

ارزیابی قابلیت داده‌های مکانی داوطلبانه در ایجاد منظر سه‌بعدی شهر

علی خسروی کزازی^۱، فرهاد حسینعلی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید

رجایی تهران

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

دریافت: ۹۸/۳/۲۱ پذیرش: ۹۹/۴/۱۷

چکیده

روند روبه‌رشد جمعیت جهان به‌خصوص در نواحی شهری بر اهمیت مدل‌سازی سه‌بعدی می‌افزاید؛ چراکه مدل‌های سه‌بعدی برنامه‌ریزی شهری، تجسم شهر، مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت بحران شهری و پهنه‌بندی آلودگی‌ها را تسهیل می‌کنند. هرچند استفاده از مدل‌های سه‌بعدی شهری که براساس استانداردهای موجود همچون CityGML طراحی شده‌اند، سبب افزایش کارایی و بهبود نتایج بسیاری از تحلیل‌های مکانی در شهر می‌شوند، اما به‌طور طبیعی کارایی، اثربخشی و به‌طور کلی کیفیت این مدل‌ها به‌شدت به داده‌های ورودی وابسته است. جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی که معیارهای کیفیت را برآورده سازد، به‌صورت تجاری و سنتی با صرف هزینه و زمان بسیار همراه خواهد بود. گسترش فناوری و ظهور امکانات جدید در حوزه اینترنت، بستری را برای تولید داده‌های مکانی توسط عموم مردم و به‌صورت داوطلبانه فراهم کرده و باعث گسترش مفهوم اطلاعات مکانی داوطلبانه (VGI) شده است. پدیده VGI پس از ظهور به‌شدت مورد استقبال پژوهشگران و



توسعه‌دهندگان قرار گرفت؛ به‌شکلی که امروزه پروژه‌های متعددی همچون OpenStreetMap نه تنها داده‌های دوبعدی بلکه امکان استخراج داده‌های سه‌بعدی را از مشارکت مردم فراهم نموده‌اند. در این تحقیق روشی برای دستیابی به مدل سه‌بعدی ساختمان در سطح چهارم جزئیات براساس استاندارد شناخته‌شده CityGML و به کمک اطلاعات مکانی داوطلبانه پیشنهاد شده است. به‌منظور ارزیابی قابلیت روش پیشنهادی، این روش برای تهیه مدل سه‌بعدی یک ساختمان پیاده‌سازی شد و براساس نتایج به‌دست آمده، ارتفاع ساختمان مطالعه شده با خطای ۹ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع دقیق آن اندازه‌گیری شد که این مقدار بهتر از حداقل دقت لازم برای تهیه مدل سه‌بعدی ساختمان در سطح چهارم جزئیات می‌باشد.

واژگان کلیدی: اطلاعات مکانی داوطلبانه، مدل‌سازی سه‌بعدی، نقاط ناپدیدشونده، استاندارد CityGML

۱- مقدمه

نمایش محیط شهری به همراه اشیا و سازه‌های موجود در آن به‌صورت سه‌بعدی، مدل سه‌بعدی شهر نامیده می‌شود. ساختمان‌ها مهم‌ترین عوارض موجود در این نوع مدل‌ها هستند. مدل‌های سه‌بعدی شهری علاوه بر نمایش شهر، امکان اندازه‌گیری و تحلیل‌های هندسی را را نیز فراهم می‌سازند؛ بنابراین همواره مورد توجه بوده‌اند. این مدل‌ها در زمینه‌های متعددی همچون ناوبری و مسیریابی وسایل متحرک مانند: اتومبیل‌ها (Chen, 1995: 30)، کاداستر و نقشه‌های شهری (Micusik and Kosecka, 2009: 2906)، آموزش و شبیه‌سازی برای مدیریت بحران (Musialski et al, 2013: 146)، حفاظت عمرانی بناهای مهم شهری (Singh and Mandla, 2013: 73)، کنترل بلایای طبیعی (Ozbek et al, 2016: 101) و کنترل ترافیک و حتی بازی‌های رایانه‌ای (Kendzi3D, 2017) استفاده شده است. درگذشته، مدل‌های سه‌بعدی شهری صرفاً گرافیکی و هندسی بودند و جنبه‌های معنایی شهر و اجزای آن‌ها نادیده گرفته شده بود. بنابراین برای جستجو، تحلیل و داده‌کاوی مکانی مناسب نبودند. اما امروزه با پررنگ شدن اهمیت و جایگاه مدل‌سازی سه‌بعدی در برنامه‌ریزی‌های شهری استانداردهای مرتبط با این نوع مدل‌ها نیز گسترش یافته‌اند. شناخته‌شده‌ترین استاندارد در این زمینه استاندارد

CityGML است که شهر را از لحاظ مکانی و معنایی، تعریف می کند. در این استاندارد که تمرکز اصلی آن بر نواحی شهری، ابنیه و ساختمان ها است پنج سطح جزئیات^۱ برای نمایش عوارض تعریف شده است. به عبارت دیگر، یک عارضه امکان نمایش در پنج مقیاس مختلف را داراست. علاوه بر استانداردهای مختلف در این حوزه، متناسب با هدف مدل سازی، دقت مورد نیاز، وسعت منطقه، منابع مالی و محدودیت های زمانی روش های متنوعی برای تهیه داده های سه بُعدی شهری وجود دارد که مهم ترین آن ها فتوگرامتری و اسکن لیزر، رادار با روزنه مصنوعی^۲، مدل های معماری^۳ و مدل سازی رویه ای^۴ هستند (Biljecki et al, 2015:2843). هرچند انتقال داده های هندسی حاصل از هر کدام از این روش ها، به استاندارد (CityGML) امکان پذیر است (Janečka, 2019:42) اما از یک سو هر کدام از این روش ها با صرف هزینه های زیاد و زمان طولانی همراه هستند و از سوی دیگر هیچ کدام از این روش ها امکان جمع آوری اطلاعات موضوعی را فراهم نمی کنند؛ بنابراین ایجاد یک مدل سه بُعدی شهری که همگام با گسترش شهر به روزرسانی شود، امری بسیار دشوار و هزینه بر است. طی چند سال اخیر به واسطه رشد خارق العاده فناوری وب ۲,۰ شاهد گذار عمیقی در تولید و انتشار داده ها، اطلاعات و به طور کلی تر دانش مکانی بوده ایم. پدیده اطلاعات مکانی داوطلبانه یا VGI که نمونه ای از کاربردهای فناوری وب ۲,۰ است، برای اولین بار توسط گودچایلد^۵ در سال ۲۰۰۷ معرفی شد که عبارت است از: استفاده از عموم مردم برای جمع آوری اطلاعات مکانی (Goodchild, 2007:21) که از این طریق امکان تبدیل محیط اجتماعی و محل زندگی به مکانی بهتر، به کمک مشارکت فراهم می شود (Zanganeh et al, 2019:166). علاوه بر هزینه کم، سرعت بالا در جمع آوری اطلاعات از ویژگی های اصلی VGI محسوب می شود (Hameed et al: 2017). تلفن های هوشمند همراه به دلیل دارا بودن حسگرهای مختلف اصلی ترین ابزار جمع آوری اطلاعات مکانی داوطلبانه هستند؛ زیرا امروزه تلفن های هوشمند امکاناتی که قبلاً فقط در اختیار دانشمندان و متخصصان اطلاعات مکانی بود، مانند تعیین موقعیت، برای عموم مردم نیز فراهم کرده اند. هدف اصلی این تحقیق رفع محدودیت های مالی و زمانی روش های

- 1- Level Of Detail (LOD)
- 2- Synthetic Aperture Radar
- 3- Architectural Model
- 4- Procedural Modeling
- 5- Goodchild



جمع‌آوری اطلاعات مکانی سه‌بعدی به کمک اطلاعات مکانی داوطلبانه است که علاوه بر رایگان بودن، روشی نسبتاً سریع برای جمع‌آوری اطلاعات محسوب می‌شود. همچنین انطباق اطلاعات مکانی به‌دست آمده از طریق مشارکت مردم با داده‌های مورد نیاز تعریف شده در استاندارد CityGML هدف بعدی این تحقیق است.

۲- چارچوب‌چوب نظری

در سراسر دنیا تحقیقات متنوعی درخصوص توانایی‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی صورت گرفته است (Farhady Googehand Parhizkar, 2002:98). هرچند تهیه داده‌های مکانی سه‌بعدی، با مشارکت مردم مسئله بسیار جدیدی نیست، اما این مسئله هنوز در مراحل اولیه تکامل خود قرار دارد. یکی از شناخته‌شده‌ترین پروژه‌های مربوط به جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی، پروژه Google3D Warehouse است که شامل مدل‌های سه‌بعدی کاربر - تولید و زمین مرجع شده، از اشیای دنیای واقعی مانند کلیساها و استادیوم‌ها و مدل‌های غیر زمین مرجع مانند درختان، تیرهای برق و مبلمان شهری است. در این سیستم کاربران به‌منظور کمک داوطلبانه باید سطح مشخصی از مهارت مدل‌سازی را دارا باشند؛ علاوه بر این، برخلاف دیگر پروژه‌ها تمرکز اصلی (Google3D Warehouse) روی تهیه مدل‌های سه‌بعدی زمین مرجع است. به همین منظور، طراحان این سیستم برای بهبود نتایج از اسکن لیزر (Lai and Fox, 2009:54) و دید رباتیک (Klank et al, 2009:2406) برای طبقه‌بندی و تشخیص خودکار عوارض استفاده می‌کنند. در برخی فعالیت‌های تجاری مانند نرم‌افزارهای طراحی (renderlights, 2012) و شبیه‌سازی (Warehouse, 2012) از نتایج Google3D Warehouse استفاده شده است. گوگل همچنین Building Maker که ابزاری برای مدل‌سازی ساختمان می‌باشد را توسعه داده است. برخلاف پروژه قبلی، این ابزار فقط برای مدل‌سازی سه‌بعدی زمین مرجع از ساختمان‌ها طراحی شده و همچنین امکانات مناسبی برای افرادی که در مدل‌سازی سه‌بعدی دانش قبلی ندارند، اما مایل به مشارکت هستند فراهم نموده است. این پروژه از سال ۲۰۱۳ به بعد پشتیبانی نشد و درحال حاضر قابل استفاده نیست. ویلیامز^۱ و همکاران و

1. Willmes

یاکومتیز^۱ و همکاران طی مقالات جداگانه‌ای در سال ۲۰۱۰م نشان داده‌اند که چگونه Building Maker می‌تواند برای مدل‌سازی سریع ساختمان‌ها، حتی مدل‌سازی سراسر یک دانشگاه استفاده شود. البته تهیه مدل‌های اشتباه به دلیل طبقه‌بندی نادرست تصاویر، دسترسی کم به تصاویر هوایی مایل مورد نیاز و همچنین محدودیت‌های داده‌های مربوط به فضای داخلی املاک از ضعف‌های اصلی این سیستم است (Yiakoumettis et al, 2010:84. Willmes et al, 2010:170). اگرچه هر دو سیستم معرفی‌شده براساس داده‌های مشارکتی مردم شکل گرفته‌اند، اما گوگل مدعی حقوق استفاده و توزیع محتوای به‌دست‌آمده از این دو سیستم است؛ بنابراین این دو سیستم، منبع باز یا رایگان نیستند. با این حال، چندین سیستم منبع باز برای مدل‌سازی سه‌بعدی مانند OpenSceneryX، Archive3D یا Shapeways موجود است که این سیستم‌ها از جوامع کاملاً متفاوت با علاقه‌مندی‌های متفاوت، به‌وجود آمده‌اند؛ به‌عنوان مثال برای شبیه‌سازی پرواز و پرینت سه‌بعدی، هرچند معمولاً محتویات این منابع ارتباطی با مدل‌سازی دنیای واقعی ندارند، اما می‌توانند برای غنی‌سازی نمایش مدل سه‌بعدی شهر مفید باشند (OSM2World, 2017). اخیراً در جامعه OpenStreetMap نیز روش‌های متعددی در خصوص اطلاعات داوطلبانه سه‌بعدی بررسی شده است. یکی از نتایج فعالیت‌های جامعه OpenStreetMap ارائه پروژه نرم‌افزاری OSM2World بود. این پروژه به‌صورت متن‌باز و رایگان و به‌عنوان یک مبدل برای نمایش سه‌بعدی اطلاعات موجود در پایگاه داده OSM استفاده می‌شود. این پروژه از فرمت‌های pov و png و obj پشتیبانی کرده و امکان گرفتن خروجی از مدل سه‌بعدی حاصل به هریک این فرمت‌ها فراهم شده است. فناوری در OSM2World بر مبنای برنامه‌نویسی جاوا و استفاده از کتابخانه‌های نمایشی از قبیل JOGL استوار است. در این پروژه امکان نمایش ساختمان‌ها تا سطح دوم جزئیات به‌همراه سقف‌های ساده ساختمان‌ها نیز وجود دارد. این پروژه قابل استفاده در سیستم‌عامل‌های مختلف مانند ویندوز، لینوکس و مکینتاش است که یکی از مزایای OSM2World محسوب می‌شود. امکان تعویض جهت نمایش و زاویه دید با تغییر جهت دوربین، امکان معرفی بافت ساختمان و اضافه کردن آن به پروژه با استفاده از فرمت pov، امکان نمایش خطوط نیرو و معابر، امکان نمایش بافت ساختمان و پنجره‌ها و نهایتاً امکان ادغام داده‌های مدل رقومی ارتفاعی زمین در خروجی، برجسته‌ترین

1. Yiakoumettis



امکانات پیش‌بینی‌شده در این پروژه هستند. با این حال، این پروژه هنوز در حال توسعه است. وجود یک رابط وب کاربرپسند و استانداردسازی فرمت‌های خروجی از نیازهای اصلی این پروژه است (Mirvahabi and Abbaspour, 2016: 80). مثالی دیگر که برای حمایت از کاربر در تولید داده‌های سه‌بعدی ایجاد شده، پروژه OSM Kendzi3D است. این پروژه کار خود را در سال ۲۰۱۱م آغاز کرد و پیوسته سعی در تکمیل ابعاد نمایشی خود دارد. در این پروژه امکان نمایش ساختمان‌ها در سطح دوم جزئیات وجود دارد. علاوه بر این، امکان نمایش سقف‌ها و بافت‌ها در ساختمان نیز در این پروژه فراهم شده است. این پروژه به زبان جاوا نوشته شده و امکان نمایش نقاط مهم و درختان نیز در آن وجود دارد (Kendzi3D, 2017). پروژه OSM-3D پیشرفته‌ترین کار در زمینه ایجاد مدل شهر سه‌بعدی از اطلاعات مکانی داوطلبانه است. هدف از این پروژه ایجاد نمایشی سه‌بعدی و تعامل‌پذیر از داده‌های موجود در پایگاه داده OSM و مدل رقومی ارتفاعی زمین است. این پروژه مبتنی بر وب بوده و از استانداردهای عمومی OGC از قبیل WMS^۱ و W3DS^۲ پیروی می‌کند و دارای مجموعه وسیعی از نمایه‌ها برای نمایش عوارض به صورت سه‌بعدی است. این پروژه برای ایجاد مدل رقومی ارتفاعی از تصاویر و داده‌های ارتفاعی دو سنجنده SRTM و GTOPO30 استفاده می‌کند (Goetz and Zipf, 2013:145). در این پروژه نمایش سه‌بعدی به کمک فرمت‌های نمایشی رایجی از قبیل VRML، X3D، COLLADA و KML صورت می‌گیرد. در این پروژه امکان نمایش خودکار ساختمان‌ها تا سطح دوم جزئیات وجود دارد؛ به این معنا که ارتفاع ساختمان و سقف ساده آن‌ها قابل نمایش است. اطلاعات جزئی‌تر مانند بافت نمای ساختمان‌ها و درب و پنجره‌ها در این پروژه پشتیبانی نمی‌شود (Uden and Zipf, 2013:299; Schilling et al, 2009:75). از مزایای این پروژه، می‌توان قابلیت پوشش کل دنیا و رابط کاربری مناسب را بیان کرد. امکان افزودن عوارض مکانی با حجم معین از منابع دیگر نیز از دیگر قابلیت‌های این پروژه است. پشتیبانی از عوارض مکانی متعدد از قبیل چراغ راهنمایی، درختان و نقاط مهم این امکان را فراهم می‌کند که مدل سه‌بعدی حاصل به واقعیت نزدیک‌تر باشد. با قابلیت‌های موجود در این پروژه امکان مسیریابی سه‌بعدی شهری وجود دارد (Uden and Zipf, 2013:299; Goetz and Zipf, 2012:10). عدم پشتیبانی از نمای ساختمان و درب و پنجره یکی از کاستی‌های این پروژه است. همچنین نمایشی بودن و نبود

1. Web Map Service
2. Web 3D Service

امکان خروجی گرفتن از داده های سه بُعدی حاصل از دیگر معایب آن است. این پروژه محوطه داخلی ساختمان را پشتیبانی نکرده و در افزودن عوارض از منابع دیگر با محدودیت حجمی روبه رو است. البته پروژه های از همین گروه، برای نمایش محوطه داخلی ساختمان دانشگاه هایدلبرگ با عنوان indoorOSM¹ ارائه شده است که تنها محدود به این ساختمان است. این پروژه ها عمده ترین ابزارهای موجود در زمینه اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه سه بُعدی هستند؛ اما تحقیقات نظری کمی درباره آنها وجود دارد. با این حال، برخی از تحقیقات مرتبط نشان می دهد که در حال حاضر پیش شرط های لازم برای گرفتن اطلاعات داوطلبانه سه بُعدی وجود دارد. با استفاده از حسگرهای کم هزینه و دوربین هایی که امروزه در اغلب گوشی های هوشمند در دسترس هستند، کسب اطلاعات سه بُعدی از کاربران به شکل گسترده تر امکان پذیر است. با وجود چنین فرصتی، امکان بازسازی اشیای سه بُعدی با استفاده از تصاویر دو بُعدی گرفته شده با حسگرهای کم هزینه فراهم می شود (Wang, 2011:5; Rocchini et al, 2001: 299). در حال حاضر، ساختار مناسب برای داده ها، تکنیک های مدل سازی و روش های بصری سازی داده های سه بُعدی به دست آمده از جمع سپاری به شدت نیازمند تحقیق است. با وجود اینکه در حوزه مدل سازی سه بُعدی ساختمان به طور کلی تحقیقات زیادی انجام شده است (Brenner, 2005: 1554; Sampath and Shan, 2010: 187). به هر حال، به منظور استفاده از داده های داوطلبانه برای تهیه مدل های سه بُعدی، باید از روش های خلاقانه برای بهبود نتایج بهره برد (Goetz and Zipf, 2012:24).

۳- استاندارد CityGML

CityGML یک مدل داده رایگان برای ذخیره سازی و تبادل مدل های سه بُعدی شهری است و از آنجا که مبتنی بر XML است در برنامه های مختلف قابل استفاده است. هدف این مدل داده، ارائه تعریف یکسانی از موجودیت ها، توصیفات و روابط پایه در یک مدل سه بُعدی شهری است. اهمیت CityGML در نگهداری پایدار و مقرون به صرفه مدل سه بُعدی شهری است؛ چراکه امکان استفاده چندباره از داده های شهری در حوزه های کاربردی مختلف را فراهم می کند. این استاندارد که براساس نوع نمایش عوارض، در پنج سطح از جزئیات تعریف می شود نه تنها

1. [Http://indoorosm.uni-hd.de](http://indoorosm.uni-hd.de)

سیمای گرافیکی شهر را به تصویر می‌کشد، بلکه به‌طور ویژه نمایشی از خصوصیات معنایی و موضوعی، طبقه‌بندی‌ها و روابط بین اجزای شهر را ارائه می‌کند (Kolbe et al,2005:883). جدول ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات استاندارد CityGML و رابطه آن‌ها با سطوح جزئیات را نشان می‌دهد.

جدول (۱) دقت و نحوه نمایش اجزای مدل براساس سطوح جزئیات مختلف

سطح جزئیات CityGML	سطح جزئیات صفر	سطح جزئیات ۱	سطح جزئیات ۲	سطح جزئیات ۳	سطح جزئیات ۴
شرح مقیاس مدل	مناطق، دورنماها	شهر، ناحیه	شهر، محدوده‌ای از شهر، پروژه‌ها	محدوده‌ای از شهر، مدل‌های معماری خارجی، مرزنا	محدوده‌ای از شهر، مدل‌های معماری داخلی، مرزنا
دقت (به شکل توصیفی)	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
دقت نقاط (مسطحاتی/ ارتفاعی)	کمتر یا برابر با سطح جزئیات ۱	۵ متر / ۵ متر	۲ متر / ۲ متر	۰/۵ متر / ۰/۵ متر	۰/۲ متر / ۰/۲ متر
شکل سقف / ساختار	خیر	مسطح	سقف‌ها با ساختار متمایز	شکل واقعی	شکل واقعی
اجزای متصل به سقف	-	-	بله اگر مشخص است	بله	بله
مبلمان شهری	-	اشیای مهم	پیش‌الگوها	شکل واقعی	شکل واقعی
پوشش گیاهی	-	بزرگ‌تر از ۵۰ × ۵۰ متر	بزرگ‌تر از ۵ × ۵ متر	کوچک‌تر از سطح جزئیات ۲	کوچک‌تر از سطح جزئیات ۲

۴- روش تحقیق

براساس استاندارد CityGML یک شهر از بخش‌های مختلفی مانند ساختمان‌ها، پل‌ها، مبلمان شهری، پوشش گیاهی،... تشکیل شده است که مدل‌سازی هر یک از این بخش‌ها با چالش‌های ویژه‌ای همراه است؛ از این‌رو در این تحقیق، مدل‌سازی ساختمان به‌عنوان مهم‌ترین بخش یک مدل سه‌بعدی شهری انجام شده است و سایر بخش‌های یک شهر نادیده گرفته شده‌اند. امروزه

دستیابی به نقشه های دو بُعدی مناطق شهری کار دشواری نیست، چراکه از یک سو روش های شناخته شده و رایجی مانند پیمایش زمینی و نقشه برداری هوایی برای تهیه نقشه مسطحاتی وجود دارد و از سوی دیگر سازمان های نقشه برداری کشورهای مختلف، نقشه های دقیق دو بُعدی مناطق شهری را تهیه و نگهداری می کنند؛ بنابراین امروزه چالش اصلی در دستیابی خصوصیات هندسی ساختمان ها، تعیین بُعد سوم ساختمان یا همان ارتفاع است. با توجه به ماهیت این تحقیق که مبتنی بر بهره گیری از اطلاعات مکانی داوطلبانه برای تهیه مدل سه بُعدی است، در ادامه روشی ارائه خواهد شد که حداقل دقت مکانی لازم برای دستیابی به سطح چهارم جزئیات براساس استاندارد CityGML را برآورده سازد. همان طور که اشاره شد تلفن های هوشمند همراه به دلیل دارا بودن حسگرهای مختلف همچون سیستم تعیین موقعیت و قطب نما در حوزه VGI به شدت استقبال شده اند. در این تحقیق نیز گرفتن تصاویر و اطلاعات مکان مبنا از کاربران از طریق تلفن های هوشمند همراه صورت می پذیرد.

۴-۱- نرم افزار جمع آوری اطلاعات

امروزه سخت افزارها و نرم افزارهای تلفن همراه بخش قابل توجهی از زندگی مردم را دربر گرفته اند (Parhizkar et al, 2010:23). تلفن های هوشمند همراه نیز دربرگیرنده سنسورهای مختلفی هستند. شتاب سنج، ژيروسکوپ، مغناطیس سنج یا قطب نما، سیستم تعیین موقعیت و حتی دوربین های تصویربرداری نمونه هایی از سنسورهای موجود در تلفن های هوشمند همراه هستند که در این تحقیق از سنسورهای موقعیت یاب برای تعیین محل قرارگیری کاربر، قطب نما برای راستای قرارگیری وی نسبت به شمال مغناطیسی و همچنین دوربین برای گرفتن تصویر بهره گرفته شده است. در این راستا یک برنامه کاربردی^۱ برای تلفن همراه تحت سیستم عامل اندروید طراحی شد که در آن موقعیت و راستای قرارگیری کاربر نسبت به شمال مغناطیسی ثبت می شود و کاربر از طریق دوربین تلفن همراه خود تصویری را گرفته و یک عارضه با ارتفاع معلوم را در آن مشخص می نماید. شکل ۱ نمایی از نرم افزار جمع آوری اطلاعات را نشان می دهد.



شکل (۱) نمایی از نرم‌افزار جمع‌آوری اطلاعات

۴-۲- تعیین موقعیت ساختمان در نقشه دوبعدی

پس از جمع‌آوری اطلاعات از طریق نرم‌افزار طراحی شده، لازم است محل ساختمانی که راجع به آن اطلاعات دریافت شده است در نقشه دوبعدی مشخص شود. با توجه به اینکه کاربر محل قرارگیری خود را روی نقشه و زاویه خود با شمال مغناطیسی را از طریق نرم‌افزار طراحی شده ثبت می‌نماید، به این ترتیب علاوه بر مشخص شدن ساختمان، ضلع یا اضلاعی از ساختمان که کاربر در مقابل آن قرار دارد و تصویر آن را ارسال می‌نماید نیز مشخص می‌شود.

۴-۳- بررسی کارآمد بودن تصاویر دریافت‌شده

منظور از کارآمد بودن تصویر آن است که تصویر گرفته شده از سوی کاربر، شامل حداقل چهار نقطه با مختصات معلوم باشد. به عبارت دیگر، چهار نقطه که موقعیت آن‌ها در سیستم مختصات سه‌بعدی زمینی معلوم است، در تصویر قابل رؤیت باشند؛ همچنین لازم است تصویر دربرگیرنده تمام‌نمای حداقل یک ضلع ساختمان باشد. در صورتی که، یک یا دو شرط گفته شده در تصویر

برآورده نشده باشد، تصویر کارآمد نخواهد بود و لازم است مرحله بعد یعنی تشکیل زنجیره تصاویر آغاز شود.

۴-۴- تشکیل زنجیره تصاویر

زنجیره تصاویر عبارت است از: انطباق دو یا چند تصویر از یک عارضه که از نماهای مختلف و فواصل مختلف از عارضه گرفته شده‌اند (Baumberg and Adam, 2000:1774). انطباق تصویر به معنای هم‌تراز و هم‌محور کردن دو یا چند تصویر از شرایط مختلف تصویربرداری است. به‌طور کلی، دو روش تعاملی (پایه) و خودکار برای انجام عمل انطباق وجود دارد. در روش تعاملی، یک مجموعه از نقاط کنترلی در تصاویر به صورت دستی انتخاب می‌شوند و سپس از این نقاط برای برآورد تابع تبدیل میان دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد استفاده می‌شود و از آنجا که این روش نیاز به یک اپراتور ماهر دارد، فرایندی تکراری خواهد بود که با محدودیت دقت مواجه می‌شود، بنابراین وجود روش‌های خودکار در انطباق، یک مسئله ضروری است. در این تحقیق نیز از الگوریتم SIFT¹ که روشی برای انطباق خودکار تصاویر است استفاده شد. از طریق این الگوریتم می‌توان تصاویری که از نماهای مختلف با مقیاس‌ها مختلف وجود دارند را بر هم منطبق نمود، تا نمای کامل‌تری حاصل شود (Grabner et al., 2006:921).

۴-۵- انتقال تصویر از سیستم مختصات دوبعدی تصویر به فضای سه‌بعدی زمین

یک نقطه در فضای دوبعدی به صورت $m = [u, v]^T$ و در فضای سه‌بعدی به صورت $M = [X, Y, Z]^T$ تعریف می‌شود. از علامت \sim برای نمایش بردار اضافه استفاده می‌شود بنابراین m و M به ترتیب به $\tilde{m} = [u, v, 1]^T$ و $\tilde{M} = [X, Y, Z, 1]^T$ تبدیل می‌شوند (Sukthankar et al., 2001: 248).

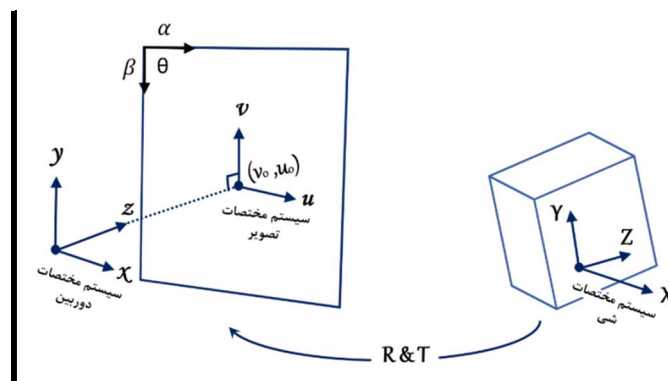
در یک دوربین تصویربرداری ارتباط بین نقطه سه‌بعدی M و تصویر آن به شکل زیر است:

$$s\tilde{m} = A[R, t] \tilde{M} \quad (1)$$

s یک مقدار اختیاری بوده، که پارامترهای خارجی نامیده می‌شوند میزان چرخش و انتقالی هستند که سیستم مختصات جهانی را به سیستم مختصات دوربین مرتبط می‌سازد. A ماتریس داخلی دوربین است که عبارت است از:

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(u_0, v_0) مختصات نقطه مرکزی هستند، α و β فاکتورهای مقیاس در در محورهای تصویر u و v هستند و γ پارامتری است که میزان انحراف دو محور تصویر را مشخص می‌سازد. در شکل ۲ نمونه‌ای از این مدل دیده می‌شود. θ



شکل (۲) ارتباط بین سیستم مختصات دوربین، تصویر و شیء

فرض می‌کنیم که صفحه مدل روی $Z = 0$ از سیستم مختصات جهانی قرار گرفته باشد. اگر ستون i ام از ماتریس چرخش R را با r_i نمایش دهیم از رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

باتوجه به اینکه Z را همواره برابر با صفر در نظر گرفته ایم بنابراین نقطه $M = [X, Y]^T$ و در نتیجه $\tilde{M} = [X, Y, 1]^T$ را در صفحه مدل در نظر می گیریم. بنابراین، یک نقطه مدل M و تصویر آن m با یک ماتریس هموگرافی به هم مربوط می شوند.

$$s\tilde{m} = H \tilde{M} \quad , \quad H = A[r_1 \ r_2 \ t] \quad (3)$$

بنابراین H یک ماتریس 3×3 خواهد بود. در صورت وجود چهار نقطه با مختصات معلوم در هر دو سیستم مختصات تصویر و سیستم مختصات سه بُعدی زمینی می توان عملیات انتقال تصویر به سیستم مختصات زمینی را انجام داد. بنابراین از طریق ماتریس هموگرافی با هشت درجه آزادی، انتقال نقاط از سیستم مختصات دو بُعدی تصویر به سیستم مختصات سه بُعدی زمین انجام می پذیرد.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1 u_1 & -y_1 u_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1 v_1 & -y_1 v_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2 u_2 & -y_2 u_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2 v_2 & -y_2 v_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3 u_3 & -y_3 u_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3 v_3 & -y_3 v_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4 u_4 & -y_4 u_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4 v_4 & -y_4 v_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

که در این رابطه (u_i, v_i) نقاط در تصویر و $(x_i, y_i, 1)$ نقاط متناظر آنها در سیستم مختصات زمینی هستند.

از آنجا که در این تحقیق با تصاویر مربوط به ساختمان ها سروکار داریم لازم است، مختصات چهار نقطه از پای ساختمان ها در تصویر به نقاط متناظر زمینی آنها با پیش فرض $Z = 0$ تبدیل شوند، تا آرایه های ماتریس هموگرافی تعیین و کل سطح تصویر به سیستم مختصات زمینی منتقل شود.

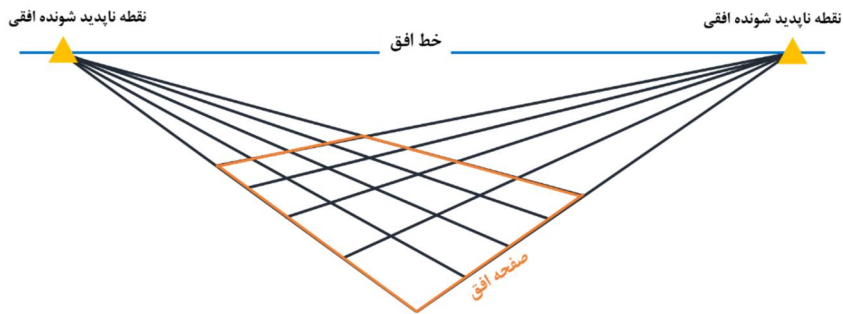


۴-۶- استخراج ارتفاع ساختمان از تصویر

امروزه روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری ارتفاع یک ساختمان از تک تصویر ارائه شده است که متداول‌ترین روش استفاده از نقاط ناپدیدشونده^۱ تصویر است. برای تعریف نقاط ناپدیدشونده ابتدا لازم است مفهوم پرسپکتیو تعریف شود. پرسپکتیو رسم و نمایش تصویر در حالت سه‌بعدی است. به عبارت دیگر به تصویری پرسپکتیو گفته می‌شود که دارای طول، عرض و ارتفاع باشد (Jagannathan and Jawahar, 2005:149). یک نقطه ناپدیدشونده عبارت است از: محل برخورد دو خط پرسپکتیو در یک تصویر دو‌بعدی که این دو خط در دنیای واقعی موازی هستند (Kong et al., 2009:96). براساس ایده آندالو^۲ و همکاران از طریق تعیین نقاط ناپدیدشونده و همچنین وجود یک عارضه با ارتفاع معلوم در تصویر می‌توان ارتفاع سایر عوارض موجود در تصویر را به شکل دقیق اندازه‌گیری کرد. به این منظور در وهله اول، لازم است لبه‌های عوارض موجود در تصویر که ویژگی‌هایی خطی هستند تشخیص داده شوند (Andaló et al, 2015:187). از نمونه‌های ویژگی خطی در ساختارهای تصویری ساحلی، رودخانه‌ها و اضلاع ساختمان‌ها هستند. با توجه به ماهیت این تحقیق که در یک محیط شهری پیاده‌سازی می‌شود، اضلاع ساختمان‌ها اصلی‌ترین ویژگی‌های خطی تصاویر استفاده‌شده در این تحقیق خواهند بود. برای استخراج ویژگی‌های خطی تصاویر روش‌های متفاوتی همچون آشکارساز Canny وجود دارد. مراحل استخراج خطوط در این روش عبارت است از: هموار کردن تصویر، اعمال فیلتر لبه‌یاب، تعیین لبه، اتصال لبه‌ها و درنهایت تعیین خطوط است. مرحله بعد در اندازه‌گیری ارتفاع ساختمان از طریق تک عکس، تعیین محل نقاط ناپدیدشونده افقی و عمودی تصویر است. در این تحقیق از الگوریتم RANSAC^۳ برای تشخیص محل این نقاط استفاده شد. این الگوریتم که اولین بار در سال ۱۹۸۱م برای برآورد پارامترهای مدل تبدیل معرفی شد در زمینه‌های مختلف پردازش تصویر به کار گرفته می‌شود که یکی از اصلی‌ترین کاربردهای آن تشخیص محل نقاط ناپدیدشونده تصویر است. از اتصال نقاط ناپدیدشونده افقی، خط افق تشکیل می‌شود و از برخورد خطوط پرسپکتیو یک عارضه، صفحه‌ای تشکیل می‌شود که صفحه افق خواهد بود.

1. Vanishing Point
2. Andaló
3. Random Sample Consensus

شکل ۳ دو نقطه ناپدیدشونده و صفحه افقی حاصل از برخورد خطوط پرسپکتیو را نشان می دهد.

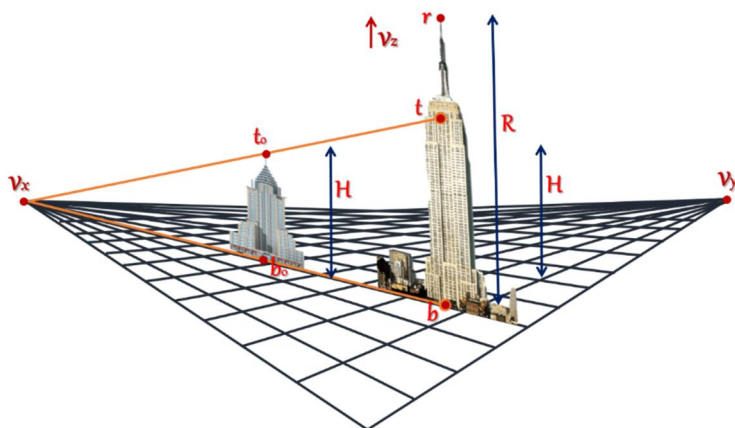


شکل (۳) نقاط ناپدیدشونده و صفحه افقی

پس از تشکیل این صفحه و در صورت وجود یک عارضه با ارتفاع معلوم، می توان ارتفاع عوارض موجود در تصویر را از طریق رابطه ۵ اندازه گیری نمود.

$$\frac{\|t-b\| \|V_z-r\|}{\|r-b\| \|V_z-t\|} = \frac{H}{R} \quad (5)$$

در این رابطه t محل برخورد امتداد خط بین نقطه ناپدیدشونده و نقطه بالایی عارضه با شیء با ارتفاع معلوم است. b محل برخورد امتداد خط بین نقطه ناپدیدشونده و نقطه پایینی عارضه با شیء با ارتفاع معلوم است. V_z نقطه ناپدیدشونده عمودی و r نقطه بالایی عارضه با ارتفاع معلوم است. H و R نیز به ترتیب ارتفاع عارضه مدنظر و ارتفاع معلوم هستند؛ بنابراین ارتفاع یک ساختمان به کمک نقاط ناپدیدشونده مطابق رابطه ۵ و شکل ۴ تعیین می شود.



شکل (۴) نحوه محاسبه ارتفاع ساختمان به کمک نقاط ناپدیدشونده

۴-۷- اعمال بافت به مدل سه‌بعدی

با توجه به این که تصاویر گرفته‌شده از سوی کاربران دارای خطای پرسپکتیو هستند، لازم است این خطا حذف و تصاویر با نمای پرسپکتیو به تصاویر از نمای روبه‌رو تبدیل شوند. همان‌طور که در بخش ۴-۵ توضیح داده شد به کمک مفهوم هموگرافی می‌توان از طریق معرفی چهارنقطه مشترک، یک تصویر را از سیستم مختصات تصویر به سیستم مختصات دلخواه دیگر منتقل نمود که این سیستم مختصات دلخواه می‌تواند سیستم سه‌بعدی مدل به‌دست‌آمده از اعمال ارتفاع به نقشه دو‌بعدی باشد. بنابراین می‌توان از طریق محاسبه تابع هموگرافی بین ساختمان و مدل سه‌بعدی، جابه‌جایی و چرخش بین دو سیستم مختصات تصویر و مدل را به‌دست آورد. زمانی که جابه‌جایی و چرخش دوربین، از طریق ماتریس هموگرافی به‌دست آید می‌توان از اطلاعات آن برای جانمایی تصاویر با پرسپکتیو صحیح استفاده کرد.

۴-۸- نمایش مدل سه‌بعدی

پس از تعیین ارتفاع ساختمان، امکان تهیه مدل سه‌بعدی آن فراهم می‌شود. در این تحقیق به‌منظور نمایش مدل سه‌بعدی از نرم‌افزار CityEngine که نرم‌افزاری برای طراحی و تحلیل سه‌بعدی شهری است، استفاده شد.

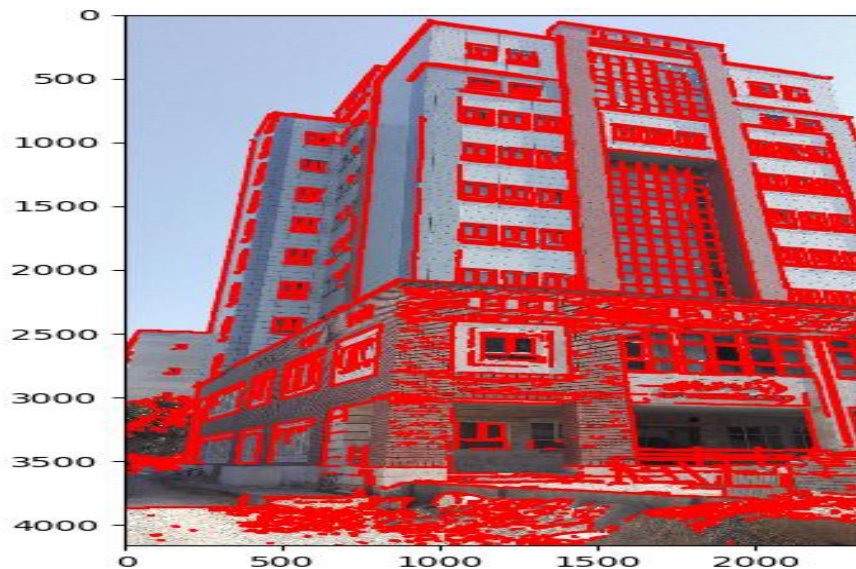
۵- پیاده سازی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، مدل سازی سه بُعدی ساختمان دانشکده عمران دانشگاه شهید رجایی از طریق اطلاعات مکانی داوطلبانه انجام شد. به این منظور، نرم افزار طراحی شده در اختیار جمعی از دانشجویان این دانشکده قرار گرفت. در مجموع دوازده مشارکت از سوی کاربران در خصوص این ساختمان انجام شد. ذکر این مطلب لازم است که نقشه دو بُعدی این ساختمان قبلاً از طریق عملیات نقشه برداری زمینی با دقت ± 10 سانتی متر تهیه شده است. مطابق آنچه در بخش روش تحقیق ارائه شد، پس از تعیین موقعیت ساختمان در نقشه دو بُعدی، لازم است کارآمد بودن تصاویر بررسی شود. از آنجاکه در این تحقیق هیچ کدام از تصاویر گرفته شده از سوی کاربران شامل چهار نقطه با مختصات معلوم نبود، زنجیره تصاویر از طریق انطباق نقاط مشترک تشکیل شد. شکل ۵ نمونه ای از انطباق تصاویر را نشان می دهد.



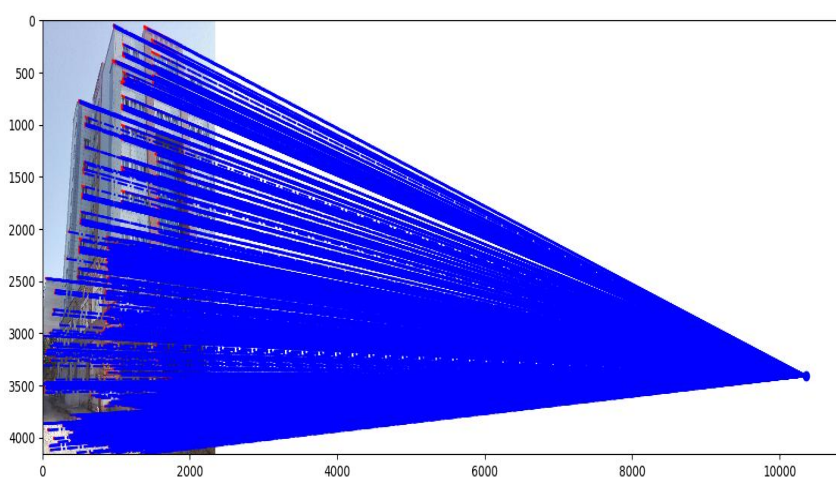
شکل (۵) الف و ب - دو تصویر از ساختمان که از زوایای مختلف گرفته شده اند. ج - انطباق دو تصویر الف و ب

پس از آن که تصویر کارآمد شد، از طریق روابط ذکر شده در بخش ۴-۶ تصویر از سیستم مختصات دو بُعدی به سیستم سه بُعدی زمین مرجع منتقل می شود؛ البته برای انتقال ارتفاع همه نقاط تصویر صفر در نظر گرفته شده است. پس از این مرحله تشخیص لبه در تصویر صورت می گیرد. شکل ۶ نمونه ای از تشخیص لبه را نشان می دهد.

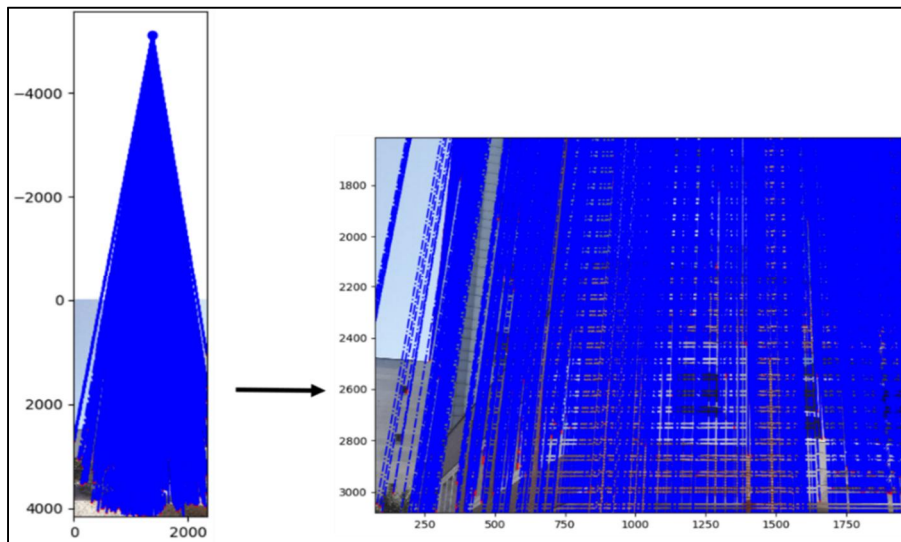


شکل (۶) نمونه‌ای از تشخیص لبه در تصویر (محورهای افقی و عمودی تعداد پیکسل‌های تصویر را نشان می‌دهند)

بعد از تشخیص لبه‌ها، محل نقاط ناپدیدشونده افقی و عمودی تعیین می‌شوند. شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب، نمونه‌هایی از نقاط ناپدیدشونده افقی و عمودی را نشان می‌دهند.



شکل (۷) نقطه ناپدیدشونده افقی



شکل (۸) نقطه ناپدیدشونده عمودی

و در نهایت براساس رابطه ۵ ارتفاع این ساختمان ۳۴/۵۳ متر به دست آمد. به منظور کنترل ارتفاع به دست آمده از طریق عملیات نقشه برداری زمینی ارتفاع ساختمان با دقت سانتی متر اندازه گیری شد که ارتفاع به دست آمده از این روش ۳۴/۴۴ متر است. براساس آنچه درباره سطوح جزئیات تعریف شده در استاندارد CityGML گفته شد، دقت لازم برای ایجاد مدل سه بُعدی در سطح چهارم جزئیات ۲۰ سانتی متر است. بنابراین به کمک این روش می توان از طریق اطلاعات و تصاویر داوطلبانه به مدل سه بُعدی ساختمان با سطح چهارم جزئیات رسید. شکل ۹ مدل سه بُعدی نهایی به دست آمده پس از اعمال بافت ساختمان را در محیط CityEngine نشان می دهد.



شکل (۹) مدل سه‌بعدی نهایی بعد از اعمال بافت

براساس نتایج به‌دست‌آمده از بخش پیاده‌سازی می‌توان گفت روش پیشنهادی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌ها که از مدل سه‌بعدی شهر استفاده می‌کنند، کارآمد و برطرف‌کننده مسائل مربوط به تهیه داده‌های مورد نیاز برای یک مدل‌سازی سه‌بعدی باشد. این روش می‌تواند درباره ساختمان‌ها و دیگر امان‌های شهری مؤثر باشد. در مقیاس کلان ممکن است، کیفیت عکس‌ها نامرغوب باشد و برخی عوارض جلوی برخی دیگر را بگیرند و بدین ترتیب تعیین ارتفاع برخی عوارض با مشکل روبه‌رو شود و به‌طریق اولی قابلیت افزودن بافت نمای عوارض حداقل در برخی از قسمت‌ها فراهم نشود. در این تحقیق با طراحی و پیاده‌سازی برنامه کاربردی تلفن همراه و ایجاد سرور مرتبط با آن امکان استفاده از اطلاعات داوطلبانه برای تهیه منظر شهر در محدوده یک ساختمان بررسی و اثبات شد. طبعاً برای مواجهه با مشکلات بیان‌شده احتمالی نیاز به مشارکت تعداد زیادی از داوطلبان وجود دارد که این امکان در این تحقیق فراهم نشد. مخصوصاً اینکه انبوه مشارکت‌کنندگان نیاز به مشوق یا دلیلی برای مشارکت در فراهم آوردن اطلاعات دارند که ایجاد آن نیاز به برنامه تجاری موفق دارد، ولی چنین برنامه‌هایی تاکنون ایجاد نشده‌اند یا دست‌کم اطلاعات آن‌ها هم‌رسان نشده است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادها

با توجه به اهمیت و کاربردهای فراوان مدل‌های سه‌بعدی شهری در حوزه‌های مختلف، تهیه و استفاده از این‌گونه مدل‌ها برای مدیریت و برنامه‌ریزی فعالیت‌های شهری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است؛ اما از یک سو با توجه به وجود اشیای متنوع و فراوان در شهر و از سوی دیگر پیچیدگی روابط بین اشیای شهری و دستیابی به اطلاعات لازم برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی به‌سختی و با صرف هزینه و زمان زیاد امکان‌پذیر است. امروزه روش‌های نوین جمع‌آوری داده که تحت عناوینی چون جمع‌سپاری، محتوای کاربر تولید و نقشه‌برداری مشارکتی و اطلاعات مکانی داوطلبانه (VGI) شناخته می‌شوند، ابزاری رایگان و سریع برای جمع‌آوری اطلاعات هستند. اطلاعات مکانی داوطلبانه به‌اختصار عبارت است از: گردآوری داده‌های مکانی از طریق مشارکت جمعی از مردم که در این بین تلفن‌های هوشمند همراه نقش اصلی را در تهیه و جمع‌آوری داده‌ها ایفا می‌کنند. اگرچه در ابتدا اطلاعات مکانی داوطلبانه برای جمع‌آوری داده‌های دو‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما امروزه گسترش پروژه‌های جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی داوطلبانه حاکی از آن است که امکان استخراج اطلاعات مکانی سه‌بعدی از سامانه اطلاعات مکانی داوطلبانه وجود دارد. بنابراین، در این تحقیق به‌منظور تهیه مدل سه‌بعدی شهری از VGI به‌عنوان ابزار جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد و بدین منظور یک برنامه کاربردی تلفن همراه تحت سیستم عامل اندروید برای جمع‌آوری داده‌های لازم طراحی شد. از آنجا که هدف این تحقیق که مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان است از استاندارد شناخته‌شده CityGML در حوزه مدل‌سازی سه‌بعدی شهری برای تعیین سطح جزئیات مدل به‌دست آمده استفاده شد. به‌منظور استخراج ارتفاع ساختمان از تصاویر گرفته‌شده از سوی کاربران، از تعیین نقاط ناپدیدشونده و اندازه‌گیری روی تصویر استفاده شد. در این تحقیق ساختمان دانشکده عمران دانشگاه شهید رجایی مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده از طریق روش پیشنهادی ارتفاع محاسبه‌شده ساختمان تنها ۹ سانتی‌متر با ارتفاع دقیق ساختمان که از طریق عملیات نقشه‌برداری به‌دست آمده تفاوت دارد. این مقدار خطا از حداکثر مقدار خطا برای مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان در سطح چهارم جزئیات یعنی ۲۰ سانتی‌متر کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد که با روش پیشنهادی می‌توان به مدل سه‌بعدی ساختمان از طریق اطلاعات مکانی داوطلبانه در سطح چهارم جزئیات دست یافت. در نهایت می‌توان گفت این روش علاوه بر اینکه کم‌هزینه‌ترین روش برای تهیه یک مدل سه‌بعدی



شهری محسوب می‌شود، با توجه به مشارکت عموم مردم در تهیه اطلاعات می‌تواند سریع‌ترین روش در جمع‌آوری اطلاعات نیز باشد. در ادامه این پژوهش پیشنهاد می‌شود برای تکمیل و توسعه این روش، از تکنیک‌های یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق برای خودکار نمودن روند تهیه مدل سه‌بعدی از اطلاعات مکانی داوطلبانه استفاده شود.

منابع

- Andaló, F. A., Taubin, G., & Goldenstein, S. (2015). "Efficient height measurements in single images based on the detection of vanishing points". *Computer Vision and Image Understanding*, 138, 51-60.
- Baumberg, A. (2000). "Reliable feature matching across widely separated views". In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2000* (p. 1774).
- Brenner, C. (2005). "Building reconstruction from images and laser scanning." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(3): 187-198.
- Chen, S. E. (1995). "Quicktime VR: An image-based approach to virtual environment navigation". *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, ACM: 29-38.
- Farhady Googeh R, Parhizkar A. (2002). "Primary Schools' Spatial Distribution and Locating Them in the Region 6 of Tehran, Using GIS". *Modarres Human Sciences*, 6 (2): 97-116.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Goetz, M. & A. Zipf (2012). "OpenStreetMap in 3D—detailed insights on the current situation in Germany". *Proceedings of 15th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Avignon, France: 24-27.

- Goetz, M. & A. Zipf (2012). "Towards defining a framework for the automatic derivation of 3D CityGML models from volunteered geographic information." *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)* 1(2): 1-16.
- Goetz, M. & A. Zipf (2013). "The evolution of geo-crowdsourcing: bringing volunteered geographic information to the third dimension". *Crowdsourcing geographic knowledge*, Springer: 139-159.
- Goodchild, M. F. (2007). "Citizens as sensors: the world of volunteered geography". *GeoJournal*, 69(4), 211-221.
- Grabner, M., Grabner, H., & Bischof, H. (2006). "Fast approximated SIFT". *In Asian conference on computer vision* (pp. 918-927). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jagannathan, L., & Jawahar, C. V. (2005). "Perspective correction methods for camera based document analysis". *In Proc. First Int. Workshop on Camera-based Document Analysis and Recognition* (pp. 148-154).
- Janečka, K. (2019). Transformation of 3D geospatial data into CityGML—a case of Prague. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 107(1), 41-48.
- Kendzi3D, O. (2017). "Kendzi3D." Retrieved 9/20/2017, 2017, from <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/JOSM/Plugins/Kendzi3D>.
- Klank, U., M. Z. Zia & M. Beetz (2009). "3D model selection from an internet database for robotic vision". *Robotics and Automation*, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on, IEEE: 2406-2411.
- Kolbe, T. H., G. Gröger & L. Plümer (2005). "CityGML—Interoperable access to 3D city models." *Geo-information for disaster management*: 883-899.
- Kong, H., Audibert, J. Y., & Ponce, J. (2009). "Vanishing point detection for road detection". *In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 96-103).
- Lai, K. & D. Fox (2009). "3D laser scan classification using web data and domain adaptation". *Robotics: Science and Systems2*.
- Micusik, B. & J. Kosecka (2009). "Piecewise planar city 3D modeling from street view panoramic sequences". *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, IEEE: 2906-2912.



- Mirvahabi, S.S & Ali abbaspour R. Evaluation of Three-Dimensional Urban Modeling Projects Based on Volunteered Geographic Information of OpenStreetMap. *GEJ*. 2016; 7 (3) :73-84
- Musialski, P., P. Wonka, D. G. Aliaga, M. Wimmer, L. Van Gool and W. Purgathofer (2013). "A survey of urban reconstruction". *Computer graphics forum, Wiley Online Library*32(6): 146-177.
- OSM2World. (2017). "OSM2World." Retrieved 9/20/2017, 2017, from <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSM2World>.
- Ozbek, E. D., Zlatanova, S., Aydar, S. A., & Yomralioglu, T. (2016). 3D Geo-Information requirements for disaster and emergency management. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2.
- Parhizkar A, Kalantar K, Roknaddin Eftekhari A, Yegane M J. (2010) "Virtual space contribution to the urban services space in Tehran and its impact Characteristics of Citizens in the Use of Virtual Space Services". 2010;14(3) :21-36
- renderlights. (2012). "RenderLights." Viewer for google 3d warehouse Retrieved 10/12/2012 from <http://www.renderlights.com/?p=103745>.
- Rocchini, C., P. Cignoni, C. Montani, P. Pinci and R. Scopigno (2001). "A low cost 3D scanner based on structured light". *Computer Graphics Forum, Wiley Online Library* 20(3): 299-308.
- Sampath, A. and J. Shan (2010). "Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial lidar point clouds." *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* 48(3): 1554-1567.
- Schilling, A., M. Over, S. Neubauer, P. Neis, G. Walenciak and A. Zipf (2009). "Interoperable Location Based Services for 3D cities on the Web using user generated content from OpenStreetMap." *Urban and regional data management: UDMS annual*: 75-84.

- Singh, S. P., K. Jain and V. R. Mandla (2013). "Virtual 3D city modeling: techniques and applications." *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*(2): 73-91.
- Sukthankar, R., Stockton, R. G., & Mullin, M. D. (2001). "Smarter presentations: Exploiting homography in camera-projector systems". In *Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. ICCV 2001 (1)*: 247-253.
- Uden, M. & A. Zipf (2013). Open building models: "Towards a platform for crowdsourcing virtual 3D cities". *Progress and new trends in 3D geoinformation sciences, Springer*: 299-314.
- Wang, Y.-F. (2011). "A comparison study of five 3d modeling systems based on the sfm principles". Technical Report, Visualsize Inc. TR 2011-01, Sept 8: 1-30.
- Warehouse. (2012). "Enhancing 3d animation with google warehouse." Retrieved 10/12/2012, 2012, from <http://www.simio.com/resources/videos/Enhancing-3D-Animation-with-Google-Warehouse.htm>.
- Willmes, C., Baaser, U., Volland, K. & Bareth, G. (2010). "Internet based distribution and visualization of a 3D model of the University of Cologne Campus." *3rd ISDE Digital Earth*.
- Yiakoumettis, C., Bardis, G., Miaoulis, GD. Plemenos, D. Ghazanfarpour & A. Spyridonos St (2010). "Virtual globe based collaborative 3D city modelling" *Intelligence Computer Graphics (321)*:165-148.
- Zanganeh, Y. Honarmandi Alamdari, N. & Zanganeh, M. (2019) An Analysis of the Role of Awareness of Urban Rights on Active Citizenship (Case Study: Areas 1 and 5 of Mashhad Municipality). *Journal of Spatila Planning* 22 (4): 165-190.