Journal of Research on Archaeometry, 2019; 5 (1):167–177

Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.5.1.167

URL: http://jra-tabriziau.ir/

Technical Note

Using Dynamic Pulse Function for Semantic 3D modeling of Historical Landmarks

Behnam Alizadehashrafi*, Samad Roohi

Multimedia Department, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN

Received: 15/04/2019 **Accepted: 21/06/2019**

Abstract

The pulse function (PF) is a technique based on procedural preprocessing system to generate a computerized virtual photo of the façade with in a fixed square size. Dynamic Pulse Function (DPF) is an enhanced version of PF which can create the final photo, proportional to real geometry. This can avoid distortion while projecting the computerized photo on the generated 3D model. The challenging issue that might be handled for having 3D model in LoD3 rather than LOD2, is the final aim that have been achieved in this paper. In this research the parameters of Dynamic Pulse Functions are utilized via Ruby programming language in SketchUp Trimble to generate (exact position and deepness) the windows and doors automatically in LoD3 based on the same concept of DPF. The advantage of this technique is automatic generation of huge number of similar geometries e.g. windows by utilizing parameters of DPF along with defining entities and window layers. In case of converting the SKP file to CityGML via FME software or CityGML plugins the 3D model contains the semantic database about the entities and window layers which can connect the CityGML to MySQL. The concept behind DPF, is to use logical operations to project the texture on the background image which is dynamically proportional to real geometry. The process of projection is based on two vertical and horizontal dynamic pulses starting from upper-left corner of the background wall in down and right directions respectively based on image coordinate system. The logical one/zero on the intersections of two vertical and horizontal dynamic pulses projects/does not project the texture on the background image. It is possible to define priority for each layer. For instance the priority of the door layer can be higher than window layer which means that window texture cannot be projected on the door layer. Orthogonal and rectified perpendicular symmetric photos of the 3D objects that are proportional to the real façade geometry must be utilized for the generation of the output frame for DPF. The DPF produces very high quality and small data size of output image files in quite smaller dimension compare with the photorealistic texturing method. The disadvantage of DPF is its preprocessing method to generate output image file rather than online processing to generate the texture within the 3D environment such as CityGML. Furthermore the result of DPF can be utilized for 3D model in LOD2 rather than LOD3. In the current work the random textures of the window layers are created based on parameters of DPF within Ruby console of SketchUp Trimble to generate the deeper geometries of the windows and their exact position on the façade automatically along with random textures to increase Level of Realism (LoR). As the output frame in DPF is proportional to real geometry (height and width of the façade) it is possible to query the XML database and convert them to units such as meter automatically. In this technique, the perpendicular terrestrial photo from the façade is rectified by employing projective transformation based on the frame which is in constrain proportion to real geometry. The rectified photos which are not suitable for texturing but necessary

* Corresponding author: b.alizadehashrafi@tabriziau.ac.ir

for measuring, can be resized in constrain proportion to real geometry before measuring process. Height and width of windows, doors, horizontal and vertical distance between windows from upper left corner of the photo dimensions of doors and windows are parameters that should be measured to run the program as a plugins in SketchUp Trimble. The system can use these parameters and texture file names and file paths to create the façade semi-automatically. To avoid leaning geometry the textures of windows, doors, etc, should be cropped and rectified from perpendicular photos, so that they can be used in the program to create the whole façade along with its geometries. Texture enhancement should be done in advance such as removing disturbing objects, exposure setting, left-right up-down transformation, and so on. In fact, the quality, small data size, scale and semantic database for each façade are the prominent advantages of this method.

Keywords: Random Textures, Historical Landmarks, Dynamic Pulse Function, Automatic 3D Location based Semantic Modeling

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۸؛ ۵(۱): ۱۶۷-۱۷۷

پژوهه باستان‌سنجی

URL: http://jra-tabriziau.ir/

DOI: 10.29252/jra.5.1.167

دانشگاه هنر اسلامی تبریز ۱۳۷۸

یادداشت فنی

استفاده از تابع پالس پویا برای مدل‌سازی مفهومی سه‌بعدی بناهای تاریخی[۱]

بهنام علیزاده اشرفی*[۱]، صمد روحی[۲]

۱. استادیار دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۲. مربی دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۳۱

چکیده

تابع پالس پویا (Dynamic Pulse Function) (DPF) نسخه بهبودیافته‌ای از PF (Pulse Function) است. این تابع تصویر نهایی را بر اساس هندسه واقعی و متناسب با عرض و ارتفاع نما تولید می‌نماید. الگوریتم DPF در زمان نگاشت آن بر روی مدل سه‌بعدی، از اعوجاج تصویر جلوگیری می‌کند. با توجه به اینکه هر دو الگوریتم تابع پالس و تابع پالس پویا نوعی از روش‌های بافت سازی رویه‌ای محسوب می‌شوند، در این مقاله هدف ایجاد مدل‌هایی با سطح جزییات رده ۳ (LoD3) است. در روش‌های برگرفته از الگوریتم DPF که با جزئیات LoD2 ایجاد می‌شوند، هندسه پنجره‌ها و درها در یک فایل شمای XML (Extensible Markup Language) که هیچ اتصالی با مدل سه‌بعدی برای مثال در فرمت CityGML (فرمت تبدیل داده–Data exchange format) ندارد، ذخیره می‌گردد و بافت تصویری به شکل دوبعدی و با واقع‌گرایی بالایی بدون مشکل خوابیدگی هندسه‌های فرورفته یا برآمده، ایجاد می‌گردد. در این تحقیق، پارامترهای مربوط به DPF با به‌کارگیری زبان برنامه‌نویسی Ruby در نرم‌افزار SketchUp Trimble، به‌منظور تولید خودکار موقعیت دقیق و عمق پنجره‌ها و درها با جزئیات LoD3 و بر اساس الگوریتم DPF به‌دست‌آمده است. مزیت استفاده از این روش، تولید خودکار تعداد انبوهی از هندسی‌های مشابه و بافت‌های تصادفی از نمای واقعی ساختمان است. پنجره‌ها و درها و سایر المان‌های نما با استفاده از پارامترهای الهام گرفته از DPF همراه با تعریف موجودیت‌ها و لایه‌های پنجره‌ها و عمق دقیق آن‌ها، به‌طور خودکار ایجاد می‌گردند. این الگوریتم می‌تواند کاربرد بسیاری در مدل‌سازی بناهای تاریخی داشته باشد که علاوه بر کیفیت بالا و حجم پایین، در آن می‌توان پایگاه داده مکان محور توصیفی برای همه المان‌ها ایجاد کرد.

واژگان کلیدی: پایگاه داده توصیفی مکان محور، بناهای تاریخی، تابع پالس پویا، بافت‌های تصویری تصادفی

* مسئول مکاتبات: تبریز، بلوار آزادی، میدان حکیم نظامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱

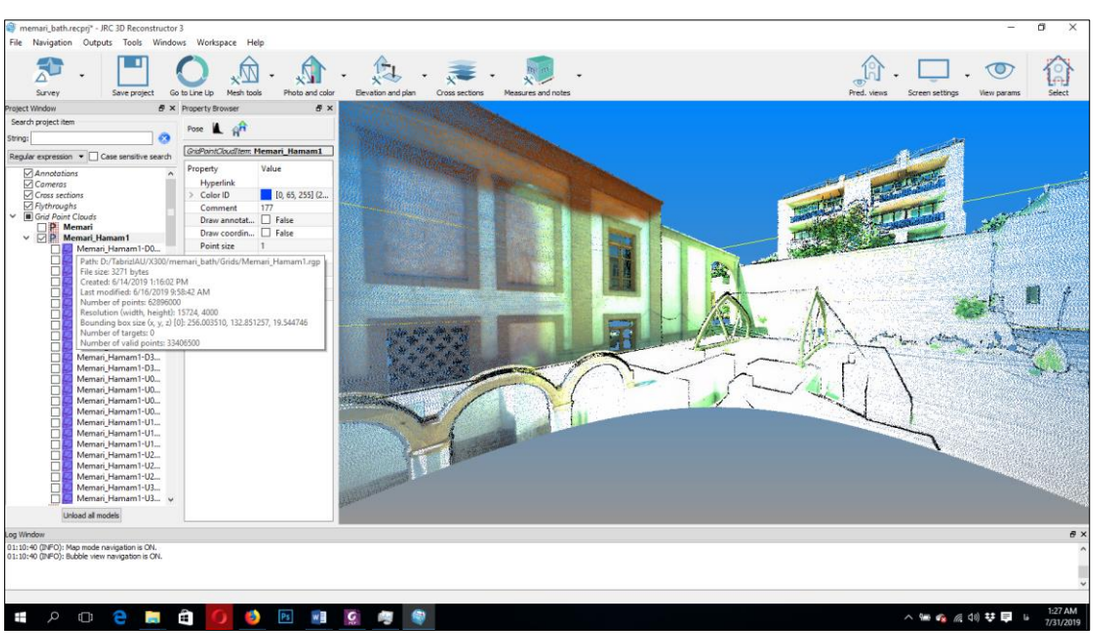
آدرس الکترونیکی: b.alizadehashrafi@tabriziau.ac.ir

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

۱. مقدمه

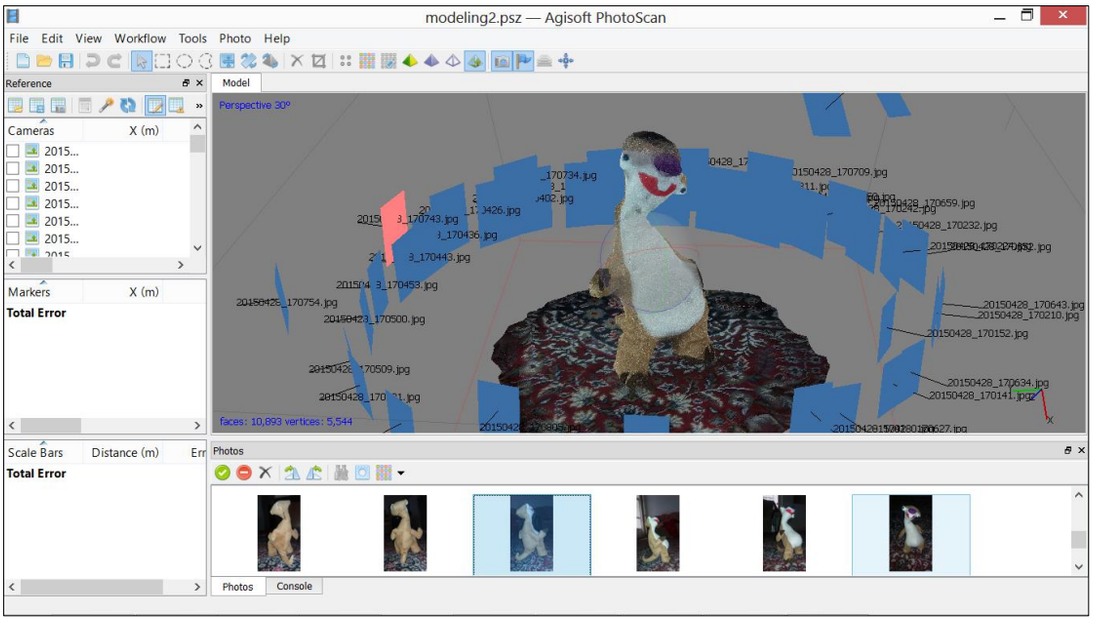
روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی سه‌بعدی برای اهداف مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال، به‌منظور داشتن مدل‌های سه‌بعدی با دقت بسیار بالا از آثار باستانی و مکان‌های تاریخی روش اسکن لیزری که از نوع سنجش از راه دور فعال بشمار می‌رود، با به‌کارگیری ابزارهای نقشه‌برداری حرفه‌ای از قبیل Stonex X300، Trimble (Mensi) GS200 و یا TopCon 7000i استفاده می‌شود. اسکنر لیزری Trimble (Mensi) GS200 از نوع Time-of-Flight با زاویه دید ۳۶۰ درجه افقی و ۶۰ درجه عمودی است. این دستگاه‌ها معمولاً یک واگرایی با پرتو کوتاه با دقت ۱,۴ میلی‌متر در ۵۰ متر دارد[1]. ابر نقاط معمولاً دارای حجم عظیم داده‌ای متناسب با دقت برداشت اسکنر لیزری است. ابر نقاط ممکن است دارای حفره‌هایی باشد که به علت کور بودن نقاط و یا عدم برخورد لیزر به‌واسطه موانع، هیچ داده‌ای برای آن‌ها ثبت نشود. روش‌هایی خودکار جهت پر کردن حفره‌ها در برنامه‌های کاربردی مربوط به اسکنرهای لیزری وجود دارد که به کمک اسکن‌های دیگر و یا نقاط مجاور، انجام می‌گیرد. کلیه دستگاه‌هایی که هر نوعی از انرژی را تولید و انتشار داده و انعکاس آن را ثبت می‌کنند، تحت عنوان سنجش از راه دور فعال (Active Remote Sensing) طبقه‌بندی می‌شوند. در شکل ۱ ابر نقاط برداشت‌شده با استفاده از اسکنر Stonex X300 مربوط به حمام تاریخی حاجی جعفر دایی که در سال‌های اخیر در دانشکده معماری دانشگاه هنر اسلامی تبریز کشف و مرمت‌شده است را نشان می‌دهد.

با به‌کارگیری سیستم ZScan توسط نرم‌افزار Menci می‌توان از اخذ داده‌های فتوگرامتری در مدل‌های سه‌بعدی استفاده نمود. سیستم ZScan یک ابزار اسکن سه‌بعدی برای اخذ نقاط ابری با استفاده از یک دوربین کالیبره و تعبیه‌شده به همراه یک نرم‌افزار استفاده‌شده در تطبیق تصاویر (Image Matching) است که از روش‌های سنجش از راه دور از نوع غیرفعال بشمار می‌رود (Passive Remote sensing). اخذ تصاویر با انتقال دوربین بر روی یک نوار کالیبره شده در سه موقعیت مختلف با یک‌پایه مشخص انجام می‌گیرد[1]. در سنجش از راه دور از نوع غیرفعال، سیستم هیچ‌گونه انرژی‌ای تولید نمی‌کند و اندازه‌گیری بر اساس انرژی منعکس‌شده از اشیاء است که می‌تواند انرژی خورشید یا یک لامپ و یا گرمای مربوط به خود

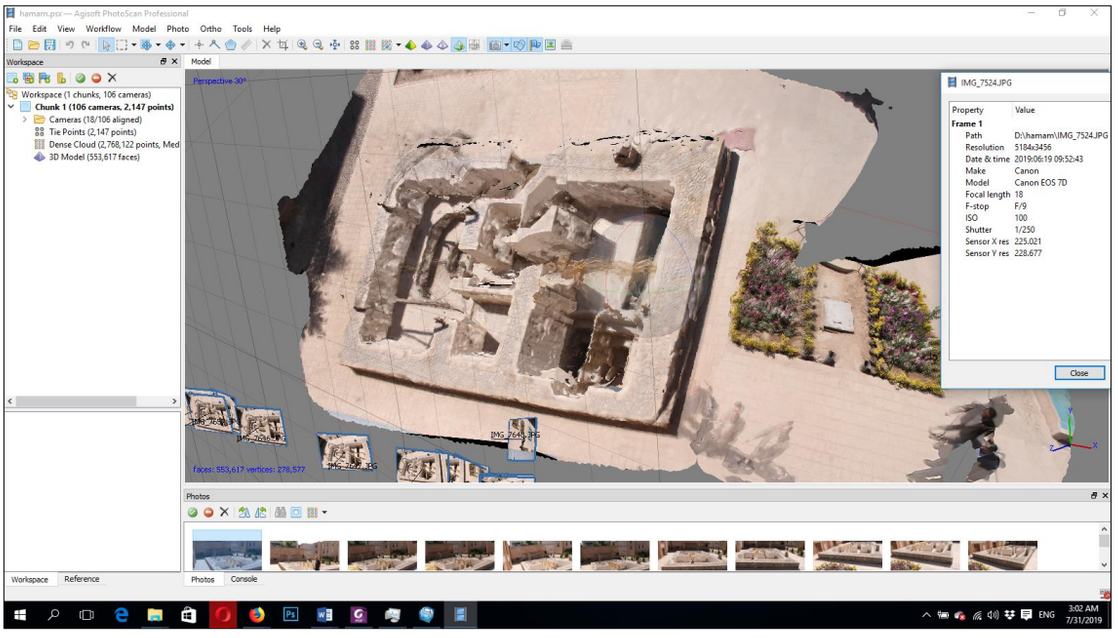


شکل ۱: ابر نقاط مربوط به حمام تاریخی حاجی جعفر دائی (62896000 points) (سنجش از راه دور فعال)
Fig. 1: The point clouds of historical Hji Jafar Daei Bath via active RS

اشیاء مانند دوربین‌های مادون‌قرمز دید در شب باشد. ازآنجایی‌که سیستم تطبیق تصاویر بار زیادی بر روی واحد پردازنده مرکزی و گرافیکی سامانه دارد، می‌توان از روش‌های بهینه‌شده‌ای مانند تطبیق بر اساس خطوط اپیپولار (Epippolar geometry) که قادر به انجام تطبیق تصاویر در یک بعد (به‌جای تطبیق دوبعدی) هستند، استفاده کرد. این امر موجب کاهش سربار و زمان پردازش خواهد شد، چراکه پیچیدگی الگوریتم از $(O(n^2))$ به $(O(n))$ تقلیل خواهد یافت. همچنین نرم‌افزار کاربردی Agisoft Photoscan که می‌توان با استفاده از آن ابتدا عدسی دوربین را با روش نرم‌افزاری از روی تصاویر گرفته‌شده با زوم ثابت و ISO پایین‌تر از ۱۰۰ جهت کاهش نویز تصویر، کالیبره کرد و سپس ابر نقاط را به روش تطبیق تصاویر ایجاد کرد. این روش نیز در دسته سامانه‌های سنجش از راه دور از نوع غیرفعال به شمار می‌رود. با این روش به‌راحتی می‌توان نقاط ابری و سپس شبکه‌ای از مثلث‌های نامنظم و درنهایت بافت تصویری که ترکیبی از کلیه تصاویر است، را ایجاد کرد که منجر به مدل‌های سه‌بعدی سبک در کلیه فرمت‌های موردنیاز می‌شود. برای استفاده از این نرم‌افزار به‌راحتی می‌توان از تصاویر دوربین‌های حرفه‌ای کالیبره شده که به‌طور دایره‌وار حول شی موردنظر گرفته‌شده‌اند، بهره برد. علاوه بر دوربین‌های حرفه‌ای، در این نرم‌افزار امکان کالیبره کردن دوربین‌های عکاسی معمولی دیجیتال وجود دارد. به‌عنوان‌مثال با استفاده از ۴۵ تصویر از زوایای مختلف که با گوشی هوشمند SUMSUNG SM-G530H و بافاصله کانونی ۳,۳، رزولوشن ۳۲۶۴×۱۸۳۶، ISO برابر با ۱۰۰ و سرعت شاتر ۱/۳۰ ثانیه گرفته‌شده‌اند، برای تولید مدل سه‌بعدی شخصیت Sid از عصر یخبندان استفاده‌شده است (شکل۲). از نرم‌افزار Agisoft Photoscan می‌توان خروجی‌های مختلفی با فرمت‌های سه‌بعدی مانند COLLODA، VRML، 3DS، OBJ و (فقط درصورتی‌که تصاویر دارای موقعیت جغرافیایی باشند) KMZ را برای به‌کارگیری در کاربردهای مختلف مانند موتور بازی یونیتی یا گوگل ارث و اسکچاپ استفاده کرد. می‌توان با استفاده از 3Ds Max و SketchUp فرمت 3DS را به فرمت CityGML برای استفاده در LandXplorer یا CityServer3D نیز تبدیل نمود. CityGML ورژن ۱ که در اوت ۲۰۰۸ معرفی گردید، نسخه سه‌بعدی GML است و نسخه ۲ آن در سال ۲۰۱۲ و نسخه ۳ آن در سال ۲۰۱۹ توسعه‌یافته است[2]. روش تبدیل فرمت‌های مختلف



شکل ۲: مدل سه‌بعدی شخصیت Sid در پویانمایی عصر یخبندان
Fig. 2: The 3D model of Sid character in ICE age animation



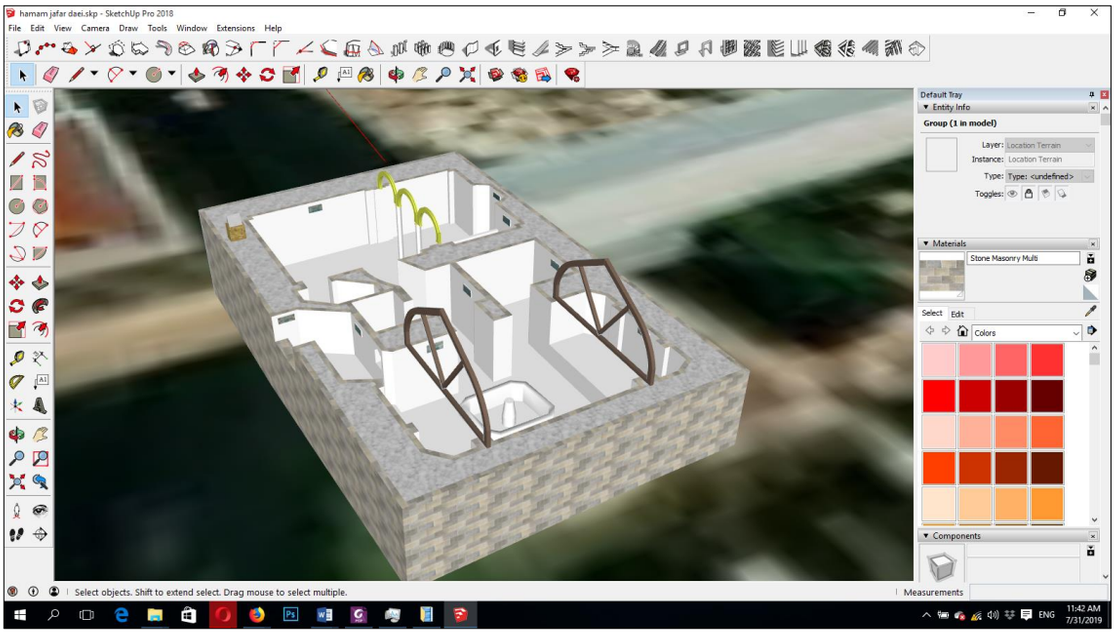
شکل ۳: مدل سه‌بعدی حمام تاریخی حاجی جعفر دایی با استفاده از نرم‌افزار AgiSoft Photoscan (سنجش از راه دور غیرفعال)
Fig. 3: The 3D model historical Hji Jafar Daei bath via Agisoft Photoscan (Passive RS)

به CityGML با استفاده از پلاگین CityGML در محیط SketchUp نسخه ۲۰۱۳ ممکن است. در ورژن‌های جدیدتر SketchUp امکان نصب پلاگین CityGML وجود ندارد و می‌بایست پلاگین‌های جدیدتری برای نسخه‌های جدیدتر در محیط Ruby بر پایه استاندارد مربوط به نسخه ۳ آن نوشته شود و یا نسخه قدیمی آن بازنگری و توسعه یابد.

در شکل ۳ نیز حمام تاریخی حاجی جعفر دایی با استفاده از دوربین Conon 7D Mark I تصویربرداری شده است و سپس با استفاده از ۱۰۶ تصویر و نرم‌افزار AgiSoft ابر نقاط با ۲۷۶۸۱۲۲ نقطه و تعداد ۲۱۴۷ نقطه گره و ۵۵۳۶۱۷ چندضلعی ایجادشده است.

۲. پیشینه پژوهش

تاکنون روش‌های زیادی برای مدل‌سازی سه‌بعدی در کاربردهای مختلف مورداستفاده قرارگرفته‌اند و درواقع هدف از این تحقیق علاوه بر بازنگری مدل‌سازی سه‌بعدی بناهای تاریخی، امکان ایجاد پایگاه داده توصیفی برای نه‌تنها اجزاء سه‌بعدی واقع در بافت شهری بلکه ساختمان‌ها و افراد موجود در آن‌ها را مهیا می‌سازد. در این ساختار امکان جستجوی نام افراد در پایگاه داده وجود دارد و مدل سه‌بعدی ساختمانی که در آن مستقر هستند به رنگی متفاوت مشخص می‌شود تا کاربر از موقعیت جغرافیائی شخص آگاه گردد. در کشورهای پیشرفته مانند آلمان بااتصال بخش‌های مختلف شهر سه‌بعدی به حسگرهای مختلف توانسته‌اند یک پایگاه داده توصیفی مکان محور کاملاً پویا ایجاد کنند تا در ساده‌ترین حالت امکان خاموش و روشن کردن کلیه تجهیزات یک مکان از راه دور را به کمک اینترنت اشیاء و IPv6 استاتیک، مهیا سازد. مشابه همین پروژه در شهر پوتراجایا به‌عنوان یک شهرک اداری در نزدیکی کوالالامپور در سال ۲۰۱۰ آغازشده است که هنوز پایگاه داده آن هیچ اتصالی با حسگرهای برخط ندارند و فقط دارای پایگاه داده توصیفی آفلاین است. این پروژه تحقیقاتی نیز تا حدود زیادی با همین هدف آغازشده است و امکان پیاده‌سازی آن در شهرک اداری استان اردبیل و یا مکان‌های تاریخی شهر تبریز و اردبیل مقدور است. برای کاهش حجم داده‌های سه‌بعدی ازنظر بافت‌های تصویری و هندسه آن‌ها، استفاده از روش‌های تابع پالس پویا می‌تواند ثمربخش باشد[3].



شکل ۴: حمام تاریخی حاجی جعفر دائی با نسبت طلایی در ابعاد ۱۰،۰۹ در ۱۶،۳۳ مترمربع
Fig. 4: Historical Hji Jafar Daei bath with the dimension of 10.09*16.33 m² Golden ratio

۳. مواد و روش‌ها

کلیه مجسمه‌های واقع در دانشگاه هنر اسلامی تبریز با استفاده از نرم‌افزار AgiSoft مدل‌سازی شده‌اند و پس از تبدیل به فرمت SKP در 3D warehouse به اشتراک گذاشته‌شده‌اند. علاوه بر متدهای مذکور، می‌توان با استفاده از داده‌ها و نقشه‌های اتوکد از بناهایی که قبل از ساخت تهیه‌شده‌اند، به کمک SketchUp Trimble مدل‌های سه‌بعدی آن‌ها را ایجاد نمود[4]. علاوه بر آن، پس از اندازه‌گیری در فایل‌های مربوط به ابر نقاط با استفاده از اسکنر لیزری و همین‌طور نگاه از بالا در شکل ۱، می‌توان مدل دقیقی از حمام را با استفاده از SketchUp به همراه تصویر اصلاح‌شده هوایی (Orthophoto) و عوارض زمین (Terrain) ایجاد کرد (شکل۴).

مدل‌سازی رویه‌ای یا بافت دهی رویه‌ای، یک برنامه کامپیوتری جهت تولید خودکار مدل‌های سه‌بعدی یا بافت دهی خودکار است. این کدها می‌توانند برای ایجاد مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از ساختارهای تکراری مانند برج‌های دوقلوی پتروناس در کوالالامپور و یا بافت‌های تاریخی با سازه‌ها یا بافت‌های تصویری تکراری مورداستفاده قرار گیرند.

نرم‌افزار کاربردی SketchUp در سال ۱۹۹۹ در شرکت نوپای @Last Software of Boulder, Colorado طراحی و تولید شد و توسط Brad Schell و Joe Esch پیاده‌سازی و در اوت سال ۲۰۰۰ به‌عنوان یک ابزار تولید محتوای سه‌بعدی همه‌منظوره به بازار عرضه‌شده و در اولین نمایش تجاری برنده جایزه منتخب گردید. در ژوئن سال ۲۰۰۵، شرکت گوگل نرم‌افزار را خریداری نموده و یک نسخه رایگان قابل دانلود از Google SketchUp شامل ابزارهای تعبیه‌شده به‌منظور بارگذاری محتوا بر روی Google Earth و نیز Google 3D Warehouse انتشار داد. شرکت Trimble Navigation در ژوئن سال ۲۰۱۲ SketchUp را از Google خریداری و در سال ۲۰۱۳ نسخه جدید خود را باکمی بازنگری در قسمت‌های مختلف من‌جمله ابزارهای ایجاد کمان، Style Builder و LayOut منتشر ساخت. پس‌ازآن تا نسخه ۲۰۱۹، هرسال با کمی تغییرات، این برنامه پرکاربرد روانه بازار شده است. در حال حاضر 3D warehouse نیز متعلق به این شرکت است و امکان بارگذاری مدل‌های سه‌بعدی در Google Earth از سال

۲۰۱۴ به بعد مقدور نبوده است. SketchUp یک کنسول برای برنامه‌نویسی به زبان Ruby دارد که از آن برای توسعه دادن نرم‌افزار و ایجاد پلاگین ها و اکستنشن ها و همین‌طور بافت دهی و مدل‌سازی رویه‌ای استفاده می شود. کامپیوتر بدون داشتن اطلاعات معنایی، پایگاه داده توصیفی مکان محور و کد لیست‌ها جهت نمایه کردن داده‌ها، نمی‌تواند معنای هیچ بخشی از یک مدل سه‌بعدی را درک نماید. در حقیقت کد لیست‌ها برای اندیس‌گذاری تمام عناصر یک مدل سه‌بعدی به‌منظور وارد نمودن نوع داده‌ها و مقادیر آن‌ها برای اولین بار در کشور آلمان در محیط CityGML پیاده‌سازی شده است و سایر کشورها نیز در این مسیر قدم نهاده‌اند[8–5].

همچنین می‌توان از پرس‌وجو بر روی CityServer3D یا واسط phpMyAdmin برای بازیابی داده‌ها از پایگاه داده‌های MySQL که به CityServer3D متصل شده است استفاده نمود. دو نوع سرور ضخیم (Thick server) مانند CityServer3D و نازک (Thin server) مانند Google Earth وجود دارند[9]. سرورهای ضخیم با سمت کلاینت نازک‌تر مانند CityServer3D Viewer و سرورهای نازک با سمت کلاینت ضخیم‌تر مانند Google Earth Application کار می‌کنند. پایگاه داده توصیفی مکان محور مربوط به یک مدل سه‌بعدی دلخواه، با تمام عناصر و اجزای آن بر روی CityServer3D قابل مدیریت است. در اصل CityServer3D مدل‌های سه‌بعدی را به MySQL یا Oracle متصل می‌کند (برخلاف Google Earth).

مفهوم عملکرد DPF، استفاده از عملگرهای منطقی برای نگاشت بافت تصویری بر روی تصویر پس‌زمینه است که به‌صورت پویایی با مختصات واقعی هندسه بنا، تناسب دارد. فرآیند نگاشت، بر اساس دو پالس پویای افقی و عمودی هست که از گوشه چپ بالای دیوار پس‌زمینه شروع‌شده و به گوشه راست پایین آن، دقیقاً مانند مختصات تصویر، ختم می‌شود. مقادیر منطقی صفر/یک در فصل مشترک پالس‌های افقی و عمودی بافت تصویری را بر روی تصویر پس‌زمینه نگاشت نمی‌کند/می‌کند. در این روش امکان تعریف اولویت برای هر لایه وجود دارد. به‌عنوان‌مثال در ساخت نماهای LoD2 با روش DPF اگر اولویت لایه "در" بیشتر از لایه "پنجره" باشد، بافت تصویری "پنجره" نمی‌تواند روی بافت تصویری لایه "در"، نگاشت شود. به‌منظور تولید فریم خروجی برای DPF، می‌بایست تصاویری به‌طور مستقیم از اشیای سه‌بعدی تهیه گردند و سپس اصلاح گردند و یا به عبارتی با استفاده از ماتریس تبدیل پارالل پروجکشن، خاصیت پرسپکتیو عدسی از تصاویر گرفته و عمودی سازی شود. تصاویر می‌بایست متناسب با عرض و ارتفاع نمای هندسه واقعی باشند تا بهنگام نگاشت دچار اعوجاج نشوند. در مقایسه با روش‌های بافت دهی به کمک تصویر واقعی نما (Photorealistic)، داده‌های تولیدشده با به‌کارگیری روش DPF باوجود کیفیت بسیار بالا، حجم داده‌ای بسیار کمی دارند و برای مشاهده یا انتقال از طریق شبکه‌های اینترنتی و یا بازی‌های تحت شبکه بسیار مناسب‌اند. مشکل DPF، رویه پیش‌پردازش آن برای تولید تصویر خروجی به‌جای پردازش برخط به‌منظور تولید بافت تصویری برای استفاده در محیط‌های سه‌بعدی نظیر CityGML است. علاوه بر آن، نتایج DPF به‌جای LoD3 می‌تواند در LoD2 استفاده شود. در تحقیق پیش رو، بافت‌های تصادفی لایه‌های پنجره‌ها بر اساس پارامترهای DPF در محیط Ruby کد نویسی شده و به شکل پلاگین در نرم‌افزار SketchUp Trimble نصب‌شده است. این پلاگین می‌تواند برای تولید هندسی‌های پنجره‌ها با موقعیت دقیق که عمیق‌تر از سطح دیوار یا پس‌زمینه می‌باشند و یا برآمدگی دارند، به همراه بافت‌های تصویری تصادفی برای افزایش سطح واقع‌گرایی، مورداستفاده قرار گیرند[10].

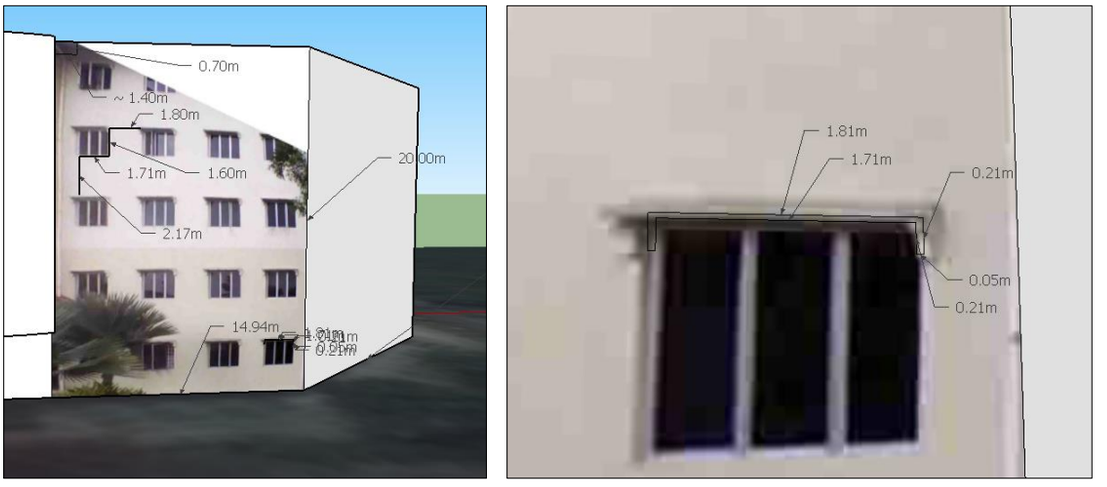
برای تبدیل فایل SKP به CityGML می‌توان از نرم‌افزار FME یا پلاگین‌های CityGML در محیط SketchUp Trimble بهره برد. مدل سه‌بعدی مفهومی نیز که برای پایگاه داده توصیفی مکان محور به همراه لایه‌های پنجره‌ها، درها و سایر المان‌های نما است، می‌تواند CityGML را به پایگاه داده‌ی MySQL متصل نماید و یا به عبارتی کلیه موارد توصیفی اضافه‌شده در محیط CityServer3D را به‌طور خودکار در پایگاه داده توصیفی MySQL بهنگام سازد[11].

ازآنجایی‌که فریم خروجی DPF در تناسب با مختصات واقعی نمای بنا است (ارتفاع و عرض نمای بیرونی)، امکان پرس‌وجو از پایگاه داده XML و تبدیل خودکار مقادیر آن به واحدهایی نظیر متر وجود دارد. در این روش، تصویر زمینی کاملاً عمودی از نمای بیرونی با استفاده از تبدیل نگاشتی بر پایه پیرابند که متناسب با هندسه واقعی است، موازی‌سازی و اصلاح می‌شود. این تصاویر اصلاح‌شده حجم داده‌ای بسیار زیادی دارند و فاقد کیفیت می‌باشند و برای بافت دهی تصویری مناسب نیستند ولی برای اندازه‌گیری متغیرهای DPF ضروری می‌باشند. قبل از فرآیند اندازه‌گیری می‌بایست تصویر موازی شده متناسب با عرض و ارتفاع هندسه واقعی نما، گردد. متغیرهای DPF عبارت‌اند از مواردی از قبیل ارتفاع و عرض نما، ارتفاع و عرض پنجره‌ها، درها، فاصله افقی و عمودی بین پنجره‌ها و درها از گوشه سمت چپ بالای نما، تعداد لایه‌ها است. کلیه این پارامترهای می‌بایست قبل از کد کردن برنامه و ایجاد پلاگین در SketchUp Trimble اندازه‌گیری شوند. سیستم برای تولید خودکار نمای بیرونی می‌تواند از این پارامترها به همراه نام و مسیر فایل‌های بافت تصویری استفاده کند.

به‌منظور جلوگیری از کج شدن و خوابیدگی هندسه‌هایی که برآمدگی یا تورفتگی دارند، بافت‌های تصویری مربوط به پنجره‌ها و درها(و یا هر بافت تصویری که ممکن است در بناهای تاریخی تکراری باشد) باید برش داده‌شده و موازی‌سازی و اصلاح شوند تا بتوان از آن‌ها در کدهای تولید نمای بیرونی استفاده کرد. بهبود بافت تصویری (Texture Enhancement) برای از بین بردن اشیا نامربوط و مزاحم، تنظیمات نور، متقارن سازی چپ به راست و بالا به پایین و سایر روش‌های مناسب باید از پیش انجام شوند. در حقیقت کیفیت بسیار بالا، اندازه بسیار کوچک داده‌ها، مقیاس دقیق و پایگاه داده‌های توصیفی مکان محور برای هر نما از مهم‌ترین مزیت‌های این روش تحقیقاتی به‌حساب می‌آید.

۴. کنسول Ruby در SketchUp Trimble

از مفاهیمی مانند DPF می‌توان برای لایه پنجره (و یا هر قسمت دیگری از نمای بنای تاریخی که به‌طور منظم تکرار شده است) به همراه پارامترهای عمق پنجره‌ها برای هر لایه استفاده نمود. در این روش تمام درها و پنجره‌ها و هندسه‌های دیگر موجود در نمای بیرونی، با استفاده از کد نویسی و ایجاد پلاگین به‌صورت خودکار تولید می‌شوند. همچنین پایگاه داده توصیفی می‌تواند در فایل CityGML وارد شود. با تبدیل مدل سه‌بعدی به CityGML و وارد نمودن آن در CityServer3D ساختمان اصلی به همراه همه زیرگروه‌های آن و اطلاعات معنایی همراه آن به‌منظور اضافه نمودن موجودیت‌ها و پایگاه داده‌های مربوطه و کد لیست‌ها در دسترس خواهد بود. کد لیست‌ها در حقیقت روشی برای نمایه کردن المان‌های شهری می‌باشند که برای هر کشوری بر اساس نیازها و ساختارهای مختلف مانند اشکال مختلف پشت‌بام‌های موجود در شهر، نوع بنا ازنظر تجاری، تاریخی، آموزشی و یا مسکونی و مواردی مشابه تعریف می‌شوند. در کاربردهای متفاوت امکان داشتن یک ساختمان واحد در سطوح مختلف جزییات در یک فایل CityGML فراهم است. برای مثال از یک ساختمان در محیط CityServer3D می‌توان هم‌زمان در کلیه سطوح جزئیات مانند LoD1، LoD2، LoD3، LoD4 که در اولی فقط به شکل مکعبی شکل بدون بافت تصویری و در دومی دارای جزئیات پشت‌بام و در سومی با جزئیات پنجره‌ها و بهارخواب‌ها و در آخرین مورد علاوه بر موارد قبل دارای طراحی داخلی نیز خواهد بود[7,12]. پلاگین نوشته‌شده با استفاده از زبان Ruby، می‌تواند مفهوم DPF را با جزئیات دقیق‌تری نشان دهد. پارامترها می‌توانند با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته بر روی تصویر نمای بیرونی که عمودی سازی شده است و بر روی هندسه، نگاشت شده است، مقداردهی شوند(شکل ۵). پارامترهایی مانند ارتفاع و عرض نمای ساختمان تعداد پنجره‌های مشابه در هر طبقه و عمق پنجره‌ها تعداد طبقه‌ها یا عرض و طول پنجره در هر لایه، فاصله افقی و عمودی بین دو پنجره در هر لایه و فاصله عمودی و افقی اولین پنجره در هر لایه از شمالی‌ترین و غربی‌ترین نقطه شروع نمای ساختمان و نام فایل بافت تصویری و



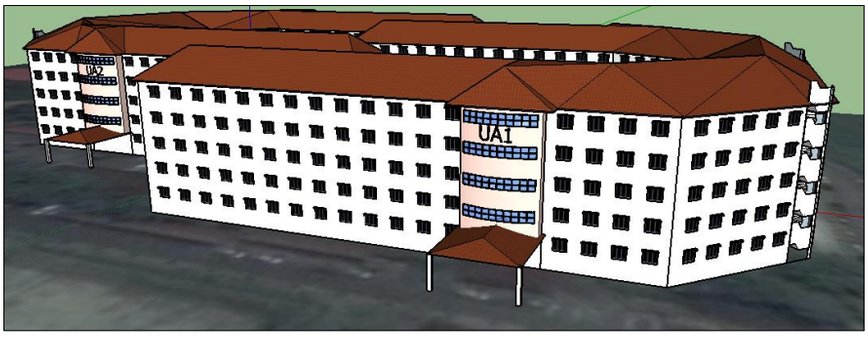
شکل ۵: اندازه‌گیری پارامترهای DPF بر اساس تصویر عمودی سازی شده و نگاشت شده بر روی مدل سه‌بعدی.
Fig. 5: Measuring DPF parameters via orthogonal and projected photo on the 3D model

مسیر آن برای تولید خودکار نمای بیرونی هندسه‌هایی با سطح جزییات بالا در LoD3 لازم و ضروری است. می‌توان از بافت تصویری تصادفی جهت افزایش سطح واقع‌گرایی (Level of realism) نیز استفاده کرد[13]. با توجه به نوع الگوریتم تولید خودکار برای هر لایه از پنجره که از دو حلقه تودرتو تشکیل شده‌اند سطح پیچیدگی برنامه از مرتبه $O(n^2)$ است.

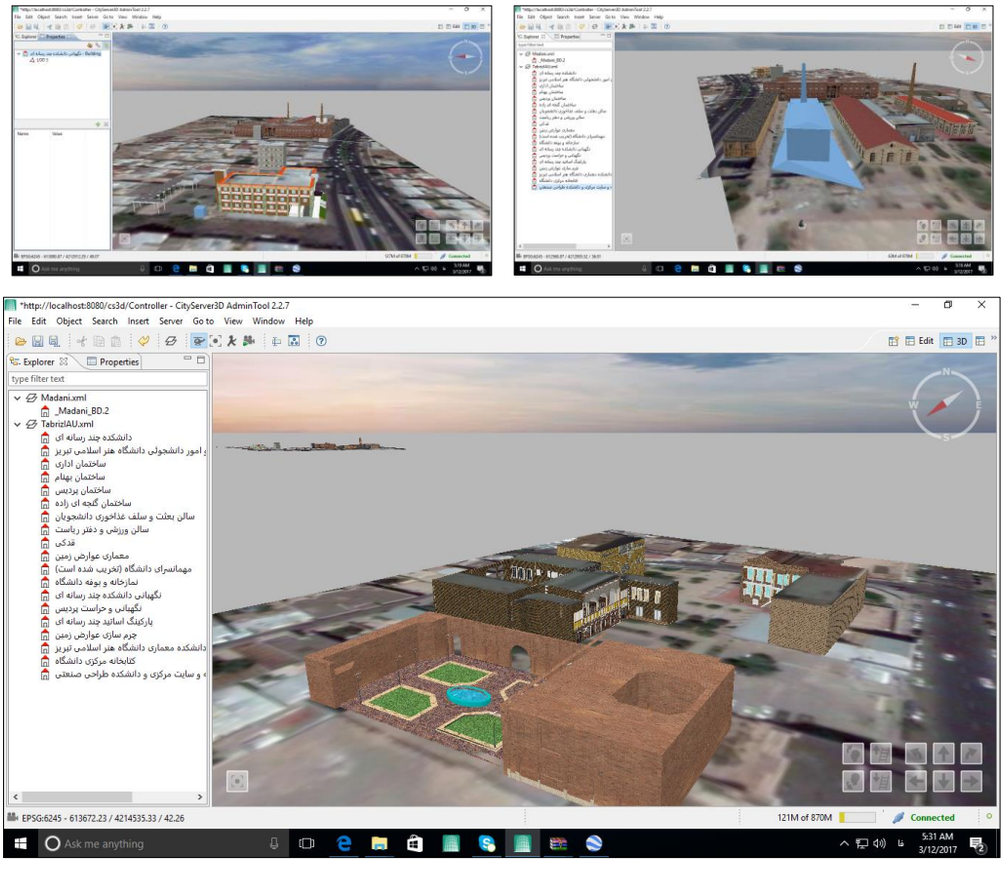
در شکل ۵ پارامترهای مربوط به تابع پالس پویا اندازه‌گیری شده‌اند و در داخل برنامه برای ایجاد افزونه به محیط SketchUp اضافه‌شده‌اند و خروجی آن در سطح جزئیات LoD3 است. در نسخه قبلی آن‌که در گرافیک جاوا و جاوا اسکریپت برای پیش‌پردازش تولید بافت تصویری باکیفیت بالا و حجم کم بدون استفاده از افزونه Ruby بکار گرفته‌شده است، امکان ایجاد عمق یا برآمدگی وجود ندارد و مدل با سطح جزئیات LoD2 قابل پیاده‌سازی است[14].

۵. تبدیل فرمت‌ها

روش‌های گوناگون زیادی نیز برای تبدیل مدل‌های سه‌بعدی از فرمت SKP به فرمت CityGML وجود دارند. نرم‌افزار FME یا افزونه CityGML برای SketchUp که امکان ایجاد پایگاه داد توصیفی با مختصات دقیق جغرافیائی را فراهم می‌کنند از مهم‌ترین آن‌ها بشمار می‌روند. برای ایجاد فایل CityGML از مدل‌های سه‌بعدی SketchUp می‌توان افزونه CityGMLرا بر روی نسخه ۲۰۱۳ یا نسخه‌های قبل‌تر SketchUp نصب کرد و از این افزونه برای خروجی CityGML استفاده کرد. لازم به ذکر است که



شکل۶: مدل سه‌بعدی ایجادشده با استفاده از افزونه DPF در محیط SketchUp (کالج ۹، دانشگاه یو تی ام مالزی جوهور باهرو)
Fig. 6: The 3D model of Kolej 9, UTM, Johor Bahro via DPF plugin within SketchUp

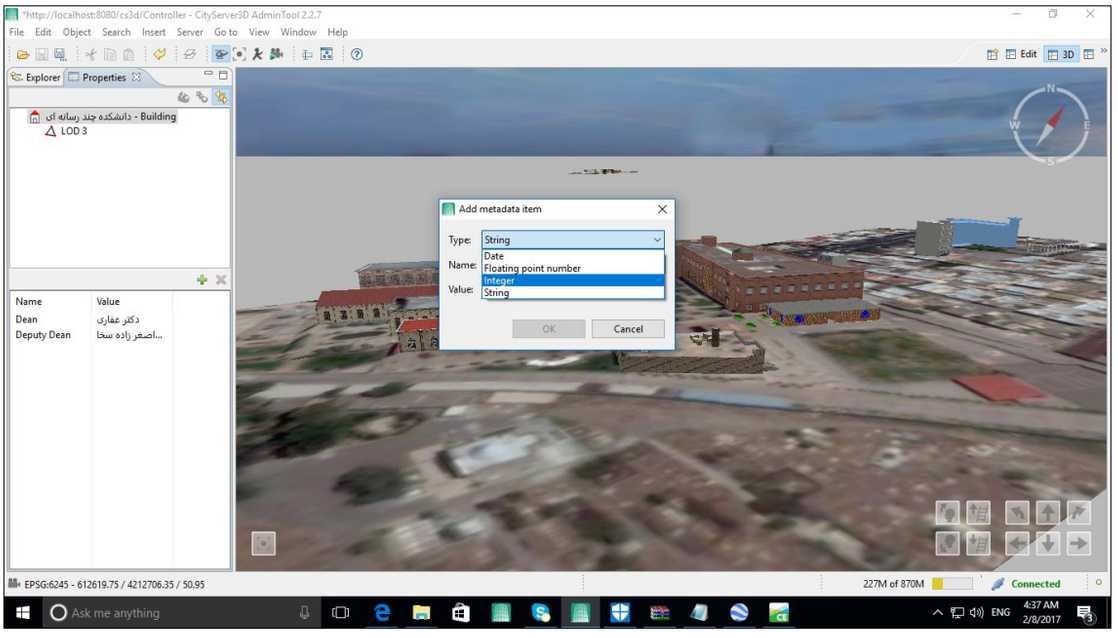


شکل ۷: مدل سه‌بعدی دانشگاه هنر اسلامی تبریز با فرمت CityGML در محیط CityServer3D
Fig. 7: The 3D model of Tabriz Islamic Art University in CityGML format, within CityServer3D

نسخه‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ متأسفانه از این افزونه پشتیبانی نمی‌کنند(تصویر ۷).

در تبدیل فرمت‌های ۳ بعدی به یکدیگر معمولاً مشکلاتی ایجاد می‌گردند (Interoperability problems) که دلیل اصلی آن عدم استانداردسازی در روش‌های مدل‌سازی و برنامه‌های مرتبط برای مدل‌سازی می‌باشند که می‌تواند منجر به مقوله‌ای جدید در زمینه بررسی ساختار فرمت‌ها و تبدیل آن‌ها و روش‌های استانداردسازی آن‌ها باشد. تحقیق در مورد مشکلات مربوط به تبدیل فرمت‌ها و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها می‌تواند نهایتاً راهکارهای مفیدی جهت استانداردسازی ارائه دهد. با توجه به اینکه CityServer3D بر روی phpMyAdmin و MySQL نصب می‌شود، می‌توان کلیه مدل‌ها را با پایگاه داده توصیفی مکان محور، ایجاد کرد و کد لیست‌های مرتبط با آن‌ها را برای کشور ایران برند سازی کرد به‌طوری‌که این لیست مختص کشور عزیزمان ایران اسلامی باشد و در سازمان ISO(International Standard Organization) ثبت شود. برای مثال کد لیست مربوط به ساختمان‌هایی که شبیه به شیروانی‌های موجود در دانشکده چرم‌سازی می‌باشند و تحت عنوان خارجی hipped roof معروف می‌باشند به‌عنوان استاندارد ISO۱۰۴۰ در کشور آلمان تعریف‌شده‌اند و به ثبت رسیده‌اند. ولی برای برخی از ساختارهای گنبدی شکل و یا شبیه به پشت‌بام بازار تبریز که در کشور آلمان وجود ندارند، هیچ‌گونه کد لیستی تعریف‌نشده است که این موارد را می‌توان در آینده برای ایران برند سازی کرد و در ISO به ثبت رساند. در شکل ۸ نحوه ایجاد کد لیست از نوع داده‌ای عدد صحیح در محیط CityServer3D نشان داده‌شده است که با تعریف نام و مقدار به‌راحتی می‌توان از پایگاه داده توصیفی بر اساس آن جستجو کرد.

علاوه بر روش مطرح‌شده از نوع رویه‌ای برای

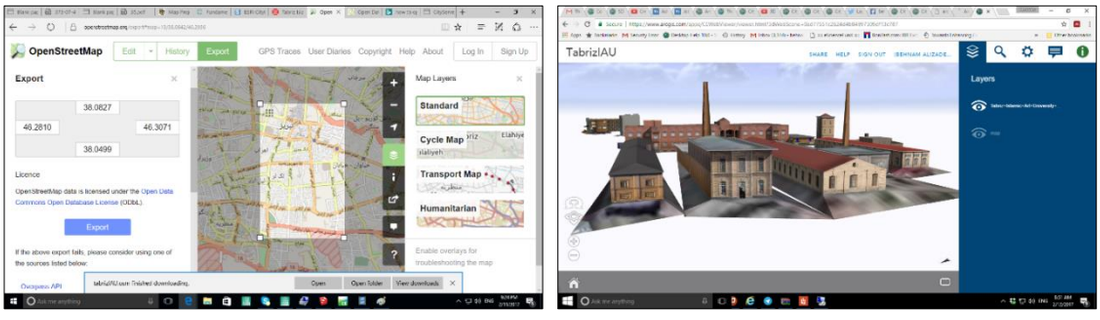


شکل ۸: نحوه تعریف کد لیست در محیط CityServer3D که به‌طور خودکار در CityGML و پایگاه داده MySQL بهنگام می‌شود.
Fig. 8: The process of defining code list within CityServer3D that can automatically update CityGML and MySQL DB

مدل‌سازی سه‌بعدی و بافت دهی تصویری با استفاده از DPF به‌عنوان افزونه‌ای برای SketchUp، می‌توان از برنامه‌های کاربردی دیگر مانند CityEngine نیز، برای مدل‌سازی اتوماتیک، استفاده کرد. برای این کار به‌راحتی می‌توان از openstreetmap پس از انتخاب قسمتی از نقشه، خروجی گرفت و وارد محیط CityEngine کرد که درنهایت مدل‌های سه‌بعدی را با اغلب فرمت‌ها می‌توان یا وارد آن کرد و یا از ابتدا با روش رویه‌ای و کد نویسی CGA ایجاد کرد و درنهایت خروجی وب آن را ایجاد کرد و به اشتراک گذاشت که در شکل ۹ قابل‌مشاهده است.

۶. نتیجه‌گیری و دورنمای تحقیق

با توجه به اینکه اغلب بناهای تاریخی و باستانی از یک الگوریتم تکراری در بافت دهی و مدل سه‌بعدی استفاده می‌کنند، روش‌های مدل‌سازی رویه‌ای مانند تابع پالس پویا می‌تواند بسیار مفید واقع گردد. در این ساختار علاوه بر دقت بالای مدل‌سازی حجم نهائی فایل ازنظر اندازه داده نیز نسبتاً سبک خواهد بود و به‌راحتی تحت وب قابل‌انتقال و یا نمایش خواهد بود. برای مدل‌سازی بناهای تاریخی روش‌های سنجش از راه دور فعال مانند اسکنرهای لیزی وجود دارند که حجم داده آن‌ها بسیار زیاد است و برای مرمت آثار تاریخی مورداستفاده قرار



شکل ۹: نحوه واردکردن مدل سه‌بعدی در محیط CityEngine و ایجاد خروجی وب برای به اشتراک گذاشتن آن
Fig. 9: The process of exporting map from OpenStreetMap and importing 3D models into CityEngine

می‌گیرد و با رزولوشن بسیار بالا انـدازه تـرک‌هـا را هـم می‌توان به‌طور دقیق محاسبه کـرد. در ایـن روش‌هـا از مدل‌های حاصل‌شده بـرای نمـایش تحـت شـبکه‌هـای کامپیوتری استفاده نمی‌شود. علاوه بر موارد مطرح‌شـده می‌توان کد لیسـت‌هـای مـرتبط بـا بناهـای تـاریخی را تعریف کرد و به ثبت رساند که می‌تواند در جهـت برنـد سازی آن‌ها و تثبیـت آن در ISO حـائز اهمیـت فروانـی باشد. درآینده می‌توان با استفاده از حسگرهایی بـر پایـه IP استاتیک تحت عنوان اینترنت اشیاء، کارهای زیـادی را در محـیط CityGML انجـام داد مـن‌جملـه کنتـرل مصرف انرژی، کنترل منـابع و سـایر مـوارد مشـابه کـه وابسته به ارگان‌های دولتـی، شـهرداری و شـرکت‌هـای نیمه‌خصوصی هستند.

پی‌نوشت

۱. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشـی بـه شـماره قـرارداد ۹۱۳۳ مـورخ ۹۴/۱۰/۱۵ بـا عنـوان«مـدل‌سـازی سـه‌بعـدی مفهومی دانشگاه هنر اسلامی تبریـز بـر روی CityServer3D برای مدیریت استراتژیک» است، که با حمایت مالی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام‌گرفته است.

References

[1] Brutto M Lo, Spera MG. Image-based and range-based 3D modelling of archaeological cultural heritage: the Telamon of the temple of Olympian Zeus in Agrigento (Italy). Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci 2011;37.

[2] Labetski A, Kumar K, Ledoux H, Stoter J. A metadata ADE for CityGML. Open Geospatial Data, Softw Stand 2018;3:16.

[3] Alizadehashrafi B. Using Parameters of Dynamic Pulse Function for 3D Modeling In LoD3 Based on Random Textures. Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci 2015;40.

[4] Alizadehashrafi B, Rahman AA. CAD-based 3D semantic modeling of Putrajaya. Proc. Jt. ISPRS Work. 3D city Model. Appl. 6th 3D GeoInfo Conf., 2011.

[5] Zadeh PA, Wei L, Dee A, Pottinger R, Staub-French S. BIM-CITYGML data integration for modern urban challenges. J Inf Technol Constr 2019;24:318–40.

[6] Donkers S, Ledoux H, Zhao J, Stoter J. Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LoD3 buildings. Trans GIS 2016;20:547–69.

[7] Kolbe TH, Gröger G, Plümer L. CityGML: Interoperable access to 3D city models. Geo-information disaster Manag., Springer; 2005, p. 883–99.

[8] Gröger G, Kolbe TH, Nagel C, Häfele K-H. OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard 2012.

[9] Haist J, Coors V. The W3DS-Interface of Cityserver3D. Eur. Spat. Data Res. ua Next Gener. 3D City Model. Work. Pap. Particip. Ed., 2005, p. 63–7.

[10] Scarpino M. Automatic SketchUp: Creating 3-D models in ruby. Eclipse Engineering LLC; 2010.

[11] Alizadehashrafi B, Baig SU. Framework for Malaysian 3D SDI in CityGML. FIG2014 2014.

[12] Arroyo Ohori K, Diakité A, Krijnen T, Ledoux H, Stoter J. Processing BIM and GIS models in practice: experiences and recommendations from a GeoBIM project in the Netherlands. ISPRS Int J Geo-Information 2018;7:311.

[13] Alizadehashrafi B, Rahman AA. Towards Enhancing Geometry Textures of 3D City Elements. Dev. Multidimens. Spat. Data Model., Springer; 2013, p. 135–53.

[14] Alizadehashrafi B, Rahman AA, Coors V, Schulz T. 3D navigation systems based on synthetic texturing 2009.