

Modeling, routing, and visual simulation of building interior spaces using BIM and GIS

Parisa Samiei^{1*} and Sahar Alian²

¹. Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ramsar Branch, Ramsar, Iran

². Dep of Civil Engineering, Rahman Ramsar Institute of Higher Education, Ramsar, Mazandaran, Iran

* Corresponding Author: parisass²²@gmail.com

Abstract

In recent years, the architecture and construction engineering industry has been moving from 2D to 3D (Building Information Modeling) to enable better visualization and sharing of information. With the development of this industry in high-rise buildings such as department stores, hotels, hospitals, and cultural centers, the need for an indoor navigation system is increasingly felt. The main goal of this project is to present and produce an operational route in the interior spaces of the building by integrating the building information model and the geographic information system with two improved triangulations and meshing methods and their graphical display. Therefore, this project seeks to study and route a real example and during its implementation, we will examine the effect of various parameters on the performance of the developed model. One of these parameters is the change in the dimensions and structure of the meshes with the aim of improving performance and increasing accuracy in modeling. The designed routes also include options for choosing between stairs and elevators. In this way, users can easily identify the best route based on the conditions and constraints to reach their destination. Choosing the right route according to the different needs of users, including those with mobility problems, can provide an optimal and comfortable experience. Also, in this project, in addition to reducing the length of the route, time optimization is also discussed, because in the routing process, two parameters of time and distance must be considered and decisions made based on the priority of each of them. The building information model includes precise details of different parts of the building in three dimensions. This model allows architects and project engineers to achieve a more complete and comprehensive understanding of the structure and technical characteristics of the building. However, it does not have the ability to analyze the route network. Geographic information systems with spatial analyses enable route optimization and help increase efficiency, accuracy, safety, and accessibility in complex environments. Combining a building information model with a geographic information system can help with internal routing and provide conditions for improving the management of the routing process. For this purpose, the present project examines a six-story office building in Rasht. First, the two-dimensional plans are converted to three-dimensional using the Revit Architecture software, which is based on the building information model, and after data integration, the final generated routes will be displayed graphically in ArcGIS Pro software. Finally, the software output will be studied and examined for different scenarios. The results show that the improved meshing method has higher accuracy and provides better coverage of the building floor space, and performs better than the triangulation method on routes without complications and breaks. On the other hand, on routes with many breaks, arcs, and longer routes, the triangulation method performs better than the improved meshing method. In general, it is not possible to choose one method as the best option, because each method performs differently depending on the type of environment and the topic under discussion. It seems that the combined use of methods can be an effective solution, because in some cases the advantages of one method can compensate for the weaknesses of another. In conclusion, it can be stated that the indoor navigation system can help reduce access problems and increase efficiency in the use of public spaces. Optimal navigation in critical situations helps reduce risk and increase the safety and peace of mind of users

in complex and large environments. This allows users to quickly and with minimal risk access to exit points or safe places. In addition, this process also helps to make buildings smarter and, as a result, cities smarter.

Keywords: Visualization, Improved meshing, Triangulation, Building information modeling, Geographic information system.

مدل سازی، مسیریابی و شبیه سازی بصری فضاهای داخلی ساختمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی اطلاعات ساختمانی

پریسا سمیعی^{۱*} و سحر علیان^۲

۱. دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامسر، مازندران، ایران

۲. گروه عمران مؤسسه آموزش عالی رحمان رامسر، رامسر، مازندران، ایران

*نویسنده عهده دار مکاتبات: parisass22@gmail.com

چکیده

در سال های اخیر، صنعت معماری و مهندسی ساخت و ساز از بررسی و مطالعه دو بعدی به بررسی در حالت سه بعدی (مدل سازی اطلاعات ساختمان) در حال حرکت است تا امکان تجسم و اشتراک گذاری بهتر اطلاعات را فراهم کند. با توسعه این صنعت در ساختمان های بلند مرتبه مانند فروشگاه های بزرگ، هتل ها، بیمارستان ها و فرهنگ سراها نیاز به سیستم مسیریابی داخل ساختمان بیش از پیش احساس می شود. هدف اصلی این پروژه، ارائه و تولید مسیر اجرایی در فضاهای داخلی ساختمان با ادغام مدل اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی با دو روش مثلث بندی و مش بندی بهبود یافته و نمایش گرافیکی آنها است. لذا این پروژه به دنبال مطالعه و مسیریابی یک نمونه واقعی بوده و در حین اجرای آن به بررسی اثر پارامترهای مختلف بر عملکرد مدل توسعه یافته خواهیم پرداخت. یکی از این پارامترها، تغییر در ابعاد و ساختار مش ها با هدف بهبود عملکرد و افزایش دقت در مدل سازی انجام شده است. مسیرهای طراحی شده نیز شامل گزینه هایی برای انتخاب بین راه پله و آسانسور هستند. به این ترتیب، کاربران می توانند به سادگی بهترین مسیر را بر اساس شرایط و محدودیت ها برای رسیدن به مقصد خود شناسایی کنند. انتخاب مسیر مناسب با توجه به نیازهای مختلف کاربران، از جمله افرادی که دارای مشکلات حرکتی هستند، می تواند تجربه ای بهینه و راحت را فراهم آورد. همچنین در این پروژه، علاوه بر کاهش طول مسیر، بهینه سازی زمان نیز مورد بحث قرار گرفته است، زیرا در فرآیند مسیریابی، باید به دو پارامتر زمان و مسافت توجه کرد و بر اساس اولویت هر یک از آنها تصمیم گیری کرد. مدل اطلاعات ساختمان شامل جزئیات دقیقی از بخش های مختلف ساختمان به صورت سه بعدی است. این مدل به معماران و مهندسان پروژه این امکان را می دهد که به درک کامل تر و جامع تری از ساختار و ویژگی های فنی ساختمان برسند. اما توانایی تحلیل شبکه مسیر را ندارد. سیستم اطلاعات جغرافیایی با تحلیل های مکانی، امکان بهینه سازی مسیرها را فراهم می آورند و به افزایش کارایی، دقت، ایمنی و دسترسی در محیط های پیچیده کمک می کند. ترکیب مدل اطلاعات ساختمان با سیستم اطلاعات جغرافیایی می تواند به مسیریابی داخلی کمک کند و شرایط را برای بهبود مدیریت فرآیند مسیریابی مهیا سازد. بدین منظور پروژه حاضر به بررسی ساختمان شش طبقه اداری در شهر رشت می پردازد. ابتدا پلان های دو بعدی با نرم افزار رویت

شماره - تلفن ۰۱۱-۴۴۴۶۴۸۴۶

دورنگار : ۰۱۱-۴۴۴۶۴۸۴۶

Parisass22@gmail.com

شماره - نویسنده مسئول، ایمیل

آرکیتکچر که بر پایه مدل اطلاعات ساختمان است سه بعدی شده و پس از تلفیق داده‌ها، مسیرهای تولید شده نهایی در نرم‌افزار ArcGIS Pro به حالت گرافیکی نمایش داده خواهند شد. در نهایت خروجی نرم‌افزار برای سناریوهای مختلف مطالعه و بررسی خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که روش مش بندی بهبودیافته دارای دقت بالاتری است و پوشش بهتری از فضای کف ساختمان را در اختیار ما قرار می‌دهد و در مسیرهای بدون عارضه و شکست عملکرد بهتری نسبت به روش مثلث بندی دارد. در مقابل در مسیرهای پر شکست و قوس مانند و طولانی تر، روش مثلث بندی کارایی بهتری نسبت به روش مش بندی بهبودیافته دارد. در مجموع انتخاب یک روش به عنوان بهترین گزینه ممکن نیست، زیرا هر روش بسته به نوع محیط و موضوع مورد بحث، عملکرد متفاوتی دارد. به نظر می‌رسد که استفاده ترکیبی از روش‌ها می‌تواند راه‌حلی مؤثر باشد، زیرا در برخی موارد مزایای یک روش می‌تواند نقاط ضعف روش دیگر را جبران کند. در پایان، می‌توان بیان کرد که سامانه مسیریابی داخل ساختمان می‌تواند به کاهش مشکلات دسترسی و افزایش کارایی در استفاده از فضاهای عمومی کمک شایانی نماید. مسیریابی بهینه در شرایط بحرانی به کاهش ریسک و افزایش ایمنی و آرامش خاطر کاربران در محیط‌های پیچیده و وسیع کمک می‌کند. این امر به کاربران این امکان را می‌دهد که به سرعت و با حداقل خطر به نقاط خروج یا مکان‌های امن دسترسی یابند. علاوه بر این، این فرآیند به هوشمندتر شدن ساختمان‌ها و در نتیجه هوشمندتر شدن شهرها نیز کمک شایانی می‌کند.

کلمات کلیدی: دیدار سازی، مش بندی بهبود یافته، مثلث بندی، مدل سازی اطلاعات ساختمان، سیستم اطلاعات جغرافیایی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، به دلیل گسترش شهرنشینی و بزرگ‌تر شدن ابعاد پروژه‌های ساختمانی، استفاده از فناوری دیجیتال به جای فناوری الکترونیک آنالوگ در تمامی بخش‌ها به ویژه صنعت معماری و مهندسی ساخت و ساز^۱، افزایش یافته است (Bryde, ۲۰۱۳). Broquetas et al. (۲۰۱۳) یافتن مسیر در محیط‌های ناشناخته چالشی رایج است، ابزارهایی مانند نقشه‌های کاغذی و خدمات مکان مبنا به ناوبری کمک می‌کنند (Zhou, Xie et al. ۲۰۲۰). مسائل مسیریابی به دو دسته کلی مسیریابی در خارج و داخل ساختمان تقسیم می‌شود. فضای داخلی به دلیل پیچیدگی ساختاری، هندسه و روابط توپولوژیکی بالاتر، با محیط‌های بیرونی متفاوت است (Yang and Worboys ۲۰۱۵). عموم مردم با مسیریابی فضای بیرون ساختمان‌ها به واسطه نرم افزارهای کاربردی متداول روی گوشی تلفن همراه آشنایی دارند و این مسئله توسط خیلی از محققان مورد بررسی قرار گرفته است. فضای داخلی ساختمان‌های بزرگ مانند مراکز خرید، فرودگاه‌ها و بیمارستان‌ها در حال توسعه و پیچیده‌تر شدن است. افراد برای پیدا کردن مقصد خود در این فضاها به اطلاعات کامل نیاز دارند و به همین دلیل وجود یک سیستم ناوبری مجازی برای راهنمایی آن‌ها احساس می‌شود. مسیریابی داخل ساختمان به دلیل پیچیدگی‌های خاص خود، در دسترس نبودن روش‌های ناوبری در فضای باز همانند سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS)^۲، با چالش‌های متعددی مواجه است (Yang and Worboys ۲۰۱۵). کاربردهای مختلفی مانند شناسایی دارایی‌ها و برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری پویا^۳ در یک فضای داخلی، به روشنی اهمیت و ارزش تجزیه و تحلیل مسیریابی داخل ساختمان را نشان می‌دهند (Meijers, Zlatanova et al. ۲۰۰۵, Irizarry and Karan ۲۰۱۲).

فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان^۴ با ارائه مدل‌های سه بعدی و اطلاعات هندسی و معنایی دقیق از ساختمان، اطلاعات ارزنده‌ای را در اختیار قرار می‌دهد و به طور مؤثری در ساخت مدل شبکه مسیر در فضای داخلی ساختمان کمک می‌کند. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با استفاده از الگوریتم‌های تحلیل مسیر برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر، می‌تواند در ترکیب با مدل سازی اطلاعات ساختمان، به عنوان یک تکنیک کلیدی برای توسعه شهرهای هوشمند عمل کند. ادغام این دو فناوری به تجسم و تحلیل مدل‌های ساختمانی در محیط جغرافیایی کمک کرده و با بهبود مسیریابی، از سردرگمی شهروندان جلوگیری می‌کند و در مواقع حوادث به

امدادگران یاری می‌رساند. با توجه به اینکه هدف اصلی شبیه‌سازی موقعیتیابی داخلی، نمایش وضعیت واقعی در محیط و شناسایی بهترین مسیر برای کاربران است، لذا تعیین معیارهای مناسب برای ناوبری داخل ساختمان و دیدارسازی آنها به یکی از محورهای کلیدی تحقیقات فعلی تبدیل شده‌است. هدف نهایی این پروژه کاربردی نمودن مسیریابی داخلی جهت استفاده افراد علی‌الخصوص افراد ناآشنا با محیط مورد بررسی می‌باشد.

۲ - مروری بر تحقیقات گذشته

ناوبری داخلی به‌عنوان یک حوزه تحقیقاتی نوظهور، طرح‌ها و الگوریتم‌های متنوعی را به وجود آورده‌است (Renaudin, Yalak et al. ۲۰۰۷). 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 به‌علت استفاده از روش‌های کمی در مسیریابی از دقت بالاتری برخوردار بوده، درحالی که روش‌های گرافیکی از توپولوژی محل برای مسیریابی استفاده می‌کنند (Tsiliakou and Dimopoulou ۲۰۱۶).

در سال ۲۰۰۴، لی و همکاران^۱، از توسعه الگوریتم تبدیل محور میانی^۲ به یک مدل از شبکه هندسی به نام تبدیل محورهای میانی مستقیم^۳ رسیدند که تولید بیش از حد گره و لبه از معایب این روش بود (Lee ۲۰۰۴). لامارش و دونیکان^۴، از تکنیک مثلث‌بندی دلونی برای تقسیم فضا و کاهش سلول‌ها استفاده کردند. این روش برای ایجاد یک شبکه مسیر ساده بسیار مؤثر است، اما در فضاهای منظم، تعداد گره‌های کافی تولید نمی‌کند (Lamarche and Donikian ۲۰۰۴). در سال ۲۰۰۵، فرانس و همکاران^۵، مقایسه‌های بین مدل‌های مختلف گرافیکی برای ناوبری داخلی را انجام دادند (Franz, Mallot et al. ۲۰۰۵). در همان سال، لی و کوان^۶، دریافتند که الگوریتمی برای اعمال مفهوم مجاورت "چندضلعی‌های مربوط به دو فضای سلولی با یک لبه مشترک" در مدل‌های اطلاعات ساختمانی وجود ندارد (Lee and Kwan ۲۰۰۵). مایچرز و همکاران^۷، یک مدل گراف توصیف معنایی و هندسی به‌منظور افزایش دقت مسیریابی ارائه کردند که شامل توصیف معنایی و هندسی برای افزایش دقت مسیریابی بود (Meijers, Zlatanova et al. ۲۰۰۵). تسوس و همکاران^۸، یک سیستم ناوبری مبتنی بر داده‌های هندسی و گرافیکی کاربر محور را توسعه دادند. هدف اصلی آنها ادغام دانش معنایی با خدمات سنتی مبتنی بر مکان برای بهبود تجربه کاربر بود. پروژه آنها در حال توسعه است و پس از پیاده‌سازی کامل، قصد دارند اثربخشی و عملکرد آن را در محیط‌های واقعی ارزیابی کنند (Tsetsos, Anagnostopoulos et al. ۲۰۰۵).

در سال ۲۰۰۷، لی و همکاران^۹، از روش هندسی گرید بندی نقشه Navi-Guider (روش تعاملی بین انسان و ربات) استفاده نمودند که از مزایای آن می‌توان به نقشه برداری سریع اشاره کرد (Lee, Na et al. ۲۰۰۷). استوفل و همکاران^{۱۰}، یک مدل سلسله مراتبی به‌منظور ناوبری داخلی ایجاد کردند، در این روش به‌علت آنکه در گره‌های مرزی که چندضلعی‌ها را به یکدیگر متصل می‌کردند هیچ اطلاعات معنایی وجود نداشت و فقط از اطلاعات هندسی برای شبکه بندی استفاده می‌کرد، فقط برای مسیرهای بدون موانع مانند راهرو منظم کاربرد داشت (Stoffel, Lorenz et al. ۲۰۰۷). چوی و همکاران^{۱۱}، نیز نشان دادند که ساختار کف طبقات نیز در مسیریابی مؤثر است. آنها گراف فضایی را با بیان اجزای ساختمان مانند درب‌ها و پنجره‌ها به‌عنوان گره و ارتباط بین آنها به‌عنوان پیوند ایجاد کردند. این گراف می‌توانست مسائل مربوط به موانع و فضاهای خالی را با تقسیم بندی فضا حل کند. همچنین آنها دریافتند که از استانداردهای بین‌المللی می‌توان برای حل مشکل ناوبری محیط داخلی و در برگرفتن اطلاعات هندسی و معنایی استفاده کرد (Choi, Kwon et al. ۲۰۰۷).

^۹ Lertlakkhanakul et al

^{۱۰} Stoffel et al

^{۱۱} Choi et al

^۵ Franz et al

^۶ Lee and Kwan

^۷ Meijers et al

^۸ Tsetsos et al

^۱ Lee et al

^۲ Medial Axis Transform

^۳ Straight-Medial Axis Transform

^۴ Lamarche and Donikian

در سال ۲۰۰۹، یوان و همکاران^۱، به شبیه سازی تخلیه اضطراری ساختمان‌ها با مدل رستری پرداختند. این مدل به دلیل محدودیت در ابعاد پیکسل و همسایگی‌ها (۴ همسایه اصلی یا ۸ اصلی و فرعی) با استقبال رو به رو نشد (Yuan, Fang et al. ۲۰۰۹). در سال ۲۰۱۰، گروگر و پلومر^۲، یک روش گراف گام به جلو^۳ را برای برنامه ریزی مسیر توسعه دادند. گراف‌ها بر اساس قوانین دستور زبان و محدودیت‌ها و به طور غیر مستقیم از ساختمان‌های معنایی سه بعدی ایجاد می‌شدند (Gröger and Plümer ۲۰۱۰). در سال ۲۰۱۱، بروویکوف و همکاران^۴، از مفهوم مثلث‌بندی دلونی^۵، که شامل دو مرحله و بر اساس ساختار توپولوژیکی به نام نیم لبه دوگان (DHE)^۶ و با تمرکز بر اتصال فضای دوگان و فضای اولی بود برای ایجاد گراف استفاده کردند. از مزایای این روش وجود نقاط بحرانی کمتر و پوشش دهی فضای بیشتر بود (Borovikov ۲۰۱۱). در سال ۲۰۱۲، افیونی و همکاران^۷، تفاوت‌های مدل‌های نمادین و هندسی بررسی و یک روش هندسی دیگر را برای ناوبری در محیط داخلی ارائه کردند. مدل‌های هندسی ویژگی‌های متریک را ترکیب کرده و اطلاعات دقیقی درباره مکان و فاصله را ارائه می‌دهند، در حالی که مدل‌های نمادین دیدگاه انتزاعی تری از فضا را با روابط پیچیده‌تر حفظ می‌کنند (Afyouni, Claramunt et al. ۲۰۱۲). در سال ۲۰۱۳، ایسیکداگ و همکاران^۸، رویکردی برای ناوبری داخلی ارائه داده‌اند که بر اساس داده‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بود. این رویکرد بر اساس داده‌های مدل‌سازی هندسی و توپولوژیکی با افزودن ابر داده‌های مرتبط با ناوبری، برای ایجاد یک گراف مسیریابی به کار گرفته شد. همچنین، این مقاله یک مطالعه موردی از اجرای استراتژی پیشنهادی در یک محیط بیمارستانی را ارائه می‌دهد تا نشان دهد که چگونه این روش می‌تواند به راحتی و به طور مؤثر به افراد دارای اختلال کمک کند تا در این مرکز حرکت کنند (Isikdag, Zlatanov et al. ۲۰۱۳). مورتاری^۹ نیز در پایان نامه‌اش به بررسی استخراج گراف ناوبری داخلی ساختمان بر اساس استاندارد IndoorGML با استفاده از الگوریتم‌هایی مانند روش در تا در^{۱۰} پرداخت. او این گراف‌ها را به طور خودکار از تصاویر نقشه‌های معماری، (جاهایی که درب‌ها با رنگ سبز مشخص شده بود) استخراج کرد. با این حال، نتایج نشان داد که این روش دارای محدودیت‌های مانند عدم لحاظ موانع و مفهوم طبقات است که این موارد می‌توانند در شرایط اضطراری بر ایمنی و مسیرهای حرکتی تأثیر منفی بگذارند (Mortari ۲۰۱۳). در سال ۲۰۱۴، بویسن و همکاران^{۱۱}، اطلاعات ناوبری داخلی را از فایل‌های (IFC) استخراج کردند. آنها از این فایل‌ها برای به دست آوردن جزئیاتی مانند ابعاد اتاق‌ها و ارتباطات بین فضاها استفاده کردند. بر اساس این اطلاعات، یک مدل ناوبری داخلی مبتنی بر نمودار برای برنامه‌ریزی مسیر و جهت‌یابی بعدی طراحی شد. نتایج این تحقیق نشان دهنده کارایی اطلاعات ناوبری تولید شده برای ناوبری داخلی بود (Boysen, de Haas et al. ۲۰۱۴). در سال ۲۰۱۵، یانگ و همکاران^{۱۲}، به بررسی اهمیت مدل‌های معنایی در برنامه‌های هوشمند مسیریابی پرداختند. آنها رویکردی مبتنی بر نقشه‌های ترکیبی برای توضیح توپولوژی و ساختار داخلی به منظور ایجاد گراف ناوبری داخلی پیشنهاد دادند. در این تحقیق، با استفاده از استاندارد IndoorGML و به کمک دوگان گراف، گراف ناوبری را برای یک ساختمان تک طبقه استخراج کردند (Yang and Worboys ۲۰۱۵).

در سال ۲۰۱۶، تئو و همکاران^{۱۳}، یک مدل شبکه هندسی چند منظوره مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ارائه دادند تا واکنش اضطراری و برنامه ریزی مسیر عابر پیاده را بهبود بخشند. این مدل شامل استخراج اطلاعات ساختمان، جدا سازی داده‌ها و ایجاد روابط توپولوژیک در سیستم اطلاعات جغرافیایی است و زمان محاسبات را ۲۵ درصد کاهش می‌دهد (Teo and Cho ۲۰۱۶). خو و همکاران^{۱۴}، الگوریتمی برای تخلیه جمعیت از یک اتاق به دروازه‌های خروجی ساختمان را ارائه کردند که این رویکرد شامل سه مرحله، ایجاد نقاط بحرانی در فضا، اتصال همسایه برای ایجاد شبکه و بهینه سازی مسیر تخلیه با استفاده از روش مثلث‌بندی است. آنها از توپولوژی محل نیز برای برنامه ریزی مسیرها در جهت‌یابی‌ها استفاده کردند (Xu, Hijazi et al. ۲۰۱۶). دنگ و همکاران^{۱۵}، دانکرز و همکاران^{۱۶}، نیز به بررسی رابطه بین مدل اطلاعات ساختمان و سطوح مختلف آن در CityGML پرداختند و روشی دقیق‌تر

^{۱۳} Teo et al

^{۱۴} Mengchao- Xu

^{۱۵} Deng et al

^{۱۶} Donkers et al

^۷ Afyouni et al

^۸ Isikdag et al

^۹ Mortari

^{۱۰} Door to door

^{۱۱} Boysen et al

^{۱۲} Yang et al

^۱ Yuan et al

^۲ Groger and Plumer

^۳ Step Forward

^۴ Borovikov et al

^۵ Delaunay triangulations

^۶ Dual Half-Edge

برای مدل‌سازی خودکار این مدل ارائه کردند. آنها مدل‌سازی خودکار را با ساده‌سازی مدل‌های اطلاعات ساختمان مرتبط دانستند و کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی را تا حدی بهبود بخشیدند. با این حال، ممکن است برخی از اطلاعات هندسی و معنایی در مدل اطلاعات ساختمان در طول فرآیند تبدیل از بین برود و این مدل فاقد اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فضایی داخلی برای ناوبری باشد (Deng, Cheng et al. ۲۰۱۶, Donkers, Ledoux et al. ۲۰۱۶).

در سال ۲۰۱۹، فلیک ورت و همکاران^۱، از ابر نقاط و استاندارد IndoorGML به منظور استخراج گراف ناوبری داخل ساختمان استفاده نمودند. در تحقیق ابتدا درها و دیوارهای ساختمان شناسایی و سپس فضاهای قابل پیاده روی استخراج گردید و با فرض اینکه فضاهای قابل پیاده روی به کمک درها و پله‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند، گراف اتصال گره‌ها ایجاد شد (Flikweert, Peters et al. ۲۰۱۹). در سال ۲۰۲۰، لیو و همکاران^۲، شبکه مسیر را با ترکیب دو مدل گراف مبنا و هستنده مبنا ایجاد نمودند. مدل گراف مبنا برای محاسبه مسیر در مسیریابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل هستنده مبنا برای نمایش بهتر نتایج مسیریابی طراحی شده بود (Liu, Luo et al. ۲۰۲۰). در سال ۲۰۲۱، نیز آنها مروری جامع از ادبیات مربوط به کاربرد IFC در تحقیقات ناوبری داخلی ارائه دادند که می‌تواند به بهبود ناوبری در ساختمان‌ها کمک کند و اطلاعات دقیقی درباره محیط داخلی ارائه دهد (Liu, Xu et al. ۲۰۲۱).

در داخل کشور هم در این زمینه کارهای مؤثری به انجام رسیده است. به عنوان مثال، در سال ۱۳۹۷، کفاش از استاندارد IndoorGML برای استخراج گراف ناوبری بازار سرپوشیده تبریز استفاده نمود. در این تحقیق ابتدا قسمت‌های مختلف بازار شناسایی و سپس یال‌های اصلی مطابق با استاندارد IndoorGML و دوگان گراف برای هر قسمت ترسیم و خلاصه سازی گردید (چرندابی ۲۰۱۹). در سال ۱۳۹۹، سدیدی و همکاران، روش معنایی-هندسی برای توسعه خدمات مکان مبنا در فضای داخلی را ارائه دادند. این روش با استفاده از اطلاعات و گراف معنایی، به عنوان یک راهبرد مناسب برای روش‌های صرفاً هندسی شناخته شده و نتایج نشان داد که این روش در تولید گراف مسیریابی فضای بسته کارآمد است (Sadidi, Joudaki et al. ۲۰۲۱). در سال ۱۴۰۰، ابراهیمیان قاجار و همکاران، به مقایسه دو روش مثلث‌بندی و شبکه‌های مش بندی پرداختند. نتایج نشان داد که دقت روش مش بندی در مسیریابی، به دلیل تعداد زیاد نقاط، از روش مثلث‌بندی بیشتر است و به همین دلیل نیاز به سخت افزاری قوی برای پردازش این نقاط دارد (قاجاری ۲۰۲۱).

حال در این مقاله قصد داریم روش جدیدی را برای مش بندی مسیریابی داخل ساختمان ارائه بدهیم و این روش جدید را با روش مثلث‌بندی مقایسه کنیم.

۳- موارد و روش‌ها

۳-۱- ساختمان مورد مطالعه

ساختمان اداری مورد مطالعه که در شهر رشت واقع شده، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین ساختمان‌های عمومی شمال کشور با اسکلت بتنی در شش طبقه با مساحت ۸ هزار و ۱۵۳ مترمربع، دارای بخش‌های مختلف فرهنگی است. شکل ۱ نمایی از ساختمان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

^۲ Liu et al

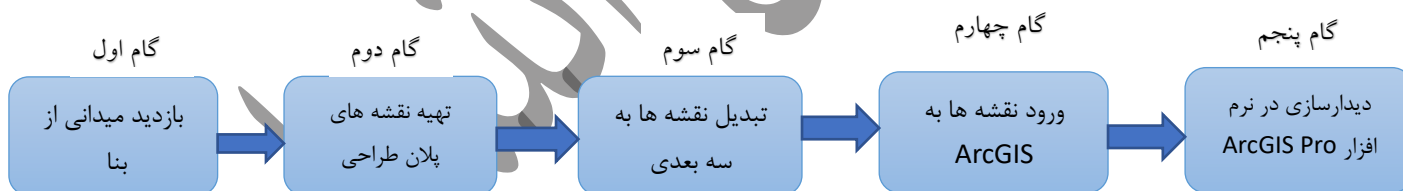
^۱ Flikweert et al



شکل ۱. نمایی از پلان‌های سه‌بعدی ساختمان مورد بررسی جهت مسیریابی در این پروژه.

۲-۳- روش پژوهش

مدل‌های فضایی داخلی برای خدمات ناوبری در محیط‌های داخلی اهمیت زیادی دارند و به دو دسته هندسی و گرافیکی تقسیم می‌شوند. هر دسته ویژگی‌ها، مزایا و معایب خاص خود را دارد. درک این مدل‌ها می‌تواند به بهبود تجربه کاربری و افزایش دقت ناوبری کمک کند (Tsiliakou and Dimopoulou ۲۰۱۶). برای مسیریابی در این پروژه، از ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شده است. در این راستا، دو روش مش‌بندی بهبودیافته و مثلث‌بندی به کار رفته‌اند. در این پژوهش، از مدل BIM برای ایجاد ساختار دقیق سه‌بعدی ساختمان و از GIS برای تحلیل داده‌های مکانی و محاسبه مسیرهای بهینه استفاده شده است. در روش پیشنهادی، مدل BIM ابتدا در نرم‌افزارهایی مانند Revit ایجاد شده و سپس با تبدیل به فرمت‌های سازگار مانند IFC، وارد محیط GIS شده است. در GIS، این مدل برای تحلیل مسیرهای داخلی، محاسبه فاصله‌ها و بررسی موانع استفاده شده است. در نهایت دیدارسازی بصری در نرم افزار ArcGIS Pro انجام شده است. شکل ۲ شماتیکی از ساخت پایگاه داده نقشه و روند کلی پروژه را نشان می‌دهد.



شکل ۲. شماتیکی از ساخت پایگاه داده نقشه.

۱-۲-۳- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را می‌توان به زبان ساده به‌عنوان یک ماکت دیجیتالی هوشمند از فرآیند طراحی و ساخت ساختمان توصیف کرد. در این مدل، امکان ذخیره، ویرایش و در نهایت استخراج اطلاعات مربوط به ساختمان وجود دارد (بستگانی ۱۳۹۹). این فناوری با ارائه مدل‌های سه‌بعدی، به ساخت مدل شبکه مسیر در فضای داخلی کمک می‌کند (Xu, ۲۰۲۰, Panteli, Kylili et al. ۲۰۲۱). Mumford et al. (۲۰۲۱). سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند سیستم‌های مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، یک سیستم اجتماعی-فنی است که افراد را ملزم می‌کند تا سخت‌افزار و نرم‌افزار را هدایت کنند و اطلاعات درون آن را مدیریت کنند (Petch ۲۰۱۹). مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی هر دو نمایش دیجیتالی از دنیای واقعی هستند، اما هر یک

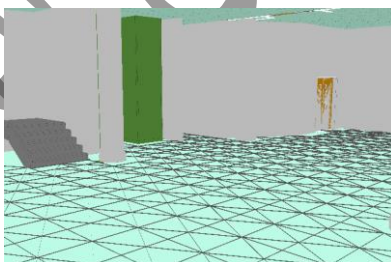
نواقصی دارند. ادغام این دو روش و دستیابی به راهکارهای مسیریابی بهینه می‌تواند به شناخت بهتر فضا و افزایش خوانایی آن کمک کند. جدول ۱ مقایسه‌ای از مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه بین دو سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Rahman and Maulud ۲۰۱۹).

مفهوم کلی	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	سیستم اطلاعات جغرافیایی
اطلاعات مکانی	اطلاعات داخل ساختمان	اطلاعات فضاهای باز
اطلاعات معنایی	شامل جزئیات است	شامل کلیات است
اطلاعات فضایی	سطح پایین	سطح بالا
مدل سه‌بعدی هندسی	تجسم سه‌بعدی در سطح بالا	تجسم سه‌بعدی در سطح پایین
دیدارسازی	بسته به سطوح جزئیات به کار رفته (سطح نمایش ۱۰۰ تا ۵۰۰)	دارد
قابلیت تجزیه و تحلیل	ندارد	به صورت پیشرفته انجام می‌دهد

۳-۲-۲- مسیریابی به روش مش بندی^۱ بهبود یافته

این تقسیم‌بندی با تقسیم فضا به سلول‌های یکسان به حل مسائل پیچیده نقشه‌برداری کمک می‌کند. اما در محیط‌های بزرگ، تعادل بین دقت و منابع محاسباتی چالش‌برانگیز است. شبکه‌های با دقت بالا اطلاعات دقیقی ارائه می‌دهند، اما بار پردازشی سنگینی دارند. این نقشه‌ها می‌تواند نقاط شروع و پایان را به دقت در یک محیط سه‌بعدی داخلی شناسایی کند و به دو دسته اصلی سلول‌های منظم^۲، سلول‌های نامنظم^۳ تقسیم می‌شود (Moravec and Elfes ۱۹۸۵, Elfes ۱۹۸۹, Afyouni, Claramunt et al. ۲۰۱۲). در این پروژه همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است برای بهینه شدن مسیر فضای داخل مش‌ها با ایجاد مثلثی درون آنها کوچک‌تر شده‌است.

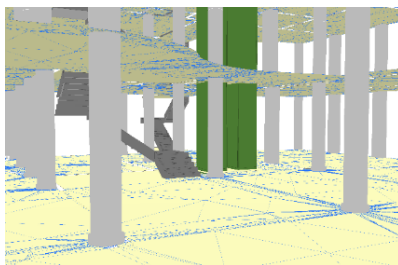


شکل ۳. نمایی از مسیریابی به روش مش بندی بهبود یافته

۳-۲-۳- مسیریابی به روش مثلث‌بندی^۴

روش مثلث‌بندی نامنظم تکنیکی است که در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای نمایش پیوسته سطح بر اساس نقاط با فاصله‌های نامنظم استفاده می‌شود. این روش شامل تقسیم ناحیه به مثلث‌هایی است که با اتصال نقاط مجاور شکل می‌گیرند و شبکه‌ای مثلثی نامنظم ایجاد می‌کند که برای درون‌یابی و ایجاد سطح پیوسته کاربرد دارد. شکل ۴ شماتیکی از روش مثلث‌بندی را نشان می‌دهد.

^۱ Mesh
^۲ Regular tessellations
^۳ Irregular tessellations
^۴ Triangulated irregular network (TIN)



شکل ۴. نمایی از مسیریابی به روش مثلث‌بندی

۳-۲-۴- الگوریتم دایجسترا^۱

نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی از الگوریتم دایجسترا برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر که همان مسیر بهینه است، استفاده می‌کند (Haixiang and Jingjing ۲۰۱۳). الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم حریصانه است که در آن به‌جای تقسیم مسأله به زیر مسأله‌ها، از روش تکرارشونده استفاده می‌شود. در این روش، در هر مرحله، عنصری با ویژگی بهینه (مانند کوتاه‌ترین مسیر) انتخاب می‌شود. در واقع، در هر مرحله، رأسی با کمترین فاصله از ریشه در مجموعه رأس‌های در نظر گرفته نشده شناسایی می‌شود.

۳-۳- الزامات داخل ساختمان

فضای داخلی به‌عنوان محیطی با الزامات هندسی، توپولوژیکی و معنایی تعریف می‌شود. این فضا به‌عنوان "حجم بسته مرزبندی شده" در نظر گرفته می‌شود که با عناصر فیزیکی ثابت و معانی خاص مانند اتاق‌ها مدل‌سازی می‌شود (Zlatanova, Liu et al. ۲۰۱۴). برای ناوبری داخل ساختمان به مدل‌های دقیق فضای داخلی نیاز داریم. فضاهای داخلی باید به‌صورت هندسی توصیف شوند تا ویژگی‌های فضایی و عناصر ساختمانی مشخص شود. همچنین، پارتیشن‌بندی فضا بر اساس انواع فضاهای تعریف شده برای کاربران و وظایف مختلف اهمیت دارد (Zlatanova, Sithole et al. ۲۰۱۳).

برای انجام مسیریابی در یک ساختمان، لازم است که داده‌ها به‌طور مناسب در یک پایگاه داده جغرافیایی سازماندهی شوند. پایگاه داده‌ای که در این پروژه ایجاد شده، شامل دو مجموعه داده است: یکی از آن‌ها شامل کلاس‌های ویژگی عناصر ساختمان و دیگری کلاس‌های ویژگی مربوط به مسیرهای داخلی ساختمان و اتصالات عمودی بین طبقات می‌باشد.



شکل ۵. شماتیکی از اجزای پایگاه داده مکانی.

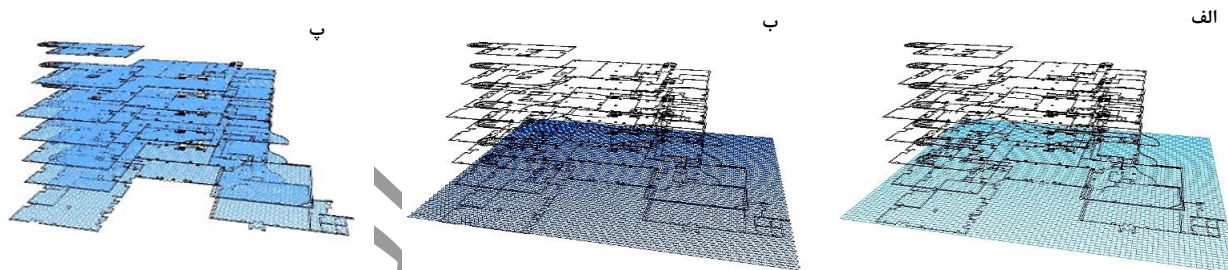
۳-۴- آماده سازی لایه‌ها ارتباطی طبقات

^۱ algorithm Dijkstra

جهت آماده سازی لایه آسانسورها فقط ارتفاع نقاط ابتدا و انتها و برای لایه پله‌ها علاوه بر ارتفاع نقاط ابتدا و انتها ارتفاع نقاط وسط در جدول اطلاعات توصیفی محاسبه و استفاده می‌شود. سپس لایه سطحی پله و آسانسور را به لایه نقطه‌ای تبدیل کرده و لایه نقاط را با ارتفاع آنها کلاسه بندی می‌کنیم. در نهایت مسیر پله و آسانسور را برای هر طبقه استخراج می‌کنیم.

۳-۴-۱- روش مش جهت مسیریابی

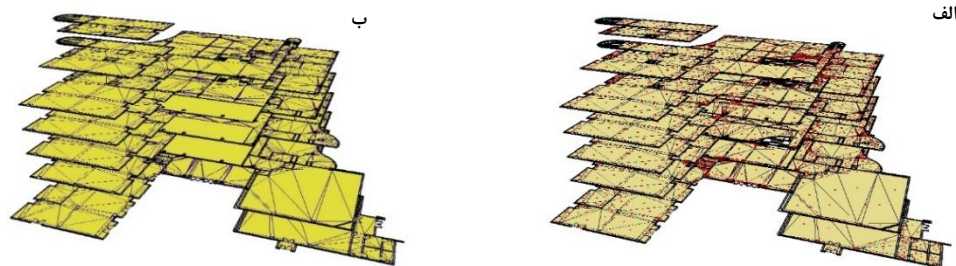
در این روش ابتدا مسیرهای غیر قابل تردد که مجاز به حرکت در آنها نیستیم مانند دیوارها، ستون‌ها را در نرم‌افزار ArcMap از کف حذف می‌کنیم. سپس شبکه مسیر را با دستور Fishnet ایجاد می‌کنیم. این دستور برای ایجاد شبکه‌های منظم شطرنجی (مانند تور ماهی‌گیری) با ابعاد یکسان مربعی شکل و مستطیل شکل به کار می‌رود و مبنایی برای تحلیل مسیرها و شبیه‌سازی حرکت در داخل ساختمان است. بعد از ایجاد شبکه اولیه برای بالا بردن دقت کار و بهینه شدن مسیر و پوشش دهی بیشتر فضا از دستور Generate Tessellation برای ایجاد شبکه دوم مثلث‌بندی داخل شبکه شطرنجی اولیه استفاده شد. از کاربردهای این دستور، تقسیم فضا به سلول‌های کوچک‌تر، مانند چندضلعی‌های منظم (مثلث و شش‌ضلعی)، برای افزایش تعداد مسیرها است. در نهایت مسیر ایجاد شده را به تمامی طبقات اعمال می‌کنیم و لایه‌ی ارتباط طبقات را به آن اضافه می‌کنیم. برای ایجاد یک شبکه مسیریابی، نیاز به تعریف خطوط مسیر و گره‌های تقاطع داریم. برای تولید گره‌ها، از دستور Intersect استفاده شده‌است. این فرآیند در هر تقاطع، دو گره تکراری ایجاد می‌کند. برای رفع این مشکل و حذف گره‌های اضافی، از دستور Delete Identical بهره برده‌ایم. تا تنها یک گره در هر محل تقاطع باقی بماند.



شکل ۶. الف) اجرای Fishnet، ب) اجرای Generate Tessellation پ) ادغام دو روش و استخراج آن به تفکیک طبقات

۳-۴-۲- روش مثلث سازی تکنیکی جهت مسیریابی

در این روش نیز ابتدا مکان‌های قابل تردد را شناسایی می‌کنیم. سپس با دستور Feature Vertices To Points، رئوس دیوارها را استخراج می‌کنیم. سپس اولین شبکه مثلث‌بندی را با استفاده از نقاط به دست آمده از مرحله قبل و کف‌های قابل تردد ایجاد می‌کنیم و اضلاع مثلث و مثلث‌های تشکیل شده را استخراج می‌کنیم. در مرحله بعد، نقاط وسط مثلث‌ها را استخراج می‌کنیم. سپس دومین مثلث‌بندی را با لایه‌ی نقطه‌ای درب‌ها و نقاط وسط مثلث‌ها ایجاد می‌کنیم. در نهایت شبکه مثلث‌بندی نهایی را استخراج می‌کنیم. برای ایجاد نقاط شبکه نیز همانند روش قبلی از دستور Intersect استفاده می‌کنیم به علت اینکه تقاطع‌ها به صورت دوطرفه هستند، در هر تقاطع دو نقطه ایجاد می‌شود، نقاط مشابه را حذف می‌کنیم.



شکل ۷. الف) شبکه مثلث‌بندی اول ب) شبکه مثلث‌بندی دوم.

۳-۴-۳- نمایش شبکه‌های مسیر

برای اطمینان از متصل بودن تمامی مسیرها و جلوگیری از هم‌پوشانی آن‌ها، تمامی مسیرهای ایجاد شده را خطایابی می‌کنیم. این فرایند شامل بررسی دقیق نقاط اتصال و تطبیق‌پذیری مسیرها با یکدیگر است. در نهایت، تضمین کیفیت مسیرها باعث افزایش کارایی و کاهش احتمال بروز خطا در عملکرد کلی سیستم خواهد شد.

برای نمایش گرافیکی مسیرهای ساخته شده به کمک روش‌های مش بندی بهبود یافته و مثلث سازی از نرم‌افزار ArcGIS Pro استفاده می‌کنیم. در فرایند مسیربازی، امکان تفکیک مسیرها بر اساس محدودیت‌هایی مانند انتخاب پله یا آسانسور وجود دارد. این تفکیک بر مبنای ویژگی‌های مسیر و معیارهای دسترسی‌پذیری انجام شده و در ارائه مسیرهای پیشنهادی لحاظ می‌شود. علاوه بر این، راهنمای مسیرها به نحوی ارائه می‌شود که انتخاب بهینه را بر اساس شرایط کاربر تسهیل کند.

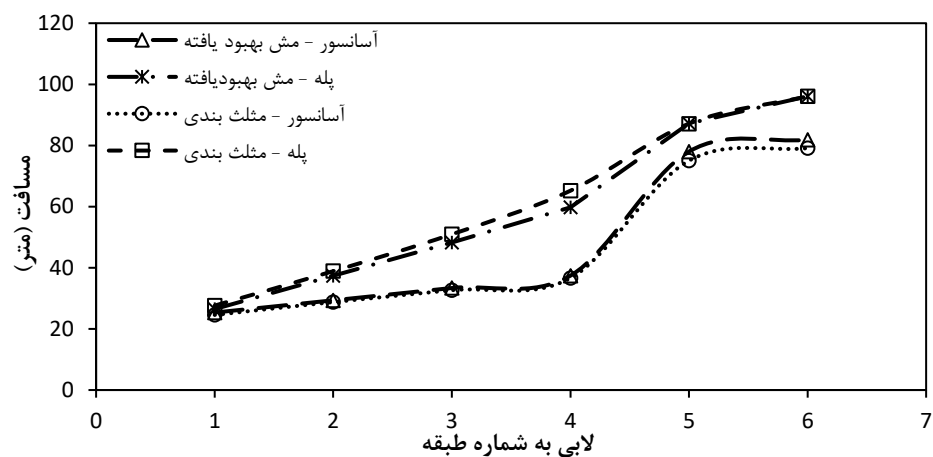
۴- بحث و بررسی

هدف این پروژه ارائه یک روش کاربردی است که بر روی تمامی پلتفرم‌های مرتبط با سیستم اطلاعات جغرافیایی قابل پیاده‌سازی باشد. این طراحی به منظور افزایش دسترسی و راحتی کاربران انجام شده است. انتخاب مسیر مناسب با توجه به نیازهای متنوع کاربران، از جمله افرادی که با مشکلات حرکتی مواجه هستند، می‌تواند تجربه‌ای بهینه و راحت را به ارمغان آورد. در مطالعات پیشین (چرندابی ۲۰۱۹) مرتبط با مسیربازی داخلی ساختمان، امکان انتخاب بین پله و آسانسور به صورت کاربرمحور مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین، بحث زمان‌بندی مسیرها اعم از تأخیر در استفاده از آسانسور و تفاوت زمانی بین مسیرهای مختلف در نظر گرفته نشده است. این تحقیق، با تمرکز بر این دو جنبه، و تغییر در ساختار روش مش بندی یک رویکرد نوین را برای بهینه‌سازی مسیرهای داخلی ساختمان ارائه می‌دهد. به منظور بررسی دقیق مسیرها و اطمینان از صحت و کارایی تمامی راه‌های ارتباطی قبل از انجام سناریوهای مسیربازی، از لایه همکف به ترتیب به لایه طبقات مختلف مسیربازی انجام شده است. مسیرها یک‌بار از طریق پله و یک‌بار از طریق آسانسور طی شده‌اند. نتایج حاصل از دو روش مش بندی بهبود یافته و مثلث‌بندی در جدول ۲ و شکل ۸ مقایسه شده‌است، سپس با جزئیات فراوان مزایا و معایب هر روش را برای سناریوهای مختلف بررسی می‌کنیم.

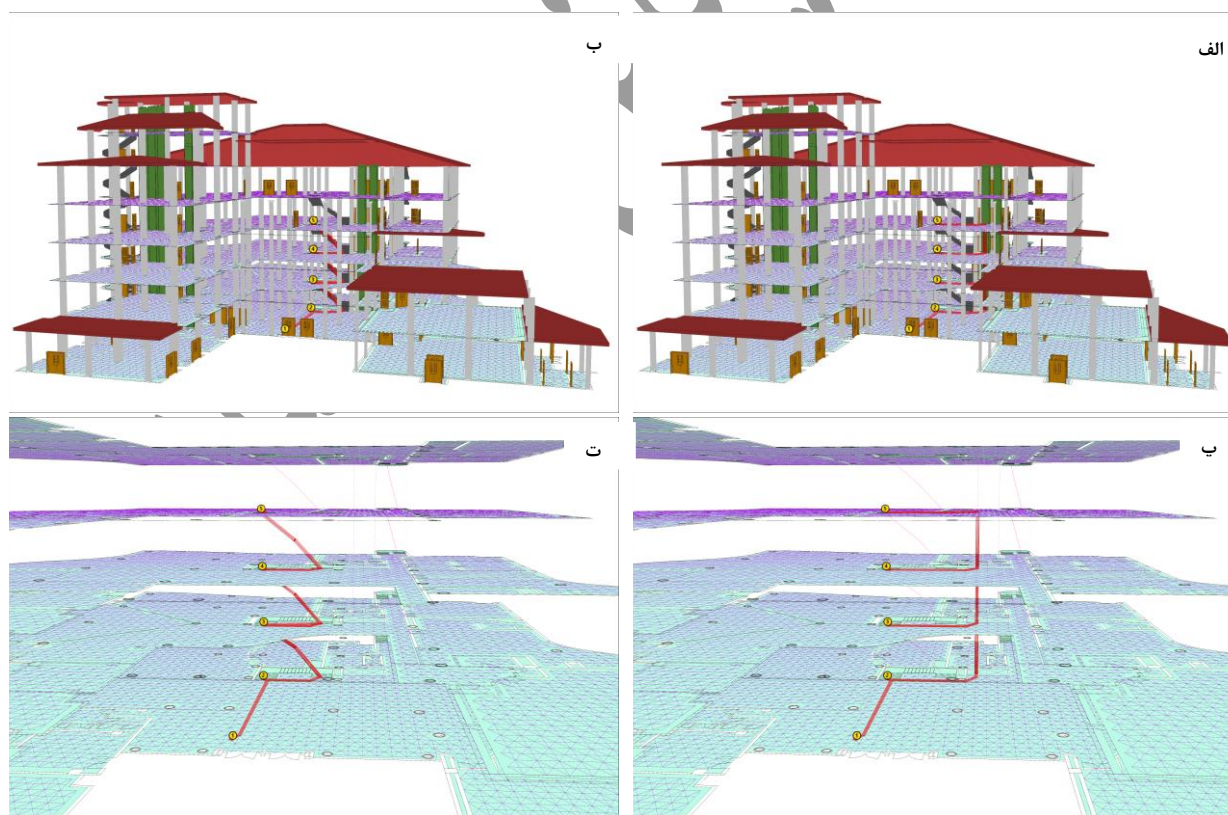
جدول ۲. مقایسه مسیربازی با دو روش مثلث‌بندی و مش بندی بهبود یافته.

مسیربازی با روش مثلث‌بندی		مسیربازی با روش مش بهبود یافته		مبدأ و مقصد	ردیف
پله (متر)	آسانسور (متر)	پله (متر)	آسانسور (متر)		
۲۷/۶۳	۲۴/۵۸	۲۶/۴۹	۲۵/۳۵	از لایه طبقه همکف به لایه طبقه اول	۱
۳۸/۸۹	۲۸/۷۷	۳۷/۳۷	۲۹/۳۵	از لایه طبقه همکف به لایه طبقه دوم	۲

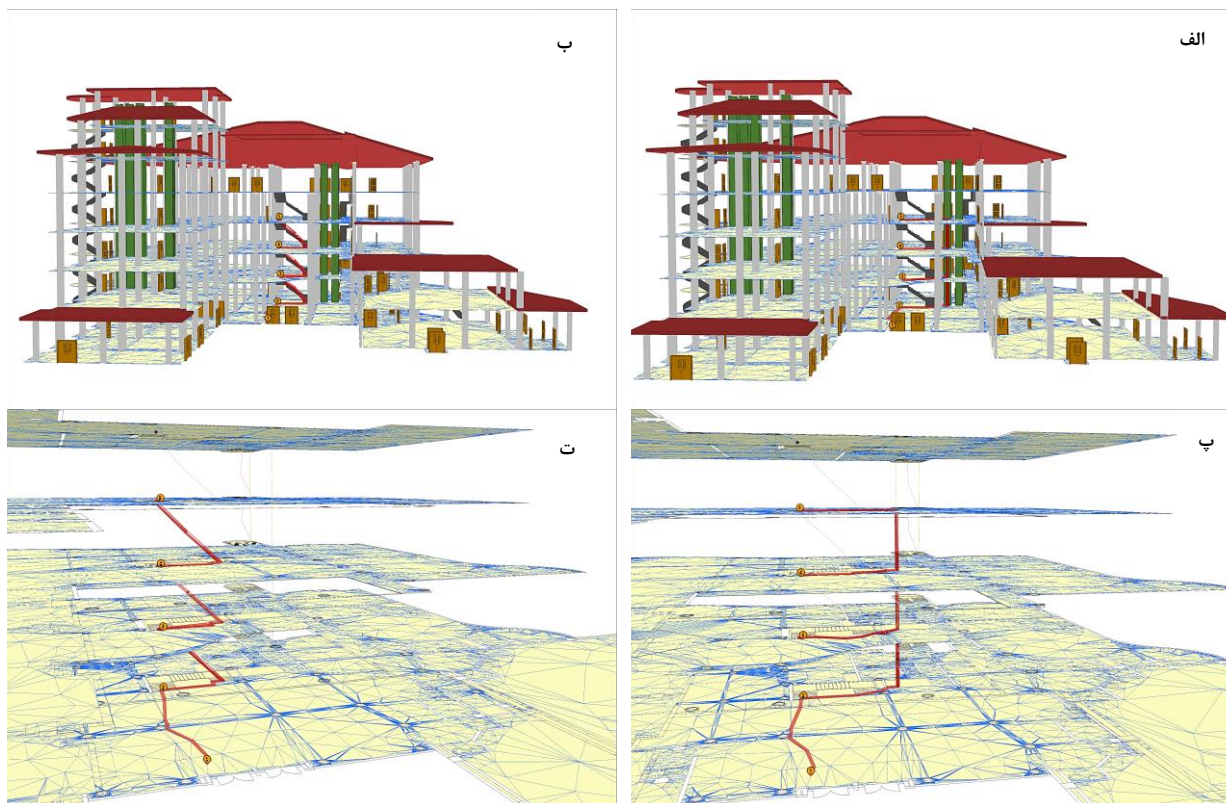
۵۰/۹۶	۳۲/۶۶	۴۸/۲۷	۳۳/۳۷	از لابی طبقه همکف به لابی طبقه سوم	۳
۶۵/۲۰	۳۶/۶۳	۵۹/۸۲	۳۷/۴۰	از لابی طبقه همکف به لابی طبقه چهارم	۴
۸۷/۱۵	۷۵/۰۴	۸۷/۱۶	۷۸/۰۳	از لابی طبقه همکف به مخزن طبقه پنجم	۵
۹۶/۱۰	۷۹/۱۳	۹۶/۰۸	۸۱/۸۹	از لابی طبقه همکف به مخزن طبقه ششم	۶



شکل ۸. مقایسه مسافت محاسبه شده در روش‌های مختلف بر حسب فاصله از لابی ساختمان.



شکل ۹. مسیریابی از طبقه همکف تا طبقه سوم به کمک الف، ب) آسانسور و ب، ت) پله به روش مش بندی بهبود یافته.



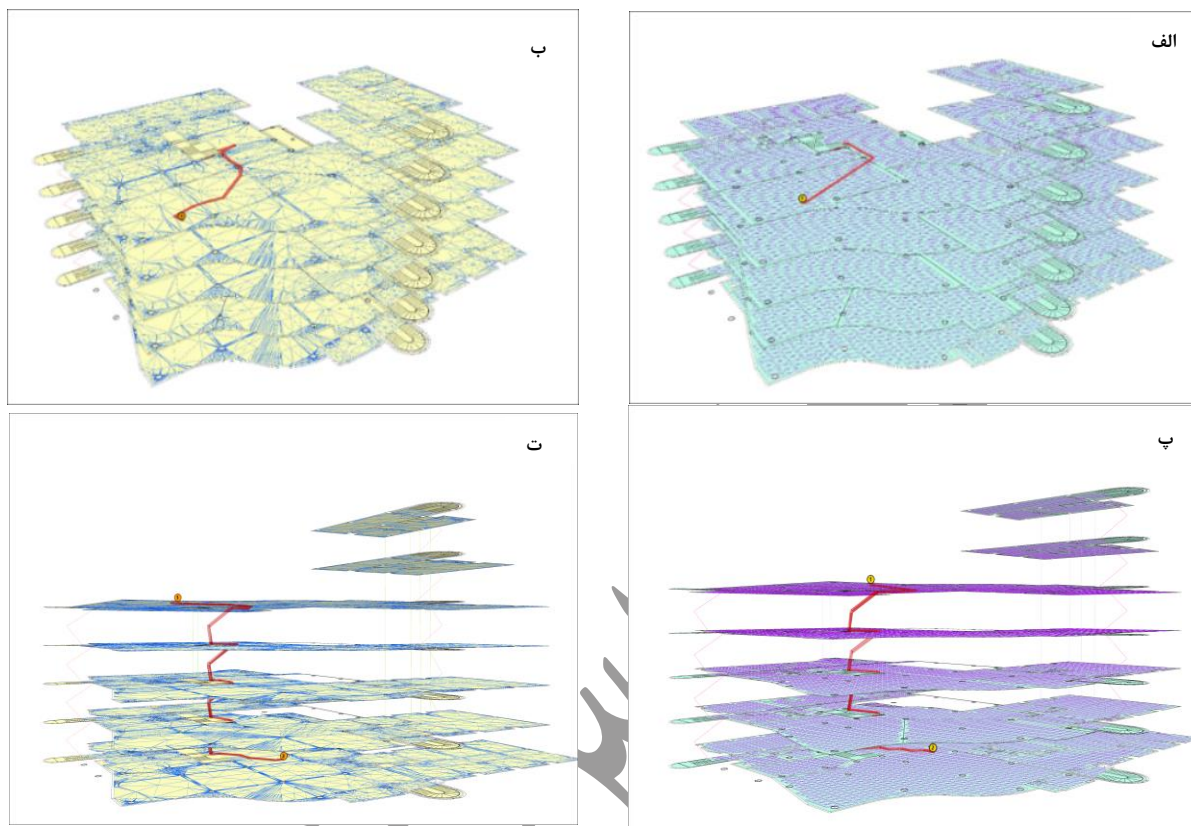
شکل ۱۰. مسیریابی از طبقه همکف تا طبقه سوم به کمک الف، پ) آسانسور و ب، ت) پله به روش مثلث‌بندی.

شکل‌های ۹ و ۱۰ مسیره‌ای ترسیم شده توسط روش مثلث‌بندی و مش‌بندی بهبود یافته را نشان می‌دهند. در گوشه‌ها و نزدیکی ستون‌ها، روش مثلث‌بندی تقسیم‌بندی بهتری از ابعاد کف ساختمان ارائه می‌دهد، در حالی که در وسط ساختار، روش مش‌بندی بهبود یافته عملکرد بهتری دارد. این موضوع ممکن است در برخی موارد منجر به ارائه مسیر کوتاه‌تری توسط روش مش‌بندی بهبود یافته شود. در مواردی که استفاده از پله به جای آسانسور مدنظر است، این تقسیم‌بندی به روش مش‌بندی بهبود یافته خود را بهتر نشان می‌دهد. در نهایت، انتخاب روش مبنا برای مسیریابی بستگی به خروجی‌های مدل‌های توسعه یافته دارد و هر مدلی که مسافت کوتاه‌تری را ارائه دهد، به عنوان مدل مبنا انتخاب خواهد شد. به طور کلی، انتظار می‌رود که روش مثلث‌بندی در مکان‌های پیچیده‌تر بهتر عمل کند.

۴-۱- سناریوهای نوع اول: مسیر یابی داخلی در شرایط اضطراری

سناریوهای نوع اول به ارزیابی مسیرها در شرایط اضطراری (زلزله و آتش‌سوزی) مربوط می‌شود. این شرایط غیرقابل پیش‌بینی می‌تواند به اختلال در فعالیت‌ها و تهدیدی برای جامعه منجر شود. در زمان وقوع حادثه، ساکنان دچار ترس و نگرانی می‌شوند و تخلیه باید به سرعت از طریق مسیرهای خروج اضطراری انجام شود. وجود کوتاه‌ترین مسیر برای هدایت افراد به محل امن اهمیت زیادی دارد، اما اضطراب باعث می‌شود حتی افراد آشنا به مسیر نیز نتوانند تصمیم درستی بگیرند. فرض می‌کنیم فردی در طبقه چهارم در سالن اینترنت خواهران قرار دارد و می‌خواهد در زمان رخ دادن زلزله به بیرون از ساختمان برود. روش مش‌بندی بهبود یافته طول مسیر را ۶۹.۲۴ متر و روش مثلث‌بندی ۷۵.۴۴ متر نشان می‌دهد. به دلیل عدم وجود موانع تا درب، روش مش‌بندی بهبود یافته یک مسیر مستقیم و بهینه نشان می‌دهد که مطابق نظریه فیثاغورث، طول آن (وتر) کمتر از مجموع دو ضلع دیگر است. در مقابل، روش مثلث‌بندی به دلیل پوشش ندادن تمام نقاط فضا، طول بیشتری را نسبت به روش مش‌بندی بهبود یافته نشان می‌دهد. شکل ۱۱، شماتیک مسیرها را با هر دو روش را ارائه می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در ابتدا و انتهای مسیر، مسیر پیشنهاد شده توسط روش مش‌بندی بهبود یافته، مسیری نزدیک‌تر به خط راست

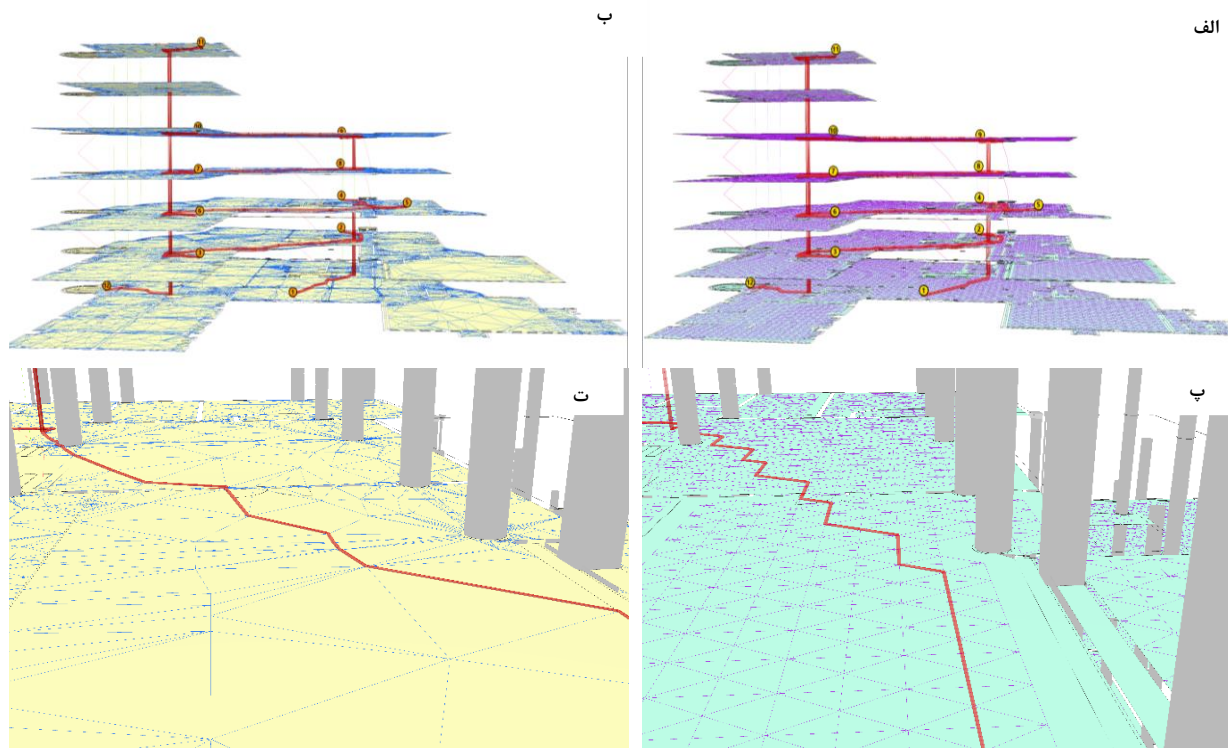
می‌باشد. تقسیم بندی کوچک‌تر در روش مش بندی بهبود یافته نشان می‌دهد که این روش قادر به ارائه مسیرهای بهینه و دقیق‌تر است. نتایج نشان می‌دهند که برای این مورد، بهتر است از مسیر روش مش بهبود یافته استفاده کنیم.



شکل ۱۱. مسیریابی (سالن اینترنت) در شرایط اضطراری (زلزله) به کمک الف، پ) روش مش بهبود یافته و ب، ت) روش مثلث‌بندی.

۴-۲- سناریوهای نوع دوم: تعمیر و سرویس‌های دوره‌ای بخش‌های مختلف ساختمان

خدمات تعمیر و نگهداری تأسیسات ساختمان بخشی از مدیریت سازه است و هدف اصلی آن حفظ امنیت ساکنان می‌باشد. مشکلات جزئی مانند نقص در سیم‌کشی می‌توانند به بحران‌های جدی تبدیل شوند. نگهداری پیشگیرانه به افزایش رفاه ساکنان، عمر مفید ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌ها کمک می‌کند. در این سناریو، تعمیر و سرویس دوره‌ای اتاق‌های هواساز ساختمان مدنظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. این ساختمان دارای نه اتاق هواساز در طبقات مختلف است که دسترسی به آن‌ها از طریق آسانسور امکان‌پذیر است. تعمیرکار از لابی مرکزی وارد ساختمان می‌شود و پس از بررسی تمامی اتاق‌ها، از خروجی فرعی خارج می‌شود. طول مسیر در روش مش بهبود یافته ۴۱۷.۱۰ متر و در روش مثلث‌بندی ۳۹۳.۳۶ متر است. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است، در داخل اتاق و در مسیر حرکت فرد مورد نظر یک ستون گرد وجود دارد و روش مثلث‌بندی اطراف ستون گرد را به مثلث‌های بسیار ریزی نسبت به روش مش بهبود یافته تبدیل کرده است که باعث می‌شود مسیر تولید شده با این روش مسیر دقیق‌تر عبور از ستون را ارائه دهد و در نتیجه مسافت در این ناحیه کوتاه‌تر باشد. در مقابل، روش مش بهبود یافته در حرکت اطراف ستون با چند شکست مواجه شده‌است که منجر به افزایش طول مسیر می‌گردد. در نهایت، دیده می‌شود توانایی روش مثلث‌بندی برای این مورد خاص افزایش یافته و توانایی روش مش کاهش یافته‌است. همچنین، اگر تعداد ستون‌ها بیشتر از یکی باشد، انتظار می‌رود که روش مثلث‌بندی بتواند مسیر کوتاه‌تری نسبت به روش مش بهبود یافته ارائه دهد.

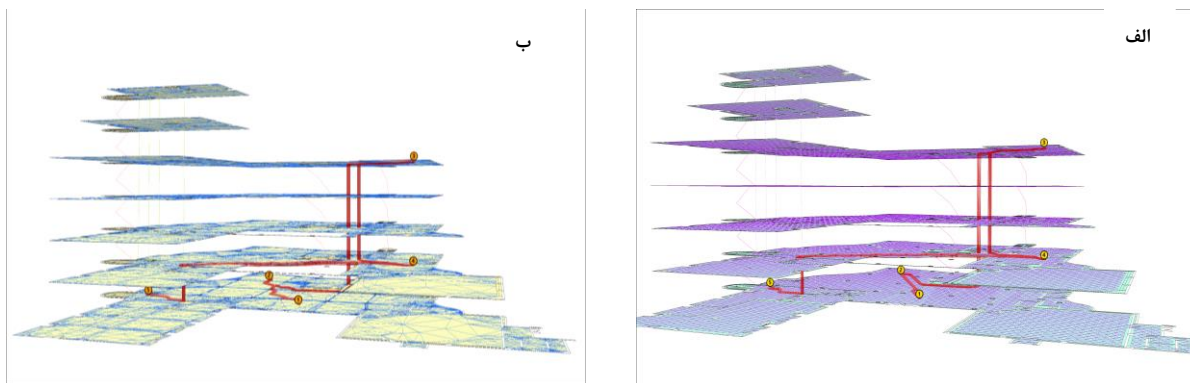


شکل ۱۲. مسیریابی جهت تعمیر و سرویس‌های دوره‌ای (اتاق‌های هوا ساز) به کمک الف، پ) روش مش بهبود یافته و ب، ت) روش مثلث‌بندی.

۴-۳- سناریوهای نوع سوم: مسیریابی داخلی جهت استفاده توسط بازدید کنندگان

در مدل‌سازی سناریو بازدید کنندگان، مهمان‌ها از ورودی اصلی وارد لابی می‌شوند و پس از بازدید از موزه و خرید و سایل در طبقه همکف، به سالن نمایش در طبقه چهارم می‌روند. در نهایت، در بوفه طبقه اول پذیرایی شده و از خروجی فرعی سمت شرق خارج می‌شوند. در این سناریو طول مسیر در روش مش بهبود یافته ۱۶۲.۹۲ متر و در روش مثلث‌بندی ۱۵۸.۹۹ متر است. ستون گردی در موزه و وسط بوفه وجود دارد. همین عامل سبب می‌شود روش مثلث‌بندی عملکرد مطلوب تری داشته باشد. عموماً وجود ستون گرد در مسیرهای مورد بررسی، سبب عملکرد بهتر این روش نسبت به روش مش بندی بهبود یافته شده است. همچنین، با توجه به طولانی بودن مسیر گردش افراد در ساختمان انتظار می‌رود روش مثلث‌بندی، به دلیل احتمال بیشتر برخورد با عارضه‌های ساختمانی بهتر عمل کند. نتیجه به دست آمده هم همین موضوع را تایید می‌کند اما در این مورد، فواصل محاسبه شده توسط دو روش به هم نزدیک‌تر شده‌اند. دلیل این نزدیکی، استفاده از آسانسور در مسیریابی به جای پله است که باعث می‌شود روش مش بهبود یافته عملکرد بهتری داشته باشد. شکل ۱۳ شماتیک مسیر و طول محاسبه شده را ارائه می‌دهند. همان طوری که دیده می‌شود، استفاده از آسانسور امکان برخورد با عارضه‌های ساختمانی را کاهش می‌دهد، و در نتیجه سبب نزدیک‌تر شدن طول محاسبه شده برای دو مسیر می‌گردد.

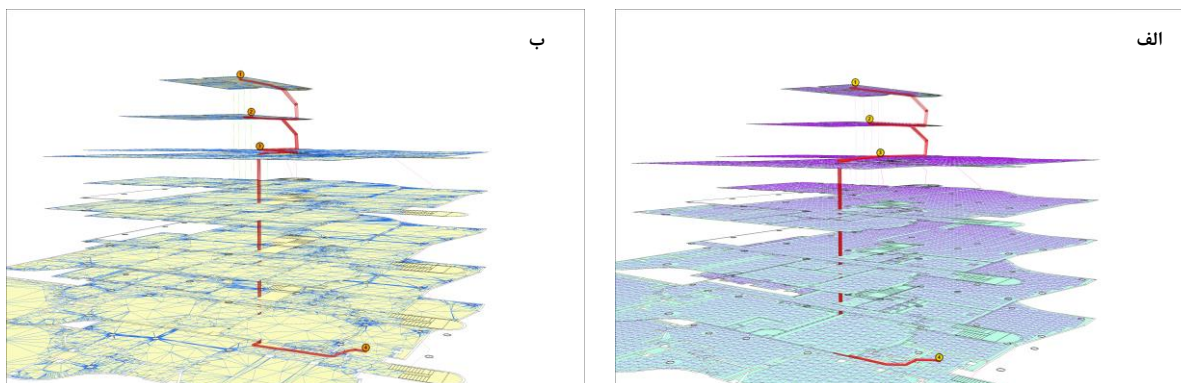
ب



شکل ۱۳. مسیریابی جهت راهنمایی بازدیدکنندگان به کمک (الف) روش مش بهبود یافته و (ب) روش مثلث‌بندی.

۴-۴- سناریو نوع چهارم: مسیر یابی در موقع قطع برق در دو طبقه از ساختمان

یک کارمند در طبقه ششم است. او قصد دارد به مخزن طبقه پنجم و سپس به سالن نمازخانه در طبقه همکف برود. به دلیل قطع برق در طبقات ششم و پنجم، او باید از پله‌ها پایین بیاید و سپس با آسانسور به نمازخانه برود. در روش مش بهبود یافته سیستم طول مسیر را برای پایین آمدن از پله‌ها ۶۰.۳۷ متر و برای آسانسور ۵۶.۷ و در روش مثلث‌بندی طول مسیر برای پایین آمدن از پله را ۶۱.۵۰ متر و برای آسانسور ۵۴.۰ نشان می‌دهد. حال برخلاف نتیجه قبلی، دیده می‌شود در اینجا روش مثلث‌بندی عملکرد بهتری در محاسبه کوتاه‌ترین مسیر برای طی مسیر با آسانسور دارد. ولی در محاسبه کوتاه‌ترین مسیر برای استفاده پله روش مش بندی بهبود یافته بهتر عمل می‌کند. در اینجا هم دلیل منطقی برای این موضوع وجود دارد. اول باید مدنظر داشت، مسیر پله برای بیان طی مسیر در دو طبقه بالایی ساختمان می‌باشد و باقی مسیر که شامل مسیر آسانسور و لابی طبقه اول می‌باشد، مسافت محاسبه شده برای آسانسور می‌باشد. نکته این موضوع عدم وجود عارضه ساختمانی، در دو طبقه بالایی (مسیر پله) و وجود عارضه ساختمانی در لابی طبقه اول (مسیر آسانسور) می‌باشد، که سبب می‌شود روش مش بهبود یافته برای مسیر پله و مثلث‌بندی برای مسیر آسانسور عملکرد بهتری داشته باشد. در نتیجه، طول مسیر در روش مش بهبود یافته در مجموع ۱۱۷.۰۷ متر و در روش مثلث‌بندی ۱۱۵.۵ متر است. نتایج نشان می‌دهد که روش مثلث‌بندی در مجموع نسبت به روش مش بندی بهبود یافته عملکرد بهتری دارد، دلیل این موضوع هم وجود عارضه‌های ساختمانی در طول مسیر می‌باشد. در سالن نمازخانه وجود ستون‌های مربع و گرد باعث افزایش تعداد گره‌ها و مثلث‌ها در روش مثلث‌بندی می‌شود که دقت این روش را در یافتن مسیر بهینه افزایش می‌دهد. به طور کلی و نه دقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد عموماً، در ساختمان‌هایی از این شکل در مسافت‌های کوتاه به واسطه امکان برخورد کمتر با عارضه‌های ساختمانی (ستون و دیوار) روش مش بهبود یافته عملکرد بهتری دارد، در حالی که در مواردی مشابه آنچه در این مدل سازی بررسی شد (مسافت‌های بلندتر)، احتمال برخورد با عارضه‌های ساختمانی بیشتر شده و روش مثلث‌بندی به واسطه تقسیم بندی بهتر در برخورد با عارضه‌های ساختمانی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. شکل ۱۴ و جدول ۳ شماتیک مسیر و طول محاسبه شده مسیر را ارائه می‌دهند.



شکل ۱۴. مسیریابی در شرایط اضطراری (قطع برق در دو طبقه) الف) روش مش بهبود یافته و ب) روش مثلث‌بندی.

جدول ۳. جدول مقایسه‌ای از طول مسیرهای محاسبه شده برای شرایط مختلف.

روش مثلث بندی		روش مش بندی بهبود یافته			
ردیف	عنوان	مبدأ و مقصد	آسانسور	پله	آسانسور
۱	شرایط اضطراری زلزله	از اتاق اینترنت خواهان به خارج از ساختمان		۶۹/۲۴	
۲	سرویس های دوره اتاق های هواساز	از ورودی اصلی شروع خروج از سمت پله فرار خارج		۶۹/۲۴	
۳	بازدید کنندگان جشن بهزیستی	از لابی اصلی شروع و پس از بازدید از نمایشگاه، سالن نمایش و بوفه از خروجی فرعی خارج می شوند.	۱۶۲/۹۲		۱۵۸/۹۹
۴	قطع برق دو طبقه	از طبقه ششم به طبقه چهارم با پله، از چهارم به نمازخانه با آسانسور		۶۰/۳۷	۶۱/۵۰
			۵۶/۷		۵۴/۰

۴-۵- مقایسه روش مثلث‌بندی و مش بندی بهبود یافته از منظر زمان بندی

در بخش قبل مسیریابی در داخل ساختمان انجام شد و طول مسیر برای سناریوهای مختلف محاسبه و مقایسه گردد. در مبحث مسیریابی علاوه بر پارامتر طول مسیر که باید کوچک شود، لازم است زمان رسیدن هم بهینه شود. به عنوان مثال ممکن است استفاده از آسانسور از منظر مسافت بهینه باشد، اما با توجه به زمان انتظار و یا حتی زمان باز و بسته شدن درب‌ها، بهتر باشد برای مسافت‌های کوتاه‌تر نظیر فاصله بین طبقات، از پله استفاده شود. در این حالت ممکن است استفاده از پله با توجه به سریع‌تر بودن آن، ابزار سریع‌تری جهت رسیدن به مقصد باشد. دو عامل کلیدی که در مسیریابی داخلی ساختمان باید همواره مورد توجه و بررسی قرار گیرند به حالت بهینه حرکت از یک نقطه داخل ساختمان به نقطه دیگر برسیم، شامل فاصله (طول مسیر) و زمان است. هیچ استاندارد مشخصی برای زمان لازم برای عبور از پله‌ها وجود ندارد و این زمان به ویژگی‌های فردی بستگی دارد. بنابراین، در ابتدا تصمیم گرفتیم با حضور در فضای ساختمان، داده‌های مربوط به دو فرد با فیزیولوژی متفاوت را ثبت کنیم. جدول زیر داده‌های زمان، سرعت و مسافت را برای هر دو فرد در دو حالت بالا رفتن و پایین رفتن ارائه می‌دهد.

جدول ۴. زمان ثبت شده برای طی مسیر پیاده با پله اضطراری و معمولی.

پله معمولی				پله اضطراری				
نفر ۱- بالا رفتن	نفر ۲- بالا رفتن	نفر ۱- پایین رفتن	نفر ۲- بالا رفتن	نفر ۱- پایین رفتن	نفر ۲- بالا رفتن	نفر ۱- پایین رفتن	نفر ۲- بالا رفتن	ردیف
۱۳/۰	۱۳/۲	۱۳/۸	۱۵/۹	۱۴/۵	۱۴/۶	۱۵/۰	۱۶/۵	زمان (ثانیه)
۴۴/۳	۴۴/۳	۴۴/۳	۴۴/۳	۳۵/۱	۳۵/۱	۳۵/۱	۳۵/۱	مسافت (متر)
۳/۳	۳/۳	۳/۲	۲/۷	۲/۴۱	۲/۳	۲/۳	۲/۱	سرعت
۳/۳۶		۲/۹۹		۲/۴		۲/۲۳		سرعت ^۱

همان طوری که در جدول ۴ دیده می‌شود، عددهای مختلفی برای سرعت بالا رفتن و پایین رفتن دو فرد به دست آمده است. اولین نکته که شاید هم کمی تعجب برانگیز باشد، این است که سرعت استفاده از پله اضطراری کمتر از پله معمولی است. علت را باید در ساخت پله اضطراری و ارگونومی بهتر پله‌های معمولی دنبال کرد. از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که مورد ۲ همیشه نسبت به مورد ۱ سرعت بیشتری دارد. دلیل این امر، قد بلندتر مورد ۲ است. با حضور در محل، با استفاده از کرنومتر سرعت آسانسور هم اندازه گیری شد. سرعت آسانسور بین طبقات مختلف عددی بین ۰/۵-۰/۶ متر بر ثانیه می‌باشد. این عدد با مقدار استاندارد که برای آسانسورهای ساختمان ۸ طبقه ۰/۶ متر بر ثانیه است تطابق دارد. بنابراین، برخلاف انتظار، سرعت یک فرد پیاده از آسانسور بیشتر می‌باشد، اما همزمان یک فرد پیاده باید جهت حرکت بین طبقات مسافت بیشتری را طی کند، این در حالی است که آسانسور یک مسیر راست و مستقیم (که کوتاه‌ترین مسافت است) را بین طبقات طی می‌کند. بنابراین، سرعت آسانسور با یک فرد قابل قیاس می‌شود، از طرفی برای آسانسور پارامتر خستگی وجود ندارد. حال می‌خواهیم به مقایسه سناریوهای مختلف بر حسب زمان بپردازیم، اولین نکته که به صورت عملی مشاهده شد، این می‌باشد که میانگین سرعت بالا رفتن و پایین رفتن فرد از پله معمولی، تقریباً برابر سرعت پیاده روی فرد می‌باشد (که این میانگین برای پله معمولی برابر سرعت پیاده روی و نصف سرعت دویدن می‌باشد). همچنین مقدار ۰/۵۲ متر بر ثانیه، بر مبنای نتایج به دست آمده برای سرعت آسانسور در نظر گرفته شد.

۴-۵-۱- زمان سپری شدن جهت حرکت بین طبقات مختلف در شرایط اضطراری با استفاده از پله و آسانسور

پارامتر طول مسیر به واسطه رابطه زیر به زمان مرتبط می‌گردد:

$$t = \frac{x}{v} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در رابطه بالا t زمان طی مسیر از نقطه مبدأ به مقصد، x طول مسیر از مبدأ تا مقصد و v سرعت کاربر مدنظر می‌باشد. حال به کمک رابطه ۱، داشتن سرعت فرد ۱ و ۲، سرعت آسانسور و مسافت طی مسیر به محاسبه پارامتر زمان خواهیم پرداخت. در بخش قبلی، سناریوهای مختلفی برای استفاده از پله و آسانسور تعریف شد. برای هر سناریو با استفاده از دو روش مثلث بندی و مش بندی بهبود یافته مشخص شد که فاصله مکانی (طول) بین مقصد و مبدأ چقدر می‌باشد. برای این موارد با در نظر گرفتن سرعت افراد و مسافت گزارش شده، زمان طی مسیر با پله یا آسانسور محاسبه گردید. جدول ۵ و ۶ خلاصه‌ای از فاصله مکانی و زمانی برای فرد ۱ و فرد ۲ در حالت راه رفتن طبیعی و دویدن را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه‌ای از زمان محاسبه شده برای خارج شدن از شرایط خطر توسط فرد ۱ برای سناریوهای مختلف در شرایط اضطراری.

روش مش بندی بهبود یافته	روش مثلث بندی
-------------------------	---------------

^۱ سرعت میانگین (متر بر ثانیه)

مسیر	شرایط اضطراری	مسافت	زمان راه رفتن	زمان دویدن	مسافت	زمان راه رفتن	زمان دویدن
از اتاق مطالعه میکروفیلیم، میکرو فلش و تصویر دیجیتالی به خارج از ساختمان	زلزله	۶۹/۲	۲۳/۱	۱۱/۵	۷۵/۴	۲۵/۲	۱۲/۶
از طبقه ششم به طبقه چهارم با پله از چهارم به نمازخانه با آسانسور	قطع برق دو طبقه	۱۶۰/۳	۲۵/۹	۱۲/۹	۶۱/۵	۲۶/۳	۱۳/۱
		۵۶/۷	۴۲/۶	۳۶/۷	۵۴	۴۰/۵	۳۵/۶

جدول ۶. مقایسه‌ای از زمان محاسبه شده برای خارج شدن از شرایط خطر توسط فرد ۲ برای سناریوهای مختلف در شرایط اضطراری.

روش مش بندی بهبود یافته		روش مثلث بندی			
ردیف	شرایط اضطراری	مسافت	زمان راه رفتن	زمان دویدن	زمان دویدن
۱	زلزله	۶۹/۲	۲۰/۶	۱۰/۳	۷۵/۴
۲	قطع برق دو طبقه	۶۰/۳	۲۵/۱	۱۲/۵	۶۱/۵
		۵۶/۷	۴۱/۳	۳۶/۰	۵۴/۰
					۴۰/۵
					۳۵/۶

همان طوری که دیده می‌شود، برای سناریو ردیف ۱ امکان استفاده از آسانسور با توجه به قطع خودکار وجود ندارد. از طرفی نتایج مسیریابی داخلی توسط هر دو روش حکایت از آن دارد برای این روش استفاده از پله اصلی ساختمان، روش سریعتری به منظور خارج شده از بحران می‌باشد. حال به محاسبه زمان برای این شرایط در حال راه رفتن و دویدن و مقایسه دو روش پیشنهاد شده می‌پردازیم. بر مبنای نتایج به دست آمده، زمان فرار برای فرد ۱ در صورت استفاده از مسیر پیشنهاد شده توسط روش مش بهبود یافته در صورت راه رفتن عادی ۲۳/۱ ثانیه و در صورت دویدن، ۱۱/۵ ثانیه می‌باشد. حال اگر همین فرد از مسیر پیشنهاد شده توسط روش مثلث بندی استفاده کند، زمان فرار به ۲۵/۲ و ۱۲/۶ در صورت راه رفتن و دویدن افزایش می‌یابد. بنابراین برای این حالت، استفاده از مسیر پیشنهاد شده توسط روش مش بهبود یافته بهتر می‌باشد. حال اگر همین مسیرهای پیشنهاد شده را فرد شماره ۲ که به سبب قد بلندتر گام‌های بلندتری دارد استفاده کند، زمان روش مش بهبود یافته در حالت دویدن تا ۱۱/۲ ثانیه کاهش می‌یابد. بنابراین، زمان فرار علاوه بر مسیر انتخابی به فرد استفاده کننده هم وابسته می‌باشد.

حال سناریو ردیف ۲ را بررسی می‌کنیم، این سناریو ترکیب استفاده از آسانسور، پله و پیاده روی می‌باشد. مسافتی که فرد در استفاده از آسانسور در این قسمت طی می‌کند، حدود ۲۱ متر می‌باشد. در این حالت زمان استفاده از پله به منظور رسیدن از طبقه ششم به چهارم در حالت دویدن، ۱۲/۹۵ ثانیه و سپس از طبقه چهارم به نمازخانه (ترکیب آسانسور و دویدن) ۳۶/۷۲ ثانیه می‌شود که مجموع این دو برابر با ۴۹/۶۷ ثانیه می‌باشد. حال برای موردی که از مسیر پیشنهاد شده توسط روش مثلث بندی استفاده کنیم، مجموع این زمان‌ها به ۴۸/۸۶ ثانیه کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، در این حالت مسیر پیشنهاد شده توسط روش مثلث بندی از منظر زمانی، مسیر بهینه می‌باشد. حال اگر همین موارد را برای فرد شماره ۲ بررسی کنیم باز هم با کاهش زمان فرار نسبت به فرد ۱ مواجه می‌شویم. بنابراین، دیده می‌شود، زمان فرار در شرایط اضطراری تابع دو پارامتر ویژگی‌های فرد و مسیر بهینه پیشنهاد شده توسط روش مناسب‌تر می‌باشد.

جدول بالا زمان رسیدن از مبدأ به مقصد توسط حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد. نکته اول، این است اگر فردی عجله داشته باشد و فاصله بین طبقات را بدود قطعاً برای مسیر یکسان زمان کمتری را صرف می‌کند و حتی از آسانسور زودتر به مقصد می‌رسد. نکته دوم که باید مدنظر داشت، ما شرایطی را بررسی می‌کنیم که همواره آسانسور آماده و منتظر فرد باشد و این یک مورد واقعی نیست.

^۱ استفاده از پله (طبقه ششم به چهارم)

^۲ ترکیب آسانسور و پیاده روی

بنابراین با توجه به شرایط جسمانی فرد استفاده از پله حتی می‌تواند از آسانسور سریع‌تر باشد، مخصوصاً زمانی که قرار است فواصل کوتاه تری را طی کنیم. اما نکته این است، در صورت طی مسافت‌های طولانی (مثل برج بلند) آسانسورها حتی از یک فرد ورزشکار ما را سریع‌تر به نقطه مقصد می‌رسانند، چون در استفاده از آسانسور پارامتر خستگی وجود نداشته و با افزایش فاصله و یکنواختی زمان طی آسانسور بین طبقات، استفاده از آسانسور از منظر پارامتر زمان به‌عنوان گزینه بهینه مطرح می‌باشد. بنابراین در مقایسه بین پله و آسانسور از منظر بازه زمانی نکات زیر حائز اهمیت می‌باشد:

- برای فرد با آسیب جسمی، عموماً استفاده از آسانسور تجهیز مناسب تری بوده و از منظر زمان هم همواره گزینه بهینه می‌باشد.
- برای فرد سالم، در طی نمودن فواصل کوتاه، گزینه پله نسبت به آسانسور با توجه به مکان مقصد و مبدأ گزینه بهتری می‌باشد.
- برای فرد سالم، هر چه طول مسیر مبدأ تا مقصد بیشتر باشد، استفاده از آسانسور گزینه سریع‌تری جهت رسیدن به مقصد می‌باشد.

در استفاده از آسانسور اگر زمان ماند (شامل زمان باز و بسته شدن درب آسانسور و فرمان گرفتن آسانسور) را صرف‌نظر کنیم، فاصله زمانی طی مسیر بین نقاط مختلف، همواره مقدار ثابتی می‌باشد اما برای یک فرد مشخص، هر چه طول مسیر بیشتر شود، به‌علت خستگی فاصله زمانی طی نمودن یک مسیر مشخص، بزرگ‌تر می‌شود. بنابراین، در بررسی حالت بهینه مسیریابی علاوه بر در نظر گرفتن، عدد خالص پارامتر مسیر (فاصله) و زمان این نکات حائز اهمیت می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این پروژه مسیریابی داخلی به کمک دو روش مش بندی بهبودیافته و مثلث‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پروژه به کاربران کمک کند تا به راحتی در محیط داخلی ساختمان‌ها حرکت کنند و از سردرگمی آنها جلوگیری می‌کند. هدف اصلی پروژه انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به مقصد است، اما در شرایط خاص، مانند شرایط بحرانی، ممکن است بهترین مسیر متفاوت باشد. همچنین، به دلیل وجود موانع در ساختمان‌ها، شناسایی کوتاه‌ترین مسیر بر اساس خط راست دشوار است و نیاز به تقسیم فضا به نقاط کوچک‌تر و شناسایی مسیر بهینه دارد. نتایج بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که در گوشه‌ها و نزدیکی ستون‌ها، روش مثلث‌بندی با ایجاد گره‌های بیشتر، تقسیم‌بندی بهتری از ابعاد کف ساختمان را ارائه می‌دهد. در حالی که در نواحی مرکزی ساختار، روش مش‌بندی بهبود یافته، تقسیم‌بندی بهتری مشابه یک خط راست ارائه می‌کند که طبق نظریه فیثاغورث، این خط به‌عنوان طول وتر، کوتاه‌تر از مجموع دو ضلع دیگر است و منجر به ایجاد مسیری بهینه و کوتاه‌تر می‌شود. به‌طور کلی، هر چه مسیر تولید شده به خط راست نزدیک‌تر باشد، بهینه و سریع‌تر خواهد بود.

همچنین مشاهده گردید، روش مش بندی بهبود یافته برای مسیرهای کوتاه مناسب‌تر است، در حالی که روش مثلث‌بندی در مسیرهای پیچیده و طولانی به دلیل افزایش عارضه‌های ساختمانی، نتایج بهتری ارائه می‌دهد. این به دلیل ریزتر شدن گره‌ها برای یافتن مسیرهای بهینه است. همچنین، سباز تقسیم‌بندی تأثیر زیادی بر یافتن مسیر بهینه دارد، اما در روش مثلث‌بندی با تقسیم‌بندی بهینه، در برخی مسیرهای کوتاه، می‌تواند با روش مش بهبود یافته رقابت کند. در نهایت، باید مدنظر داشت، هر چند سباز کوچک‌تر گره‌ها به یافتن مسیر بهینه کمک می‌کند، اما زمان و هزینه محاسبات نیز باید مدنظر قرار گیرد.

در مسیریابی، علاوه بر کاهش طول مسیر، بهینه‌سازی زمان رسیدن نیز اهمیت دارد. در این فرآیند، باید به دو پارامتر زمان و مسافت توجه کرد و بر اساس اولویت هر یک تصمیم‌گیری نمود. شرایط جسمی فرد و وضعیت محیطی نیز باید مدنظر قرار گیرد، زیرا افراد ممکن است در شرایط جسمانی متفاوتی باشند. برای مثال، استفاده از آسانسور برای افراد دارای معلولیت گزینه بهینه و بهتر است، در حالی که افراد سالم در مسافت‌های کوتاه‌تر ممکن است استفاده از پله گزینه سریع‌تری برای رسیدن به مقصد باشد.

پروژه حاضر نسبت به پروژه‌های مشابهی که در این پژوهش بررسی شد، تفاوت‌های قابل توجهی دارد. از جمله اصلی‌ترین این تفاوت‌ها می‌توان به تغییرات اعمال شده در ساختار مش‌ها اشاره کرد. به‌منظور افزایش دقت در مسیریابی با تغییر در ساختار مش‌ها سعی در کوچک کردن ابعاد آنها شده‌است. این اصلاح ساختار مش‌ها باعث می‌شود که مسیر حرکت به خط مستقیم (اریب مانند) نزدیک‌تر شده و در نتیجه مسیر بهینه و بهتری توسط سیستم نسبت به کارهای پیشین پیشنهاد می‌شود. ابعاد ساختمان و به متعاقب آن طول مسیرهای مورد بررسی در این پروژه نیز نسبت به موارد مطالعه شده بزرگ‌تر و طولانی‌تر می‌باشد. علاوه بر این، اضافه کردن نقاط میانی پله که باعث به وجود آمدن تمایز میان پله و آسانسور برای بالا رفتن از طبقات می‌شود، کاربران می‌توانند بین استفاده از راه‌پله و آسانسور انتخاب کنند که این امر تنها سبب بهبود در انتخاب مسیر حرکت شده و در نتیجه سبب کاهش طول مسیر می‌شود و همچنین افزایش رضایت کاربران را در پی دارد. همچنین با اصلاحاتی که در ساختار مش انجام شده، سبب شده مش بهبود یافته (برخلاف کارهای گذشته که روش مثلث سازی موفق‌تر بود) به‌دست آمده بتواند با روش مثلث سازی در انتخاب مسیر بهینه رقابت کند و حتی در بسیاری از موارد مسیر کوتاه‌تری را نسبت به روش مثلث‌بندی پیشنهاد دهد. همچنین در این پروژه پارامتر زمان به‌عنوان یک مفهوم نوین در مسیریابی داخلی مطرح و مورد بحث و بررسی قرار گرفت و مشاهده شد لزوماً کوتاه‌ترین مسیر سریع‌ترین مسیر نمی‌باشد.

از محدودیت‌های این پژوهش نیز می‌توان به ابعاد مش‌ها اشاره داشت. با کوچک‌تر شدن ابعاد مش‌ها، مسیر حرکت به خط مستقیم نزدیک‌تر شده و طبیعتاً مسیر بهینه و کوتاه‌تر حاصل می‌شود. اما همزمان معایبی از جمله افزایش پیچیدگی محاسباتی، حجم بالای داده‌ها، افزایش هزینه‌ها، احتمال بروز خطاهای محاسباتی را نیز همراه دارد.

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر دو روش مش بندی بهبود یافته و مثلث‌بندی در مسیریابی داخلی به‌درستی عمل می‌کنند، اما یکی از آن‌ها معمولاً مسیر کوتاه‌تری ارائه می‌دهد. انتخاب روش مناسب بستگی به شرایط محیطی دارد، برای فضاهای کوچک مانند فروشگاه‌ها، روش مش بندی بهبود یافته مناسب‌تر است، در حالی که در مکان‌های بزرگ مانند فرودگاه‌ها، روش مثلث‌بندی پیشنهاد می‌شود. به‌طور کلی، نمی‌توان یک روش خاص را به‌عنوان گزینه بهتر انتخاب کرد و هر روشی که مسافت کمتری ارائه دهد، مناسب‌تر محسوب می‌شود. همچنین، انتظار می‌رود که روش مثلث‌بندی در مکان‌های پیچیده‌تر عملکرد بهتری داشته‌باشد.

در نهایت در راستای توسعه و پیشرفت بیشتر توصیه می‌شود در آینده، روش مش‌بندی به‌گونه‌ای بهبود یابد که مسیرها به خطوط اریب نزدیک‌تر شوند. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده، سیستم قابلیت تشخیص خودکار موقعیت اولیه کاربر را داشته باشد. در حال حاضر، کاربر باید به‌صورت دستی موقعیت خود را مشخص کند. این ویژگی می‌تواند با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند GPS داخلی و حسگرهای دیگر پیاده‌سازی شود. همچنین، افزودن امکان تعامل صوتی برای تعیین موقعیت و دریافت مسیر می‌تواند استفاده از سیستم را آسان‌تر کرده و دسترسی‌پذیری آن را افزایش دهد.

۶- منابع

- Afyouni, I., C. Claramuntl and C. Ray (۲۰۱۲). "Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey." DOI ۱۰,۵۳۱۱/JOSIS.۲۰۱۲,۴,۷۳
- Borovikov, I. (۲۰۱۱). "Navigation graph generation." Artificial Intelligence ۳: ۲۰. <https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۱۳۶۵۸۸۱۶,۲۰۱۵,۱۰,۴۱۱۴۱>
- Boysen, M., C. de Haas, H. Lu and X. Xie (۲۰۱۴). A journey from IFC files to indoor navigation. Web and Wireless Geographical Information Systems: ۱۳th International Symposium, WGIS ۲۰۱۴, Seoul, South Korea, May ۲۹-۳۰, ۲۰۱۴. Proceedings ۱۳, Springer. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۶۴۲-۵۵۳۳۴-۹_۱۰

- Bryde, D., M. Broquetas and J. M. Volm (2013). "The project benefits of building information modelling (BIM)." *International journal of project management* 31(7): 911-920. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Choi, J. W., D. Y. Kwon, J. E. Hwang and J. Lertlakkhanakul (2007). "Real-time management of spatial information of design: A space-based floor plan representation of buildings." *Automation in Construction* 16(4): 449-459. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Deng, Y., J. C. Cheng and C. Anumba (2016). "Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison." *Automation in construction* 71: 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>
- Donkers, S., H. Ledoux, J. Zhao and J. Stoter (2016). "Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings." *Transactions in GIS* 20(4): 547-569.
- Elfes, A. (1999). "Using occupancy grids for mobile robot perception and navigation." *Computer* 22(6): 56-67. <https://doi.org/10.1111/tgis.12162>
- Flikweert, P., R. Peters, L. Díaz-Vilariño, R. Voûte and B. Staats (2019). "automatic extraction of a navigation graph intended for indorgml from an indoor point cloud." *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* 4. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W0-271-2019>
- Franz, G., H. A. Mallot and J. M. Wiener (2000). Graph-based models of space in architecture and cognitive science: A comparative analysis. 11th International Conference on Systems Research, Informatics and Cybernetics (INTERSYMP 2000), International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics.
- Gröger, G. and L. Plümer (2010). "Derivation of 3D indoor models by grammars for route planning." *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*: 191-206. DOI:10.1127/1432-8376/2010/0049
- Haixiang, D. and T. Jingjing (2013). "The improved shortest path algorithm and its application in campus geographic information system." *Journal of Convergence Information Technology* 8(2). Doi:10.1016/j.proeng.2012.01.110
- Irizarry, J. and E. P. Karan (2012). "Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration." *Journal of information technology in construction (ITcon)* 17(23): 301-316. DOI: <http://www.itcon.org/2012/23>
- Isikdag, U., S. Zlatanova and J. Underwood (2013). "A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements." *Computers, Environment and Urban Systems* 41: 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.001>
- Lamarche, F. and S. Donikian (2004). Crowd of virtual humans: a new approach for real time navigation in complex and structured environments. *Computer graphics forum*, Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2004.00782.x>
- Lee, J. (2004). "A spatial access-oriented implementation of a 3-D GIS topological data model for urban entities." *GeoInformatica* 8(2): 237-264. <https://doi.org/10.1023/B:GEIN.0000034820.93914.d>
- Lee, J. and M. P. Kwan (2000). "A combinatorial data model for representing topological relations among 3D geographical features in micro-spatial environments." *International Journal of Geographical Information Science* 14(10): 1039-1056. <https://doi.org/10.1080/1365881000399043>
- Lee, Y.-C., S. Na, H.-S. Ahn and W. Yu (2007). Human-Robot Interactive Guiding System's Application in Sonar Quick Mapping. RO-MAN 2007-The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IEEE. DOI: 10.1109/ROMAN.2007.4410079
- Liu, J., J. Luo, J. Hou, D. Wen, G. Feng and X. Zhang (2020). "A BIM Based Hybrid 3D Indoor Map Model for Indoor Positioning and Navigation." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(12): 747. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120747>
- Liu, J., D. Xu, J. Hyppä and Y. Liang (2021). "A survey of applications with combined BIM and 3D laser scanning in the life cycle of buildings." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 14: 5627-5637. DOI: 10.1109/JSTARS.2021.3068796
- Meijers, M., S. Zlatanova and N. Pfeifer (2000). "3D geo-information indoors: structuring for evacuation." *Proceedings of next generation 3D city models*, Bonn, Germany 6: 11-16.

- Moravec, H. and A. Elfes (۱۹۸۵). High resolution maps from wide angle sonar. Proceedings. ۱۹۸۵ IEEE international conference on robotics and automation, IEEE. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/ROBOT.۱۹۸۵.۱۰.۸۷۳۱۶
- Mortari, F. (۲۰۱۳). "Automatic Extraction of Improved Geometrical Network Model from CityGML for Indoor Navigation." Research Paper, Nov ۲۳(۲۰۱۳): ۱۳۹.
- Panteli, C., A. Kylili and P. A. Fokaides (۲۰۲۰). "Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review." Journal of Cleaner Production ۲۶۵: ۱۲۱۷۶۶. DOI: ۱۰.۱۰۱۶/j.jclepro.۲۰۲۰.۱۲۱۷۶۶
- Petch, J. (۲۰۱۹). GIS, organisations and people: A socio-technical approach, CRC Press. <https://doi.org/۱۰.۱۲۰۱/۹۷۸۰.۴۹۳۳۲۲۷۲>
- Rahman, S. S. A. and K. A. Maulud (۲۰۱۹). Approaching BIM-GIS integration for 3D evacuation planning requirement using multipatch geometry data format. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing. DOI ۱۰.۱۰۸۸/۱۷۵۵-۱۳۱۵/۳۸۵/۱۰.۱۲.۳۳
- Renaudin, V., O. Yalak, P. Tomé and B. Merminod (۲۰۰۷). "Indoor navigation of emergency agents." European Journal of Navigation ۵(۳): ۳۶-۴۵.
- Sadidi, J., Z. Joudaki and H. Rezayan (۲۰۲۱). "Generating an Indoor space routing graph using semantic-geometric method." Journal of Geospatial Information Technology ۸(۴): ۶۹-۸۰. DOI: ۱۰.۵۲۵۴۷/jgit.۸.۴.۶۹
- Stoffel, E.-P., B. Lorenz and H. J. Ohlbach (۲۰۰۷). Towards a semantic spatial model for pedestrian indoor navigation. International conference on conceptual modeling, Springer. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۵۴۰-۷۶۲۹۲-۸> ۳۹
- Teo, T.-A. and K.-H. Cho (۲۰۱۶). "BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning." Advanced Engineering Informatics ۳۰(۳): ۲۶۸-۲۸۲. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.aei.۲۰۱۶.۰۴.۰۰۷>
- Tsetsos, V., C. Anagnostopoulos, P. Kikiras, P. Hasiotis and S. Hadjiefthymiades (۲۰۰۵). A human-centered semantic navigation system for indoor environments. ICPS'۰۵. Proceedings. International Conference on Pervasive Services, ۲۰۰۵., IEEE. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/PERSER.۲۰۰۵.۱۵.۶۴.۳
- Tsiliakou, E. and E. Dimopoulou (۲۰۱۶). "3D network analysis for indoor space applications." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ۴۲: ۱۴۷-۱۵۴. <https://doi.org/۱۰.۵۱۹۴/isprs-archives-XLII-۲-W۲-۱۴۷-۲۰۱۶>
- Xu, M., I. Hijazi, A. Mebarki, R. E. Meouche and M. Abune'meh (۲۰۱۶). "Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation." Geomatics, Natural Hazards and Risk ۷(sup۱): ۴۷-۵۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۸۰/۱۹۴۷۵۷۰۵.۲۰۱۶.۱۸۱۳۴۳>
- Xu, X., T. Mumford and P. X. Zou (۲۰۲۱). "Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance." Energy and Buildings <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.enbuild.۲۰۲۰.۱۱۰۴۹۶> ۲۳۱: ۱۱۰۴۹۶.
- Yang, L. and M. Worboys (۲۰۱۵). "Generation of navigation graphs for indoor space." International Journal of Geographical Information Science ۲۹(۱۰): ۱۷۳۷-۱۷۵۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۸۰/۱۳۶۵۸۸۱۶.۲۰۱۵.۱۰.۴۱۱۴۱>
- Yuan, J., Z. Fang, Y.-C. Wang, S. M. Lo and P. Wang (۲۰۰۹). "Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings." Fire Safety Journal ۴۴(۲): ۲۶۶-۲۷۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.firesaf.۲۰۰۸.۰۷.۰۰۴>
- Zhou, X., Q. Xie, M. Guo, J. Zhao and J. Wang (۲۰۲۰). "Accurate and efficient indoor pathfinding based on building information modeling data." IEEE Transactions on Industrial Informatics ۱۶(۱۲): ۷۴۵۹-۷۴۶۸. DOI: ۱۰.۱۱۰۹/TII.۲۰۲۰.۲۹۷۴۲۵۲
- Zlatanova, S., L. Liu, G. Sithole, J. Zhao and F. Mortari (۲۰۱۴). "Space subdivision for indoor applications." Delft University of Technology, OTB Research Institute for the Built Environment.
- Zlatanova, S., G. Sithole, M. Nakagawa and Q. Zhu (۲۰۱۳). "Problems in indoor mapping and modelling." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ۴۰: ۶۳-۶۸. Doi: ۱۰.۵۱۹۴/isprsarchives-XL-۴-W۴-۶۳-۲۰۱۳
- BIM. بستگانی. ا. "مقاله مفاهیم و مشاغل" (۱۳۹۹).

نشریه علمی علوم "IndoorGML چرندابی, ک. (۲۰۱۹). "استخراج گراف ناوبری بازار تاریخی سرپوشیده تبریز بر مبنای استاندارد و فنون نقشه برداری ۸(۳): ۱۴۹-۱۶۲.

نشریه "GIS و BIM قاجاری (۲۰۲۱). "مسیریابی داخل ساختمان از طریق ساخت شبکه سه بعدی مسیر مبتنی بر تلفیق فناوری های علمی علوم و فنون نقشه برداری ۱۱(۱): ۱۹۱-۲۰۴. Doi: <http://jgst.issgeac.ir/article-۱-۱۰۱۳-fa.html>

نسخه پیش انتشار