

# طراحی و مدل سازی یک سیستم اطلاعات مکانی مردم گستر سه بعدی با توصیف تعامل پذیر المان های اساسی ساختمانی

سمیه عباسی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا ملک<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
somaye.abbasi25@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه سیستم اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
mrmalek@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۳)

## چکیده

اغلب مسائل مکانی در جهان واقعی، چندبعدی بوده و برای بررسی جوانب مختلف آنها، به داده های کامل و به روز نیاز است. در دسترس بودن اطلاعات سه بعدی بسیار حائز اهمیت است. اطلاعات مکانی سه بعدی، با توصیف سه بعدی جهان، امکان مدلسازی واقعی تری را فراهم و به برنامه ریزان درک بهتری از مسائل مکانی می دهد. در سال های اخیر محیط های اطلاعاتی از قبیل محیط جمع سپاری<sup>۱</sup>، محیط اطلاعات با محتوای کاربر تولید<sup>۲</sup> و محیط اطلاعات مکانی مردم گستر<sup>۳</sup> پدیده ی جدیدی را در تولید مشارکتی داده های مکانی تعریف کرده و منبع داده جدیدی فراهم کرده اند. ویژگی اصلی این گونه منابع داده، داشتن کاربران گسترده ای است که تعدادشان در حال افزایش بوده و داوطلبانه، هر نوع داده مکانی را جمع آوری می کنند. هدف از این تحقیق ارائه راهکارهایی برای تهیه مشارکتی و داوطلبانه ی مدل های سه بعدی ساختمانی است. ما در این پژوهش، از بین دسته بندی های رایج در معماری، "دیوار"، "سقف"، "در" و "پنجره" را به عنوان المان های اساسی ساختمان، انتخاب کرده ایم. سپس با توسعه یک طبقه بندی سلسه مراتبی مبتنی بر هستی شناسی<sup>۴</sup>، روشی تعامل پذیر برای جمع آوری اطلاعات سه بعدی و مدلسازی ساختمان، ارائه داده ایم. این تحقیق، ضمن پذیرش دیدگاه های قبلی، دیدگاه جدیدی را دنبال می کند. در این دیدگاه، کاربران به صورت تعامل پذیر قادر به افزودن و اصلاح اطلاعات سه بعدی برای المان های اصلی ساختمان هستند. از طرفی راهکارهایی برای افزایش مشارکت مردمی دنبال می شود، به گونه ای که حتی افراد غیرمتخصص نیز بتوانند در تولید مدل های سه بعدی مشارکت داشته باشند. برای این منظور، در روش توسعه داده شده در این پژوهش، کاربران تصویری را برای بافت<sup>۵</sup> نمای ساختمان، بارگذاری می کنند. سپس با استفاده از روشی مشابه رقمی سازی تصاویر هوایی، به رقمی سازی تصاویر نمای ساختمان می پردازند. همچنین در سیستم پیاده سازی شده، مجموعه ای از مدل های آماده سقف، در، پنجره در اختیار کاربر قرار داده ایم. بدین ترتیب کاربران می توانند با کنارهم گذاری این اجزا، مدل های ساختمانی مورد نظر را راحت تر بسازند.

**واژگان کلیدی:** محیط اطلاعات مکانی مردم گستر، جمع آوری تعامل پذیر اطلاعات، مدلسازی سه بعدی ساختمان ها، اطلاعات

سه بعدی داوطلبانه

\* نویسنده رابط

<sup>۱</sup> Crowdsourcing

<sup>۲</sup> User Generated Geographic Content (UGGC)

<sup>۳</sup> Volunteered Geographic Information (VGI)

<sup>۴</sup> Ontology

<sup>۵</sup> Texture

## ۱- مقدمه

استفاده از اطلاعات مکانی سه‌بعدی سبب افزایش بازده در برنامه‌ریزی شهری و سریع‌تر شدن تصمیم‌گیری‌ها می‌شود. در دسترس بودن اطلاعات سه‌بعدی در زمینه‌هایی از قبیل مدیریت بحران، شبیه‌سازی محیط زیست، ارتباطات شبکه مخابرات بی‌سیم، کاداستر سه‌بعدی، گردشگری و ناوبری بسیار حائز اهمیت است [۱]. در سال‌های اخیر اصطلاحاتی مثل جمع‌سپاری، محتوای کاربرتولید و اطلاعات مکانی مردم‌گستر پدیده کاملاً جدیدی را در تولید مشارکتی داده‌های مکانی تعریف کرده و منبع داده جدیدی فراهم شده است [۲]. ویژگی اصلی این‌گونه منابع داده، داشتن کاربران گسترده‌ای است که تعدادشان به طور مداوم در حال افزایش بوده و هر نوع داده مکانی را در یک حالت داوطلبانه و مشارکتی جمع‌آوری می‌کنند. انگیزه اصلی از این کار تهیه یک سرویس نقشه‌ی برخط<sup>۱</sup>، مشابه نقشه‌های تجاری است، با این تفاوت که داده‌ها کاملاً مبتنی بر داده‌های مشارکتی و رایگان باشد [۳ و ۴ و ۵]. کاربران مختلف با سطح مهارت‌های متفاوت، داده‌های مکانی را تهیه می‌نمایند. برای این منظور، ابزارهای سیستم تعیین موقعیت جهانی<sup>۲</sup> در تلفن‌های همراه شخصی یا ترسیم عوارض روی تصاویر هوایی عمومی مثل تصاویر هوایی Bing Maps، به کار می‌رود. بدین ترتیب کاربران اطلاعات دوبعدی هندسی را فراهم می‌کنند. همچنین کاربران از دانش شخصی خود به منظور افزودن اطلاعات توصیفی استفاده می‌کنند. سایر اطلاعات زمین‌مرجع<sup>۳</sup> نیز مثل تصاویر یا موقعیت‌های مکانی می‌تواند به عنوان داده‌های کاربرتولید، در نظر گرفته شود [۵]. پتانسیل عظیمی برای مشارکت میلیون‌ها نفر وجود دارد که همچون سنجنده‌های از راه دور<sup>۴</sup> عمل نموده و داده‌هایشان را با سایر اعضای گروه، بدون دریافت هزینه‌ای در میان می‌گذارند [۶]. اضافه کردن اطلاعات سه‌بعدی به پروژه‌های مشارکتی گامی مهم است و در دسترس بودن اطلاعات سه‌بعدی بستر توسعه و پدیداری تحلیلهای مکانی سودمندتری را در کاربردهای مختلف ارائه می‌دهد [۷].

به نظر می‌رسد تا کنون یک ساختار تعامل‌پذیر برای جمع‌آوری و اشتراک داده‌های سه‌بعدی در سیستم‌های مردم‌گستر وجود نداشته است. همچنین با توجه به اینکه تولید داده‌های سه‌بعدی همواره با مشکل روبه‌رو بوده است، محیط‌های مردم‌گستر پیشرفت چندانی در جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی نداشته‌اند. از جمله این مشکلات می‌توان به این نکته اشاره کرد که روشهای جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی در دسترس کاربران غیر متخصص نبوده یا یک رابط کاربری مناسب و قابل درک در پایگاه‌های مردم‌گستر برای جمع‌آوری این داده‌ها وجود نداشته است. در واقع کاربران با وارد شدن به یک سیستم مردم‌گستری که حتی در ظاهر نیز دوبعدی است، درک چندانی از چگونگی افزودن اطلاعات سه‌بعدی نخواهند داشت. در این تحقیق تولید مدل‌های تعاملی سه‌بعدی شهری را بر مبنای این داده‌های مکانی رایگان بررسی می‌کنیم. تهیه این گونه مدل‌ها به جزئیات زیادی نیاز دارد و فرایند جمع‌آوری چنین اطلاعاتی بسیار زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود. در نتیجه مشارکت کاربران در جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی برای ساخت مدل‌های سه‌بعدی شهری بسیار سودمند است. در ابتدا پایگاه‌های مشارکتی، فقط داده‌های مکانی دوبعدی را در برداشت اما از سال ۲۰۰۸ امکان جمع‌آوری اطلاعات ارتفاعی توسط کاربران بیشتر شد. با جمع‌آوری داده‌هایی از جمله ارتفاع ساختمان‌ها و اشتراک‌گذاری این اطلاعات در قالب توصیفات، پایگاه‌های مشارکتی کاربرتولید در حین ارائه نقشه‌های دوبعدی و عکسی به منبع داده‌های سه‌بعدی نیز تبدیل شدند [۳].

هدف از این تحقیق بررسی روش‌های موجود و ارائه راهکارهایی برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی به صورت داوطلبانه است. در این تحقیق، "دیوار"، "سقف"، "در" و "پنجره" به عنوان المان‌های اساسی ساختمانی، از بین دسته‌بندی‌های رایج در معماری انتخاب شده است. سپس با توسعه یک طبقه‌بندی سلسه‌مراتبی، ساختاری برای توصیف تعامل‌پذیر این المان‌ها پیشنهاد کرده‌ایم و روشی برای تهیه مشارکتی مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی، ارائه داده‌ایم. این تحقیق، ضمن پذیرش دیدگاه‌های قبلی، دیدگاه جدیدی را برای تولید مدل‌های سه‌بعدی مشارکتی دنبال می‌کند. در این دیدگاه، تمایل بر این است که کاربران به صورت تعامل‌پذیر قادر تولید مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی باشند. همچنین امکان افزودن و اصلاح اطلاعات

۱ Online

۲ Global Positioning System (GPS)

۳ Georeference

۴ Remote sensors

سه بعدی کاربرتولید با جزئیات زیاد، از عوارض زمین مرجع، مثل کلیساها و ساختمان‌های معروف است. به منظور مشارکت داوطلبانه در این پروژه، کاربران باید مهارت مشخصی در زمینه‌ی مدل‌سازی سه بعدی داشته باشند. این پروژه در اصل الزامی به زمین مرجع بودن مدل‌های سه بعدی ندارد. نمونه دیگر نیز Google's Building Maker، ابزاری برای مدل‌سازی ساختمان‌هاست. این ابزار اطلاعات سه بعدی ساختمان‌ها را از تصاویر هوایی به دست می‌آورد. برای این کار تصاویر مایل یک عارضه از نماهای مختلف لازم است. افرادی که دانش کافی برای مدل‌سازی سه بعدی ندارند، اما مایل به مشارکت در پروژه‌های مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌ها هستند، می‌توانند از این ابزار استفاده کنند. گرچه هر دو روش ذکر شده مبتنی بر داده‌های مشارکتی هستند، اما از آنجایی که Google در پشت این فرایند قرار دارد و قوانین مشارکت را تعریف می‌کند و ادعای مالکیت دارد، این روشها از مفهوم منبع باز<sup>۳</sup> و داده‌ی باز<sup>۴</sup> فاصله دارند [۱۰]. اغلب محتوای این پروژه‌ها حاوی مختصات زمین مرجع نیستند، اما می‌توان از آنها برای بهبود بصری‌سازی مدل‌های مجازی شهری بهره برد. پیشرفته‌ترین کار در زمینه‌ی ساخت مدل‌های سه بعدی شهری از داده‌های کاربرتولید پروژه‌ی OSM-3D بوده است [۸]. در این پروژه برای تولید مدل‌های مجازی شهری از اطلاعات سه بعدی که در قالب توصیفات توسط کاربران به پایگاه دوبعدی OSM افزوده می‌شود، استفاده شده است. در پایگاه OSM چندضلعی‌های دو بعدی ساختمان‌ها را با ضمیمه کردن اطلاعات توصیفی تکمیل می‌کنند. مثلاً ارتفاع ساختمانها به عنوان قلم توصیفی به چندضلعی‌ها<sup>۵</sup> ضمیمه شده است [۸،۳]. سپس از این توصیفات برای مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌ها استفاده می‌شود و نتایج در پایگاه دیگری تحت عنوان OSM-3D به نمایش در می‌آید [۱۱]. در واقع کاربران به صورت مستقیم داده‌های سه بعدی را به OSM-3D اضافه نمی‌کنند [۱۲].

تاکنون اساساً دو دیدگاه برای مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌ها وجود داشته است. از یک طرف مدل‌های سه بعدی پارامتری برای ساختمان‌ها وجود دارند. برای تهیه این گونه مدل‌ها ابتدا چندضلعی دوبعدی ساختمان‌ها روی

برای اجزای اصلی ساختمان وجود داشته باشد. از طرفی راهکارهایی برای افزایش مشارکت مردمی دنبال می‌شود، به گونه‌ای که حتی افراد غیر متخصص نیز بتوانند در تولید مدل‌های سه بعدی ساختمان‌ها مشارکت داشته باشند.

در ادامه مروری بر فعالیت‌های پیشین راجع به مدل‌های سه بعدی شهری در محیط‌های اطلاعاتی مردم‌گستر خواهیم داشت. سپس در بخش ۳ استانداردها و فن‌آوری‌های مرتبط با نمایش و ذخیره‌سازی مدل‌های سه بعدی شهری را بررسی می‌کنیم. پس از آن در بخش ۴ ساختار پیشنهادی خود برای جمع‌آوری اطلاعات سه بعدی ساختمان‌ها را شرح می‌دهیم. در بخش ۵ مسائل مورد نظر در طراحی سیستم مطرح شده و در بخش ۶ پیاده‌سازی آزمایشی این روش در محیط وب ارائه می‌شود. در انتها جمع‌بندی و نتیجه‌گیری آورده شده است.

## ۲- مروری بر فعالیتهای پیشین

پروژه‌هایی از جمله OSM<sup>۱</sup> با ارائه نقشه‌های کاربرتولید، امکان تولید و در دسترس‌ی اطلاعات مکانی با جزئیات بسیاری را فراهم می‌کنند، به طوریکه قبلاً چنین جزئیاتی در داده‌های مکانی فراهم نبوده است. در مناطق شهری، توجه کاربران از ترسیم شبکه راهها به سمت ترسیم ساختمان‌ها و سایر عوارض شهری از جمله پارک‌ها و میلمان شهری رفته است، گرچه این حرکت جدید، شدیداً به داده‌های دوبعدی محدود بوده است [۶،۸،۹،۱۰]. تکمیل اطلاعات ارتفاعی و سایر اطلاعات توصیفی زمان بیشتری می‌برد، زیرا این اطلاعات را نمی‌توان از اورتوفوتوها یا تصاویر ماهواره‌ای بدست آورد. چندضلعی‌های دوبعدی ساختمان‌ها که اصطلاحاً به آن ردپای ساختمان گفته می‌شود، از رقمی‌سازی تصاویر هوایی در دسترس است. بدیهی است که برای ساخت مدل‌های سه بعدی ساختمانی ردپای ساختمان‌ها کافی نیست و اطلاعات اضافی نیز لازم است [۸،۱۰].

تهیه مدل‌های سه بعدی ساختمان‌ها به صورت داوطلبانه، در مراحل اولیه قرار دارد، ولی اساساً مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌ها مسئله‌ی جدیدی نیست. از مثالهای این کار Google's 3D Warehouse است. این پروژه یک مخزن<sup>۲</sup> به اشتراک می‌گذارد که در بردارنده‌ی مدل‌های

<sup>۳</sup> Open source

<sup>۴</sup> Open data

<sup>۵</sup> Polygon

<sup>۱</sup> www.openstreetmap.org

<sup>۲</sup> Repository

تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده است، سپس کاربران توصیفات به این چندضلعی‌ها ضمیمه کرده‌اند. مدل‌های پارامتری از حجم دادن به چندضلعی‌های دوبعدی بر اساس قلم توصیفی ارتفاع، ساخته شده‌اند. از طرف دیگر مدل‌های سه بعدی کاملی از ساختمان‌ها وجود دارند که کاربران به صورت داوطلبانه آنها را با نرم‌افزارهای مدلسازی ساخته‌اند و لازم است در موقعیت درست خود در نقشه‌ها قرار گیرند. برای این منظور لازم است این مدل‌ها زمین‌مرجع شوند و مقیاس درستی برای آنها تعریف شود. از طرفی ساختمان‌های پیچیده را نمی‌توان تنها با توصیفات مدلسازی کرد. برای رفع این مشکل لازم دانسته شده است که یک مخزن برای مدل‌های باز ساختمانی طراحی شود و با پایگاه داده‌ی OSM ارتباط داشته باشد. در نتیجه افرادی که در زمینه‌ی مدلسازی سه بعدی مهارت دارند، برای تکمیل مدل‌های سه بعدی شهری مشارکت می‌کنند. پروژه OpenBuildingModels به صورت آزمایشی گامی در این جهت برداشته است [۱۰،۱۳].

تحول چندضلعی‌های دوبعدی ساختمان‌ها به سمت مدلسازی سه بعدی گامی بزرگ است و هنوز بسیاری از مسائل آن حل نشده است. در نتیجه تحقیقات در زمینه‌ی ساختار داده‌ی مناسب و روش‌های مدلسازی و نمایش مدل‌های سه بعدی کاربرتولید مسئله‌ی مهمی است. همچنین تا کنون یک ساختار تعامل پذیر برای جمع‌آوری و اشتراک داده‌های سه بعدی در سیستم‌های مردم گستر وجود نداشته است.

### ۳- استانداردها و فن آوری‌های مرتبط

در سال‌های اخیر اکثر مدل‌های سه بعدی شهری مدل‌های کاملاً هندسی بوده و به جنبه‌های توپولوژیکی و مفهومی مدل توجهی نداشتند. در نتیجه این مدل‌ها فقط می‌توانند برای اهداف نمایشی استفاده شوند، اما برای پرسش و پاسخ‌های موضوعی، کارهای تحلیلی و داده‌کاوی فضایی مناسب نیستند. به علت همین محدودیت‌ها یک دیدگاه کلی‌تر برای پاسخگویی در زمینه‌ی کاربردهای متنوع بوجود آمد [۱۵]. زبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر، موسوم به CityGML<sup>۱</sup> یک مدل اطلاعات هوشمند برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های مجازی سه بعدی شهری است [۱۶]. این استاندارد که در سال ۲۰۰۶ به

ائتلاف اطلاعات مکانی باز یعنی OGC<sup>۲</sup> پیشنهاد شده، یک مدل داده‌ی باز است و اطلاعات سه بعدی هندسی و اطلاعات مفهومی را در یک مدل داده واحد با هم ترکیب می‌کند [۱۷،۱۸،۱۹]. نحوه بصری‌سازی CityGML مسئله مهمی است. T.H.Kolbe نویسنده اصلی CityGML بیان می‌کند که این فرمت برای نمایش، بهینه‌سازی نشده است و ایده مناسبی نیست که نماهای سه بعدی را مستقیماً از فایل‌های CityGML به نمایش درآورد [۲۰]. CityGML برای بصری‌سازی نیازمند حجم حافظه بیشتری است. فرمت‌های متعددی از جمله X3D<sup>۳</sup>، VRML<sup>۴</sup> و KML<sup>۵</sup> از برای نمایش هندسی CityGML فراهم هستند [۲۱]. از طرفی برای نمایش مدل‌های سه بعدی در وب استفاده از افزونه‌ها<sup>۶</sup> روش عمده بوده است. اگر بخواهیم مدل‌های CityGML را در مرورگر وب به صورت مستقیم و بدون نصب هیچ افزونه‌ای نمایش دهیم، تنها روش موجود این است که تصاویری از این مدل‌ها برای کاربر نمایش داده شود [۱۵،۲۲]. این تصاویر نماهای ثابتی از مدل را ارائه می‌دهند که روشی غیر تعاملی بوده و اجازه ناوبری در مدل را نمی‌دهند. اما این روش نیز بسته به نیاز کاربر می‌تواند مفید باشد. جدول ۱ مقایسه‌ای از فرمت‌های سه بعدی مختلف را نشان می‌دهد. برای هر کاربردی، این مسئله باید بررسی شود که فرمت انتخابی باید از چه نوع عوارضی پشتیبانی کند. با توجه به اینکه CityGML مبتنی بر XML است، می‌توان آن به سایر استانداردهای نمایشی سه بعدی تبدیل نمود [۱۵]. به نظر می‌رسد با توجه به قابلیت‌های CityGML و مشکلات مربوط به نمایش آن در وب، فرمت‌های X3D و VRML نزدیک‌ترین فرمت‌ها برای جایگزینی باشند [۱۴].

<sup>۲</sup> Open Geospatial Consortium (OGC)

<sup>۳</sup> EXtensible 3D Graphics(X3D)

<sup>۴</sup> Virtual Reality Modeling Language(VRML)

<sup>۵</sup> Keyhole Markup Language

<sup>۶</sup> Plugin

<sup>۱</sup> City Geography Markup Language (CityGML)

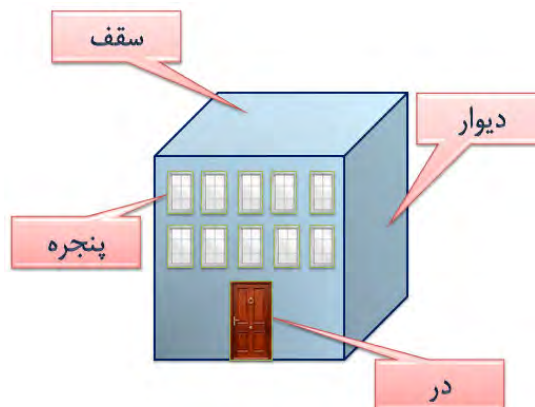
جدول ۱- بررسی قابلیت‌های فرمت‌های سه‌بعدی موجود [۱۴]

	DXF	SHP	VRML	X3D	KML	Collada	IFC	CityGML	3D PDF
هندسه	++	+	++	++	+	++	++	+	++
توپولوژی	-	-	0	0	-	+	+	+	-
قابلیت استفاده از بافت <sup>۱</sup>	-	0	++	++	0	++	-	+	+
پشتیبانی از چندین سطح جزئیات	-	-	+	+	-	-	-	+	-
Objects	0	+	+	+	-	-	+	+	+
مدل معنایی	+	+	0	0	0	0	++	++	+
ذخیره اطلاعات توصیفی	-	+	0	0	0	-	+	+	+
مبتنی بر ایکس.ام.ال	-	-	-	+	-	-	+	+	-
قابلیت نمایش در وب	-	-	+	++	++	+	-	+	0
زمین مرجع	+	+	-	+	+	-	-	+	+
استاندارد تصویب شده	++	++	++	0	++	+	0	+	++

- پشتیبانی نشده، 0 پشتیبانی ابتدایی، + پشتیبانی شده، ++ پشتیبانی توسعه یافته

#### ۴- ساختار پیشنهادی برای جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی ساختمان‌ها

در این تحقیق برای توصیف تعامل‌پذیر المان‌های اساسی ساختمان‌ها در محیط مردم‌گستر مواردی را مورد توجه قرار داده‌ایم که در ادامه شرح داده می‌شوند. نخست اینکه با توجه به مردم‌گستر بودن محیط اطلاعات، همواره باید توجه شود که غالب کاربران غیرمتخصص بوده و دانش کارشناسی و ابزارهای سنجش پیشرفته در اختیار ندارند. در نتیجه با بررسی المان‌های اساسی معماری ساختمان، آن اجزایی را در نظر گرفتیم که توسط عموم مردم قابل شناسایی و اطلاعات آن اجزا برای کاربران غیرمتخصص نیز قابل جمع‌آوری باشد. در نتیجه از میان المان‌های اساسی ساختمانی که در متن‌های اصلی معماری [۲۳] اشاره می‌شوند عناصر "در"، "پنجره"، "سقف" و "دیوار" را وارد سیستم کرده‌ایم که در شکل ۱ نیز نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱- نمایش المان‌های اصلی ساختمان

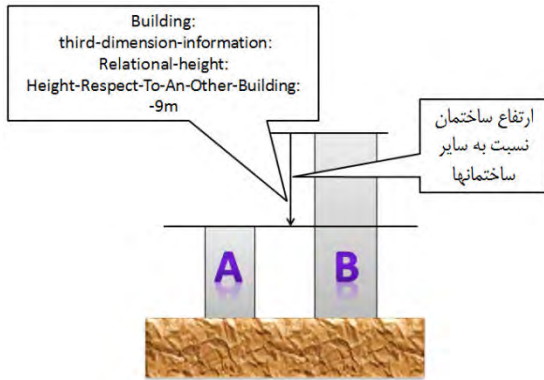
برای جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی این المان‌ها، گراف شکل ۲ را با تکیه بر نگرش هستی‌شناسی، توسعه داده‌ایم. تولید این‌گونه دسته‌بندی‌ها بر مبنای هستی‌شناسی اغلب خطا دار است و وابسته به نگرش و دانش فرد توسعه‌دهنده است. هر هستی‌شناسی به مرور و با نظر کارشناسان مختلف اصلاح می‌شود و بهبود می‌یابد. برای این منظور نوع اشیا و روابط بین اشیا با بیان سلسله مراتب، شباهت‌ها و تفاوت‌ها بیان می‌شود [۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷]. روش توسعه داده شده در این پژوهش را 3DVIBS<sup>۱</sup> نامگذاری کردیم. در این قسمت به دلیل محدودیت در ارائه حجم مطالب، تنها به شرح قسمت-های اصلی شکل ۲ می‌پردازیم. در این دسته‌بندی فرض کرده‌ایم که طبقات دارای ارتفاع یکسان هستند، چندضلعی مشخص‌کننده محدوده ساختمان یکپارچه است و همچنین تمام وجوه ساختمان ارتفاع یکسان دارند. در اینجا به طور کلی ساختمان یک شی لحاظ شده است که برای توصیف آن ۸ دسته اطلاعاتی را به عنوان کلاس‌های مجزا در نظر گرفته‌ایم. ساختمان دارای سطح خارجی است که برای توصیف آن کلاس Building\_Surface را در نظر می‌گیریم.

کلاس Location\_Info توصیف‌گر اطلاعات مکانی ساختمان خواهد بود. این اطلاعات شامل مختصات رئوس چندضلعی ساختمان برای محاسبه مختصات مرکزگون<sup>۲</sup> [۲۸] ساختمان خواهد بود و از آن برای زمین‌مرجع کردن مدل ساختمانی استفاده خواهد شد.

<sup>۱</sup> 3D Volunteered Interoperable Building System

<sup>۲</sup> Centroid





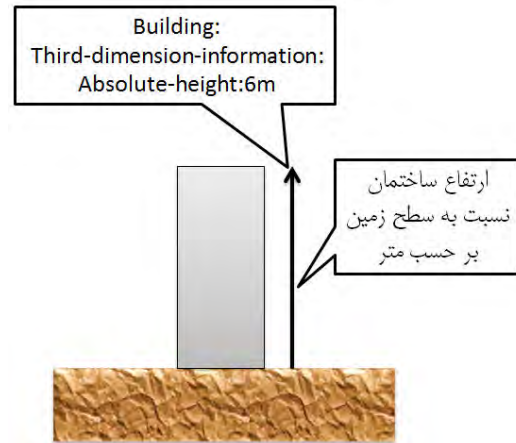
شکل ۵- روش افزودن ارتفاع ساختمان نسبت به یک ساختمان دیگر در روش Relative\_Height

چندضلعی مشخص‌کننده محدوده ساختمان تحت عنوان Boundary\_Shape معرفی می‌شود. حتما و تنها یک چندضلعی دوبعدی برای مشخص شدن مرز بیرونی ساختمان باید توصیف شود. این چندضلعی باید حداقل از ۴ نقطه تشکیل شده باشد به نحوی که نقطه اول و آخر بر هم منطبق باشند. در نتیجه اطمینان حاصل می‌شود که چندضلعی ساختمان بسته است و حداقل سه ضلع دارد. هر ساختمان از طبقاتی تشکیل شده است که اطلاعات طبقات در کلاس Levels قرار خواهد گرفت. ممکن است هر طبقه از ساختمان کاربری متفاوتی داشته باشد. اگر فرض یکسانی کاربری کل ساختمان نادرست باشد باید کاربری هر طبقه را جداگانه مشخص نمود. اطلاعات معماری ساختمان شامل مواردی چون سال ساخت و نوع معماری بنا به صورت قلم توصیفی در نظر گرفته شده است.

در طبقه‌بندی نشان داده شده در شکل ۲ برای توصیف ظاهر ساختمان، کلاسی به نام سطح ساختمان<sup>۱</sup> در نظر گرفته‌ایم. سطح ساختمان زیر کلاسی تحت عنوان Opening دارد، که ارتباط بین فضای داخلی و خارجی ساختمان به وسیله‌ی آن امکان‌پذیر می‌شود. المان‌های "در" و "پنجره" زیر کلاس‌هایی از Opening هستند. "در" و "پنجره" برای هر طبقه مشخص خواهند شد. همچنین برای "در" و "پنجره" دو وضعیت ثابت و متحرک لحاظ شده است. المان "در" دارای ویژگی‌هایی از جمله ابعاد، جنس، شکل ظاهری است. همچنین "در" برای اهداف مشخصی مثل ورودی یا خروجی، ورود و خروج یا خروج اضطراری ساخته می‌شود. همچنین نحوه باز و بسته شدن "در" به دو دسته اتوماتیک و دستی تقسیم می‌شود.

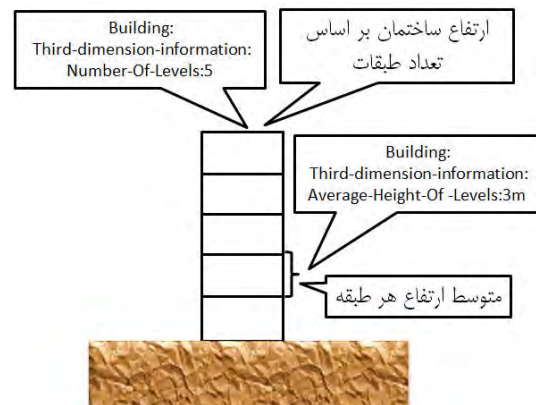
<sup>۱</sup> Building surface

نخست تحت زیرکلاس Absolute\_Height کاربر می‌تواند ارتفاع تقریبی آخرین طبقه از ساختمان را نسبت به سطح زمین بر حسب متر بیان کند. این روش در شکل ۳ نشان داده شده است.



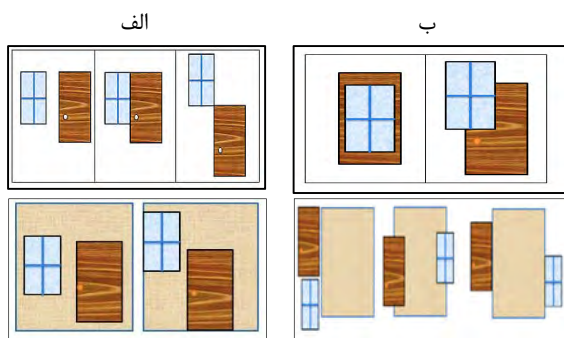
شکل ۳- افزودن ارتفاع ساختمان در روش Absolute\_Height

در روش دوم کاربر می‌تواند ارتفاع ساختمان را بر حسب تعداد طبقات و متوسط ارتفاع هر طبقه بیان کند. منظور از این روش در شکل ۴ نشان داده شده است. در روش سوم تحت زیرکلاس Relational\_Height کاربر می‌تواند ارتفاع ساختمان را نسبت به سایر ساختمان‌ها بیان نماید. این روش نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. هر ساختمان حداقل یک طبقه دارد و مقدار پیش‌فرض برای ارتفاع هر طبقه ۳ متر است.



شکل ۴- روش افزودن ارتفاع ساختمان بر حسب تعداد طبقات و متوسط ارتفاع هر طبقه

نباید روی هم قرار بگیرند، در و پنجره باید کاملاً داخل سطح دیوار قرار بگیرند. نمونه‌ای از اینگونه روابط در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷- دسته‌ی الف روابط توپولوژی مجاز برای در و پنجره در بالا و روابط توپولوژی مجاز برای در و پنجره با دیوار در پایین - دسته ب روابط توپولوژی غیر مجاز

همچنین در روش توسعه داده شده در این تحقیق راهکاری در نظر گرفته شده است تا کاربران خودشان بتوانند درباره تناسب داده‌های افزوده شده قضاوت کنند. در این شیوه هر کاربر خودش پس از تکمیل اطلاعات سه‌بعدی ساختمان، میزان نزدیکی به واقعیت را به درصد بیان می‌دارد. همچنین سایر کاربران می‌توانند درباره مدل‌های ساختمانی تهیه شده توسط سایر کاربران اظهار نظر نموده و به تصحیح و تکمیل آنها بپردازند. علاوه بر این یک روش مراقبت نیز در نظر گرفته شده است. کاربر امکان افزودن تصویری از ظاهر ساختمان را نیز دارد. با استفاده از تصویر امکان ارزیابی بیشتر فراهم می‌شود. همچنین در صورتی که تصویری از نمای ساختمان موجود باشد، از این تصویر به عنوان پوشش مدل سه‌بعدی استفاده خواهد شد.

ما به طور کلی یک روند برای تولید داوطلبانه‌ی مدل‌های سه‌بعدی ساختمان در نظر گرفته‌ایم که در شکل ۸ این روند مختصراً نمایش داده شده است و در اینجا از نمایش جزئیات مراحل صرف نظر کرده‌ایم.

زیر کلاس دیگری از المان‌های سطح خارجی ساختمان، دیوار است که جنس و ابعاد آن باید تعیین شود. بام ساختمان نیز با رنگ، جنس، شکل و شیب باید تعیین شود. به عنوان مثال در این تحقیق مجموعه‌ای از انواع بام [۲۹] برای مدلسازی منظور و در شکل ۶ نشان داده شده است.



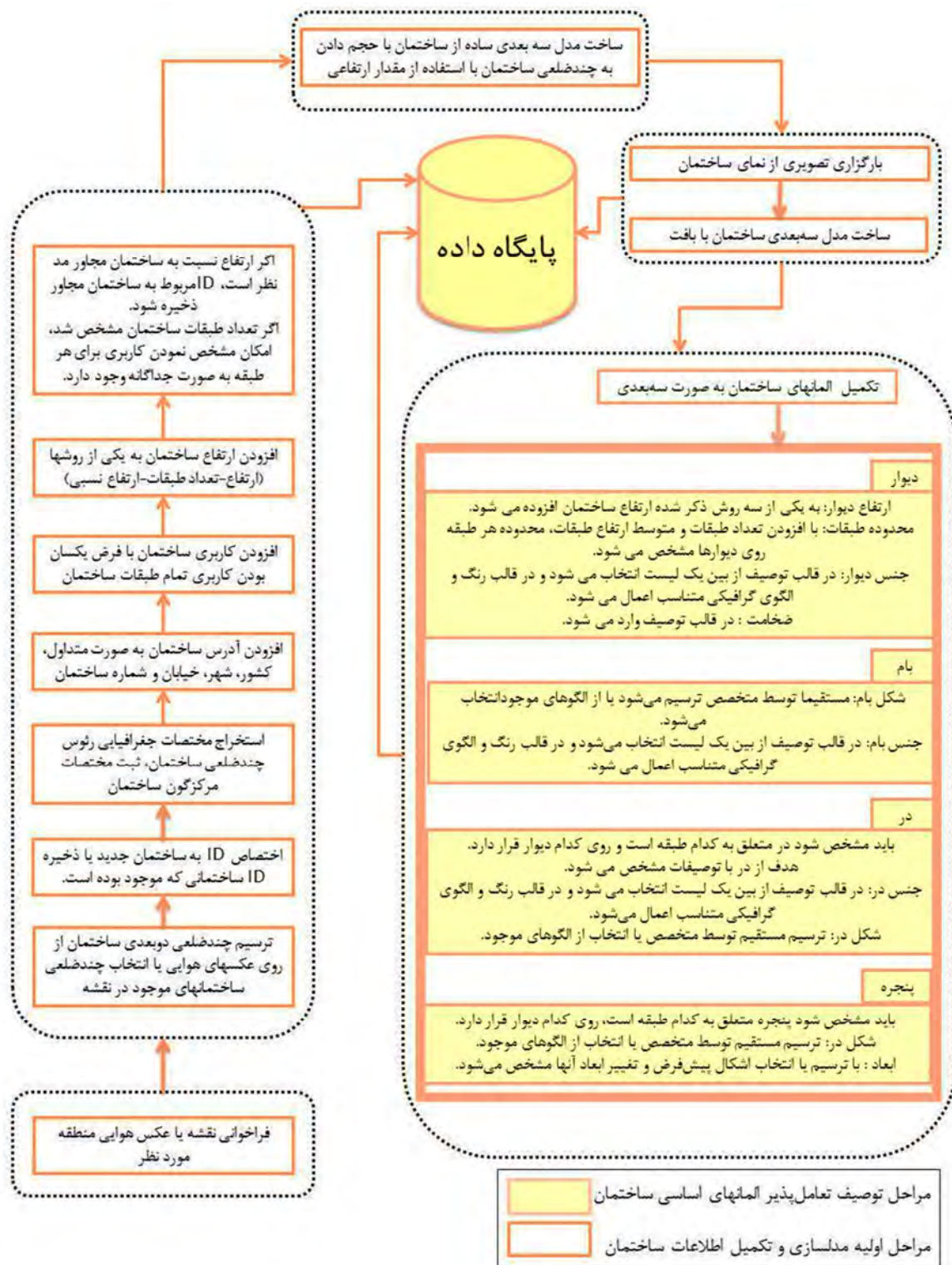
شکل ۶- برخی از انواع متداول بام  
(a) Gabled- (b) hipped roof- (c) pyramidal- (d) shed- (e) round- (f) mansard- (g) dome- (h) gambrel - (i) A frame- (j) conical - (k) Crow-stepped gable- (l) onion- (m) flat

## ۵- طراحی سیستم جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی ساختمان

محیط‌های مردم‌گستر معمولاً یک لایه نقشه اولیه در اختیار کاربران قرار می‌دهند، سپس کاربران در آن محیط به تکمیل و تصحیح اطلاعات موجود می‌پردازند [۳۰]. ما از نقشه‌های دو بعدی OSM به عنوان اطلاعات اولیه استفاده کرده‌ایم.

اعتمادپذیری به داده‌های مردم‌گستر بسته به اهمیت و دقت مورد نیاز در هر کاربردی متفاوت است. به هر حال با توجه به غیرمتخصص بودن کاربران، در محیط‌های مردم‌گستر خطا و کم‌دقتی وجود دارد. به ویژه در محیط‌های مردم‌گستر سه‌بعدی و ترسیم المان‌های سه‌بعدی، برای اجتناب از بروز اشتباه در ترسیم‌ها، بهتر است نظارت وجود داشته باشد. آنچه در این طراحی مد نظر است، امکان افزودن و اصلاح مستقیم اطلاعات سه‌بعدی توسط کاربران است. به همین دلیل در روش توسعه داده شده در این تحقیق یک سری قوانین توپولوژی مجاز و غیرمجاز مشخص شده است تا در حد امکان از بروز اشتباهات و ناسازگاری‌های منطقی جلوگیری شود. از جمله اینکه یک سری روابط توپولوژی مجاز و غیرمجاز برای در و پنجره و نیز در و پنجره با دیوار تعریف شده است. مثلاً در و پنجره





شکل ۸- روند پیشنهادی برای تولید داوطلبانه مدل‌های سه بعدی ساختمانی به روش 3DVIBS

بوده و مقیاس درستی خواهد داشت. همچنین به منظور افزودن ارتفاع ساختمان به یکی از سه روش بیان شده، یک سری فرایندها باید طی شود. حداقل اطلاعات مورد نیاز برای مدلسازی سه بعدی ساختمان، چندضلعی دوبعدی ساختمان و ارتفاع آن است.

ابتدا لازم است یک لایه اطلاعاتی اولیه به صورت نقشه‌های زمین مرجع یا عکسهای هوایی زمین مرجع در اختیار داشته باشیم. بدین ترتیب می‌توان به مختصات چندضلعی ساختمان دست پیدا کرد. با ذخیره‌سازی این مختصات، مدل سه بعدی ساختمان، یک مدل زمین مرجع

خیابان مربوطه جستجو می شود. سپس چندضلعی دوبعدی ساختمان روی تصویر هوایی یا نقشه ترسیم می شود. این نقشه ها زمین مرجع هستند. بدین ترتیب مختصات چندضلعی ساختمان قابل ذخیره سازی است. با استفاده از مختصات رئوس این چندضلعی، مختصات مرکزگون ساختمان محاسبه می شود. مرکزگون یا مرکز هندسی یک شکل دوبعدی عبارت است از میانگین حسابی موقعیت تمام نقاط شکل، که به طور کلی با روابط ۱ و ۲ مشخص می شود [۲۸]. مولفه افقی مرکزگون با  $C_x$  و مولفه عمودی با  $C_y$  بیان شده است.

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (1)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2)$$

که در آن  $A$  از رابطه ۳ بدست می آید:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (3)$$

کاربر حتما باید ارتفاع ساختمان را وارد کند تا بتواند یک مدل ساده سه بعدی از ساختمان را مشاهده کند. برای اینکه مدل واقعی تری از ساختمان ساخته شود، کاربر می تواند به صورت اختیاری تصویری از نمای ساختمان را بارگذاری نماید تا تصویر ساختمان به عنوان بافت (تکسچر) روی ساختمان قرار گیرد. در شکل ۹ نمایی از سیستم پیاده سازی شده را مشاهده می کنید که در آن ساختمان هایی به همین شیوه مدل سازی شده اند.

در ادامه ی این روند، مراحل برای تکمیل مدل سه بعدی ساختمان و واقعی تر شدن مدل سه بعدی باید طی شود. این فرایند شامل افزودن تصویری از نمای ساختمان و نیز افزودن اطلاعات سایر المان ها شامل سقف، در و پنجره می باشد. کاربرانی که در زمینه ترسیم سه بعدی تخصصی ندارند می توانند با بارگذاری تصویر نمای ساختمان در این مسئله مشارکت کنند. بدین ترتیب از تصاویر برای بافت نمای ساختمان استفاده می شود و مدل واقعی تری از ساختمان تهیه می شود. علاوه بر این می توان با توجه به تصویر نمای ساختمان، جای در و پنجره ها را راحت تر تشخیص داد و به روشی مشابه رقمی سازی تصاویر ماهواره ای نمای ساختمان را رقمی سازی نمود. همچنین یک مجموعه آماده از انواع در و پنجره و سقف نیز در نظر گرفته شده است. مثلا کاربر می تواند با مشاهده مدل های آماده سقف، مدلی که به سقف ساختمان مورد نظرش شبیه تر است، انتخاب کرده و به راحتی از آن استفاده کند. این روش همانند قرار دادن قطعات پازل در مکان مناسب است.

## ۶- پیاده سازی

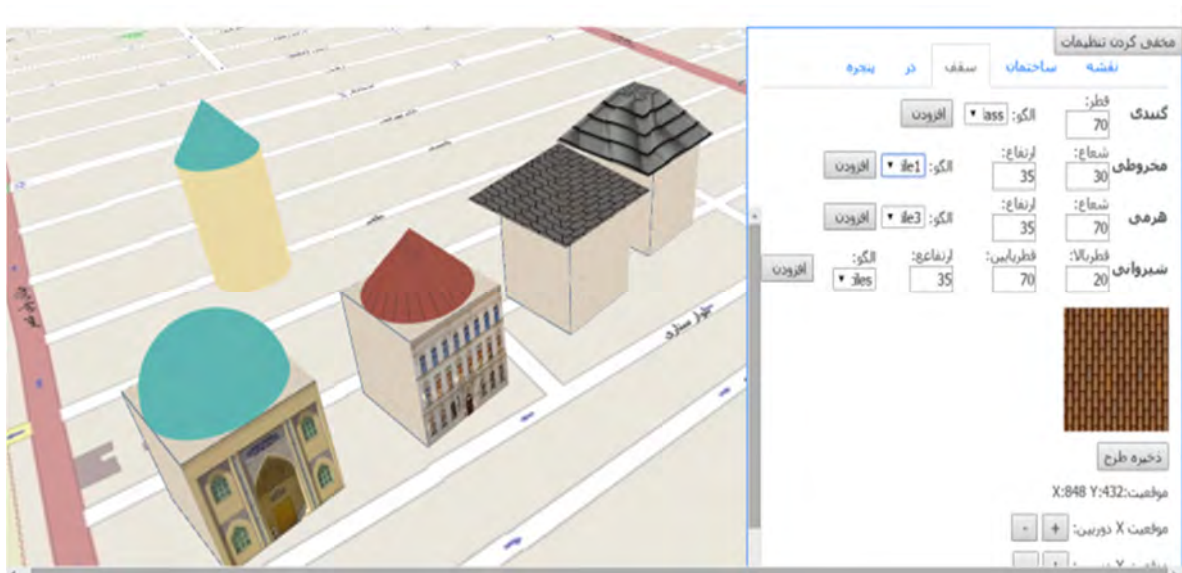
به منظور پیاده سازی مدل سازی سه بعدی ساختمان ها در محیط اطلاعاتی مردم گستر، به روش 3DVIBS که در بالا تشریح شد، از برنامه نویسی Asp.net استفاده کرده ایم. محیط برنامه در بستر وب پیاده سازی شده و یک وب سایت آزمایشی در نظر گرفته ایم. تکمیل مدل سه بعدی ساختمانی به صورت گام به گام انجام می شود. ابتدا نقشه ی منطقه مورد نظر با استفاده از ابزار جستجوی مکانی از OSM فراخوانی می شود، مثلا اسم یک شهر و



شکل ۹- نمایی از سیستم پیاده سازی شده در محیط وب- در این تصویر مدل سه بعدی ساختمان های دانشکده نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و برج های اسکان از طریق بارگذاری تصویر نمای ساختمان، تهیه شده اند.

کاربر نمونه‌های از پیش آماده‌ای از سقف‌ها را مشاهده نموده و از بین آنها آنچه به مدل سقف ساختمان شبیه‌تر است را انتخاب می‌کند. نحوه‌ی تنظیم شدن بام روی چارچوب ساختمان به این صورت است که مختصات گوشه‌های بام با گوشه‌های چندضلعی دو بعدی ساختمان مطابقت داشته باشد و یا تا حد امکان به آن نزدیک باشد و یا مرکزگون بام با مرکز گون چندضلعی ساختمان منطبق شود. کاربر قادر خواهد بود ابعاد این مدل‌های آماده‌ی سقف و جنس سقف را نیز تغییر دهد و یا سقف را حول محور عمودی دوران دهد. در شکل ۱۰ نمونه‌هایی از سقف‌های هرمی، گنبدی، مخروطی و شیروانی را مشاهده می‌کنید که در این سیستم مدلسازی شده‌اند.

کاربر می‌تواند نمونه‌های از پیش‌آماده‌ای از درها را مشاهده نموده و از بین آنها آنچه به مدل در ساختمان شبیه‌تر باشد، انتخاب کرده و روی محل در، روی دیوار نصب کند، کاربر می‌تواند ابعاد در را نیز تنظیم نماید و آن



شکل ۱۰- نحوه افزودن انواع سقف در سیستم پیاده‌سازی شده



شکل ۱۱- نحوه افزودن در و پنجره در سیستم پیاده‌سازی شده



شکل ۱۲- نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی که در سیستم پیاده‌سازی شده 3DVIBS تهیه شده‌اند.

## ۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پایگاه اطلاعات مکانی مردم‌گستر که به صورت مستقیم به کاربران اجازه افزودن و اصلاح اطلاعات سه‌بعدی ساختمان‌ها را بدهد، وجود نداشته است. همچنین عدم وجود یک ساختار تعامل‌پذیر برای جمع‌آوری و اشتراک داده‌های سه‌بعدی در سیستم‌های مردم‌گستر یکی از معضلات وضعیت موجود است. به نظر می‌رسد یک رابط کاربری مناسب و قابل درک در پایگاه‌های مردم‌گستر برای جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی در اختیار کاربران قرار نگرفته است. در واقع کاربران با وارد شدن به یک سیستم مردم‌گستر که حتی در ظاهر نیز دویبعی است، درک چندانی از چگونگی افزودن اطلاعات سه‌بعدی نخواهند داشت.

ما در چارچوب فعالیت حاضر به بررسی راهکارهایی برای افزایش مشارکت کاربران در تولید مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی پرداختیم. برای جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی ساختمانی یک دسته‌بندی سلسله‌مراتبی توسعه دادیم و ارتباط بین اجزای مختلف ساختمان را مشخص نمودیم. همچنین در روش پیشنهاد شده، با استفاده از تصاویر نمای ساختمان برای بافت، می‌توان مدلسازی واقعی تری انجام داد، همچنین کاربران به کمک آن تصویر می‌توانند راحت‌تر به تکمیل مدل سه‌بعدی ساختمان بپردازند. از طرفی برای افزایش مشارکت کاربرانی که تخصص کافی در ترسیم مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی ندارند، این امکان را فراهم کردیم تا با استفاده از یک مجموعه‌ای از پیش‌ترسیم شده‌ی اجزای ساختمانی (بام، در، پنجره) با کنار هم قرار دادن این اجزا به صورت قطعات یک پازل، به ساخت این مدل‌های ساختمانی بپردازند. همچنین کاربران متخصص نیز می‌توانند به تکمیل این جزئیات بپردازند و آنها را اصلاح کنند. به نظر می‌رسد این تحقیق با ارائه روش

برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری به اطلاعات و جزئیات زیادی نیاز است. تهیه این جزئیات نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار زیادی است. به همین دلیل استفاده از محیط‌های مردم‌گستر برای دستیابی به این جزئیات می‌تواند سودمند باشد. داده‌های مورد نیاز برای تهیه یک سیستم اطلاعات مکانی سه‌بعدی در محیط‌های اطلاعاتی مردم‌گستر را نمی‌توان تنها از عکس‌های هوایی دویبعی کسب کرد. برای این منظور اطلاعات اضافی لازم است. کاربران اغلب اطلاعات پیرامون خود را جمع‌آوری و به اشتراک می‌گذارند. به ویژه اطلاعات سه‌بعدی اغلب از طریق افرادی قابل کسب است که در آن محیط حضور داشته‌اند. در واقع افرادی می‌توانند جزئیات مدل سه‌بعدی یک ساختمان را اشتراک بگذارند که ساختمان را دیده باشند. بنابراین بسیار مهم است که تعداد مشارکت‌کنندگان از تمام نواحی باشد. بدین ترتیب استفاده از دانش عمومی کاربران غیرمتخصص مسئله‌ی مهمی است.

تحقیقات در زمینه‌ی ساختار داده‌ی مناسب و روش‌های مدلسازی و نمایش مدل‌های سه‌بعدی کاربرتولید مسئله‌ی مهمی است و هنوز بسیاری از مسائل آن حل نشده است. تا کنون دو دیدگاه برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری وجود داشته است، که یکی تهیه مدل‌های ساختمانی پارامتری و دیگری بر مبنای استفاده از مدل‌های سه‌بعدی کامل، بوده است. روش‌های قبلی از یک ساختار مناسب برای جمع‌آوری اطلاعات سه‌بعدی ساختمان‌ها استفاده نکرده بودند، همچنین تعامل‌پذیری کمتری با کاربران داشتند. این روش‌ها به مشارکت کاربران غیرمتخصص توجهی نداشته است. تا کنون

قرار گیرد. گرچه معترف هستیم که تا یک سیستم مردم‌گستر سه‌بعدی فاصله زیادی وجود دارد ولی فعالیت حاضر را می‌توان از نخستین قدم‌ها در این زمینه دانست.

3DVIBS و طراحی یک وب‌سایت آزمایشی، تا حدودی توانسته ضمن ایجاد تعامل‌پذیری بیشتر با کاربر، به عنوان راه‌حلی برای افزایش تعداد مشارکت‌کنندگان مورد توجه

## مراجع

- [1] Walenciak.G, Stollberg.B, Neubauer.S, Zipf.A, (2009), Extending Spatial Data Infrastructures 3D by Geoprocessing Functionality 3D Simulations in Disaster Management and environmental Research, The International Conference on Advanced Geographic Information.
- [2] Lin.W, (2013), When Web 2.0 Meets Public Participation GIS (PPGIS): VGI and Spaces of Participatory Mapping in China, Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, springer, pp:83-103 .,DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2\_6.
- [3] Goetz.M, zipf.A, (2013), the Evolution of Geo-crowdsourcing: bringing volunteered Geographic information to the third dimension, Springer, Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, chapter:9 .,pp:139-159, DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2\_9.
- [4] Feick.R, Roche.S, (2013), Understanding the value of VGI, Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, Springer, pp:15-29, DOI :10.1007/978-94-007-4587-2\_2.
- [5] Castelein.W, Grus.L, Cromptvoets. J, Bregt.A, (2010), A characterization of Volunteered Geographic Information, 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science ,Guimarães, Portugal.
- [6] Goodchild.M. F, (2007), Citizens as sensors: the world of volunteered geography, GeoJournal, volume: 69, pp: 211 ,۲۲۱–DOI: 10.1007/s10708-007-9111-y.
- [7] Walenciak.G, Stollberg.B, Neubauer.S, Zipf.A, (2009), Extending Spatial Data Infrastructures 3D by Geoprocessing Functionality 3D Simulations in Disaster Management and environmental Research, The International Conference on Advanced Geographic Information Systems & Web Services ,GEOWS, Page(s): 40- 44 .DOI: 10.1109/GEOWS.
- [8] Over.M, Schilling.A, Neubauer. S, Zipf. A, (2010), Generating web-based 3D City Models from OpenStreetMap: The current situation in Germany, Computers, Environment and Urban Systems, volume: 34, pp:496-507, DOI:10.1016/j.compenvurbsys.
- [9] <http://www.openstreetmap.org>. Retrieved September 09, 2014.
- [10] Uden.M, Zipf.A, (2013), OpenBuildingModels - Towards a Platform for Crowdsourcing Virtual 3D Cities - Chair of GIScience, Springer, Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences, pp: 299-314 , DOI: 10.1007/978-3-642-29793-9\_17.
- [11] Schilling.A, Over.M, Neubauer.S, Neis.P, Walenciak.G, Zipf. A, (2009), Interoperable Location Based Services for 3D cities on the Web using user generated content from OpenStreetMap, In: 27th urban data management symposium, Ljubljana, Slovenia.
- [12] Schilling.A .OpenStreetMap Globe. Retrieved June 17, 2014 ,from [www.osm-3d.org/map.htm](http://www.osm-3d.org/map.htm).
- [13] OpenBuildingModels Beta. Retrieved December 20, 2014, from [www.openbuildingmodels.uni-hd.de](http://www.openbuildingmodels.uni-hd.de).
- [14] Izkara.J. L, Delgado del Hoyo. F.J,(2012),Efficient Visualization of the Geometric Information of CityGML: Application for the Documentation of Built Heritage, Iñaki Prieto1, ICCSA, Part I, LNCS 7333, pp:529-544, Springer.
- [15] OGC Web Terrain Server (WTS).Open GIS Consortium Inc.Date: 2001-08-24, Reference number of this OpenGIS Project Document: OGC 01-061, Version: 0.3.2, Category: OpenGIS OGC Interoperability Program Report, Editor: Raj R. Singh.
- [16] OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Publication Date: 2012-04-04, External identifier of this OGC document: [www.opengis.net/spec/citygml/2.0](http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0), Reference number of this OGC project document: OGC 12-019, Version: 2.0.0, Category: OpenGIS Encoding Standard, Editors: Gerhard Gröger, Thomas H. Kolbe, Claus Nagel, Karl-Heinz Häfele.

- [17] Moa.B.(2010), Visualization and generalization of 3d city models, Doctoral thesis, Geoinformatics division, department of urban planning and environment, royal institute of technology(KTH), SE-100 44 STOCKHOLM, Sweden, ISBN 978-91-7415-715-4.
- [18] Kumke.H, Hoegner.L, Meng. L, Stilla. U, (2007), Visualization of Building Models and Factual Data integrated by CityGML. In: International Conference on Communications.
- [19] Métral.C, Falqueta.G, Cutting-Decelle.A.F,(2009),TOWARDS SEMANTICALLY ENRICHED 3D CITY MODELS : an ontology based approach, In proc. of the GeoWeb conf., Vancouver, Canada, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- [20] Kolbe.T.H, (2008), Representing and exchanging 3D city models with CityGML. In: 3D Geo-Information Sciences. Springer, Berlin.
- [21] Alizadehashrafi.B, Abdul-Rahman.A, (2011), Enhancing textures of 3D building façade. In:10th International Symposium & Exhibition on Geoinformation, ISG 2011 & ISPRS Commission II/5 & II/7 Conference, pp. 181-190.
- [22] Hagedorn.B,Döllner. J, (2008), Web Perspective View Service – Overview and Initiative.In:OGC TC Meeting, Potsdam.
- [23] Farrelly.L, (2007), The fundamental of architecture, ISBN 2-940373-48-5 and 978-2-940373-48-2, AVA Publishing SA.
- [24] Ontology. Retrieved March 20, 2014, from [semanticweb.org/wiki/Ontology](http://semanticweb.org/wiki/Ontology).
- [25] Gruber.T. R, (1995), Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing, International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, Issues 4-5, pp: 907-928. doi:10.1006/ijhc.1995.1081.
- [26] Corazzon.R,(2014), Ontology. Theory and History from a Philosophical Perspective, <http://www.ontology.co/>, retrieved 2014,july.
- [27] Antoniou.G, van Harmelen.F, (2004), A semantic web primer, the MIT press, Cambridge, Massachusetts, London. England, ISBN: 0-262-01210-3.
- [28] Bourke.p. Calculating the area and centroid of a polygon, <http://paulbourke.net/geometry/polygonmesh>.
- [29] List of roof shapes. (2014) Retrieved February 14, 2014, from [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_roof\\_shapes](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_roof_shapes).
- [30] Glushko.S, Volunteered Geographic Information, Canadian internet policy and public interest clinic (CIPPIC), <https://www.cippic.ca/FAQ/vgi>, retrieved at 3/5/2014.
- [31] X3D, Retrieved January 23, 2014, from <http://www.web3d.org/x3d/specifications/x3d/>
- [32] Abdul-Rahman.A, Pilouk.M,(2008), Spatial Data Modelling for 3D GIS, ISBN 978-3-540-74166-4, Springer Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [33] Sui.D, Elwood. S, Goodchild. M, (2014), Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice, Dordrecht, Netherlands and Heidelberg, Germany: Springer. Journal of Regional Science, Volume 54, Issue 4, pp 724. DOI: 10.1111/jors.12154.
- [34] Neutens.T, De Maeyer.P,(2010), Developments in 3D Geo-Information Sciences, ISSN 1863-2246, DOI 10.1007/978-3-642-04791-6, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [35] Kolbe.T.H, König.G, Nagel.C,(2011), Advances in 3D Geo-Information Sciences, ISSN 1863-2246, DOI 10.1007/978-3-642-12670-3, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [36] Tom Gruber,(2009) Ontology, in the Encyclopedia of Database Systems, Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, Retrieved May 10, 2014, from [tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm](http://tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm).
- [37] Zlatanova.S, Proserpio.D,(2006), Large-scale 3D data integration, Challenges and Opportunities, ISBN 0-8493-9898-3, Springer, CRC Press, Taylor & Francis Group.