

نمایش عوارض سه بعدی شهری با دو رویکرد تعاملی در دستگاه های همراه

ناصر طهانی^{۱*}، علی اصغر آل شیخ^۲، مهدی فرنقی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

tahani_nasser@outlook.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

farnaghi@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۵، تاریخ تصویب آبان ۱۳۹۵)

چکیده

مکان یابی و نمایش محیط اطراف کاربر در دستگاه های همراه به طور معمول در قالب نقشه های دو بعدی امکان پذیر است که کاربر را به یک تصویر عمودی یا نمایش بالا به پایین از محیط محدود می کند. با توجه به ماهیت سه بعدی عوارض دنیای واقعی، ارائه آنها به صورت مدل های سه بعدی نقش مهمی را در بصری سازی و انجام انواع تحلیل ها ایفا می کند. در بخش بصری سازی و نمایش، مدل های سه بعدی شهری با ایجاد محیط مجازی و در نظر گرفتن خصوصیات هندسی و ظاهری عوارض، به درک بهتر کاربران کمک می کنند. علاوه بر این مدل های شهری در طیف وسیعی از کاربردها همانند تحلیل محدوده قابل رویت، ارزیابی میزان هدررفت انرژی، مدیریت تاسیسات شهری، کاداستر سه بعدی و ناوبری در محیط های داخلی به کار گرفته می شوند. پیشرفت های دستگاه های همراه منجر به استفاده آنها در کاربردهای مختلف نظیر فناوری واقعیت مجازی و مدل های سه بعدی شهری شده است. در این مطالعه به منظور رفع محدودیت های نقشه های دو بعدی و استفاده از قابلیت های نمایش عوارض به صورت سه بعدی، یک برنامه کاربردی موبایل در دو رویکرد تعاملی چشم پرنده^۱ و زاویه دید اول شخص توسعه پیدا کرده است. مدل های سه بعدی به کمک ردپای دو بعدی عوارض حاصل از نقشه ۱:۲۰۰۰ منطقه و افزودن مقادیر ارتفاع و بافت نمایشی مربوطه در محیط نرم افزار Google Sketchup تهیه شده اند. با توجه به محدودیت های رابط برنامه نویسی کاربردی^۲ OpenGL ES در بارگذاری مدل های گرافیکی پیچیده، کتابخانه گرافیکی Libgdx به منظور تشکیل محیط و نمایش مدل ها استفاده شده است. فرآیند Deserialization به منظور تشکیل خودکار مدل های سه بعدی، اتصال بافت مربوط به عوارض و هم چنین جانمایی آنها در محیط برنامه صورت گرفته است. در نمای چشم پرنده کاربر به کمک دکمه های طراحی شده و لمس صفحه نمایش به گردش در محیط می پردازد. در رویکرد ناظر اول شخص یا واقعیت مجازی، موقعیت کاربر به وسیله GPS دستگاه و راستای نشانه روی با استفاده از سنجنده های مکانی شتاب سنج و مغناطیس سنج و اعمال فیلتر پایین گذر^۳ به منظور کاهش خطای داده ها تعیین می شود. رویکرد تعاملی ترکیبی پیاده سازی شده در این تحقیق با فراهم نمودن قابلیت نمایش به صورت نقشه های سه بعدی و ساختار واقعیت مجازی، باعث تمایز آن از سایر مطالعات مربوط به بصری سازی عوارض شهری شده است. به منظور ارزیابی برنامه کاربردی، عوارض محوطه دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در برنامه وارد شده و امکان مشاهده مدل های سه بعدی و تعامل کاربران با آن در دو رویکرد نمایشی فراهم شده است.

واژگان کلیدی: واقعیت مجازی، مدل سه بعدی شهری، کتابخانه گرافیکی Libgdx، نمای چشم پرنده، زاویه دید اول شخص

* نویسنده رابط

^۱ Bird's Eye View

^۲ Application Programming Interface

^۳ Low pass filter

۱- مقدمه

در سالیان اخیر، بهبود قابلیت‌های نرم افزاری و سخت افزاری دستگاه‌های همراه نظیر انواع پردازنده‌های مرکزی و گرافیکی، سنجنده‌های فیزیکی تعبیه شده به منظور سنجش پارامترهای مکانی در کنار فضای ذخیره‌سازی تقویت شده، باعث به کارگیری آنها در کاربردهای مختلف شده است. واقعیت مجازی^۱ از جمله فناوری‌های می‌باشد که با تکیه بر پیشرفت‌های صورت گرفته‌ی گوشی‌های هوشمند، وارد این حوزه شده است. این فناوری با تشکیل محیط و اشیای مجازی، کاربران را قادر می‌سازد تا به صورت مجازی با عوارض محیط تعامل داشته باشند. مدل‌های سه بعدی شهری متشکل از ساختمان‌ها، پوشش گیاهی، سطح زمین و شبکه راه را می‌توان به عنوان یکی از نمونه‌های مورد استفاده در فناوری واقعیت مجازی برشمرد. مدل‌های سه بعدی شهری برحسب دقت هندسی المان‌های گرافیکی، دارا بودن اطلاعات معنایی و نمایش واقعی عوارض شهری، قابل مقایسه‌اند [۱].

نمایش محیط کاربر در دستگاه‌های همراه به صورت مرسوم در قالب نقشه‌های دو بعدی صورت می‌گیرد که امکاناتی مانند ناوبری و جستجوی نقاط مورد علاقه^۲ اطراف کاربر را فراهم می‌کنند. نقشه‌های دو بعدی با چشم‌پوشی از بعد عمودی اجزای تشکیل دهنده، زاویه دید کاربر را به یک نمای بالا به پایین محدود می‌کنند. در مقابل، مدل‌های سه بعدی شهری با نمایش واقعی عوارض، تعامل کاربر با محیط را افزایش می‌دهند و به تشخیص اجسام بر اساس خصوصیات و شکل هندسی‌شان کمک می‌کنند. مدل‌های سه بعدی شهری در کاربردهای گوناگون نظیر برنامه‌ریزی منطقه‌ای و شهری، ارائه‌ی اطلاعات گردشگری و حمل و نقل به کار گرفته می‌شوند که قابلیت نمایش و تحلیل‌های سیستم اطلاعات مکانی را بر روی مناطق شهری فراهم می‌کنند [۲].

پایاده‌سازی و نمایش اجسام گرافیکی در محیط همراه عموماً به کمک رابط برنامه نویسی کاربردی نظیر OpenGL ES (GLES) و Canvas صورت می‌گیرد. در مقابل Canvas API که بیشتر برای نمایش اجسام گرافیکی دو بعدی استفاده می‌شود، GLES به منظور

تشکیل و پردازش ساختارهای دو بعدی و سه بعدی کاربرد دارد. عوارض گرافیکی تشکیل دهنده مدل‌های سه بعدی شهری اغلب دارای ساختار و جزئیات پیچیده‌ای هستند که در نرم افزارهای گرافیکی نظیر 3ds MAX, Blender, Google Sketchup طراحی می‌شوند. به منظور پیاده‌سازی و نمایش این مدل‌ها، بسته‌های توسعه نرم-افزاری^۳ و کتابخانه‌های گرافیکی مختلفی بر پایه GLES ایجاد شده است. این کتابخانه‌های گرافیکی با فراهم کردن امکاناتی نظیر بارگذاری مدل‌های ساختاریافته، انتقال اجسام در محیط، سایه گذاری، نور پردازی و تشخیص برخورد^۴ به نمایش و تعامل بهتر با مدل‌های سه بعدی کمک می‌کنند. JMonkeyEngine, Libgdx, Godot و Minko نمونه‌ای از این کتابخانه‌های گرافیکی هستند که در ادامه‌ی مقاله مقایسه‌ای میان آنها ارائه می‌شود.

در این پژوهش یک برنامه کاربردی موبایل به منظور رفع محدودیت نمایشی نقشه‌های دو بعدی و با هدف مشاهده مدل سه بعدی عوارض شهری و دریافت اطلاعات توصیفی مربوطه توسعه یافته است. در مقایسه با مطالعات صورت گرفته در زمینه نمایش عوارض شهری، این برنامه از دو رویکرد تعاملی ترکیبی بهره برده است: (۱) بخش مربوط به زاویه دید چشم پرند که کاربر به کمک دکمه-های طراحی شده و لمس صفحه نمایش دستگاه همراه می‌تواند در محیط حرکت کرده و اطلاعات را دریافت نماید. (۲) بخش دوم شامل زاویه دید اول شخص در ساختار واقعیت مجازی می‌باشد. در این حالت کاربر می‌تواند با استفاده از قابلیت مکان آگاهی^۵ برنامه و سنجنده‌های مکانی دستگاه موبایل در محیط گردش نماید و عوارض مدل سه بعدی شهری را مشاهده نماید.

منطقه مورد مطالعه‌ی تحقیق محوطه دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد که به کمک کتابخانه گرافیکی Libgdx پیاده‌سازی و نمایش داده شده است. مدل سه بعدی عوارض محوطه دانشکده نظیر ساختمان‌ها و پوشش گیاهی به کمک نقشه‌ی حاصل از عکسبرداری هوایی و در نرم افزار Google Sketchup تهیه شده است.

^۳ Software Development Kit (SDK)

^۴ Collision detection

^۵ location-awareness

^۱ Virtual Reality (VR)

^۲ Point Of Interest (POI)

در بخش ۲ تحقیق، مطالعات انجام شده در زمینه نمایش مدل سه بعدی شهری ارزیابی می‌شود. در بخش ۳، فناوری‌های مورد نیاز و رویکردهای موجود برای نمایش مدل سه بعدی شهری به همراه مقایسه کتابخانه‌های گرافیکی شرح داده می‌شود. بخش ۴ به روند پیاده سازی برنامه شامل تهیه مدل‌های سه بعدی و معرفی دو زاویه دید طراحی شده اختصاص دارد. در بخش ۵ بحث و نتیجه‌گیری درباره برنامه توسعه داده شده شامل کاربردی بودن و تجربه کاربری ارائه خواهد شد.

۲- مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعات صورت گرفته در زمینه نمایش مدل‌های شهری را می‌توان به دو دسته ارائه ساختارهای سه بعدی به کمک فناوری‌های تحت وب و هم چنین به کارگیری رابط‌های گرافیکی دستگاه‌های همراه با هدف ایجاد و ارائه اشیای سه بعدی تقسیم بندی نمود.

در دسته اول مطالعات، به کارگیری معماری سرویس گرا برای پردازش مدل‌های شهری در سمت خادم و ارائه در قالب مرورگر دستگاه همراه مورد استفاده قرار گرفته است. ارائه اطلاعات مدل سه بعدی شهری به کمک یک سیستم تحت وب و ساختار داده VRML^۱ توسط Rakkolainen و Vainio بر روی دستگاه‌های موبایل انجام شده است [۳]. در این سیستم کاربران قادر به جستجوی نقاط مورد علاقه و نمایش اطلاعات آنها در قالب نقشه دو بعدی و VRML هستند. Hildebrandt و همکارانش یک ساختار سرویس‌گرا بر پایه استانداردهای WFS^۲ و WVS^۳ و فرمت داده CityGML را به منظور نمایش و تعامل با مدل سه بعدی شهری ارائه کرده‌اند [۴]. در این ساختار، کاربران امکان کنترل نمایش لایه‌های مختلف و اخذ اطلاعات مربوط به عوارض را دارا هستند. بهره‌گیری از رویکرد پردازش موازی به منظور دریافت درخواست‌های کاربران و ارائه اطلاعات از جمله نقاط قوت این تحقیق به شمار می‌رود. Prieto و Izgara یک مدل سه بعدی شهری را به کمک مدل داده CityGML و تبدیل آن به ساختار X3D که جایگزین VRML می‌باشد، بر روی مرورگرهای

موبایل توسعه داده‌اند [۵]. در این تحقیق، سرویس - W3DS به منظور ارائه‌ی عوارض گرافیکی و سرویس WFS برای دریافت اطلاعات از پایگاه داده به کار گرفته شده است. Rodrigues و همکارانش با بهره‌گیری از مدل داده CityGML و ساختار X3D، رویکرد مشابهی را به منظور نمایش مدل شهری و اخذ اطلاعات آنها به کار گرفته‌اند [۶]. از جمله ویژگی‌های این دسته از مطالعات، بهره‌گیری از استانداردها و سرویس‌های OGC^۴ برای دریافت و نمایش اطلاعات است. توسعه یک محیط واقعیت مجازی بر پایه موتور بازی‌سازی Unity3D برای محوطه دانشگاهی توسط Wang و همکارانش صورت گرفته است [۷]. با وجود قابلیت‌های بالای Unity3D در پیاده‌سازی مدل‌های گرافیکی، نیاز به نصب افزونه بر روی مرورگر دستگاه از جمله نقاط ضعف این تحقیق به شمار می‌رود. عباسی و ملک یک سیستم تحت وب را به منظور ایجاد و نمایش مدل سه بعدی ساختمان‌ها در قالب اطلاعات مکانی داوطلبانه^۵ طراحی نموده‌اند [۸]. در این تحقیق کاربران با استفاده از ردپای دو بعدی^۶ ساختمان‌ها حاصل از پایگاه داده OSM^۷ و وارد کردن ارتفاع مربوطه، مدل ساده سه بعدی را مشاهده می‌کنند. هم چنین قابلیت تغییر المان‌های اساسی ساختمان همانند درب، پنجره، سقف و دیوار به همراه تعیین بافت ظاهری عوارض در این مطالعه گنجانده شده است.

در دسته‌ی دیگر مطالعات، مدل‌های گرافیکی از خادم به دستگاه همراه ارسال می‌شود و پردازش آنها در سمت مخدوم صورت می‌گیرد. سیستم توسعه داده شده Burigat و Chittaro، با ایجاد مدل سه بعدی ساختمان‌ها در قالب VRML و استفاده از سیستم تعیین موقعیت دستگاه، وظیفه راهنمایی و هدایت گردشگران را بر عهده دارد [۹]. از نقاط ضعف این مطالعه عدم به کارگیری سنجنده‌های دورانی به منظور گردش آسوده کاربر در محیط است. Nurminen یک نقشه سه بعدی بر اساس ساختار داده‌ی VRML را با قابلیت پردازش در سمت کاربر توسعه داده است [۱۰]. محاسبه‌ی محدوده‌ی قابل رویت به منظور کاهش حجم پردازش المان‌های گرافیکی و مدیریت

^۴ Open Geospatial Consortium

^۵ Volunteered Geographic Information (VGI)

^۶ 2D footprint

^۷ Open Street Map

^۱ Virtual Reality Modeling Language

^۲ Web Feature Service

^۳ Web View Service

برچسب‌گذاری عوارض برای کاهش حافظه‌ی اشغال شده از ویژگی‌های این مطالعه به شمار می‌رود. سیستم توسعه داده شده توسط Baldauf و Musialski با ارائه‌ی یک موتور تصمیم‌گیر، انواع دستگاه‌های موبایل با قابلیت پردازش و نمایش عوارض گرافیکی را تشخیص می‌دهد [۱۱]. در صورتی که دستگاه‌های همراه قادر به پردازش اجسام گرافیکی باشند، عوارض گرافیکی در سمت مخدوم پردازش می‌شود و در غیر این صورت تنها تصاویر محدوده کاربر ارائه می‌شود. Lehtinen و همکارانش روش نوینی را به منظور تعامل کاربر با نقشه‌های سه بعدی تشکیل شده از ساختار داده VRML ارائه نموده‌اند [۱۲]. در این سیستم کاربر می‌تواند با استفاده از سنجنده‌های مکانی گوشی و هم چنین لمس صفحه نمایش، به جستجو و گردش در محیط بپردازد.

تعدادی از مطالعات صورت گرفته مربوط به رویکرد واقعیت مجازی برنامه توسعه داده شده در ادامه بیان شده است. Aydın و همکارانش یک نقشه سه بعدی تلفیق شده با فناوری واقعیت افزوده^۱ را به منظور جستجو و نمایش عوارض مورد علاقه کاربر توسعه داده‌اند [۱۳]. در این سیستم، عوارض مربوطه به همراه اطلاعات آنها با توجه به علایق شخصی کاربر نمایش داده می‌شود. Cirulis و Brigmanis با استفاده از سنجنده‌های مکانی دستگاه همراه، اقدام به نمایش مدل سه بعدی ساختمان‌ها در پروژه City 3D-AR نموده‌اند [۱۴]. این سیستم می‌تواند در کاربردهای معماری و شهرسازی به منظور نمایش وضعیت ساختمان‌های پس از ساخت به کار رود. در پروژه ARPPS، Zhang و همکارانش سیستمی را به منظور نمایش تاسیسات و خطوط لوله در محیط بیرونی ارائه کرده‌اند [۱۵]. این سیستم با بهره‌گیری از سنجنده‌های مکانی و هم چنین رویکرد ماشین بینایی اقدام به توجیه وضعیت دستگاه در محیط و نمایش تاسیسات به کاربر می‌کند.

۳- فناوری ارائه‌ی مدل‌های سه بعدی شهری

در این بخش به ارائه‌ی فناوری‌ها و فرمت‌های مورد استفاده در تهیه و نمایش مدل‌های سه بعدی شهری پرداخته می‌شود. هم چنین انواع کتابخانه‌های مورد استفاده بر پایه OpenGL ES به همراه امکانات آنها شرح داده خواهد شد.

۳-۱- رویکردهای نمایش مدل سه بعدی شهری

نمایش مدل سه بعدی شهری بر روی دستگاه‌های همراه از لحاظ ساختار داده و فناوری مورد استفاده، می‌تواند با دو رویکرد مختلف صورت پذیرد. در دسته‌ی اول، پردازش و نمایش اجسام گرافیکی بر روی مرورگر دستگاه موبایل صورت می‌گیرد. بدین منظور فرمت‌های گوناگونی برای نمایش سه بعدی تحت وب وجود دارد که می‌توان به O3D، VRML، KML در کنار ساختار COLLADA و هم‌چنین X3D به عنوان جایگزین VRML اشاره نمود. با ظهور HTML5 در مرورگرهای اینترنت، قابلیت‌های گرافیکی و مکانی این فرمت استاندارد توسعه پیدا کرده‌اند. از جمله این موارد، WebGL به عنوان بهبود یافته‌ی بخش canvas در HTML5 است که به منظور نمایش اجسام گرافیکی در بستر وب مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابط برنامه نویسی کاربردی WebGL بر پایه OpenGL ES پیاده‌سازی شده است و کتابخانه‌های مختلفی نظیر Three.js، Scene.js و GLGE بر پایه آن توسعه یافته‌اند [۱۶].

مزیت استفاده از رویکرد مرورگر مبنای قابلیت پیاده‌سازی آن در دستگاه‌های همراه با سیستم عامل‌های مختلف است. علاوه بر این، اغلب استانداردهای OGC مطابق با فناوری‌های مورد استفاده در این حوزه می‌باشد. از جمله نقاط ضعف این رویکرد، نیاز به ارتباط اینترنت برای ارائه‌ی مدل‌های سه بعدی شهری ضروری است. هم چنین با وجود بهبود HTML5 در پشتیبانی از امکانات دستگاه‌های همراه، دسترسی کامل به اجزای سخت افزاری گوشی نظیر سنجنده‌های مکانی در حال حاضر وجود ندارد.

دسته‌ی دیگر معماری‌ها به منظور نمایش مدل سه بعدی شهری، شامل انتقال عوارض گرافیکی و اطلاعات از سمت سرور به دستگاه موبایل می‌باشد. در این رویکرد پس از انتقال اجزای تشکیل دهنده‌ی مدل شهری به دستگاه همراه، نمایش و پردازش عوارض گرافیکی در سمت مخدوم صورت می‌گیرد. فناوری‌های به کاررفته در این رویکرد، M3G (Mobile 3D Graphics) و به صورت مرسوم تر OpenGL ES هستند که وظیفه‌ی تشکیل و ارائه‌ی مدل سه بعدی را برعهده دارند.

با توجه به این که در این رویکرد برنامه‌ها به صورت ذاتی بر روی دستگاه‌های همراه توسعه داده می‌شوند،

^۱ Augmented Reality

دسترسی کامل به سنجنده‌های مکانی گوشی، دوربین و سایر بخش‌های سخت افزاری وجود خواهد داشت. هم چنین به دلیل پردازش عوارض گرافیکی در سمت مخدوم، وجود اتصال اینترنت تنها به منظور انتقال مدل سه بعدی شهری لازم به نظر می‌رسد. از جمله نقاط ضعف این معماری، نیاز به توسعه برنامه برای سیستم عامل‌های مختلف دستگاه‌های همراه می‌باشد.

در این تحقیق از رویکرد دوم برای نمایش و پردازش مدل سه بعدی شهری در دستگاه همراه استفاده شده است که در بخش بعد انواع کتابخانه‌های گرافیکی مربوطه بیان خواهد شد.

۳-۲- کتابخانه گرافیکی و موتورهای بازی سازی

به صورت گسترده، نمایش اشیای گرافیکی در دستگاه‌های همراه به وسیله OpenGL ES که نسخه‌ی تعبیه شده OpenGL در دستگاه‌های همراه است، صورت می‌پذیرد. GLES یک رابط برنامه نویسی کاربردی به منظور پردازش ساختارهای گرافیکی رایانه‌ای دو بعدی و خصوصاً سه بعدی است که قابلیت استفاده از شتاب دهنده سخت افزاری GPU را دارا می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های GLES، پشتیبانی از سکوها و زبان‌های برنامه نویسی مختلف است که نتیجه‌ی آن پیاده‌سازی در طیف وسیعی از دستگاه‌های همراه می‌باشد.

اجزای مدل سه بعدی شهری همانند ساختمان‌ها، دارای ساختار و جزئیات پیچیده‌ای می‌باشند که در نرم افزارهای گرافیکی مانند 3ds MAX، Blender، Google Sketchup تهیه و آماده‌سازی می‌شوند. با توجه به این که GLES یک رابط سطح پایین را بین بخش نرم افزاری و

شتاب دهنده‌ی گرافیکی برقرار می‌کند، بارگذاری مدل‌ها به وسیله این API نیازمند خواندن نقاط تشکیل دهنده (vertex) از فایل متنی و ایجاد ساختار مثلثی مربوط به عوارض می‌باشد. با در نظر گرفتن پیچیدگی اشیای گرافیکی و کمیت آنها در یک مدل سه بعدی شهری، این فرآیند بار پردازشی دستگاه موبایل را افزایش می‌دهد [۱۷]. به منظور رفع این مشکل، انواع کتابخانه‌های گرافیکی و موتورهای بازی سازی بر پایه‌ی رابط برنامه نویسی کاربردی GLES توسعه پیدا کرده‌اند.

از جمله قابلیت‌های این کتابخانه‌های گرافیکی می‌توان به موارد بارگذاری مدل‌های پیچیده با فرمت‌های مختلف، سازگاری با نرم‌افزارهای گرافیکی رومیزی، نور پردازی و سایه گذاری مدل‌ها، جابه‌جایی اشیای گرافیکی در محیط و تشخیص برخورد اشاره نمود. یکی دیگر از مزایای اغلب این کتابخانه‌های گرافیکی امکان پیاده‌سازی آنها بر روی سیستم عامل‌ها و سکوهایی مختلف نظیر بستر وب، رایانه رومیزی و دستگاه‌های همراه است. مقایسه‌ای میان تعدادی از کتابخانه‌های گرافیکی در جدول ۱ آورده شده است. در این تحقیق به منظور توسعه محیط واقعیت مجازی و تعامل کاربر از کتابخانه گرافیکی Libgdx استفاده شده است. Libgdx به عنوان یک چارچوب توسعه به صورت رایگان و متن باز به زبان جاوا نوشته شده است و از زبان‌های C و C++ نیز به منظور پیاده‌سازی استفاده شده است. این کتابخانه گرافیکی قابلیت پشتیبانی از اشیای دو و سه بعدی را دارا می‌باشد و بر روی سکوهایی مختلف مانند Windows، MAC، Linux، اندروید، iOS، بلکبری و HTML5 اجرا می‌شود.

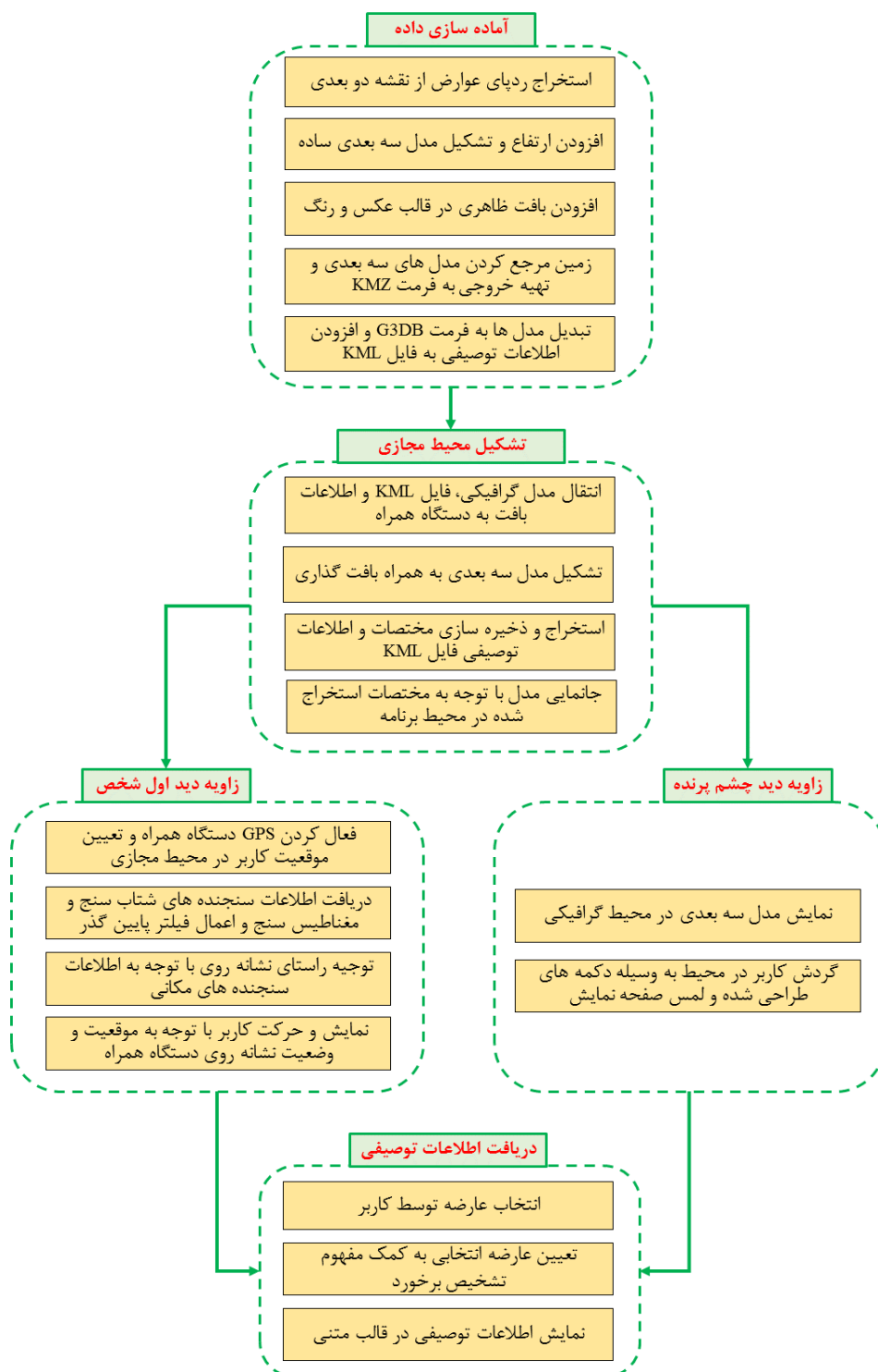
جدول ۱- انواع کتابخانه‌های گرافیکی و موتورهای بازی سازی

نام	زبان برنامه نویسی	سیستم عامل همراه	هزینه	متن باز
ShadingZen	جاوا	اندروید	رایگان	بلی
JMonkeyEngine	جاوا	اندروید، iOS	رایگان	بلی
JPCT-AE	جاوا	اندروید	رایگان	خیر
Libgdx	جاوا، C++	اندروید، iOS، بلکبری	رایگان	بلی
Godot	C++	اندروید، iOS، بلکبری	رایگان	بلی
Minko	C++	اندروید، iOS	رایگان - پرداخت	بلی
EDGELIB	C++	اندروید، iOS، سیمبین، ویندوزفون	رایگان - پرداخت	خیر
Unity3D	C#, JS, Boo	اندروید، iOS، بلکبری، ویندوزفون	پرداخت	خیر

۴- طراحی و پیاده‌سازی برنامه کاربردی

داده، فرآیند ذخیره سازی و deserialization، رویکردهای نمایشی و تعامل کاربر در نمودار شکل ۱ بیان شده است.

به منظور تبیین روند پیاده سازی تحقیق، مراحل اجرایی برنامه توسعه داده شده، شامل تهیه و آماده سازی



شکل ۱- مراحل پیاده سازی برنامه کاربردی تحقیق

اندازه‌گیری‌های لازم به منظور ترسیم عوارضی که در نقشه دو بعدی وجود ندارند، صورت گرفته است. به منظور مدلسازی سه بعدی اشیای محیط، ارتفاع عوارض ساختمانی بر حسب تعداد طبقات و متوسط ارتفاع برای هر طبقه تخمین زده شده است. پس از وارد کردن اندازه‌گیری‌های مدل در نرم افزار Google Sketchup، بافت مربوطه از طریق بازدید میدانی و عکسبرداری از وجوه مختلف عوارض تهیه شده و بر روی مدل سه بعدی قرار گرفته است. شکل ۳ مدل تهیه شده ساختمان نمازخانه دانشکده مهندسی نقشه برداری را در محیط نرم‌افزار نشان می‌دهد. در مرحله‌ی بعد فرآیند زمین مرجع نمودن مدل‌های تشکیل شده در نرم افزار صورت گرفته و مختصات خروجی عوارض به فرمت استاندارد KML در آمده است.



شکل ۳- مدل سه بعدی نمازخانه دانشکده در محیط نرم افزار Google Sketchup

پس از ایجاد مدل‌های سه بعدی و زمین مرجع نمودن آنها، نیاز به افزودن اطلاعات توصیفی می‌باشد. بدین منظور اطلاعات توصیفی جمع آوری شده عوارض به صورت "کلید - مقدار" و در قالب تگ <property> در فایل KML ذخیره شده است. اطلاعات توصیفی ذخیره شده می‌تواند به منظور پالایش عوارض مدل سه بعدی و دسته‌بندی عوارض به کار گرفته شود. شکل ۴ نمونه‌ای از اطلاعات توصیفی افزوده شده به فایل KML را نمایش می‌دهد.

```
<description>
  <property alias="category" >
    Educational
  </property>
  <property alias="name">
    Geomatics Faculty (SW)
  </property>
</description>
```

شکل ۴- بخش مربوط به اطلاعات توصیفی عوارض

در این مطالعه، برنامه کاربردی بر روی تبلت Samsung Galaxy Note 8 دارای سیستم عامل اندروید پیاده‌سازی شده است. در جدول ۲ مشخصات فنی دستگاه همراه بیان شده است. برنامه کاربردی به زبان برنامه نویسی جاوا و در محیط نرم افزار Android Studio توسعه یافته است.

جدول ۲- مشخصات تبلت Samsung Galaxy Note 8

سیستم عامل	Android 4.4.2 (KitKat)
پردازنده مرکزی	Quad-core 1.6 GHz Cortex-A9
پردازنده گرافیکی	Mali-400MP4
فناوری مکان‌یابی	GPS, A-GPS, GLONASS
سنجنده‌های مکانی	شتاب سنج، قطب نما

۴-۱- تهیه و آماده‌سازی داده

مدل‌های سه بعدی شهری به روش‌های گوناگونی نظیر فوتوگرامتری و لیدار، ارتفاع‌دهی ردپای دوبعدی عوارض، مدل‌های معماری، استفاده از دستگاه‌های همراه و اطلاعات داوطلبانه تهیه می‌شوند [۱۸]. به کارگیری برخی از این روش‌ها با وجود دقت بالای مدلسازی، نیازمند وجود امکانات خاص و صرف هزینه گزاف می‌باشد. منطقه مورد مطالعاتی این تحقیق، محوطه دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. به منظور مدلسازی عوارض محوطه دانشکده شامل ساختمان‌ها، پوشش گیاهی و سازه‌های موجود، از نقشه دو بعدی ۱:۲۰۰۰ حاصل از عکسبرداری هوایی استفاده شده است. شکل ۲ نمایی از نقشه دو بعدی منطقه مورد مطالعه را که نشان دهنده‌ی نمای ردپای دو بعدی ساختمان‌ها است، نشان می‌دهد.

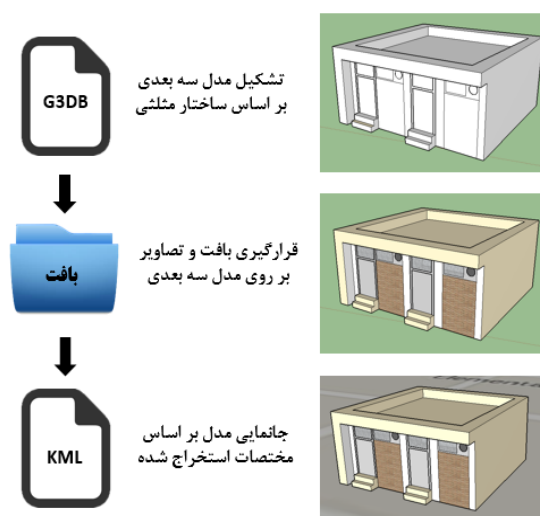


شکل ۲- محوطه دانشکده مهندسی نقشه‌برداری

۴-۲- پیاده‌سازی مدل‌ها در محیط گرافیکی

مدل‌های سه بعدی ایجاد شده بایستی به فرمت پشتیبانی شده در کتابخانه گرافیکی تبدیل شوند. اغلب کتابخانه‌های گرافیکی از فرمت‌هایی نظیر obj و fbx به منظور نمایش ساختارهای گرافیکی بهره می‌برند. با وجود پشتیبانی کتابخانه Libgdx از فرمت obj، به دلیل ضعف این فرمت داده در ذخیره‌سازی اطلاعات لازم برای پردازش اجسام گرافیکی پیچیده نظیر ساختمان‌ها بهتر است از این فرمت داده استفاده نشود [۱۹]. بدین منظور Libgdx فرمت g3db را در اختیار توسعه‌دهندگان قرار می‌دهد که جایگزینی برای ساختار obj است.

پس از تبدیل مدل سه بعدی به فرمت g3db، سه نوع فایل با ساختارهای گوناگون وجود دارد که بایستی به وسیله فرآیند deserialization با هم ادغام شوند. serialization در علوم کامپیوتر روند تبدیل یک شی به مجموعه‌ای از بایت‌ها است که می‌تواند در یک فضای ذخیره‌سازی نگهداری شود. پروسه معکوس serialization به منظور تبدیل یک شی از بایت‌های ذخیره شده، deserialization نام دارد [۲۰]. فرآیند deserialization در سمت کاربر شامل تشکیل مدل سه بعدی از ساختارهای مثلی فایل g3db، قرارگیری بافت مربوط بر روی مدل و جانمایی عارضه به کمک مختصات به دست آمده از فایل KML است. فرآیند deserialization مدل سه بعدی در شکل ۵ نشان داده شده است. علاوه بر این، اطلاعات توصیفی نیز در کنار مختصات قرارگیری مدل از فایل KML استخراج شده و ذخیره می‌شود.



شکل ۵- فرآیند deserialization مدل سه بعدی

فرآیند deserialization مدل‌های سه بعدی منتقل شده به دستگاه موبایل به صورت خودکار صورت می‌گیرد که این باعث انعطاف بالای برنامه در پیاده‌سازی مدل‌های متنوع می‌شود. در گام نهایی مدل‌های تشکیل شده پس از انتقال به سیستم مختصات UTM^۱ در محیط گرافیکی ترسیم می‌شوند.

۴-۳- زوایای دید برنامه کاربردی

در این تحقیق، به منظور نمایش و تعامل با مدل سه بعدی شهری دو رویکرد مختلف پیاده‌سازی شده است: (۱) نمایش در حالت چشم پرنده یا سوم شخص، (۲) نمایش به صورت اول شخص. هر یک از این رویکردهای نمایشی و نحوه پیاده‌سازی آنها به تفصیل در ادامه بیان خواهد شد.

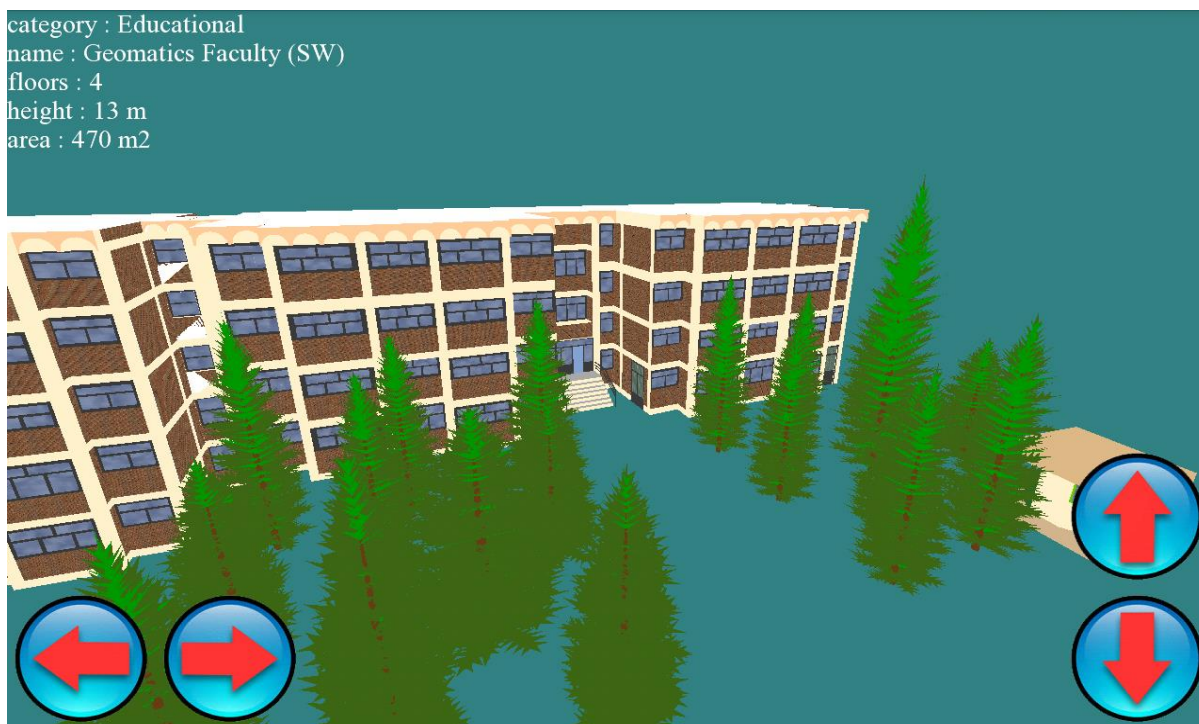
۴-۳-۱- زاویه‌ی دید چشم پرنده

نمای چشم پرنده حالتی از نمایش است که ناظر همانند پرنده در ارتفاع بالای نقشه سه بعدی یا مدل شهری، محیط را مشاهده می‌کند. این حالت از نمایش در اغلب برنامه‌ها و نقشه‌های سه بعدی نظیر Google Eearth، ArcScene و Cesium پشتیبانی می‌شود.

پیاده‌سازی رویکرد چشم پرنده در برنامه، با قرار دادن دوربین و یا ناظر در ارتفاعی بالاتر از سطح زمین انجام شده است و کاربر در حالت بالا به پایین محیط را مشاهده می‌کند. به منظور افزودن امکانات حرکتی و تعامل کاربر با محیط، از دکمه‌های طراحی شده و همچنین قابلیت لمسی دستگاه همراه استفاده شده است. در این حالت دو دکمه به منظور حرکت ناظر در صفحه افقی و دو دکمه دیگر برای تغییر ارتفاع ناظر از سطح زمین در نظر گرفته شده اند. چرخش و دوران ناظر در محیط به همراه امکان بزرگنمایی نیز در قالب لمس صفحه‌ی نمایش امکان‌پذیر شده است.

شکل ۶ نمایی از محوطه دانشکده نقشه‌برداری در حالت زاویه دید چشم پرنده به همراه اطلاعات توصیفی برگردانده شده مربوط به یکی از ساختمان‌های دانشکده را نشان می‌دهد.

^۱ Universal Transverse Mercator



شکل ۶- نمایی از محوطه دانشکده در زاویه دید چشم پرده

۴-۳-۲- زاویه‌ی دید ناظر اول شخص

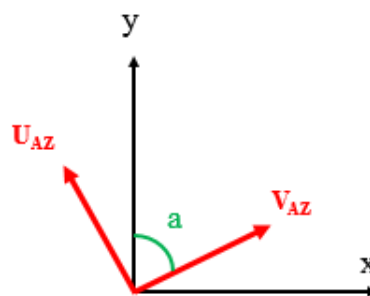
در زاویه دید اول شخص، وضعیت قرارگیری گوشی با توجه به سنجنده‌های مکانی مغناطیس‌سنج و شتاب‌سنج مشخص شده است. سنجنده‌ی شتاب‌سنج نرخ تغییرات سرعت دستگاه را در راستای محورهای مختصات گوشی برآورد می‌کند. این سنجنده به دلیل اندازه‌گیری شتاب حاصل از حرکت و جاذبه زمین، به عنوان سنجنده جاذبه نیز شناخته می‌شود [۲۱]. سنجنده‌ی مغناطیس‌سنج میدان مغناطیس پیرامونی را در راستای سه محور سیستم مختصات گوشی برآورد می‌کند. این سنجنده با تعیین میدان مغناطیسی زمین، شمال واقعی را نشان می‌دهد. از جمله عوامل خطای سنجنده مغناطیس‌سنج، وجود میدان‌های مغناطیسی ناشی از اشیای فلزی در اطراف دستگاه است [۲۲]. با ترکیب اطلاعات به دست آمده از این دو سنجنده، وضعیت دورانی دستگاه همراه حول محورهای سیستم مختصات جهانی مشخص می‌شود.

بردار دورانی به دست آمده از سنجنده‌های شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج دارای سه مولفه است که در این تحقیق، آزیموت و زاویه ارتفاعی گوشی به منظور تعیین راستای نشانه‌روی دستگاه همراه استفاده شده است. در این حالت مقدار آزیموت، دوران حول محور x و زاویه ارتفاعی نیز دوران حول محور y دستگاه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل ۷ به منظور تعیین راستای نشانه‌روی در سیستم مختصات UTM محیط گرافیکی، ابتدا بردار V_{AZ} و U_{AZ}

حالت دیگر نمایش مدل سه بعدی شهری در برنامه کاربردی، نمای اول شخص است. در زاویه دید اول شخص همانند آنچه در فناوری واقعیت افزوده ملاحظه می‌شود، کاربر با توجه به مکان آگاه بودن برنامه، قابلیت حرکت و تعامل با محیط را دارد. در این رویکرد سنجنده‌های مکانی و فناوری‌های تعیین موقعیت به منظور مکان آگاه نمودن برنامه به کار گرفته می‌شوند. در ادامه انواع سنجنده‌های تعبیه شده در گوشی‌های هوشمند بیان می‌شود:

- سنجنده‌های حرکتی: این دسته از سنجنده‌ها، حرکت دستگاه فیزیکی را در راستا و محورهای مرجع بررسی می‌کنند. سنجنده‌ی شتاب‌سنج، جاذبه‌سنج و ژيروسکوپ نمونه‌ای از این سنجنده‌ها محسوب می‌شوند.
- سنجنده‌های محیطی: این دسته به منظور اندازه‌گیری پارامترهای محیطی نظیر دما، فشار، رطوبت به کار گرفته می‌شوند. فشارسنج و روشنایی سنج در این دسته قرار می‌گیرند.
- سنجنده‌های موقعیت: این دسته از سنجنده‌ها، موقعیت فیزیکی دستگاه را تعیین می‌کنند. سنجنده‌ی دورانی و مغناطیس‌سنج نمونه‌ای از سنجنده‌های موقعیت می‌باشند.

بردار عمود بر آن در صفحه x-y، با توجه به روابط ۱ و ۲ تعیین می‌شود.



شکل ۷- آزمون و بردار عمود بر آن در صفحه افق

در این روابط i ، j و k به ترتیب بردارهای یکه محورهای مختصات x ، y و z می‌باشند. هم چنین زاویه a آزمون دستگاه نسبت به شمال زمین در نظر گرفته شده است. رابطه ۳ درستی بردارهای به دست آمده را با توجه به ضرب خارجی آنها بیان می‌کند.

$$V_{AZ} = \sin a * i + \cos a * j \quad (1)$$

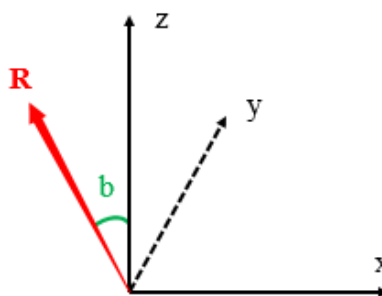
$$U_{AZ} = -\cos a * i + \sin a * j \quad (2)$$

$$k = U_{AZ} \times V_{AZ} \quad (3)$$

به منظور به دست آوردن بردار نشانه‌روی (R) در فضای ۳ بعدی، نیاز است که وضعیت زاویه ارتفاعی دستگاه نیز در نظر گرفته شود. در این حالت با فرض معلوم بودن وضعیت دستگاه در صفحه افق، راستای نشانه‌روی را می‌توان از رابطه ۴ به دست آورد.

$$R = -\cos a * \sin b * i + \sin a * \sin b * j + \cos b * k \quad (4)$$

که در آن همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، b زاویه حامل بردار R با محور z می‌باشد که با توجه به مقدار زاویه ارتفاعی دستگاه تعیین می‌شود.



شکل ۸- بردار نشانه‌روی دستگاه همراه در فضای سه بعدی

با توجه به این که داده‌های سنجنده شتاب سنج دارای تغییرات نوسانی است و سنجنده مغناطیس سنج نیز نسبت به اشیای فلزی حساس می‌باشد، اطلاعات دورانی به دست آمده با خطا همراه است. به منظور از بین بردن نوسانات درون داده‌های اخذ شده، از فیلتر پایین گذر استفاده شده است. فیلتر پایین گذر نوعی از فیلترهای الکترونیکی است که به داده‌ها با تناوب پایین اجازه عبور می‌دهد و تاثیر داده‌ها با تناوب بالاتر از حد آستانه را کاهش می‌دهد. رابطه‌ی ۵ فیلتر پایین گذر [۲۳] اعمال شده بر روی داده سنجنده‌های شتاب‌سنج و مغناطیس سنج را در این تحقیق نشان می‌دهد.

$$y_i = y_{i-1} + \alpha * (x_i - y_{i-1}) \quad (5)$$

در این رابطه α حد آستانه فیلتر پایین گذر، x_i داده ورودی سنجنده در مرحله i و y خروجی مربوط به اعمال فیلتر باشد. مقدار حد آستانه α از رابطه ۶ و با توجه به ثابت زمانی (T) و نرخ بروزرسانی داده‌های اخذ شده سنجنده (dt) تعیین می‌شود [۲۳]. در این تحقیق، مقدار حد آستانه α با در نظر گرفتن نرخ بروزرسانی سنجنده-های دستگاه همراه برابر ۰٫۱ می‌باشد.

$$\alpha = dt / (dt + T) \quad (6)$$

پارامتر مورد نیاز دیگر، موقعیت قرارگیری ناظر در محیط می‌باشد که بدین منظور از فناوری تعیین موقعیت استفاده شده است. روش‌های مختلفی به منظور تعیین موقعیت دستگاه همراه در محیط بیرونی وجود دارد که می‌توان به استفاده از شبکه WiFi، آنتن‌های مخابراتی، گیرنده GPS گوشی، اتصال به شبکه اینترنت و روش‌های A-GPS اشاره نمود [۲۴]. با توجه به نیاز برنامه برای تعیین موقعیت دقیق کاربر، به کارگیری گیرنده GPS داخلی دستگاه نسبت به سایر روش‌ها نتایج مطلوب‌تری در پی دارد. در رویکرد زاویه دید اول شخص، ابتدا از کاربر درخواست می‌شود تا سیستم تعیین موقعیت دستگاه را فعال نماید. سپس در صورت موجود بودن داده GPS، موقعیت ناظر در محیط واقعیت مجازی تعیین خواهد شد. نمایی از برنامه به صورت زاویه دید اول شخص در شکل ۹ نشان داده شده است. جابجایی مدل سه بعدی نسبت به عارضه واقعی به دلیل خطای سنجنده‌های مکانی دستگاه، در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۹- نمایی از ساختمان دانشکده نقشه برداری در زاویه دید اول شخص

۴-۴- ارائه‌ی اطلاعات توصیفی عوارض

در کنار نمایش مدل سه بعدی شهری، امکان ارائه‌ی اطلاعات مکانی مربوط به عوارض نیز فراهم شده است. در ابتدا نیاز است تا اطلاعات توصیفی از فایل KML مربوط به عوارض استخراج شده و در برنامه کاربردی ذخیره شود. در مرحله بایستی عارضه مورد نظر کاربر تعیین شده و سپس اطلاعات مربوط به آن نمایش داده شود. به منظور انتخاب مدل‌های سه بعدی در محیط گرافیکی از مفهوم تشخیص برخورد استفاده شده است. تشخیص برخورد به مسئله‌ی تشخیص برخورد و تقاطع بین دو یا چندین شی اشاره دارد که بیشتر در زمینه بازی‌های رایانه‌ای و شبیه‌سازی فیزیکی به کار گرفته می‌شود. یکی از رایج‌ترین حالت‌های تشخیص برخورد، پاسخ به این سوال است که آیا دو شی A و B در مکان و راستای خود همپوشانی دارند یا خیر [۲۵].

در این مطالعه، به منظور به کارگیری مفهوم تشخیص برخورد، ابتدا محدوده‌ی مدل‌های گرافیکی به وسیله‌ی مستطیل محدودکننده کمینه^۱ محاسبه می‌شود. در مرحله

بعد راستای نشانه‌روی ناظر گرافیکی یک بردار هادی را تشکیل می‌دهد که می‌توان برخورد بردار هادی را با مستطیل محدودکننده کمینه‌ی عوارض مشخص نمود. مسئله دیگر رفع ابهام مربوط به برخورد بردار هادی ناظر با چندین مدل گرافیکی است. به منظور رفع این مشکل، فاصله‌ی ناظر نسبت به هر کدام از مدل‌های گرافیکی متقاطع محاسبه می‌شود و مدلی که کمترین فاصله از ناظر را دارد به عنوان شی انتخاب شده در نظر گرفته می‌شود. پس از انتخاب عارضه مورد نظر، اطلاعات توصیفی مربوطه را در قالب متنی ارائه خواهد شد.

۵- بحث و ارزیابی

مطالعات انجام شده در زمینه نمایش مدل‌های سه بعدی شهری، ارزیابی خود را در قالب بصری و بر مبنای چگونگی نمایش عوارض و ارائه اطلاعات قرار داده‌اند. در این تحقیق، ارزیابی برای تعیین دقت جانمایی مدل‌ها در رویکرد زاویه دید اول شخص انجام شده است. با توجه به این که دقت جانمایی مدل‌های سه بعدی وابسته به وضعیت ناظر گرافیکی می باشد، نیاز است تا خطای موقعیت و نشانه‌روی دستگاه همراه تعیین شود. پارامترهای مربوطه به منظور تعیین وضعیت ناظر گرافیکی

^۱ Minimum Bounding Box (MBB)

شامل GPS دستگاه و خطای زاویه‌ای حاصل از سنجنده‌های شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج است. در ابتدا خطای موقعیت و دوران دستگاه به کمک اندازه‌گیری میدانی تعیین شده و سپس خطای مسطحاتی و ارتفاعی مربوط به جانمایی مدل‌ها مشخص می‌شود.

به منظور تعیین دقت تعیین موقعیت GPS دستگاه همراه، مختصات دقیق تعدادی از نقاط در محوطه دانشکده نقشه‌برداری با استفاده از GPS دو فرکانسه و به صورت استاتیک اندازه‌گیری شد. مشاهدات موقعیت به وسیله GPS دستگاه همراه و پس از قرارگیری بر روی یک نقطه دقیق انجام شد. دقت تعیین موقعیت گوشی همراه به وسیله رابطه ۷ تعیین شده است.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n}} \quad (7)$$

در این رابطه e_i اختلاف مشاهده i از مقدار واقعی و n تعداد مشاهدات است. به منظور تعیین دقت آزمون نشانه‌روی دستگاه، مشاهدات حاصل از سنجنده‌های شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج با قطب‌نمای دقیق مورد ارزیابی قرار گرفته و از رابطه ۷ به دست آمده است. دقت مکانی و زاویه‌ای دستگاه همراه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- دقت مکانی و زاویه‌ای دستگاه همراه

پارامتر	انحراف معیار
طول جغرافیایی	۷ متر
عرض جغرافیایی	۷ متر
ارتفاع	۱۴ متر
زاویه	۴ درجه

با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه از انحنای زمین صرف نظر شده و دقت مربوط به مختصات UTM، متناظر با مولفه‌های طول و عرض جغرافیایی در نظر گرفته شده است. مختصات محل قرارگیری مدل سه بعدی نسبت به یک نقطه مبنا (ناظر گرافیکی) به وسیله روابط ۸، ۹ و ۱۰ به دست می‌آید [۲۶].

$$x_A = x_o + L * \sin(G_{OA}) \quad (8)$$

$$y_A = y_o + L * \cos(G_{OA}) \quad (9)$$

$$z_A = z_o + L * \tan(\theta) \quad (10)$$

در این روابط L فاصله بین دو نقطه O و A ، G_{OA} آزمون و θ زاویه ارتفاعی بین دو نقطه در نظر گرفته شده است.

در صورتی که پارامتر u تابع چندین پارامتر مستقل به شکل رابطه ۱۱ باشد، می‌توان از رابطه ۱۲ به منظور تعیین خطای حاصل از پارامترهای مستقل استفاده نمود [۲۷]. در این رابطه، f_x مشتق پاره‌ای تابع f نسبت به x و dx دقت اندازه‌گیری متغیر x است.

$$u = f(x, y) \quad (11)$$

$$\delta_u = \sqrt{f_x^2 * dx^2 + f_y^2 * dy^2} \quad (12)$$

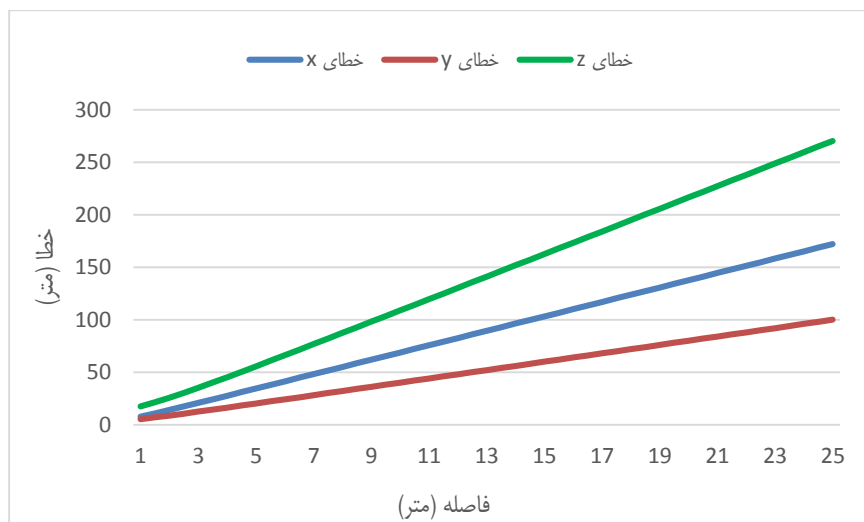
جانمایی مدل‌های سه بعدی تابع موقعیت ناظر گرافیکی، فاصله بین دو نقطه و زاویه است. خطای مولفه x ، y و z نقاط با توجه به رابطه ۱۲، در قالب روابط ۱۳، ۱۴ و ۱۵ بیان شده است. در این روابط dx_o ، dy_o و dz_o دقت مختصاتی و dG و $d\theta$ به ترتیب دقت آزمون و زاویه ارتفاعی است.

$$\delta_x = \sqrt{(dx_o)^2 + (L * \cos(G_{OA}) * dG)^2} \quad (13)$$

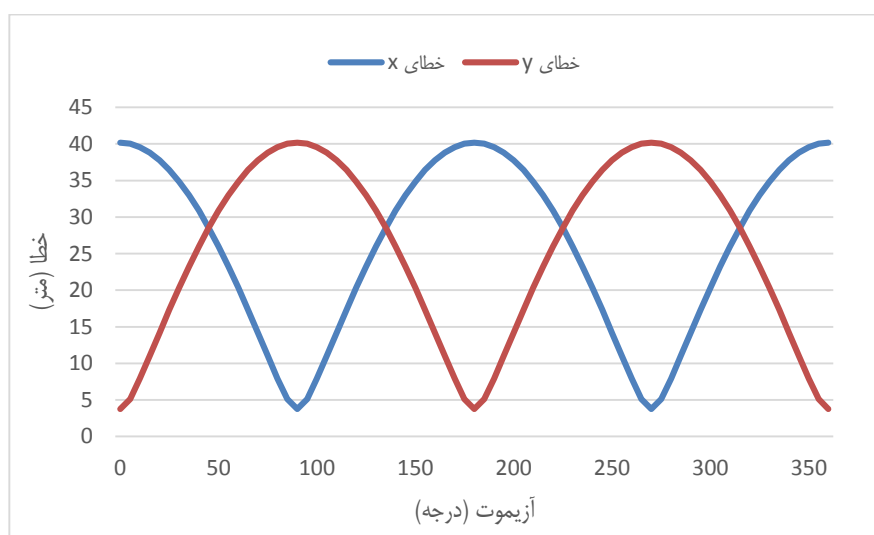
$$\delta_y = \sqrt{(dy_o)^2 + (L * \sin(G_{OA}) * dG)^2} \quad (14)$$

$$\delta_z = \sqrt{(dz_o)^2 + (L * \sec^2(\theta) * d\theta)^2} \quad (15)$$

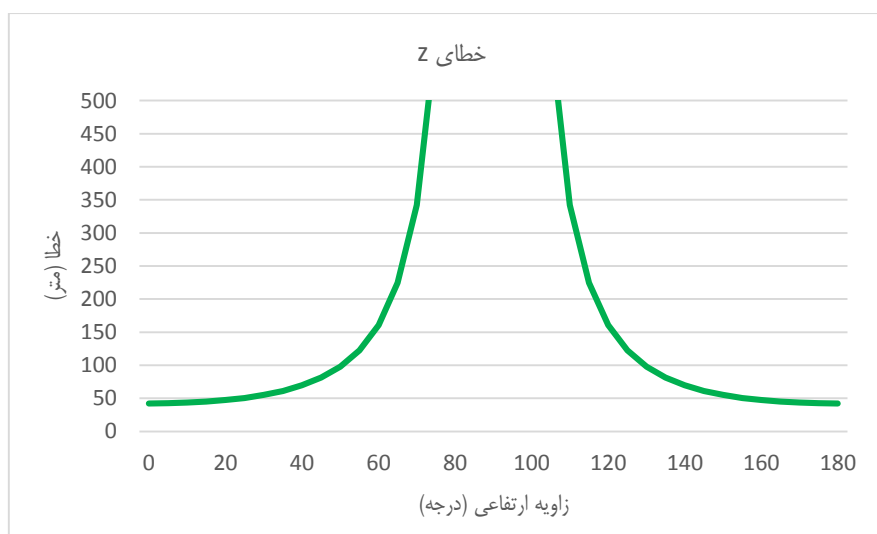
با توجه به وابستگی جانمایی مدل‌های سه بعدی به فاصله و زاویه نشانه‌روی، میزان خطای مختصات برحسب فاصله، آزمون و زاویه ارتفاعی در نمودارهای شکل ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که خطای حاصل از تعیین موقعیت به وسیله GPS گوشی تاثیر بسیار زیادی در دقت جانمایی دارد.



شکل ۱۰- نمودار خطای مولفه‌های مختصات بر حسب فاصله



شکل ۱۱- نمودار خطای مسطحاتی بر حسب آزیموت



شکل ۱۲- نمودار خطای ارتفاعی بر حسب زاویه ارتفاعی

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

قابلیت‌های نوین دستگاه‌های همراه نظیر پردازنده‌های مرکزی و گرافیکی بهبود یافته، فضای ذخیره‌سازی مناسب و به کارگیری سنجنده‌های مکانی، امکان استفاده از آنها را در کاربردهای مختلف فراهم نموده است. نمایش محیط اطراف کاربر در دستگاه‌های همراه به صورت مرسوم در قالب نقشه‌های دو بعدی صورت می‌پذیرد. این دسته از نقشه‌ها با وجود فراهم کردن امکاناتی نظیر ناوبری در محیط و مشاهده نقاط مورد علاقه، به یک نمای بالا به پایین محدود می‌شوند. نقشه‌ها و مدل‌های سه بعدی شهری از سوی دیگر با در نظر گرفتن بعد ارتفاعی عوارض، به درک بهتر کاربر از محیط بر مبنای خصوصیات ظاهری و هندسی عوارض کمک می‌کنند. همچنین، کاربر می‌تواند اطلاعات مربوط به جوه مختلف عوارض نظیر قسمت‌های مختلف یک ساختمان را مشاهده کند. مدل‌های سه بعدی شهری اغلب در بستر وب و رایانه‌های رومیزی پیاده‌سازی شده‌اند. در این مطالعه، به منظور رفع محدودیت نقشه‌های دو بعدی، یک برنامه کاربردی موبایل برای مشاهده عوارض شهری در قالب سه بعدی و تعامل کاربر با آنها ایجاد شده است.

با توجه به این که رابط برنامه‌نویسی کاربردی GLES برای نمایش و پردازش مدل‌های گرافیکی دو بعدی و سه بعدی در محیط همراه استفاده می‌شود، اما این ساختار سطح پایین دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. به منظور رفع این محدودیت‌ها، کتابخانه‌های گرافیکی و موتورهای بازی‌سازی بر مبنای GLES توسعه داده شده‌اند. بارگذاری و تشکیل مدل‌های سه بعدی پیچیده، سایه‌گذاری و نورپردازی، انتقال مدل‌ها در محیط و تشخیص برخورد بین اشیای گرافیکی، از جمله امکانات این کتابخانه‌های گرافیکی محسوب می‌شوند. در این تحقیق، برنامه‌ی کاربردی مبتنی بر کتابخانه گرافیکی Libgdx و به صورت ذاتی توسعه داده شده است.

منطقه مورد مطالعه شامل عوارض محوطه دانشگاه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. مدل سه بعدی عوارض در محیط نرم‌افزار گرافیکی Google Sketchup تشکیل شده‌اند و مختصات زمین مرجع آنها به همراه اطلاعات توصیفی در ساختار KML ذخیره شده‌اند. فرآیند deserialization به منظور پیاده‌سازی خودکار ساختار مدل‌های سه بعدی در محیط گرافیکی استفاده شده است.

برنامه‌ی توسعه داده شده از دو زاویه دید تشکیل شده است: (۱) نمای چشم پرنده، (۲) زاویه دید ناظر اول شخص. در

نمای چشم پرنده کاربر می‌تواند با استفاده از دکمه‌های طراحی شده و لمس صفحه نمایش به گردش و حرکت در محیط بپردازد. از سوی دیگر، در زاویه دید اول شخص مشابه رویکرد فناوری واقعیت افزوده، مشاهده‌ی محیط و عوارض گرافیکی با استفاده از سنجنده‌های مکانی گوشی صورت می‌گیرد. در این حالت بر خلاف رویکرد چشم پرنده، کاربر بایستی در محیط حضور داشته باشد تا موقعیت و راستای نشانه‌روی دستگاه همراه مشخص شود. ارائه‌ی اطلاعات توصیفی عوارض در برنامه، با استفاده از مفهوم تشخیص برخورد صورت گرفته است. در این ساختار پس از تعیین بردار هادی نشانه‌روی ناظر گرافیکی و محاسبه مستطیل محدودکننده کمینه مدل‌های سه بعدی، تقاطع راستای نشانه‌روی با مدل‌های گرافیکی بررسی می‌شود. به منظور رفع ابهام همپوشانی راستای نشانه‌روی با چندین مدل سه بعدی، نزدیک‌ترین مدل به عنوان عارضه انتخابی کاربر در نظر گرفته شده و اطلاعات توصیفی در قالب متنی نمایش داده می‌شود.

در این تحقیق، یک برنامه کاربردی بر پایه کتابخانه گرافیکی Libgdx به منظور نمایش مدل سه بعدی عوارض محوطه دانشگاه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی توسعه داده شده است. به کارگیری دو رویکرد تعاملی چشم پرنده و زاویه دید اول شخص باعث آزادی حرکت و تعامل بهتر کاربر با محیط شده است. در رویکرد واقعیت مجازی کاربر با قرارگیری در فضای بیرونی می‌تواند به گردش در محیط شهری پرداخته و با عوارض مجازی تعامل داشته باشد. علاوه بر نمایش مدل سه بعدی شهری، کاربر می‌تواند عوارض مورد نظر خود را انتخاب نموده و اطلاعات توصیفی آنها را مشاهده نماید.

تعیین موقعیت کاربر به وسیله فناوری GPS دارای خطای چندین متری در فضاهای باز است که به منظور بهبود دقت مکان‌یابی می‌توان از رویکردهای D-GPS یا روش‌های دیداری بهره گرفت. هم چنین اطلاعات دورانی به دست آمده از سنجنده‌های مکانی نیز می‌تواند به کمک ساختار ترکیب سنجنده‌ها از لحاظ دقت بهبود یابد. با توجه به این که مدل‌های سه بعدی دارای جزئیات پیچیده و حجم بالایی هستند، بارگذاری و پردازش تمام آنها در دستگاه‌های همراه باعث افزایش حجم پردازشی می‌شود. به منظور رفع این مشکل می‌توان از روش‌های مختلف پرسش‌وپاسخ مکانی به منظور پالایش مدل‌های سه بعدی استفاده نمود تا تنها عوارض منطبق با شرایط تعیین شده نمایش داده شوند.

- [1] Benner, J., Geiger, A., Gröger, G., Häfele, K. H., & Löwner, M. O. (2013, September). Enhanced LOD concepts for virtual 3D city models. In ISPRS annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Proceedings of the ISPRS 8th 3D GeoInfo conference & WG II/2 workshop (pp. 51-61).
- [2] Uznir, U., Anton, F., Suhaibah, A., Rahman, A., & Mioc, D. (2013, September). Improving 3D spatial queries search: newfangled technique of space filling curves in 3D city modeling. In 8th 3D geoinfo conference and ISPRS WG II/2 workshop.
- [3] Rakkolainen, I., & Vainio, T. (2001). A 3D city info for mobile users. *Computers & Graphics*, 25(4), 619-625.
- [4] Hildebrandt, D., Klimke, J., Hagedorn, B., & Döllner, J. (2011, May). Service-oriented interactive 3D visualization of massive 3D city models on thin clients. In Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications (p. 6). ACM.
- [5] Prieto, I., & Izgara, J. L. (2012, August). Visualization of 3D city models on mobile devices. In Proceedings of the 17th International Conference on 3D Web Technology (pp. 101-104). ACM.
- [6] Rodrigues, J. I., Figueiredo, M. J., & Costa, C. P. (2013, July). Web3D GIS for City Models with CityGML and X3D. In IV (pp. 384-388).
- [7] Wang, S., Mao, Z., Zeng, C., Gong, H., Li, S., & Chen, B. (2010, June). A new method of virtual reality based on Unity3D. In 2010 18th International Conference on Geoinformatics (pp. 1-5). IEEE.
- [8] S. Abbasi, M. R. Malek. Design and Modeling of a 3D Volunteered Geographic Information with an Interoperable Description for Fundamental Components of a Building. *JGST*. 2015; 4 (4) :15-28
- [9] Burigat, S., & Chittaro, L. (2005, March). Location-aware visualization of VRML models in GPS-based mobile guides. In Proceedings of the tenth international conference on 3D Web technology (pp. 57-64). ACM.
- [10] Nurminen, A. (2006, April). m-LOMA- a mobile 3D city map. In Proceedings of the eleventh international conference on 3D web technology (pp. 7-18). ACM.
- [11] Baldauf, M., & Musialski, P. (2010). A device-aware spatial 3D visualization platform for mobile urban exploration. In The fourth international conference on mobile ubiquitous computing, systems, services and technologies (UBICOMM 2010), IARIA.
- [12] Lehtinen, V., Nurminen, A., & Oulasvirta, A. (2012, March). Integrating spatial sensing to an interactive mobile 3D map. In 3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium on (pp. 11-14). IEEE.
- [13] Aydın, B., Gensel, J., Calabretto, S., & Tellez, B. (2012, April). ARCAMA-3D—A Context-Aware Augmented Reality Mobile Platform for Environmental Discovery. In International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (pp. 17-26). Springer Berlin Heidelberg.
- [14] Cirulis, A., & Brigmanis, K. B. (2013). 3D outdoor augmented reality for architecture and urban planning. *Procedia Computer Science*, 25, 71-79.
- [15] Zhang, X., Han, Y., Hao, D., & Lv, Z. (2015, November). ARPPS: Augmented reality pipeline prospect system. In International Conference on Neural Information Processing (pp. 647-656). Springer International Publishing.
- [16] CHATURVEDI, K. (2014). Web based 3D analysis and visualization using HTML5 and WebGL.
- [17] C. D. Montgomery. (July 8, 2014). Developing Mobile Game Graphics for Intel® Architecture-Based Android* Tablets, Part 1. Available: <https://software.intel.com/en-us/android/articles/developing-mobile-game-graphics-for-intel-architecture-based-android-tablets-part-1>
- [18] 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.
- [19] Bose, J. (2014). *LibGDX Game Development Essentials*. Packt Publishing Ltd.
- [20] (2016, 30 August 2016). Serialization and Deserialization in Java. Available: <http://www.studytonight.com/java/serialization-and-deserialization.php>
- [21] Meier, R. (2012). *Professional Android 4 application development*. John Wiley & Sons.
- [22] MacLean, D., Komatineni, S., & Allen, G. (2015). *Pro Android 5*. Apress.
- [23] K. Kircher. (2015, 5 August 2016). Low-Pass Filter: The Basics. Available: <http://www.kircherelectronics.com/blog/index.php/11-android/sensors/8-low-pass-filter-the-basics>
- [24] Milette, G., & Stroud, A. (2012). *Professional Android sensor programming*. John Wiley & Sons.

- [25] Ericson, C. (2004). Real-time collision detection. CRC Press.
- [26] Brinker, R. C., & Minnick, R. (2012). The surveying handbook. Springer Science & Business Media.
- [27] Weltner, K., John, S., Weber, W. J., Schuster, P., & Grosjean, J. (2014). Theory of Errors. In Mathematics for Physicists and Engineers (pp. 549-568). Springer Berlin Heidelberg.