

مسیریابی داخل ساختمان از طریق ساخت شبکه سه بعدی مسیر مبتنی بر تلفیق فناوری های BIM و GIS

یاسر ابراهیمیان قاجاری^{۱*}، مجتبی ولی زاده^۲، حمید حسینی^۳

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
y.ebrahimian@nit.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - شرکت دانش بنیان انتقال دانش صنعت انرژی برق (ادصاب)
mojtabavalizade1372@gmail.com

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ha.hosseini.72@gmail.com

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۹، تاریخ تصویب تیر ۱۴۰۰)

چکیده

با توسعه زیرساخت های پیچیده شهری همچون ساختمان های بلندمرتبه، اهمیت اطلاعات مکانی در فضای داخلی ساختمان ها نمود بیشتری پیدا می کند. یکی از اساسی ترین فرآیندهای مرتبط با اطلاعات مکانی، مسیریابی است که کارایی آن مستلزم وجود یک شبکه مسیر دقیق و کامل از محیط مورد نظر می باشد. دسترسی به چنین شبکه ای در فضای داخلی ساختمان به راحتی فضای خارجی آن نبوده و نیازمند اطلاعات هندسی و در برخی موارد اطلاعات معنایی دقیق از ساختمان می باشد. در این راستا، فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمانی یا به اختصار BIM با در اختیار قرار دادن اطلاعات مفید خود درباره ساختمان ها می تواند کمک شایانی به منظور ساخت شبکه مسیر در فضای داخلی آن بنماید. از طرفی به منظور تکمیل فرآیند مسیریابی، علاوه بر شبکه مسیر، ابزارهایی کارا جهت تحلیل بر روی شبکه مسیر نیاز بوده که چنین ابزارهایی در BIM وجود ندارد؛ در این راستا، سامانه های اطلاعات مکانی (GIS) توانایی خوبی در انجام تحلیل های مورد نیاز در فرآیند مسیریابی را دارند. بنابراین به نظر می رسد می توان با تلفیق BIM و GIS، زمینه را برای مدیریت بهتر فرآیند مسیریابی در فضای داخلی ساختمان فراهم نمود. در این تحقیق تلفیق BIM و GIS با هدف ساخت شبکه مسیر در فضای داخلی و با استفاده از نرم افزار FME Reader انجام شده است. پس از استخراج داده های مورد نیاز در مدل BIM و تبدیل آن ها به فرمت استاندارد در سامانه های GIS، از دو روش پیشنهادی Mesh و TIN به منظور ایجاد شبکه مسیر استفاده شده است. در روش Mesh تعداد نقاط درگیر در مسیریابی بسیار زیاد است. بالا بودن تعداد نقاط سبب افزایش دقت مسیریابی می شود، اما در مقابل پردازش این نقاط به منظور پیدا کردن مسیر بهینه نیازمند سخت افزار بالا می باشد. روش TIN از مثلث بندی به منظور شبکه بندی محیط استفاده می کند و لذا با توجه به پایین بودن تعداد نقاط درگیر در شبکه مسیر، پردازش اطلاعات به منظور یافتن بهترین مسیر قدرت سخت افزاری کم تری را می طلبد. نتایج تحقیق کارآمدی اطلاعات موجود در مدل های BIM و همچنین روش های پیشنهادی در ساخت شبکه مسیر در فرآیند مسیریابی را نشان می دهد.

واژگان کلیدی: سامانه های اطلاعات مکانی، مدل سازی اطلاعات ساختمان، شبکه سه بعدی مسیر، مسیریابی داخل ساختمان

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

مردم در سراسر جهان بیش از ۹۰ درصد از اوقات خود را در فضای داخلی ساختمان‌ها از جمله خانه‌ها، مراکز اداری، تجاری، آموزشی و غیره سپری می‌کنند [۱]. این افراد نیازمند خدمات مکان‌مبنا از جمله مسیر بهینه برای خروج از ساختمان به خصوص ساختمان‌های بلندمرتبه با فضای داخلی پیچیده هستند که این امر مستلزم وجود یک شبکه مسیر دقیق و کارا در فضای داخلی ساختمان و ابزاری برای تحلیل بر روی آن می‌باشد. در همین راستا، افزایش تقاضا به منظور ارائه چنین خدماتی برای خروج از ساختمان، ارزش اطلاعات مکانی در تهیه شبکه مسیر در فضای داخلی ساختمان‌ها و انجام تحلیل‌های مکانی مختلف بر روی آن را نشان می‌دهد [۲].

در اغلب موارد، قبل از انجام هرگونه تحلیل بر روی یک شبکه مسیر، یک مجموعه داده از شبکه مورد نظر نیاز است؛ وجود چنین داده‌هایی در فضاهای بیرون از ساختمان نظیر داده‌های GoogleMap و OSM^۱ و همچنین دسترسی به آن‌ها بسیار راحت‌تر از فضای داخلی ساختمان‌هاست. با توجه به پیچیدگی فضای داخلی، مسیریابی درون ساختمان با چالش‌های زیادی روبه‌رو است که از جمله آن می‌توان به در دسترس نبودن روش‌های ناوبری در فضای باز همانند GPS^۲، نیازمندی به یک شبکه مسیریابی داخلی، دقت پایین روش‌های موقعیت‌یابی درون ساختمان و فقدان اطلاعات ساختمانی اشاره کرد. با این حال، ساخت مدل و ایجاد مسیر، مبنای مسیریابی در فضای داخلی ساختمان به منظور ارائه خدمات مکان‌مبنا از جمله ارائه مسیر برای خروج از ساختمان محسوب می‌شود [۳]. در این راستا، فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی یا به اختصار BIM^۳، می‌تواند با ارائه مدل‌های سه بعدی ساختمانی، اطلاعات هندسی و معنایی ارزنده‌ای از ساختمان مورد نظر در اختیار قرار دهد و کمک شایانی به منظور ساخت مدل شبکه مسیر در فضای داخلی ساختمان نماید.

BIM فرآیند تولید و مدیریت ساختمان در طول حیات آن شناخته می‌شود [۴]. به‌طور کلی، BIM می‌تواند در

افزایش بهره‌وری، طراحی، ساخت و نگهداری ساختمان مؤثر واقع شود. مهم‌تر از همه، هدف از BIM آن است که اطلاعات طراحی را به صورتی بیان کند که هدف از طراحی را بلافاصله بتوان درک نمود [۵، ۶]. مدل‌های BIM، پایگاه داده‌های طرح معماری سه بعدی هستند که می‌توانند ضمن در اختیار قرار دادن اطلاعات غنی از هندسه و معنای ساختمان، تصمیم‌گیری در مورد یک مکان را پشتیبانی کرده و اشیاء واقعی را با بالاترین سطح جزئیات یا به اختصار LoD^۴ به صورت سه بعدی مدل کنند [۵، ۷].

در حال حاضر، علاقه به تلفیق BIM و GIS در حال گسترش است؛ با این وجود، فناوری BIM فاقد ابزاری مناسب به منظور ساخت شبکه سه بعدی مسیر در داخل ساختمان و انجام تحلیل‌های مکانی مختلف بر روی آن جهت انجام فرآیند مسیر یابی است [۸]؛ به عبارتی مدل‌های BIM ویژگی‌های مسیر را به عنوان یک لایه تعبیه نمی‌کنند [۹]. در این راستا، سامانه‌های اطلاعات مکانی یا به اختصار GIS^۵ می‌توانند نقش مؤثری در این راستا ایفا کنند. به عبارت دیگر، GIS ابزار بسیار قدرتمندی در تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی دوبعدی و سه بعدی محسوب می‌شود. بنابراین به منظور تحلیل اطلاعاتی که مدل‌های BIM در اختیار قرار می‌دهند، وارد کردن این اطلاعات به پایگاه داده‌های GDB^۶ و کار بر روی این پایگاه داده‌ها امری ضروری به‌شمار می‌رود [۱۰]؛ در این راستا، تلفیق دو فناوری BIM و GIS می‌تواند مسئله ساخت شبکه مسیر در فضای داخلی ساختمان را به صورت کارآمدتری حل نماید.

استاندارد کلاس‌های بنیادین صنعت یا به اختصار IFC^۷، یک فرمت ذخیره‌سازی رایج در صنعت ساخت‌وساز به منظور استفاده از قابلیت همکاری داده‌ها بین فرمت‌های مختلف می‌باشد. IFC شامل نمایش گرافیکی داده‌های مکانی و روابط بین آن‌ها در یک دیدگاه منطقی است [۵]. این فرمت به‌عنوان یک استاندارد بین‌المللی در ISO 16739:2013 ثبت شده و در واقع به عنوان فرمت استاندارد ذخیره‌سازی و تبادل اطلاعات BIM در نظر گرفته می‌شود.

نرم‌افزار FME Reader^۸ به عنوان تبدیل‌کننده اطلاعات IFC به فرمت‌های استاندارد در GIS، قابلیت

^۴ Level of Detail

^۵ Geospatial Information System

^۶ GeoDataBase

^۷ Industry Foundation Classes

^۸ Feature Manipulation Engine Reader

^۱ Open Street Map

^۲ Global Positioning System

^۳ Building Information Modeling

در سال ۲۰۰۵، Franz و همکاران [۱۳]، مقایسه‌ای بین مدل‌های مختلف گرافیکی برای ناوبری داخلی انجام داده‌اند. این در حالی است که در سال ۲۰۱۲، Afyouni و همکاران [۱۴]، یک روش هندسی به منظور ناوبری در محیط داخلی ارائه نموده‌اند. در سال ۲۰۰۴، نیز، Lee و همکاران [۱۵]، یک مدل از شبکه هندسی به نام تبدیل محورهای میانی (S-MAT) ارائه کرده‌اند؛ تولید بیش از حد گره و لبه یکی از نقص‌های عمده این شبکه محسوب می‌شود. علاوه بر این، در سال ۲۰۰۷، Lee و همکاران [۱۶]، از روش گریدبندی نقشه، به عنوان روش هندسی برای تعیین مسیر استفاده نموده است.

در سال ۲۰۰۷، Stoffel و همکاران [۱۷]، یک مدل سلسله مراتبی به منظور ناوبری داخلی ایجاد کرده و بر اساس همین مفهوم، یک گراف را برای شبکه‌بندی مسیر ارائه نموده است. این روش به علت آن‌که در گره‌های مرزی که چندضلعی‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند هیچ اطلاعات معنایی وجود ندارد، مستقل از اطلاعات معنایی بوده و از اطلاعات هندسی برای شبکه‌بندی استفاده نموده است. علاوه بر این، این روش در زمانی که داخل اتاق مانع وجود داشته و یا زمانی که شکل راهرو به صورت نامنظم بوده قابل استفاده خواهد بود.

Meijers و همکاران [۱۸]، در سال ۲۰۰۵ یک مدل گراف بر اساس تقسیم فضای کامل ساختمان به بخش‌های کوچک ارائه نموده‌اند؛ این مدل شامل یک توصیف معنایی و جای‌سازی هندسی به منظور افزایش دقت مسیریابی می‌باشد.

Tsetsos و همکاران [۱۹]، در سال ۲۰۰۵ یک سیستم ناوبری مبتنی بر داده‌های هندسی و گرافیکی را توسعه داده‌اند؛ در این سیستم، ویژگی‌های ادراکی و فیزیکی کاربر و قوانین معنایی در هنگام مسیریابی در نظر گرفته شده است.

Yang و همکاران [۲۰] نیز در سال ۲۰۱۵ اهمیت مدل‌های معنایی در ایجاد برنامه‌های هوشمند مسیریابی را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ آن‌ها رویکردی مبتنی بر استفاده از نقشه‌های ترکیبی به منظور ارائه توضیحات در خصوص توپولوژی و ساختار داخلی برای ایجاد گراف ناوبری داخلی پیشنهاد داده‌اند.

Lertlakhanakul و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۰۹، از مدل BIM برای ایجاد مسیر استفاده نموده است؛ در این

همکاری بین داده‌ها در فرمت‌های مختلف را میسر می‌کند [۱۱]؛ بنابراین داده‌های BIM معمولاً به عنوان پایگاه داده های IFC ذخیره می‌شوند تا بتوان آن‌ها را به فرمت‌های دیگر نیز تبدیل نمود.

هدف این مقاله، تلفیق دو فناوری BIM و GIS به منظور ساخت مدل و ایجاد شبکه موثر مسیر برای مسیریابی در فضای داخلی ساختمان می‌باشد. در واقع می‌توان گفت در این مقاله، ارائه روشی برای ایجاد شبکه مسیر با استفاده از مدل‌های BIM مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان ضمن استفاده از آن‌ها، با به کارگیری ابزارهای موجود در GIS، روش‌های مؤثر برای مسیریابی درون ساختمان را بدست آورد؛ بدین منظور، ابتدا مدل سه‌بعدی ساختمان با استفاده از استاندارد IFC ایجاد شده و سپس از دو رویکرد Mesh و TIN^۱ برای تولید شبکه مسیر داخلی استفاده می‌شود. رویکرد Mesh تنها به افزایش دقت شبکه متمرکز است، درحالی‌که رویکرد TIN افزایش بهره‌وری استفاده از داده و کاهش سختی در فرآیند تولید شبکه مسیر را نیز دربر می‌گیرد.

در این مقاله، ابتدا مروری بر تحقیقات پیشین انجام گرفته در زمینه ایجاد شبکه مسیر داخلی خواهیم داشت. در بخش ۳، طراحی مدل و روش تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. آماده‌سازی داده‌ها و انجام ویرایش‌های لازم بر روی آن‌ها و همچنین پیاده‌سازی مدل در بخش ۴ مورد بحث قرار گرفته است. در بخش انتهایی نیز نتیجه‌گیری تحقیق آمده است.

۲- تحقیقات پیشین در رابطه با مسیریابی در فضای داخلی ساختمان

بسیاری از محققان روش‌های مسیریابی داخلی را در چند سال گذشته مورد بررسی قرار داده‌اند. روش‌های مسیریابی داخلی را می‌توان به دو دسته هندسی و گرافیکی تقسیم نمود. تفاوت روش‌های هندسی و گرافیکی در سطح دقت است؛ به‌طوری که روش هندسی به علت استفاده از روش‌های کمی در مسیریابی از دقت بالاتری برخوردار بوده درحالی‌که روش‌های گرافیکی از توپولوژی محل برای مسیریابی استفاده می‌کنند [۱۲].

^۱ Triangulated Irregular Network

مدل سازی، ساختمان با استفاده از مدل GongTown که یک مدل BIM محسوب شده، ایجاد شده است.

Choi و همکاران [۲۲] هم در سال ۲۰۰۷ در تحقیق خود نشان دادند که ساختار کف طبقات نیز در مسیریابی مؤثر است. گراف فضایی از طریق بیان اجزای ساختمان مانند درها، پنجره ها و فضاها به عنوان گره ایجاد شده درحالی که ارتباط بین این گره ها از طریق یک لینک نشان داده شده است. در این گراف فضایی، فاصله و ویژگی های اجزای ساختمان مانند پنجره ها و درب ها در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، این روش توانسته است مسئله وجود موانع و فضاهای خالی را از طریق تقسیم فضا حل کند. با این حال، استانداردهای بین المللی مشترکی مانند IFC و CityGML وجود دارد که می تواند برای تسهیل ناوبری در محیط داخلی و در برگرفتن اطلاعات هندسی و معنایی به صورت هم زمان به کار گرفته شود.

Borovikov و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۱۱، از مفهوم مثلث بندی دلونی برای ایجاد گراف استفاده نموده اند. این روش شامل مراحل (۱) تقسیم فضای کف ساختمان با استفاده از مثلث بندی و (۲) ایجاد اتصالات با استفاده از مراکز مثلث است. این روش نسبت به روش های قبلی از سرعت بالاتری برخوردار است؛ زیرا لبه های متقاطع با دیوارها از طریق تولید TIN حذف شده و نقاط بحرانی کمتری در شبکه مثلث بندی درگیر خواهد بود.

در سال ۱۳۹۷، کفاش [۲۴] از استاندارد IndoorGML به منظور استخراج گراف ناوبری بازار سرپوشیده تبریز استفاده نمود. در این تحقیق ابتدا قسمت های مختلف ساختمان مشخص شده و سپس با استخراج یال های اصلی مطابق با استاندارد IndoorGML، دوگان گراف برای هر قسمت ترسیم و خلاصه سازی می شود. در نهایت گراف بخش های مختلف به یکدیگر متصل شده و با در نظر گرفتن معیارهای لازم برای هر یال و تعیین نوع کاربر، گراف مذکور آماده مسیریابی می شود. گراف تشکیل شده در این تحقیق شبکه مسیر را به صورت دو بعدی مدل کرده است.

در سال ۲۰۱۹، Flikweert و همکاران [۲۵] از ابر نقاط و استاندارد IndoorGML به منظور استخراج گراف ناوبری داخل ساختمان استفاده نموده است. در این تحقیق ابتدا درها و دیوارهای ساختمان در ابر نقاط مشخص و سپس فضاهای قابل پیاده روی استخراج

می شوند. در مرحله بعدی، برای هر در، اتاق و پله یک گره در نظر گرفته شده و سپس با در نظر گرفتن این فرضیه که فضاهای قابل پیاده روی به کمک درها و پله ها به یکدیگر متصل می شوند، گراف اتصال گره ها ایجاد می شود. در سال ۲۰۱۶، Teo و همکاران [۲۶] با ایجاد یک مدل شبکه داخلی مبتنی بر BIM، امکان اتصال شبکه داخلی به شبکه مسیر خارجی که از پایگاه OSM بدست می آید را ایجاد نموده و کمک می کند تا بتوان مسیریابی را به صورت یکپارچه انجام داد. در این تحقیق، المان های ساختمان در مدل داده IFC به یک مدل شبکه داخلی چند هدفه تبدیل می شود.

در سال ۲۰۲۰، لیو و همکاران [۲۷] در تحقیق خود شبکه مسیر را با ترکیب دو مدل گراف مبنا و هسته مبنا ایجاد نموده اند. مدل گراف مبنا جهت محاسبه مسیر در مسیریابی در نظر گرفته شده که از GIS قابل استخراج است. مدل هسته مبنا هم از مدل ساختمانی استخراج شده و هدف آن نمایش بهتر نتایج مسیریابی است.

به طور کلی می توان گفت که روش های متعددی برای تولید شبکه داخلی با استفاده از داده های هندسی ساختمان وجود دارد. با این حال، سازگاری با این روش ها و استفاده از آن ها در تلفیق BIM و GIS یک چالش اساسی است.

در تحقیق حاضر، از دو روش Mesh و TIN به منظور تولید شبکه استفاده شده است. چالش اصلی استفاده از این روش ها، پیاده سازی آن ها در محیط GIS می باشد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- الزامات

به منظور مشخص نمودن نیازهای تحقیق، برنامه ریزی و طراحی مدل امری مهم محسوب می شود. در این راستا، نیاز است تا الزامات کارکردی و غیر کارکردی مورد نیاز مشخص گردد.

۳-۱-۱- الزامات کارکردی

الزامات کارکردی، ابزار و دانش مورد نیاز به منظور پیاده سازی سیستم به طور صحیح را مشخص می کند. فهرستی از الزامات کارکردی مورد نیاز در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. نگهداری اطلاعات تبدیل شده از

سهبعدی‌سازی، پایگاه داده سهبعدی طبقات مورد نظر ساخته می‌شود. در مرحله بعد، این پایگاه داده با فرمت IFC ذخیره و از طریق نرم‌افزار FME Reader به فرمت GDB که یکی از فرمت‌های استاندارد در نرم‌افزار ArcGIS است، تبدیل می‌شود.

پس از انجام ویرایش و تحلیل بر روی داده‌های مورد نظر، در نهایت شبکه مسیر داخل ساختمان مورد نظر ساخته شده و سپس با انتخاب دو نقطه بر روی شبکه و انجام تحلیل مسیریابی، کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه به عنوان خروجی نمایش داده خواهد شد.

۴- پیاده‌سازی

۴-۱- ساختمان مورد مطالعه و ساخت مدل BIM مربوطه

پروفسور دانشکده فنی دانشگاه تهران به عنوان ساختمان مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. نقشه دو بعدی پلان مربوط به این طبقات در شکل ۱ نمایان است. همانطور که اشاره شد، به منظور تهیه مدل سهبعدی این طبقات، از نرم‌افزار Revit Architecture 2017 استفاده شده است. ابتدا نقشه دوبعدی مربوط به پلان این طبقات وارد محیط نرم‌افزار شده و سپس فرآیند سهبعدی‌سازی انجام می‌شود. دیوار، سقف، درب، پنجره و پله به عنوان المان‌های اصلی در ساخت مدل سهبعدی در نظر گرفته شده است. ابتدا برای هر کدام از المان‌های مذکور، با توجه به انواع مختلف آن در ساختمان از نظر ابعاد و نوع، خانواده‌های مربوط به آن‌ها در محیط نرم‌افزار ساخته می‌شود. در مرحله بعد، ترسیم المان‌ها شروع می‌شود؛ ابتدا خانواده مربوط به المان مورد نظر انتخاب شده و سپس با توجه به محل قرارگیری هر المان روی نقشه دوبعدی پلان، تمامی المان‌های مربوط به آن خانواده ترسیم می‌شود. این کار برای تمامی خانواده‌های ایجاد شده برای انواع مختلف المان‌های موجود در ساختمان انجام می‌شود. با اتمام فرآیند ترسیم و انتخاب نمایش سهبعدی در نرم‌افزار، مدل سهبعدی ساخته شده قابل نمایش است. شکل ۲، مدل سهبعدی مربوط به ساختمان مورد مطالعه را پس از فرآیند سهبعدی‌سازی در نرم‌افزار Revit نشان می‌دهد.

IFC در GIS نیازمند یک پایگاه داده مکانی (GDB) است. با پیاده‌سازی مدل طراحی شده در نرم‌افزار ArcGIS، شبکه سهبعدی مسیر در داخل ساختمان مورد نظر ساخته می‌شود. در نهایت با انتخاب دو نقطه از شبکه و استفاده از ابزار تحلیل شبکه، کوتاه‌ترین مسیر بین این دو نقطه به دست خواهد آمد.

جدول ۱- الزامات کارکردی مورد نیاز تحقیق

الزام کارکردی	توضیح
پایگاه GDB	به منظور ذخیره اطلاعات IFC مربوط به مدل BIM. در واقع اجزای هندسی مدل در فرمت IFC به صورت Feature Class در این پایگاهها ذخیره می‌شوند.
روش ایجاد شبکه مسیر	این روش باید به گونه‌ای باشد که مدل BIM را به عنوان ورودی اخذ نموده و شبکه مسیر را در GIS به عنوان خروجی ایجاد می‌کند.
ابزار مسیریابی	این ابزار باید به گونه‌ای باشد که مجموعه‌ای از نقاط را به عنوان ورودی اخذ نموده و کوتاه‌ترین مسیر بین نقاط را به عنوان خروجی ایجاد کند.

۳-۱-۲- الزامات غیرکارکردی

الزامات غیرکارکردی شامل معیارهایی برای ارزیابی کارایی روش پیاده‌سازی و نرم‌افزارهای مورد نیاز برای پیاده‌سازی است. فهرستی از این الزامات در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- الزامات غیرکارکردی مورد نیاز تحقیق

الزام غیرکارکردی	توضیح
قابلیت تعامل پذیری بین داده‌ها ^۱	نتایج باید در نرم‌افزارهای مختلف قابل مشاهده باشد.
قابلیت سازگاری	روش‌های اجرایی باید برای ساختمان‌های مختلف قابل اجرا باشد.
قابلیت نمایش سهبعدی نتایج	نتایج به دست آمده به صورت سهبعدی در نرم‌افزار ArcScene قابل مشاهده باشد.

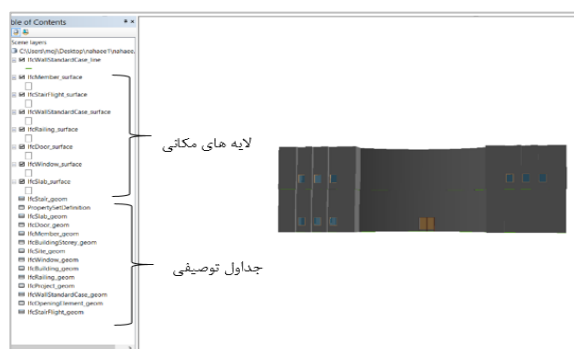
۳-۲- طراحی مدل

ورودی این سیستم، نقشه پلان ساختمان بوده که با فرمت DWG^۲ ذخیره شده است. به منظور تهیه مدل سهبعدی این طبقات و تولید پایگاه داده BIM، از نرم‌افزار Revit Architecture 2017 استفاده شده است. با وارد نمودن پلان ساختمان به این نرم‌افزار و انجام فرآیند

^۱ Interoperability

^۲ Drawing

کار، ابزار FME Interoperability Tools فعال شده و با انتخاب گزینه Quick Import و سپس انجام تنظیمات لازم، فرمت مدل سه بعدی ساختمان مورد نظر از IFC به GDB تبدیل می شود. تمام داده های تبدیل شده که شامل جداول و لایه های سه بعدی می باشند در یک پایگاه GDB ذخیره می گردند. جداول شامل روابط بین لایه ها بوده و لایه های سه بعدی ویژگی های هندسی ساختمان را در بردارند. شکل ۳ لایه های تبدیل شده را از فرمت IFC به فرمت GDB در نرم افزار ArcScene نشان می دهد.



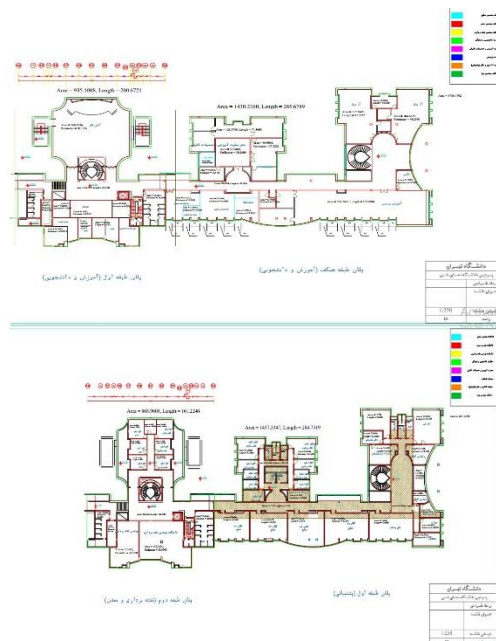
شکل ۳- مدل BIM ساختمان مورد مطالعه در نرم افزار ArcScene
پس از تبدیل فرمت از IFC به GDB

۴-۲-۱- حذف داده های غیر ضروری

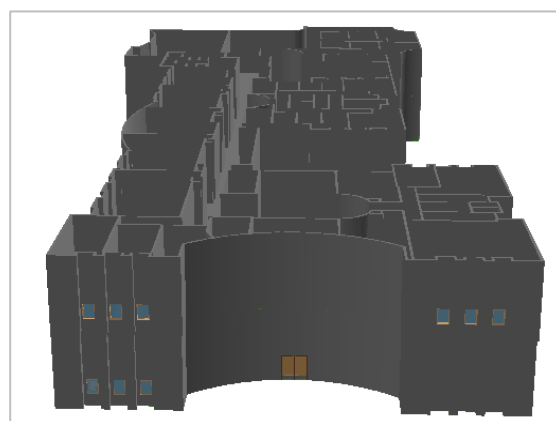
همانطور که می دانیم، همواره تبدیل از یک فرمت به فرمت دیگر با خطا همراه بود؛ بنابراین بعد از انتقال داده ها و ذخیره سازی در فرمت مورد نظر، قبل از انجام هرگونه تحلیل بر روی داده، خطاهای به وجود آمده در این فرآیند باید تصحیح شوند. همچنین بسیاری از داده های غیرضروری به منظور انجام مسیریابی نیز در این مرحله باید شناسایی و از فرآیند مسیریابی خارج شوند. در جدول ۳ فهرستی از لایه های مورد نیاز به همراه توضیحات مربوط به هر لایه آورده شده است.

جدول ۳- داده های مورد نیاز از مدل BIM برای ساخت شبکه مسیر

داده های مورد نیاز (نام لایه)	توضیح
ifcDoor_Surface	ذخیره ویژگی های هندسی لایه در (شامل موقعیت، عرض و غیره)
ifcWall_Surface	ذخیره ویژگی های هندسی لایه دیوار (شامل موقعیت، ضخامت و غیره)
ifcWallStandardCase_Line	به نوعی رد پای لایه دیوار را به صورت خط نمایش می دهد.
ifcStair_Surface	ذخیره ویژگی هندسی لایه پله (شامل موقعیت، ابتدا و انتها و غیره)



شکل ۱- نمایی کلی از پلان طبقات ساختمان مورد مطالعه



شکل ۲- مدل BIM ساختمان مورد مطالعه ساخته شده در نرم افزار Revit

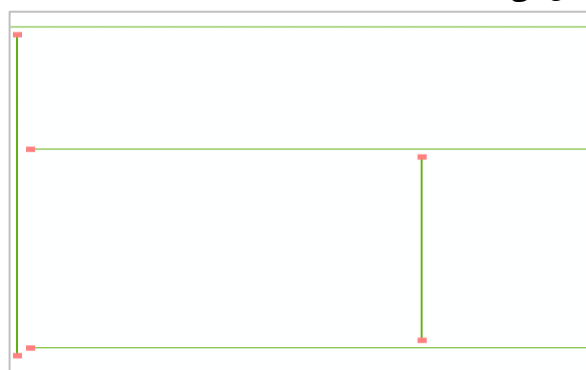
با اتمام ساخت مدل BIM مربوط به ساختمان مورد مطالعه، مدل مذکور با فرمت IFC خروجی گرفته شده تا در مراحل بعدی پیاده سازی مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- تبدیل فرمت مدل سه بعدی ساختمان از IFC به GDB با استفاده از نرم افزار FME Reader

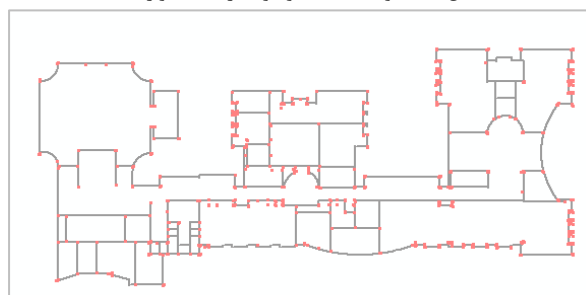
به منظور کار با داده های BIM در ArcGIS، داده ها باید به فرمت استاندارد ArcGIS تبدیل شوند. به منظور تبدیل اطلاعات به فرمت استاندارد در نرم افزار ArcGIS، مجوز استفاده از افزونه Data Interoperability مورد نیاز است. در این راستا، ابتدا نرم افزار FME Reader نصب شده و سپس به نرم افزار ArcGIS معرفی می شود. با انجام این

۴-۲-۲- رفع خطاهای احتمالی موجود در داده‌ها

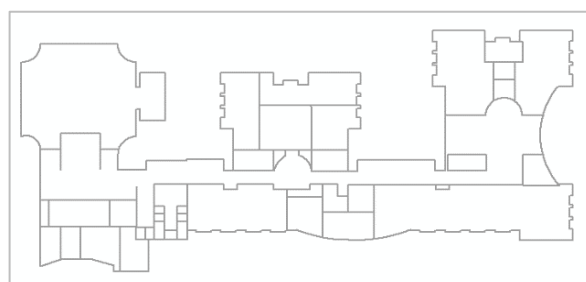
در هنگام تبدیل اطلاعات IFC به GIS ممکن است خطاهایی به داده‌ها وارد شود؛ در واقع از دید معماری، این خطاها واقعاً خطا محسوب نمی‌شوند، اما از دید ارتباطات فضایی (اتصال بین خطوط و غیره) به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شوند؛ شکل ۴ نمونه‌ای از این خطا را نشان می‌دهد. در واقع با تلفیق خطوط دیوار به عنوان یک لایه ممکن است در اتصال بین خطوط خطاهایی به وجود بیاید. به منظور رفع این خطاها می‌توان از مفهوم توپولوژی استفاده نمود. در این تحقیق نیز، با ساخت توپولوژی بر روی لایه خطی دیوار، خطاها شناسایی و رفع شده‌اند. شکل ۵ لایه دیوار برای طبقه اول را قبل و شکل ۶ بعد از رفع خطاهای توپولوژی نشان می‌دهد. در شکل ۵، نقاطی که به رنگ قرمز مشخص شده‌اند، محل خطاها را نشان می‌دهند.



شکل ۴- نمونه خطای موجود در لایه دیوار



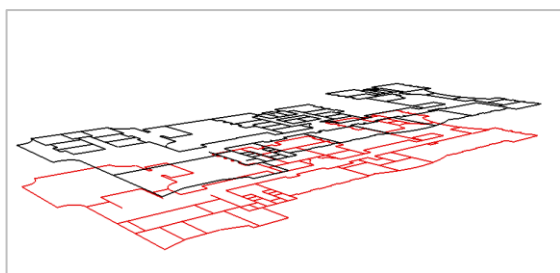
شکل ۵- لایه دیوار طبقه اول قبل از رفع خطاهای توپولوژی



شکل ۶- لایه دیوار طبقه اول بعد از رفع خطاهای توپولوژی

۴-۲-۳- آماده‌سازی و تهیه نهایی مدل در GIS

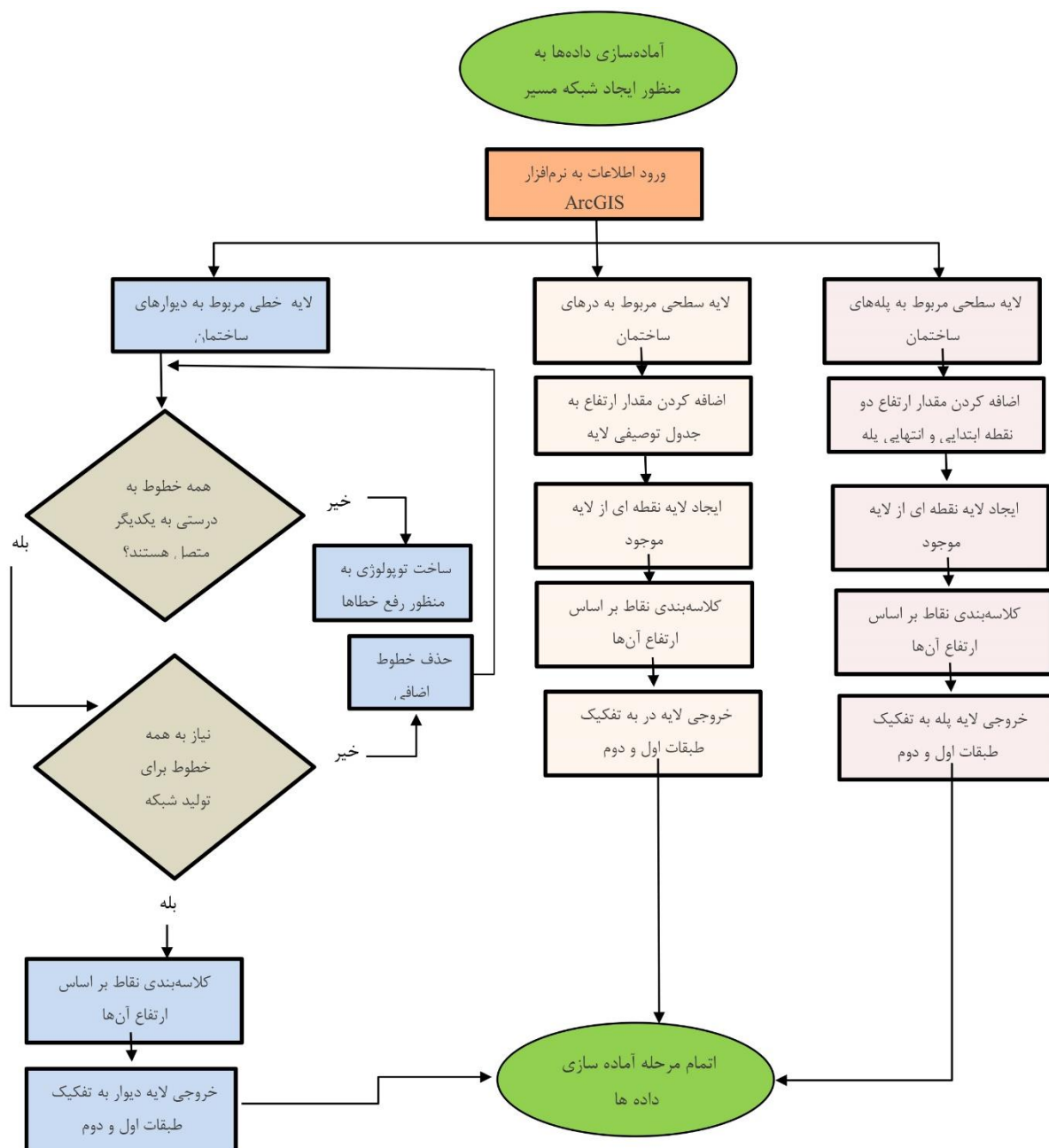
علاوه بر ویرایش داده‌ها در این مرحله، باید عملیات آماده‌سازی داده‌ها به منظور انجام فرآیند تولید شبکه نیز انجام پذیرد. شکل ۷ روند کلی آماده‌سازی داده‌ها را نشان می‌دهد. تمام این مراحل در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از ابزارهای موجود در آن انجام می‌شود. در شکل ۷ و شکل ۸ نتایج برخی از مهم‌ترین بخش‌های انجام شده در فرآیند آماده‌سازی داده‌ها نشان داده شده است.



شکل ۷- جداسازی پلان ساختمان بر اساس ارتفاع طبقات در فرآیند آماده‌سازی داده‌ها



شکل ۸- ایجاد لایه نقطه‌ای برای درب در فرآیند آماده‌سازی داده‌ها



شکل ۷- مراحل آماده سازی داده ها

۴-۳- ایجاد شبکه مسیر

به طور کلی، به منظور انجام فرآیند مسیریابی مبتنی بر نقشه، از دو نوع مدل مکانی سلول مبنا و گراف مبنا استفاده می شود. در مدل های سلول مبنا، فضای داخلی ساختمان به سلول های منظم و با اندازه یکسان تقسیم می شود. هر سلول یک مشخصه معنایی داشته که بیانگر یک نوع فضا از داخل ساختمان (مانع، کریدور و غیره) است. سلول هایی که دارای مشخصه معنایی مانع نیستند به یکدیگر متصل بوده و استخراج مسیر در زمان مسیریابی، در بستر همین سلول ها

انجام خواهد شد. دسترسی به کل فضا و بهینه بودن در ذخیره سازی از جمله مزیت های مدل سلول مبنا است. در مدل های گراف مبنا، فضای داخل ساختمان به کمک گره ها و یال ها مدل سازی می شود و مسیریابی به کمک ماتریس مجاورت آن انجام می شود. این مدل ها مبتنی بر حرکت انسان بنیاد نهاده شده است. سادگی در محاسبات و امکان انجام تحلیل های مبتنی گراف مانند تحلیل مرکزیت از جمله مزایای این مدل است [۲۸] اساس مسیریابی مدل های سلول مبنا، همسایگی ۸ تایی (در فضای دوبعدی) و یا ۲۶ تایی (در فضای سه بعدی) است؛ لذا مدل های

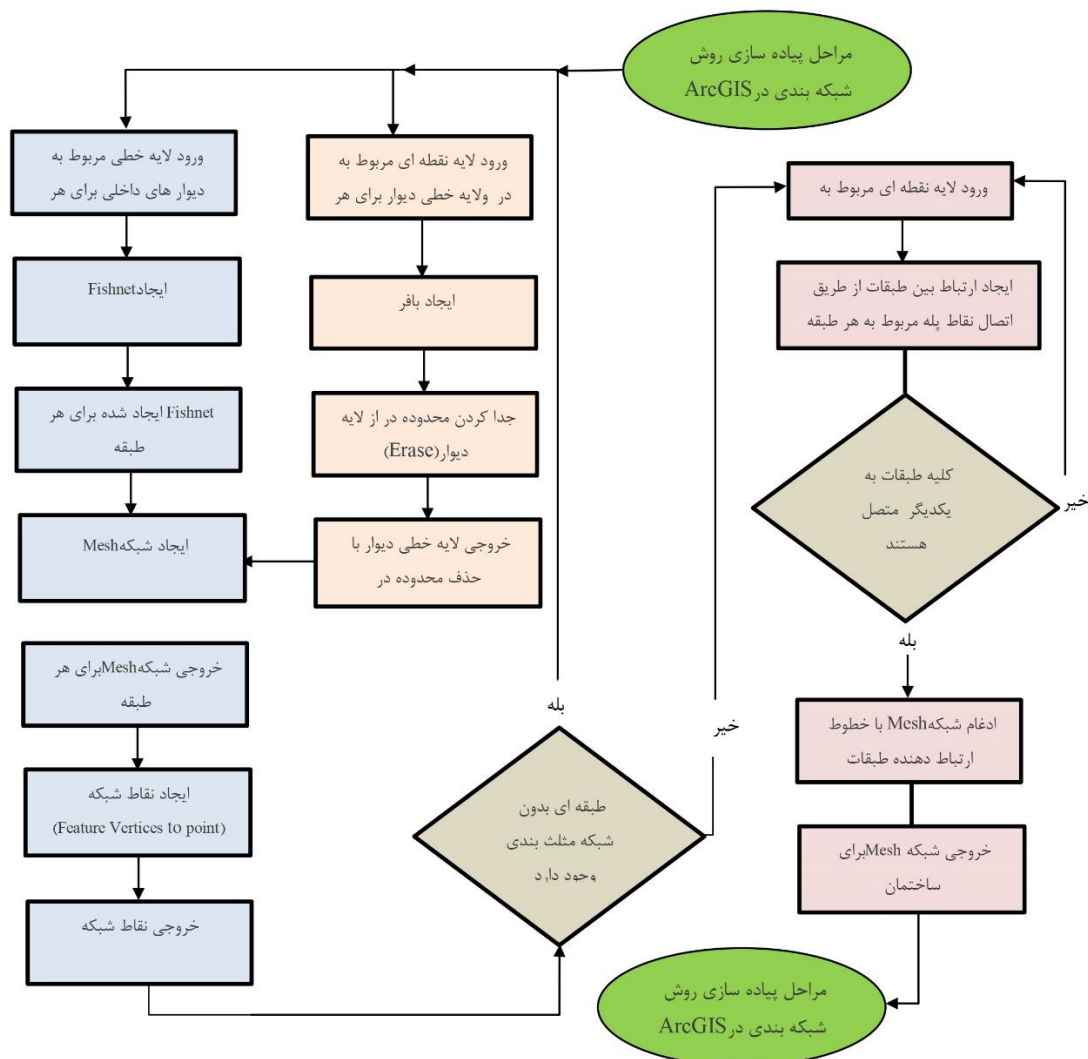
سپس محل تقاطع دیوارها با این شبکه از مجموعه شبکه حذف شده تا در نهایت یک شبکه مؤثر به منظور مسیریابی ساخته شود. در شکل ۹ روند انجام این روش از ابتدا تا ایجاد شبکه مسیر نشان داده شده است. پس از تبدیل لایه درب به یک لایه نقطه‌ای، با توجه به عرض در دیوار، یک بافر برای نقاط درب و خطوط دیوار در نظر گرفته شده است که خروجی آن شکل ۱۰ نمایان است. در مرحله بعد، بافر مربوط به لایه درب، از بافر مربوط به لایه دیوار با استفاده از دستور Erase جدا می‌شود (شکل ۱۱). پس از ایجاد بافر و جدا نمودن محدوده درب از دیوار، به دلیل آن که محدوده دیوار نباید در شبکه مسیر ایجاد شده دخالت داده شود، این محدوده از شبکه Fishnet جدا می‌گردد (شکل ۱۲).

در نهایت با اتصال نقاط پله به شبکه، شبکه مسیر نهایی ساخته خواهد شد که در شکل ۱۳ قابل مشاهده است.

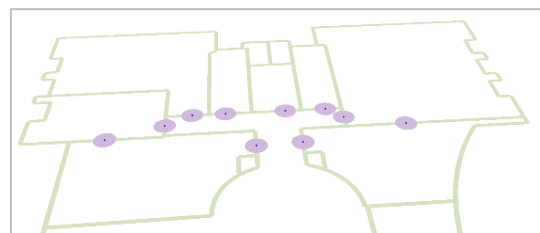
سلول مبنا در فضای سه‌بعدی دارای پردازش‌های زیاد بوده و اغلب به منظور مسیریابی در فضای دوبعدی استفاده می‌شود؛ درحالی که مدل‌های گراف مبنا دارای حجم پردازش‌های بسیار کمتر بوده و قابلیت خوبی در مدل کردن سه‌بعدی فضای داخلی ساختمان هستند. چالش اصلی در این تحقیق، نحوه ایجاد شبکه مسیر با داشتن داده‌های BIM است. در اینجا از دو روش شبکه‌بندی و مثلث‌بندی به عنوان روش‌های ایجاد شبکه مسیر استفاده شده است. هر دو روش در نرم‌افزار ArcGIS پیاده‌سازی شده‌اند. در ادامه، به بررسی نحوه پیاده‌سازی هر یک از این دو روش پرداخته و در انتها نتایج حاصل از این روش‌ها با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

۴-۳-۱- روش Mesh

این روش نیازمند استفاده از یک گراف شبکه با سائز شبکه یکسان به عنوان شبکه مسیر می‌باشد. بدین منظور، برای ایجاد این شبکه از ابزار fishnet استفاده شده است.



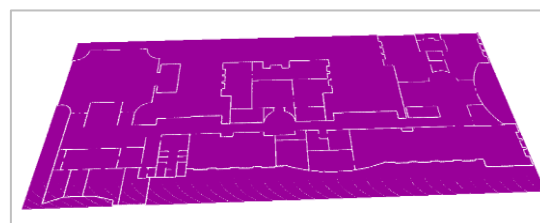
شکل ۹- مراحل ایجاد شبکه مسیر با استفاده از روش Mesh



شکل ۱۰- ایجاد بافر برای نقاط در و خطوط دیوار



شکل ۱۱- جداسازی بافر در از بافر دیوار



شکل ۱۲- جداسازی محدوده دیوار از شبکه Fishnet



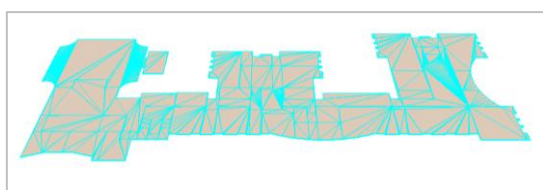
شکل ۱۳- اتصال نقاط پله به شبکه و تهیه شبکه مسیر نهایی

۴-۳-۲- روش TIN

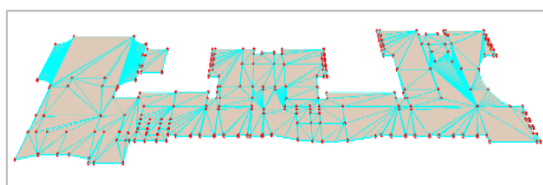
در این روش برای ایجاد شبکه مسیر از گراف ایجاد شده از مثلث‌بندی به روش TIN استفاده شده است. به دلیل آن‌که دیوارها به‌عنوان مانع در شبکه مسیر در نظر گرفته می‌شوند، ابتدا مراکز مثلث‌بندی حاصل از در نظر گرفتن رئوس خطوط مربوط به دیوارها به‌عنوان نقاط مثلث‌بندی به دست آورده می‌شود؛ سپس از این نقاط به همراه نقاط ایجاد شده به‌عنوان در، برای ایجاد مثلث‌بندی نهایی استفاده می‌شود.

در ادامه، به منظور درک بهتر هر یک از مراحل، با استفاده از اشکالی که از خروجی مراحل به دست آمده است توضیحاتی ارائه شده است.

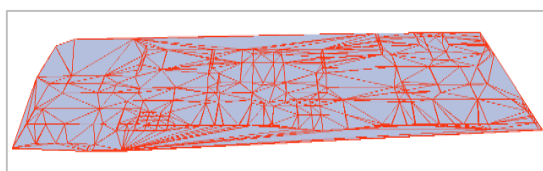
در ابتدا، به منظور ایجاد چندضلعی برای هر اتاق و راهرو از ابزار Feature to polygon استفاده می‌شود (شکل ۱۴). سپس رئوس این چندضلعی‌ها استخراج شده که در شکل ۱۵ قابل مشاهده است. با استفاده از این نقاط و خطوط دیوار، اولین مثلث‌بندی به منظور به‌دست آوردن مراکز اتاق‌ها ایجاد شد (شکل ۱۶). شکل ۱۷، مراکز خطوط و مثلث‌های ایجاد شده به‌وسیله انجام اولین مثلث‌بندی را نشان می‌دهد. در شکل ۱۸ مراحل ایجاد شبکه مسیر با استفاده از مثلث‌بندی ارائه شده است.



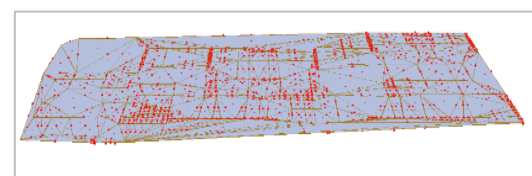
شکل ۱۴- ایجاد چندضلعی برای هر اتاق و راهرو در مثلث‌بندی مرحله اول



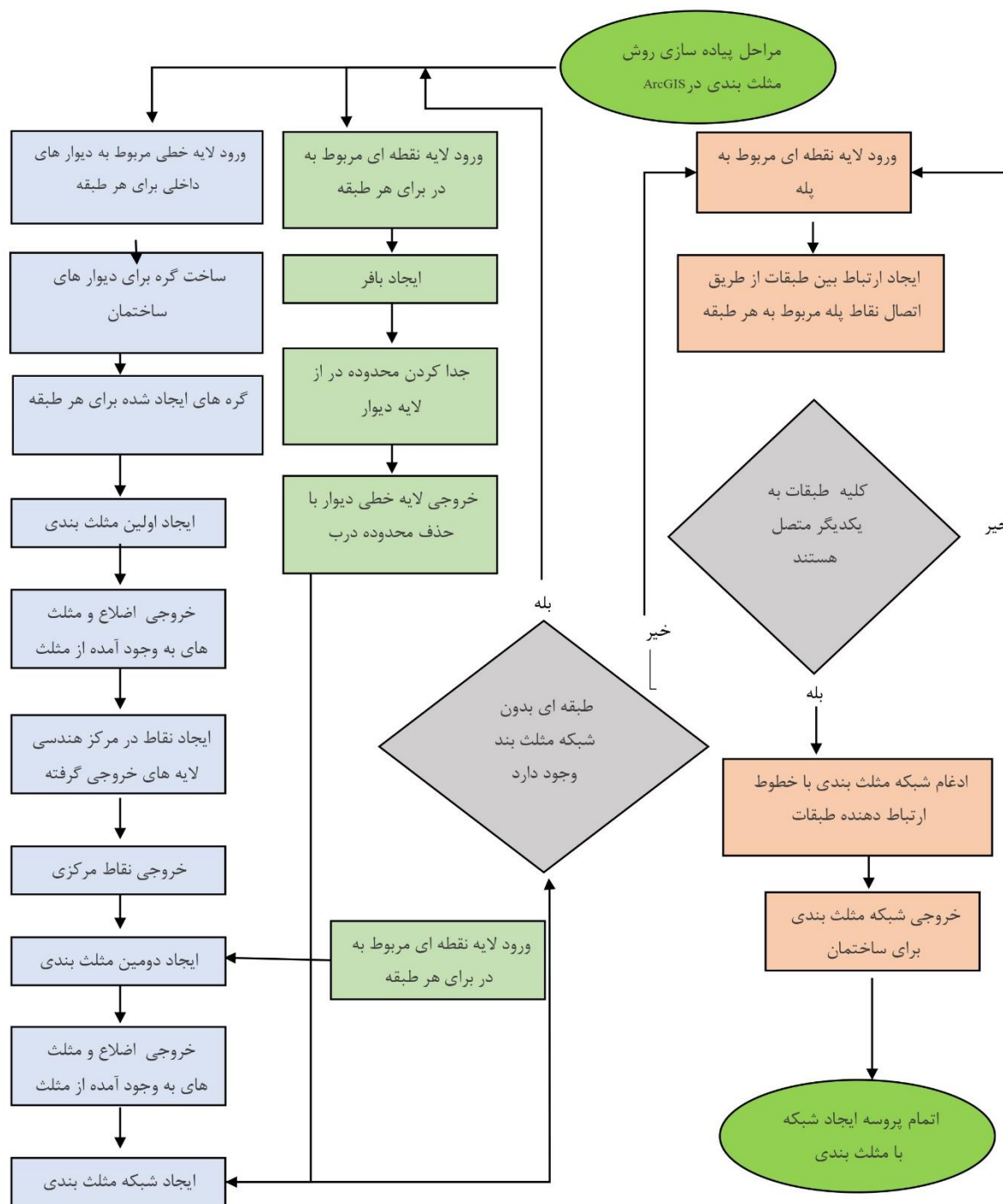
شکل ۱۵- استخراج رئوس چندضلعی‌های ایجاد شده



شکل ۱۶- انجام اولین مثلث‌بندی با استفاده از رئوس چندضلعی‌های ایجاد شده و خطوط دیوار



شکل ۱۷- مراکز خطوط و مثلث‌های ایجاد شده در اولین مثلث‌بندی

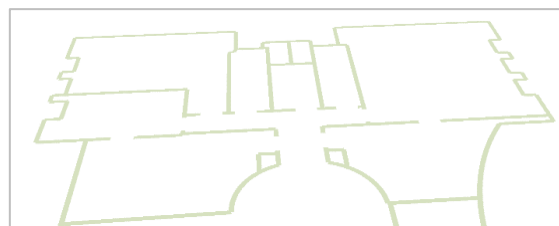


شکل ۱۸- مراحل ایجاد شبکه مسیر با استفاده از روش مثلث بندی

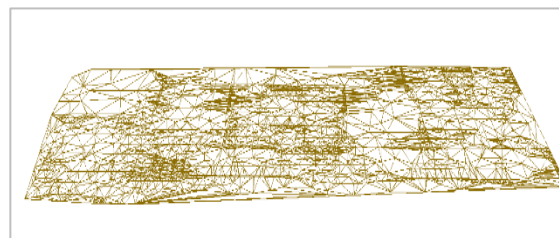
شده می‌شود که خروجی آن در شکل ۲۲ قابل مشاهده است.

در مرحله بعد، با حذف اضلاع مثلث‌بندی که با خطوط دیوار تقاطع دارند، فرایند مثلث‌بندی به اتمام خواهد رسید (شکل ۲۳). در نهایت برای اتصال طبقات به یکدیگر، از نقاط پله استفاده شده و شبکه نهایی مثلث‌بندی به منظور ایجاد شبکه مسیر تکمیل شده که در شکل ۲۴ نمایان است.

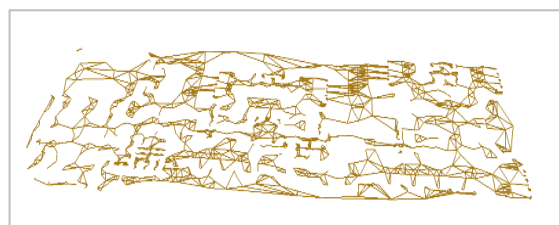
از آنجایی که درب‌ها باید به‌عنوان بخشی از مسیر در نظر گرفته شوند، نقاط ایجاد شده به‌عنوان درب نیز باید در ایجاد شبکه مسیر دخالت داشته باشد؛ بنابراین باید به‌اندازه عرض درب‌ها از خطوط تشکیل‌دهنده دیوار جدا نمود (شکل ۲۱). سپس با در نظر گرفتن نقاط مرکزی مثلث‌بندی مرحله قبل و نقاط ایجاد شده به‌عنوان درب، مثلث‌بندی مرحله دوم به منظور ایجاد شبکه مسیر ساخته



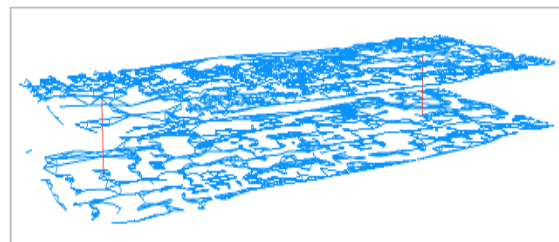
شکل ۲۱- جداسازی عرض درها از خطوط تشکیل دهنده دیوارها



شکل ۲۲- انجام دومین مثلث بندی با استفاده از نقاط مرکزی مثلث بندی مرحله قبل و نقاط در نظر گرفته شده به عنوان در



شکل ۲۳- حذف اضلاعی که با خطوط دیوار تقاطع دارند

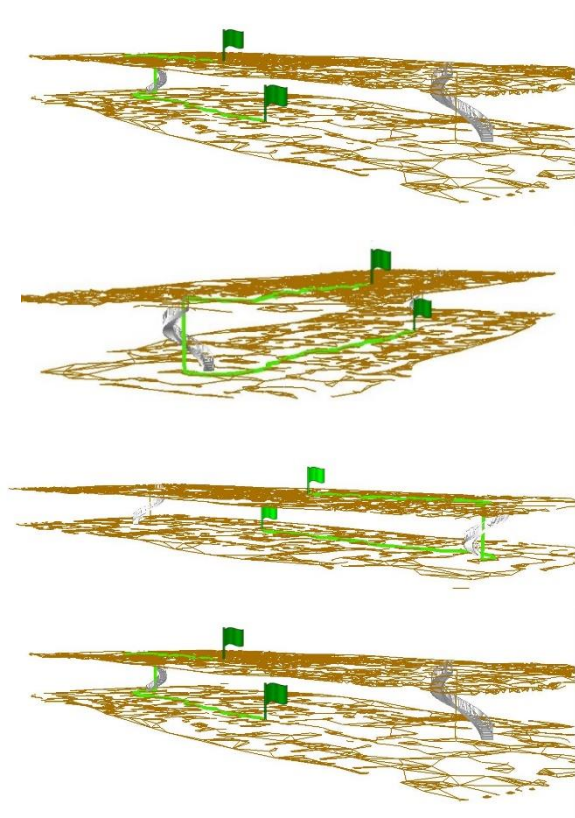


شکل ۲۴- اتصال طبقات به یکدیگر با استفاده از نقاط پله و ایجاد شبکه مثلثی نهایی

۴-۴- مسیریابی و ارزیابی نتایج

بعد از ایجاد شبکه مسیر با استفاده از دو روش پیشنهادی، از ابزار Model builder جهت ساخت ابزاری به منظور انجام فرآیند مسیریابی استفاده شده است. این ابزار با گرفتن شبکه ایجاد شده و دو نقطه ابتدایی و انتهایی مسیر، کوتاه ترین مسیر بین دو نقطه را به دست خواهد آورد.

در شکل ۲۵، چهار نمونه مسیریابی انجام شده در ساختمان مورد مطالعه و با استفاده از روش های پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۲۴- نمونه مسیریابی انجام شده

نتایج مسیریابی با استفاده از دو روش پیشنهادی برای ده مسیر در جدول ۴ به منظور مقایسه آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، روش مثلث بندی به علت وجود گره ها و لبه های کمتر، دارای طول کمتری است.

جدول ۴- نتایج مسیریابی در دو روش پیشنهادی ساخت شبکه مسیر

شماره مسیر	طول مسیر	
	روش TIN	روش Mesh
۱	۱۹,۸۴	۲۰,۴۵
۲	۷,۶۸	۸,۴۲
۳	۲۰,۹۸	۲۲,۱۵
۴	۱۷,۷۳	۱۸,۲۵
۵	۱۷,۰۲	۱۸,۸۷
۶	۱۴,۹۳	۱۶,۵۸
۷	۳۳,۲۴	۳۵,۶۲
۸	۱۹,۶	۲۱,۲
۹	۲۴,۸۹	۲۶,۳۸
۱۰	۹,۰۳	۱۰,۳۲

در جدول ۵ نیز مزایا و معایب دو روش پیشنهادی به منظور ایجاد شبکه مسیر نشان داده شده است.

جدول ۵- مقایسه روش‌های پیشنهادی ساخت شبکه مسیر

روش ساخت شبکه مسیر	مزیت	عیب
Mesh	شبکه مسیر خروجی دارای دقت بالایی بوده و تراکم نقاط شبکه برای هر اتاق یکسان است	به فضای ذخیره‌سازی بیشتری نیاز دارد.
TIN	فضای ذخیره‌سازی کمی مورد نیاز است.	تراکم نقاط شبکه برای هر اتاق یکسان نمی باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده

وجود یک شبکه مسیر مناسب در فضای داخلی ساختمان‌ها می‌تواند کمک شایانی به بهبود خدمات مکان‌مبنا به افراد بنماید. اگرچه تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه مسیریابی داخلی توسط محققین انجام شده است؛ اما تعداد بسیار کمی از تحقیقات از مدل‌های BIM به عنوان یک منبع اطلاعاتی غنی از اطلاعات هندسی و معنایی ساختمان استفاده نموده‌اند. این در حالی است که که رشد فناوری BIM در سال‌های اخیر، لزوم به کارگیری آن را در کاربردهای مختلف از جمله مسیریابی داخلی بیش از پیش نشان می‌دهد.

در این تحقیق از دو روش Mesh و TIN و همچنین داده‌های موجود در مدل BIM مربوط به ساختمان مورد نظر به منظور ساخت شبکه مسیر استفاده گردید. این دو روش به خوبی هدف مسیریابی در فضای داخلی ساختمان را برآورده می‌کنند؛ اما مشکلی که در هر دو روش وجود دارد آن است که پله‌ها را به‌صورت دو نقطه ابتدایی و انتهایی در نظر گرفته و در واقع می‌توان گفت از پله به‌عنوان آسانسور برای جابه‌جایی بین دو طبقه استفاده شده است. این امر واقعیت چندانی نداشته و برای آن‌که نتایج مسیریابی دقیق‌تر باشند تا بتوان از این نتایج برای اهدافی مانند موقعیت‌یابی داخل ساختمان نیز بهره برد، می‌بایست روش مناسب‌تری به منظور مدل نمودن پله‌های ساختمان در شبکه مسیر در نظر گرفته شود. در این تحقیق اطلاعات BIM به GIS تبدیل شده و سپس بر

مراجع

- [1] F. Qin, T. Zuo, and X. Wang, "CCpos: WiFi Fingerprint Indoor Positioning System Based on CDAE-CNN," Sensors, vol. 21, no. 4, pp. 1114, 2021.
- [2] M. Xu, I. Hijazi, A. Mebarki, R. E. Meouche, and M. Abune'meh, "Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation," Geomatics, Natural Hazards and Risk, vol. 7, no. sup1, pp. 47-56, 2016.

- [3] X. Li, I. Hijazi, M. Xu, H. Lv, and R. El Meouche, "Implementing two methods in GIS software for indoor routing: an empirical study," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 75, no. 24, pp. 17449-17464, 2015.
- [4] S. Azhar, "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and management in engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241-252, 2011.
- [5] M. El-Mekawy, "Integrating BIM and GIS for 3D city modelling: The case of IFC and CityGML," KTH, 2010.
- [6] J. Irizarry, and E. P. Karan, "Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration," *Journal of information technology in construction (ITcon)*, vol. 17, no. 23, pp. 351-366, 2012.
- [7] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. Cheng, X. Li, and R. Liu, "A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [8] N. Bui, C. Merschbrock, and B. E. Munkvold, "A review of Building Information Modelling for construction in developing countries," *Procedia Engineering*, vol. 164, pp. 487-494, 2016.
- [9] U. Isikdag, S. Zlatanova, and J. Underwood, "A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 41, pp. 112-123, 2013.
- [10] R. De Laat, and L. Van Berlo, "Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension," *Advances in 3D geo-information sciences*, pp. 211-225: Springer, 2011.
- [11] G. Boyes, C. Thomson, and C. Ellul, "Integrating BIM and GIS: Exploring the use of IFC space objects and boundaries," *Proceedings of the GISRUK*, 2015.
- [12] E. Tsiliakou, and E. Dimopoulou, "3D NETWORK ANALYSIS FOR INDOOR SPACE APPLICATIONS," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 42, 2016.
- [13] G. Franz, H. A. Mallot, and J. M. Wiener, "Graph-based models of space in architecture and cognitive science: A comparative analysis." pp. 30-38.
- [14] I. Afyouni, C. Ray, and C. Christophe, "Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey," 2012.
- [15] J. Lee, "A spatial access-oriented implementation of a 3-D GIS topological data model for urban entities," *GeoInformatica*, vol. 8, no. 3, pp. 237-264, 2004.
- [16] Y.-C. Lee, S. Na, H.-S. Ahn, and W. Yu, "Human-Robot Interactive Guiding System's Application in Sonar Quick Mapping." pp. 194-199.
- [17] E.-P. Stoffel, B. Lorenz, and H. J. Ohlbach, "Towards a semantic spatial model for pedestrian indoor navigation." pp. 328-337.
- [18] M. Meijers, S. Zlatanova, and N. Pfeifer, "3D geoinformation indoors: structuring for evacuation." pp. 11-16.
- [19] V. Tsetsos, C. Anagnostopoulos, P. Kikiras, P. Hasiotis, and S. Hadjiefthymiades, "A human-centered semantic navigation system for indoor environments." pp. 146-155.
- [20] L. Yang, and M. Worboys, "Generation of navigation graphs for indoor space," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 29, no. 10, pp. 1737-1756, 2015.
- [21] J. Lertlakkhanakul, Y. Li, J. Choi, and S. Bu, "GongPath: Development of BIM based indoor pedestrian navigation system." pp. 382-388.
- [22] J. W. Choi, D. Y. Kwon, J. E. Hwang, and J. Lertlakkhanakul, "Real-time management of spatial information of design: A space-based floor plan representation of buildings," *Automation in Construction*, vol. 16, no. 4, pp. 449-459, 2007.
- [23] I. Borovikov, "Navigation graph generation," *Artificial Intelligence*, vol. 3, pp. 20, 2011.
- [24] N. Kaffash Charandabi, "Indoor Navigation Graph of the Historical Covered Bazaar of Tabriz Based on IndoorGML Standard," *Journal of Geomatics Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 149-162, 2019.
- [25] P. Flikweert, R. Peters, L. Díaz-Vilariño, R. Voûte, and B. Staats, "AUTOMATIC EXTRACTION OF A NAVIGATION GRAPH INTENDED FOR INDOORGML FROM AN INDOOR POINT CLOUD," *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 4, 2019.
- [26] T.-A. Teo, and K.-H. Cho, "BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, no. 3, pp. 268-282, 2016.
- [27] J. Liu, J. Luo, J. Hou, D. Wen, G. Feng, and X. Zhang, "A BIM Based Hybrid 3D Indoor Map Model for Indoor Positioning and Navigation," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 12, pp. 747, 2020.
- [28] R. Shahbaz, and M. R. Malek, "A Review On Map-Based Indoor Positioning Techniques," *Journal of Geomatics Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 173-184, 2020.