

تولید گراف مسیریابی در فضای بسته ساختمانی با روش معنایی-هندسی

جواد سدیدي^{۱*}، زهرا جودکی^۲، هانی رضاییان^۳

۱- استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۲- فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

۳- استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳

چکیده

توسعه خدمات مکان‌مبنا در فضای داخلی ساختمان، با چالش‌های مختلفی روبروست که یکی از آن‌ها نحوه تولید گراف مسیریابی در فضای بسته است. با توجه به ضعف‌هایی که در روش‌های صرفاً هندسی برای تولید گراف مسیریابی فضای بسته وجود دارد، در این پژوهش یک روش معنایی-هندسی برای پوشش خلأهای موجود در ترکیب روش‌های معنایی و هندسی ارائه شده است. در این روش از مدل داده CityGML که در واقع یک مدل‌سازی معنایی از فضای ساختمان است، استفاده شده است. خروجی این روش نیز با چند سناریو امتحان و نتایج آن ارائه شده است. استفاده از اطلاعات معنایی و گراف معنایی، در واقع راهبرد مناسبی برای روش‌های صرفاً هندسی است و با توجه به نتایج، روش معنایی-هندسی ارائه شده برای تولید گراف مسیریابی فضای بسته، کارآمد بوده است.

کلید واژه‌ها: CityGML، مسیریابی، فضای داخل ساختمان، گراف معنایی.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان مفتح جنوبی، دانشگاه خوارزمی.

تلفن: +۹۸۲۱۸۸۳۳۲۹۲۲

۱- مقدمه

خدمات مکان‌مبنا^۱ (*LBS*) در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای توسط افراد مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما *LBS* در فضای داخلی ساختمان، مانند مسیریابی در فضای بسته ساختمانی و دنبال کردن اجزاء و اشیاء، هنوز با چالش‌های مختلف تکنیکی مانند روش تولید گراف مسیریابی، روش مدل‌سازی فضای ساختمانی و ... روبروست [۱]. مسئله چالش‌برانگیز پژوهش‌های مختلف سال‌های اخیر در رابطه با *LBS* در فضای داخلی ساختمان‌ها، روش تولید گراف مسیریابی در فضای داخلی ساختمان است. انواع مختلفی از مدل‌های ناوبری فضای بسته وجود دارد که از میان آن‌ها مدل‌های مبتنی بر گراف^۲ به دلیل فضای ذخیره‌سازی کمتر و دارا بودن هر دو نوع اطلاعات هندسی و معنایی از فضای بسته ساختمانی کاربرد بیشتری دارند. مدل‌های مبتنی بر گراف را گراف ناوبری یا گراف مسیر نیز می‌نامند و یکی از ضروری‌ترین چیزها برای تولید آن، توپولوژی فضای بسته یک ساختمان است [۲]. در مسیریابی فضای بسته ساختمانی، پیدا کردن راه‌های دسترسی به کاربری‌ها و اجزاء مختلف موجود در فضای داخلی ساختمان (مانند در، پنجره، وسایل، تأسیسات و ...) بسیار مهم‌تر از مسافت طی شده است. با توجه به مطالعات پیشین نیز، باید گفت که مدل‌های داده ساختمانی هیبرید (که به‌منظور ترکیب مزیت‌های مدل هندسی و معنایی ارائه شده‌اند) به علت ایجاد سلسله مراتبی از اطلاعات مکانی و توپولوژیک، باعث تضمین انعطاف‌پذیری، بازدهی و دقت سیستم می‌شوند [۳]. پشتیبانی از موجودیت‌های مفهومی فضای داخلی ساختمان باعث ایجاد تجربه کاربری بهتر در سیستم‌های ناوبری و خدمات مکان‌مبنا می‌شود. همچنین رفتار سیستم

ناوبری را به رفتار انسان نزدیک‌تر می‌کند ولی این کار با روش‌های صرفاً هندسی ممکن نیست [۴ و ۵]. در واقع گراف مسیریابی باید با ترکیب روش معنایی و هندسی تولید شود.

پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه مسیریابی فضای بسته، عمدتاً شامل توضیح روشی برای تولید یک شبکه ژئومتریک، با استفاده از اطلاعات هندسی بوده‌اند. در بعضی از این روش‌ها، گراف مسیریابی با استفاده از دیجیتالیز کردن از روی نقشه‌های ساختمانی، تولید شده است [۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. این گونه گراف‌ها با استفاده از اطلاعاتی که شخص طراح، از فضای ساختمان در ذهن خود دارد و همچنین اطلاعات موجود در پلان موردنظر، طراحی شده است. بدیهی است که در فضاهای ساختمانی بزرگ و پیچیده انجام این کار به‌صورت دستی علاوه بر زمان‌بر بودن، احتمال خطا را نیز افزایش می‌دهد. در موارد دیگر نیز از روش‌های غیر دستی و اتوماتیک‌تر استفاده شده است. به این صورت که با توسعه الگوریتم‌ها و ارائه روش‌های جدیدتر، سعی شده تا کوتاه‌ترین مسیر ارائه شود. به‌عنوان مثال یک شبکه ژئومتریک سه‌بعدی به‌صورت اتوماتیک تولید شده است [۱۱]، (شکل (۱)). در این روش الگوریتمی بانام تبدیل محور میانی-مستقیم^۳ (*S-MAT*) که از توسعه الگوریتم تبدیل محور میانی^۴ (*MAT*) به‌دست آمده ارائه شده است. از این دو الگوریتم در پژوهش‌های دیگری نیز مخصوصاً در استخراج مسیرهای مربوط به راهروها، استفاده شده است [۱۲ و ۱۳].

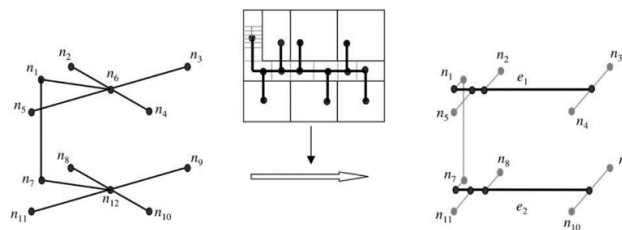
از روش شبکه مثلث‌بندی نامنظم، شکل (۲-ب)، نیز برای تولید گراف ناوبری استفاده شده است [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. در این روش با استفاده از نقاط بحرانی مانند مرکز درها، گوشه‌های اتاق‌ها و راهروها، شبکه نامنظم مثلث‌بندی تولید شده و برای ناوبری مورد استفاده قرار گرفته است. در روشی مشابه نیز، بجای مثلث‌بندی

^۳ Straight-Medial Axis Transform^۴ Medial Axis Transform^۱ Location Based Services^۲ Graph-based models

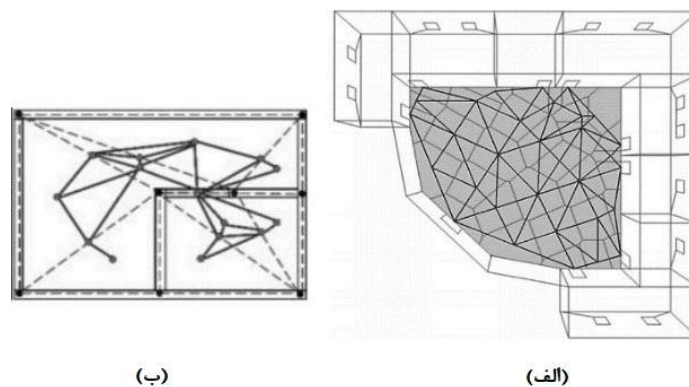
ها استفاده شده است و در بیشتر موارد لزوم استفاده از اطلاعات معنایی در آن‌ها ذکر شده و در بعضی از آن‌ها نیز این اطلاعات به صورت دستی به پلان ساختمانی و گراف مسیریابی اضافه شده است. به طور کلی داده‌های معنایی برای تولید نقشه مسیرها در فضای داخلی ساختمان بسیار مهم هستند [۱۹].

از دیاگرام ورونویی، شکل (۲-الف)، استفاده شده است [۱۷]. در روشی دیگر نیز گراف مسیریابی که در شکل (۳) نمایش داده شده است، با استفاده پلان دوبعدی ساختمان تولید شده است و برای این کار اطلاعات معنایی به پلان مورد استفاده افزوده شده است [۱۸] (شکل (۳)).

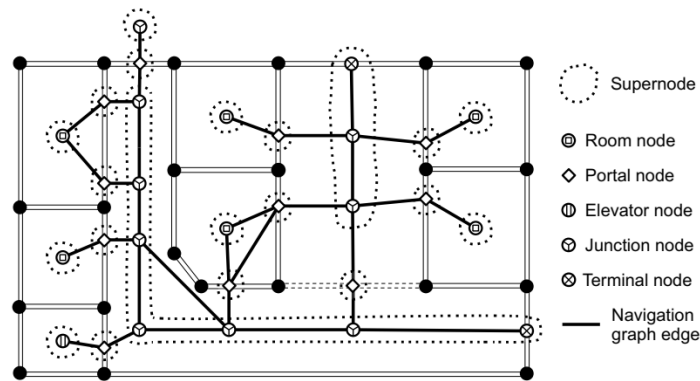
در نمونه پژوهش‌هایی که قبلاً ذکر شد، از الگوریتم‌های هندسه محاسباتی و مدل‌های داده هندسی مانند پلان-



شکل ۱: تبدیل گراف معنایی به شبکه ژئومتریک سه‌بعدی [۱۱]



شکل ۲: تولید شبکه ناوبری در فضای داخلی ساختمان: (الف) با استفاده از دیاگرام ورونویی [۱۷]، (ب) با استفاده از مثلث‌بندی نامنظم [۱۵]



شکل ۳: سوپرگراف ناوبری در فضای داخلی ساختمان [۱۸]

تولیدشده است [۲۳]. در این روش از اطلاعات معنایی مربوط به موقعیت اثنائیه داخل فضا که از مدل داده *IFC* استخراج شده، نیز استفاده شده است. در روشی تقریباً مشابه با استفاده از پلان دوبعدی که موقعیت اسباب و وسایل داخل آن به صورت چندضلعی دوبعدی مشخص شده، فضای داخلی ساختمان تقسیم‌بندی شده و با استفاده از روش مثلث‌بندی، شبکه مثلث‌بندی تولید کردند [۲۴]. روشی نیز برای تقسیم‌بندی فضای داخل ساختمان، باهدف نزدیک کردن مسیریابی به رفتارهای انسان ارائه شده است [۲۵]. در این پژوهش‌ها با استفاده از اطلاعات معنایی، فضای داخل ساختمان، تنها به دو بخش قابل ناوبری و غیرقابل ناوبری تقسیم و در واقع تقسیم‌بندی ساختاری انجام شده است. در پژوهشی دیگر با استفاده از تقسیم‌بندی ساختاری فضای بسته ساختمان، یک شبکه منطقی برای ناوبری در این فضا تولید شده است [۲۶]. اما این شبکه با استفاده از اطلاعات معنایی، تولیدشده و فاقد اطلاعات هندسی است. دلیل پراهمیت‌تر شدن مفاهیم در ناوبری فضای داخل ساختمان، پیچیده بودن فضاها در این محیط است و همچنین تفسیر معنایی، می‌تواند مسیریابی فضای بسته را با انواع مختلف حرکت و کاربری، سازگارتر کند [۲۷]. تقسیم‌بندی معنایی که پایه و اساس روش معنایی برای تولید گراف مسیریابی است، با استفاده از معیارهای معنایی و توپولوژیکی، میسر خواهد بود، درحالی‌که این مسئله با استفاده از

در بعضی روش‌های دیگر سعی شده است تا از اطلاعات معنایی و مدل‌های داده مکانی که از این‌گونه اطلاعات پشتیبانی می‌کند، در فرایند تولید گراف مسیریابی استفاده شود. به‌عنوان مثال در پژوهشی، یک روش مدل‌سازی بر مبنای مدل اطلاعات ساختمانی^۱ (*BIM*) برای انتقال اطلاعات از مدل داده کلاس‌های بنیادین صنعتی^۲ (*IFC*) به یک مدل ابداعی که برای تسهیل ناوبری در فضای داخلی ساختمان است، ارائه شده است [۲۰] و در پژوهشی دیگر، نیز یک ساختار توپولوژیکی به نام نیم-لبه دوگان^۳ (*DHE*)، با تمرکز بر اتصال فضای دوگان و فضای اولیه ارائه شده است [۲۱]. روشی نیز برای تبدیل اتوماتیک *IFC* و زبان نشانه‌گذاری جغرافیایی شهر^۴ (*CityGML*) به زبان نشانه‌گذاری جغرافیایی فضای بسته^۵ (*IndoorGML*) ارائه شده است [۲۲]. اما در این‌گونه پژوهش‌ها روش کاملی برای فرایند مسیریابی با استفاده از این مدل‌ها ارائه نشده است و عمده تمرکز آن‌ها روی استخراج توپولوژی فضای بسته بوده است. در پژوهشی دیگر با استفاده از روش گرید مبنا و مثلث‌بندی سه‌بعدی گراف مسیریابی

^۱ *Building Information Modeling*^۲ *Industry Foundation Classes*^۳ *Dual Half-Edge*^۴ *City Geographic Markup Language*^۵ *Indoor Geographic Markup Language*

توسعه داده شده، استخراج شده است. ابزار توسعه داده شده مدل داده *CityGML* را که یک داده متنی محسوب می شود، خوانده و اطلاعات مورد نیاز را از آن استخراج می کند. با استفاده از سلسله مراتب معنایی این اطلاعات، یک گراف منطقی از توپولوژی فضای داخل ساختمان تولید شده است، (شکل (۵)). همان طور که در شکل (۵) نیز مشاهده می شود پایه اصلی این گراف بر اساس سلسله مراتب معنایی موجود در فضای داخلی ساختمان شکل گرفته است. به عبارت دیگر هر موجودیت به صورت یک گره به گراف اضافه شده و در ادامه اگر موجودیت مورد نظر زیرمجموعه یک موجودیت دیگر باشد (مثلاً لوازمی که در یک اتاق وجود دارند)، یک لبه یا اتصال به ازای آن به گراف اصلی اضافه شده است و نیز در صورتی که آن موجودیت بین دو موجودیت دیگر مشترک باشد (مانند حالتی که یک «در» بین دو فضا مشترک است و آن ها را به هم متصل می کند)، دو اتصال به گراف اضافه می شود.

در ادامه فرایند تولید گراف مسیریابی در فضای داخلی ساختمان، گراف معنایی به گراف ژئومتریک تبدیل شده است. برای تولید شبکه ژئومتریک باید موقعیت مکانی به گره های گراف اضافه شود اما استفاده تنها از موقعیت سنتروئید موجودیت ها، مسیرهایی خشن و کم دقت تولید می کند (شکل (۶))؛ بنابراین از الگوریتم *MAT* برای بازتولید مسیرها و برطرف کردن مشکلاتی که ذکر شد، استفاده شده است.

معیارهای هندسی به تنهایی قابل انجام نیست. همچنین تقسیم بندی معنایی باعث افزایش دقت ناوبری و موقعیت یابی می شود [۲۸ و ۲۹].

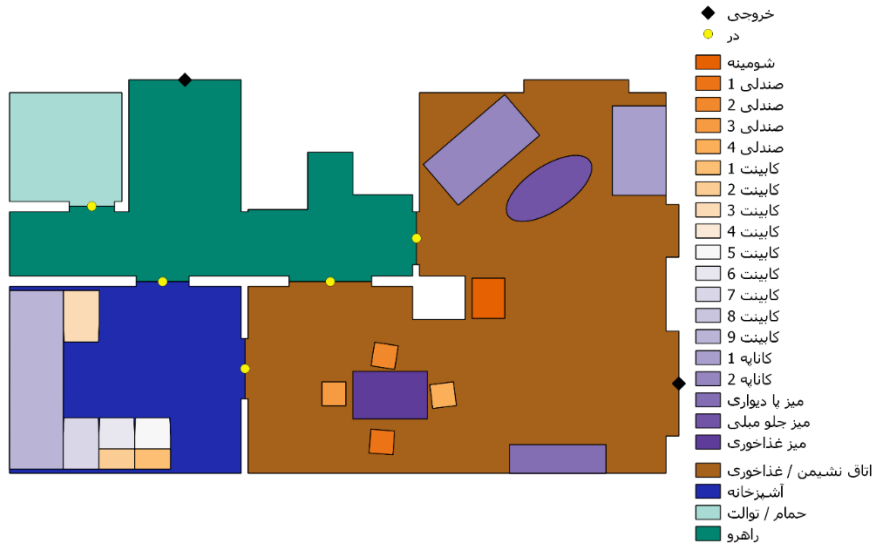
هدف از انجام این پژوهش برطرف کردن خلأ موجود در فرایند تولید گراف مسیریابی در بخش ترکیب اطلاعات معنایی و هندسی و نیز پشتیبانی از موجودیت های مفهومی فضای داخلی ساختمان، با استفاده از مدل داده *CityGML* است. به این منظور شبکه ناوبری فضای داخل ساختمان، با استفاده از تقسیم بندی کاربردی فضای بسته ساختمانی و هندسه محاسباتی (روش معنایی-هندسی)، تولید شده است. استفاده از سلسله مراتب معنایی مدل داده *CityGML* در فرایند تولید گراف مسیریابی برای فضای داخلی ساختمان، در این پژوهش نوآوری محسوب می شود.

۲- روش تحقیق

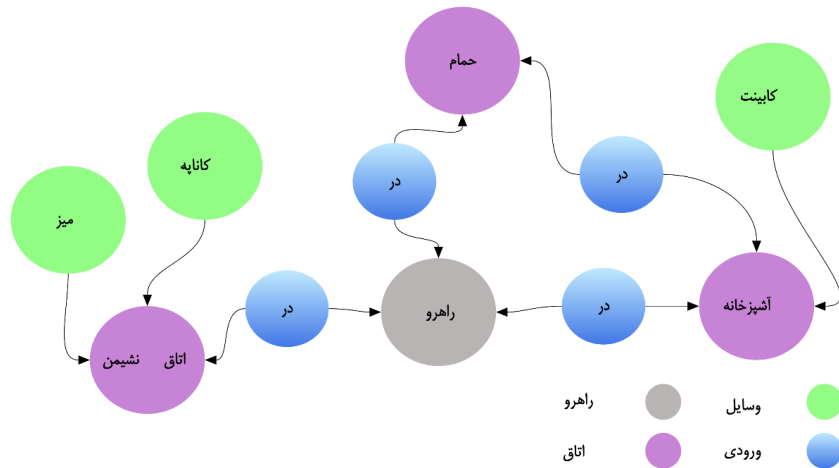
در این پژوهش برای اضافه کردن موجودیت های معنایی به گراف مسیریابی از یک مدل داده *CityGML* با سطح جزئیات ۴^۱ (*LOD4*) استفاده شده است. در مدل داده *CityGML* ممکن است *LOD* مختلفی تعیین شود که از ۱ تا ۴ متغیر باشد. میزان اطلاعات مربوط به فضای داخلی ساختمان از *LOD1* به *LOD4* افزایش می یابد و به عبارت دیگر مدل داده مربوطه ممکن است از یک پلان دوبعدی تا یک مدل سه بعدی با تمام جزئیات داخلی یک ساختمان متغیر باشد. ویژگی دیگر مدل داده *CityGML*، این است که موجودیت های مفهومی فضای بسته ساختمانی با یک سلسله مراتب کل به جزء در آن ذخیره شده اند [۳۰].

در پژوهش حاضر، اطلاعات و موجودیت های معنایی مربوط فضای داخلی ساختمان، شامل کاربری فضاها، تأسیسات موجود در بخش های مختلف، امکانات و لوازم موجود در آن و همچنین اطلاعات هندسی آن ها، شکل (۴) با استفاده از نرم افزاری که به این منظور

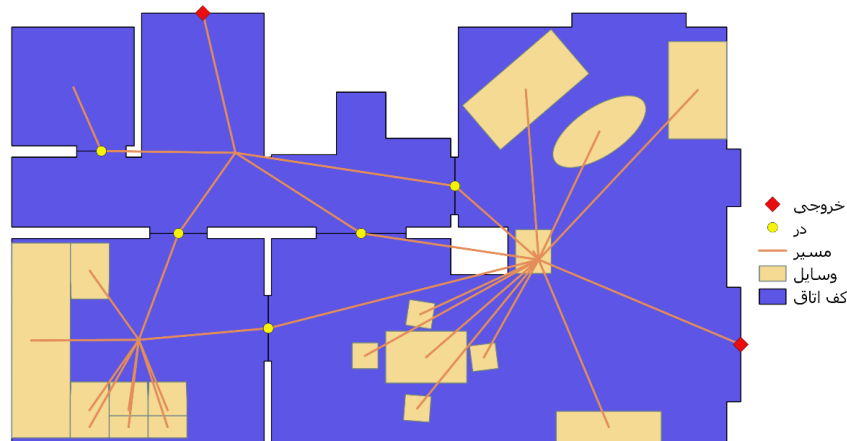
^۱ Level Of Details



شکل ۴: تقسیم‌بندی کاربردی فضای داخلی ساختمان



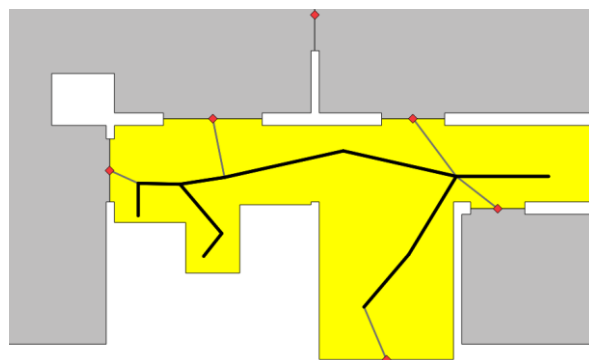
شکل ۵: نمونه شماتیک از گراف معنایی استخراج‌شده از فضای داخلی ساختمان



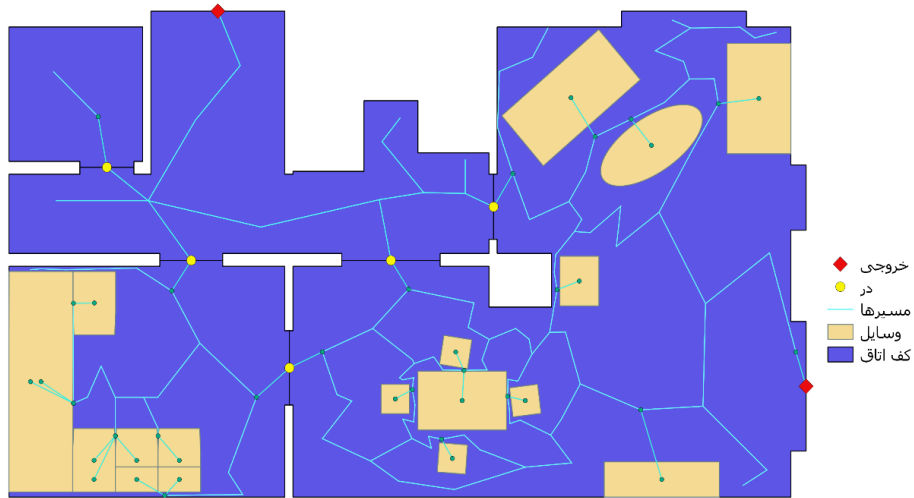
شکل ۶: گراف ناوبری تولیدشده با استفاده از اتصال موقعیت سنتروئید اجزاء به یکدیگر

مرحله بعد موجودیت‌هایی که بر اساس گراف معنایی، زیرمجموعه کاربری موردنظر هستند، به محور مرکزی که محاسبه شده است، متصل شده‌اند (شکل ۷). منظور از متصل شدن، اضافه شدن یک لبه جدید به ازای موجودیت زیرمجموعه کاربری موردنظر به گراف ژئومتریک است. به این ترتیب گرافی که در شکل ۶) نمایش داده شده است، توسعه داده شده و دقت آن نیز افزایش یافته است (شکل ۸).

به این منظور سطح قابل ناوبری از کاربری‌های مختلف (بخشی که توسط افراد قابل‌رفت‌وآمد باشد) محاسبه شده است. به عبارت دیگر بخش‌هایی که توسط تأسیسات یا وسایل اشغال شده، از کل آن حذف شده است. سپس محور مرکزی برای سطح قابل ناوبری، با استفاده از الگوریتم *MAT* محاسبه شده و این محور به گراف ژئومتریک اضافه شده است (نقاط و پاره‌خطها به صورت گره و اتصال وارد گراف ژئومتریک شده‌اند). در



شکل ۷: محور مرکزی راهرو و اتصال آن به درهای مرتبط به راهرو (نقاط قرمز رنگ محل درها، خط مشکی رنگ محور مرکزی راهرو و خطوط خاکستری رنگ اتصالات بین راهرو درها هستند).

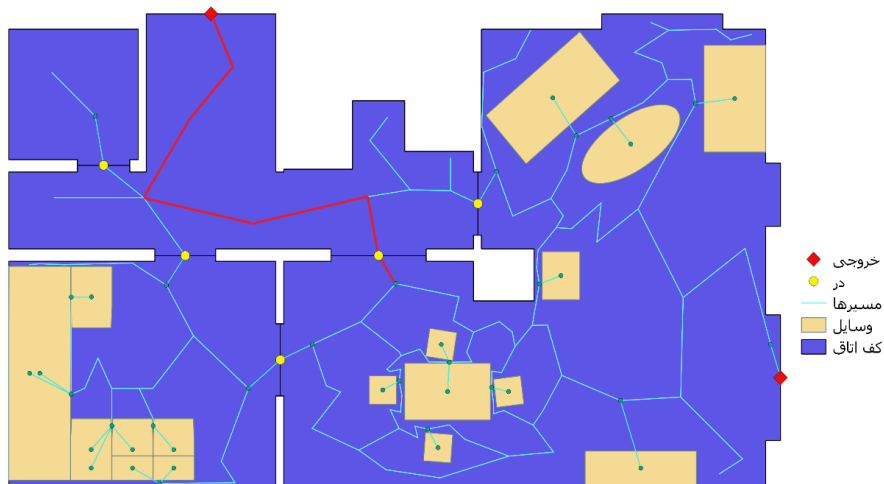


شکل ۸: گراف ناوبری نهایی تولیدشده برای مسیریابی در فضای داخلی ساختمان

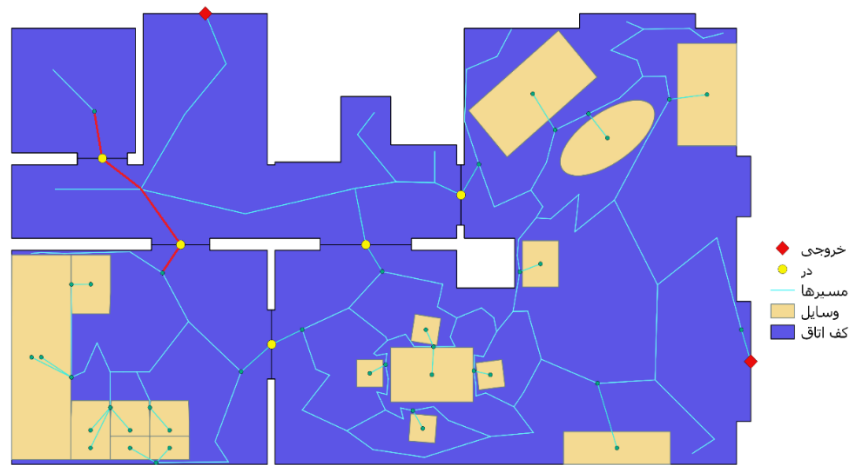
۳- نتایج و بحث

برای ارائه نتایج و کارایی روش ارائه شده در این پژوهش، مسیریابی با سناریوهای مختلفی انجام شده

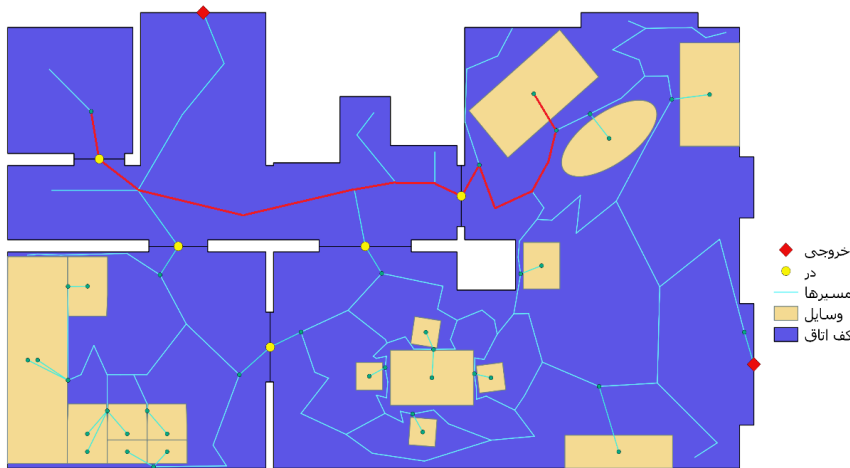
است و مسیر خروجی در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل ۹: مسیر محاسبه شده از خروجی ساختمان به اتاقی که دارای کاناپه است (مسیر قرمز رنگ)



شکل ۱۰: مسیر محاسبه شده از حمام تا آشپزخانه (مسیر قرمز رنگ)



شکل ۱۱: مسیر محاسبه شده از حمام تا نزدیک ترین کاناپه (مسیر قرمز رنگ)

هندسی) موجود در مدل داده *CityGML* با سطح جزئیات ۴، به گراف مسیریابی منتقل شده است. برخلاف بسیاری از روش‌های تولید شبکه ناوبری، مانند دیجیتالیز کردن و یا استفاده از الگوریتم‌های هندسه محاسباتی که گاهی بسیار پیچیده می‌شوند، روش ارائه شده در این پژوهش پایه معنایی و منطقی دارد و شفاف‌تر از روش‌های دیگر است. همچنین تقسیم‌بندی فضای داخلی ساختمان به صورت کاربردی و نه ساختاری (قابل ناوبری و غیرقابل ناوبری) باعث شده است تا در کل، گراف مسیریابی از جزئیات بیشتری از فضای بسته ساختمانی پشتیبانی کند.

همان‌طور که از نتایج ارائه شده برمی‌آید، گراف ژئومتریک تولید شده، دارای اطلاعات مفهومی است و موجودیت‌های مفهومی فضای داخلی ساختمان، در این گراف قابل جستجو هستند. اهمیت پیدا کردن دسترسی‌ها در فضای بسته ساختمان، بسیار مهم‌تر از طول مسیر است که این امر با روش ارائه شده در این پژوهش بسیار تسهیل شده است و باید گفت که استفاده از مدل داده *CityGML* در این فرایند (به دلیل مدل‌سازی معنایی فضای بسته ساختمانی) بسیار مؤثر بوده است و به عبارت دیگر فضای هیبرید (معنایی

۴- نتیجه‌گیری

علاوه بر آن زمانی که اطلاعات معنایی در فرایند تولید گراف و مسیریابی دخیل هستند، رفتار سیستم ناوبری به رفتار انسان نزدیک خواهد شد. به بیان دیگر زمانی که مفهوم اثاثیه، تأسیسات و کاربری فضاهای مختلف در گراف تعریف شده باشد، می‌تواند پشتیبان تصمیماتی شبیه به تصمیمات انسان باشد؛ بنابراین استفاده از یک روش معنایی-هندسی برای تولید گراف مسیریابی فضای داخلی ساختمان بسیار مفید است. در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود که روش ارائه شده در این پژوهش در ترکیب با مسیریابی رباتیک در فضای بسته مورد مطالعه قرار گیرد.

تفاوت روش استفاده شده در این پژوهش با دیگر پژوهش‌ها، استفاده از یک گراف معنایی، به‌عنوان پایه اولیه تولید گراف مسیریابی است. در واقع گراف معنایی اولیه مانند یک راهبرد برای تولید گراف ژئومتریکی عمل می‌کند، زیرا الگوریتم‌های هندسه محاسباتی، دارای منطقی برای تفاوت قائل شدن بین کاربری‌های مختلف و یا سطوح قابل ناوبری و غیرقابل ناوبری نیستند و ورودی این‌گونه الگوریتم‌ها معمولاً نقاط بحرانی فضای فیزیکی موردنظر است و اضافه شدن گراف معنایی به فرایند تولید گراف مسیریابی، باعث افزایش کیفیت و انعطاف‌پذیری خروجی شده است.

مراجع

- [1] A. Basiri, E. S. Lohan, T. Moore, A. Winstanley, P. Peltola, C. Hill, P. Amirian, and P. F. E. Silva, "Indoor location based services challenges, requirements and usability of current solutions," *Computer Science Review*, vol. 24, pp. 1-12, 2017.
- [2] Lin, W. Y., & Lin, P. H. (2018). *Intelligent generation of indoor topology (i-GIT) for human indoor pathfinding based on IFC models and 3D GIS technology. Automation in Construction*, 94, 340-359.
- [3] I. Afyouni, C. Ray, and C. Claramunt, "Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey," *Journal of Spatial Information Science*, no. 4, 2012.
- [4] Hamieh, A., Ben Makhlouf, A., Louhichi, B., & Deneux, D. (2020). A BIM-based method to plan indoor paths. *Automation in Construction*, 113, 103120.
- [5] Sun, N., Yang, E., Corney, J., & Chen, Y. (2019). *Semantic Path Planning for Indoor Navigation and Household Tasks. Towards Autonomous Robotic Systems*, 11650, 191-201.
- [6] K. Kim and J. P. Wilson, "Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine," *Journal of Spatial Science*, vol. 60, no. 1, pp. 179-193, 2015.
- [7] H. Tashakkori, A. Rajabifard, and M. Kalantari, "A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation," *Building and Environment*, vol. 89, pp. 170-182, 2015.
- [8] E. Tsiliakou and E. Dimopoulou, "3D Network Analysis For Indoor Space Applications," *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W2, pp. 147-154, 2016.
- [9] M. Makdoom, "3D Indoor Routing and Visualization for the University of Redlands", master's thesis, University of Redlands, 2015.
- [10] A. Petrenko, "Generation of an Indoor Navigation Network for the University of Saskatchewan", master's thesis, University of Saskatchewan, 2014.
- [11] 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.
- [12] S. J. Tang, Q. W. Zhu, W. T. Wang, and Y. undefined Zhang, "Automatic Topology Derivation From Ifc Building Model For

- In-Door Intelligent Navigation,*” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-4/W5, pp. 7–11, 2015.
- [13] 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.
- [14] Lewandowicz, E., Lisowski, P., & Flisek, P. (2019). A Modified Methodology for Generating Indoor Navigation Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(2), 60.
- [15] M. Xu, I. Hijazi, A. Mebarki, R. E. Meouche, and M. Abunemeh, “Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation,” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, no. sup1, pp. 47–56, 2016.
- [16] A. Jamali, A. A. Rahman, P. Boguslawski, P. Kumar, and C. M. Gold, “An automated 3D modeling of topological indoor navigation network,” *GeoJournal*, vol. 82, no. 1, pp. 157–170, 2017.
- [17] P. Boguslawski, L. Mahdjoubi, V. Zverovich, and F. Fadli, “Automated construction of variable density navigable networks in a 3D indoor environment for emergency response,” *Automation in Construction*, vol. 72, pp. 115–128, 2016.
- [18] 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.
- [19] Fu, M., Liu, R., Qi, B., & Issa, R. R. (2020). Generating straight skeleton-based navigation networks with Industry Foundation Classes for indoor way-finding. *Automation in Construction*, 112, 103057.
- [20] 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.
- [21] P. Boguslawski, C. M. Gold, and H. Ledoux, “Modelling and analysing 3D buildings with a primal/dual data structure,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, no. 2, pp. 188–197, 2011.
- [22] A. A. Khan, A. Donaubaauer, and T. H. Kolbe, “A multi-step transformation process for automatically generating Indoor routing graphs from existing semantic 3D building models,” *Proceedings of 9th Conference Chairs of 3DGeoInfo*, 2014.
- [23] M. Xu, S. Wei, S. Zlatanova, and R. Zhang, “Bim-Based Indoor Path Planning Considering Obstacles,” *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. IV-2/W4, pp. 417–423, 2017.
- [24] M. Xu, S. Wei, and S. Zlatanova, “An Indoor Navigation Approach Considering Obstacles And Space Subdivision Of 2D Plan,” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B4, pp. 339–346, 2016.
- [25] M. Krūminaitė and S. Zlatanova, “Indoor space subdivision for indoor navigation,” *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness - ISA 14*, 2014.
- [26] L. Liu, S. Zlatanova, B. Li, P. Oosterom, H. Liu, and J. Barton, “Indoor Routing on Logical Network Using Space Semantics,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 3, p. 126, 2019.
- [27] S. Zlatanova, L. Liu, and G. Sithole, “A conceptual framework of space subdivision for indoor navigation,” *Proceedings of the Fifth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness - ISA 13*, 2013.
- [28] A. A. Diakitė, S. Zlatanova, and K.-J. Li, “About The Subdivision Of Indoor Spaces

In Indoorgml," ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. IV-4/W5, pp. 41-48, 2017.

[29] Pang, Y., Zhou, L., Lin, B., Lv, G., & Zhang, C. (2019). Generation of navigation networks for corridor spaces based on indoor visibility map. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1), 177-201.

[30] Open Geospatial Consortium, *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version: 2.0.0., 2012.*



Generating an Indoor space routing graph using semantic-geometric method

Javad Sadidi ^{1*}, Zahra Joudaki ², Hani Rezayan ³

1- Assistant professor in Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi of Tehran

2- M.s.c of RS & GIS in Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi of Tehran

3- Assistant professor in Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi of Tehran

Abstract

The development of indoor Location-Based Services faces various challenges that one of which is the method of generating indoor routing graph. Due to the weaknesses of purely geometric methods for generating indoor routing graphs, a semantic-geometric method is proposed to cover the existing gaps in combining the semantic and geometric methods in this study. The proposed method uses the CityGML data model, which is actually a semantic modeling of building space. The output of the method is also presented with several test scenarios, and their results. Using semantic information and semantic graphs is in fact a good strategy for purely geometric methods, and according to the results, the proposed semantic-geometric method for producing indoor routing graphs seems to be efficient.

Key words: CityGML, routing, indoor building space, semantic graph.