4, Sep. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/603/4/042090.
- [31] C. S. Fraser, "Network Design Considerations for Non-Topographic Photogrammetry," 1984.
- [32] Agisoft company, "Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.7," 2021.
- [33] B. Atazadeh, "Building Information Modelling for Urban Land Administration," 2017.