نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هشتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹

Vol.8, No.4, Winter 2021

۸۰- ۶۹

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0

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

جواد سدیدی[1*]، زهرا جودکی[2]، هانی رضاییان[3]

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 ارائه‌شده است. در این روش از مدل داده *CityGML* که درواقع یک مدل‌سازی معنایی از فضای ساختمان است، استفاده‌شده است. خروجی این روش نیز با چند سناریو امتحان و نتایج آن ارائه‌شده است. استفاده از اطلاعات معنایی و گراف معنایی، درواقع راهبرد مناسبی برای روش‌های صرفاً هندسی است و با توجه به نتایج، روش معنایی-هندسی ارائه‌شده 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: ۹۸۲۱۸۸۳۲۹۲۲+

Email: jsadidi@gmail.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]

[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

۱- مقدمه

خدمات مکان‌مبنا[۱] (*LBS*) در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای توسط افراد مختلف در سراسر جهان مورداستفاده قرار می‌گیرد؛ اما *LBS* در فضای داخل 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 داخل 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 هردو 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 ارائه‌شده‌اند) 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]. درواقع گراف مسیریابی باید با ترکیب روش معنایی و هندسی تولید شود.

پژوهش‌های صورت گرفته درزمینه 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 دیجیتایز کردن از روی نقشه‌های ساختمانی، تولیدشده است [۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]، این‌گونه گراف‌ها با استفاده از اطلاعاتی که شخص طراح، از فضای ساختمان در ذهن خود دارد و همچنین اطلاعات موجود در پلان موردنظر، طراحی‌شده 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 استفاده‌شده است. به این صورت که با توسعه الگوریتم‌ها و ارائه روش‌های جدیدتر، سعی شده تا کوتاه‌ترین مسیر ارائه شود. به‌عنوان‌مثال یک شبکه ژئومتریک سه‌بعدی به‌صورت اتوماتیک تولیدشده 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*) به‌دست‌آمده ارائه‌شده است. از این دو الگوریتم در پژوهش‌های دیگری نیز مخصوصاً در استخراج مسیرهای مربوط به راهروها، استفاده‌شده است [۱۲ و ۱۳].

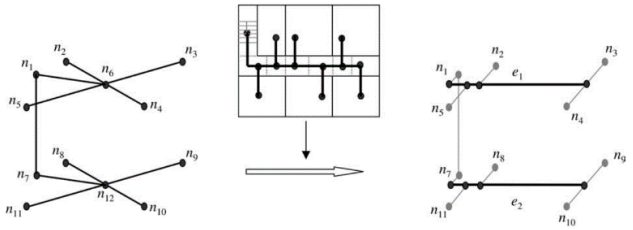
از روش شبکه مثلث‌بندی نامنظم، شکل(۲-ب)، نیز برای تولید گراف ناوبری استفاده‌شده است [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. در این روش با استفاده از نقاط بحرانی مانند مرکز درها، گوشه‌های اتاق‌ها و راهروها، شبکه نامنظم مثلث‌بندی تولیدشده و برای ناوبری مورداستفاده قرارگرفته است. در روشی مشابه نیز، بجای مثلث‌بندی

[۱] *Location Based Services*
[۲] *Graph-based models*
[۳] *Straight-Medial Axis Transform*
[۴] *Medial Axis Transform*

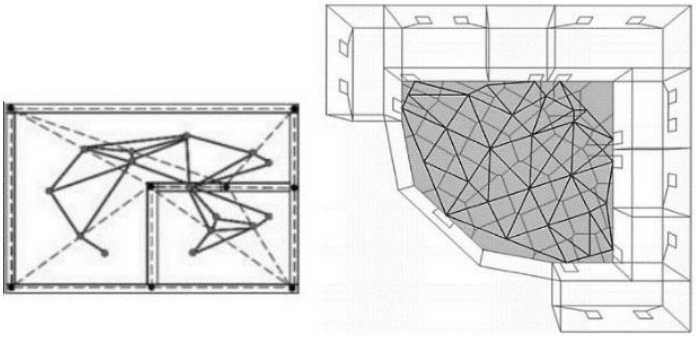
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

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

در نمونه پژوهش‌هایی که قبلاً ذکر شد، از الگوریتم‌های هندسه محاسباتی و مدل‌های داده هندسی مانند پلان-ها استفاده‌شده است و در بیشتر موارد لزوم استفاده از اطلاعات معنایی در آن‌ها ذکرشده و در بعضی از آن‌ها نیز این اطلاعات به‌صورت دستی به پلان ساختمانی و گراف مسیریابی اضافه‌شده است. به‌طورکلی داده‌های معنایی برای تولید نقشه مسیرها در فضای داخلی ساختمان بسیار مهم هستند [۱۹].

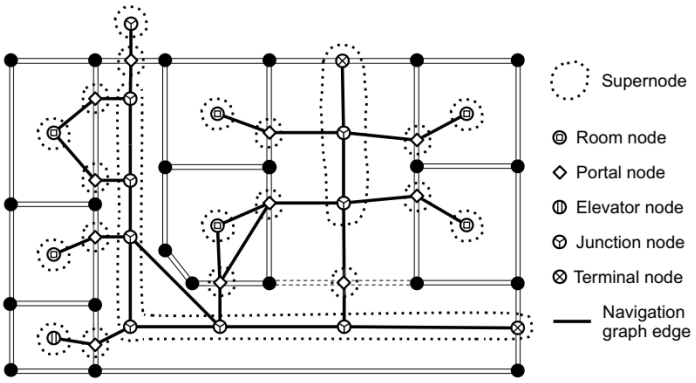


شکل ۱: تبدیل گراف معنایی به شبکه ژئومتریک سه‌بعدی [۱۱]



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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]



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

در بعضی روش‌های دیگر سعی شده است تا از اطلاعات معنایی و مدل‌های داده مکانی که ازاین‌گونه اطلاعات پشتیبانی می‌کند، در فرایند تولید گراف مسیریابی استفاده شود. به‌عنوان‌مثال در پژوهشی، یک روش مدل‌سازی برمبنای 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، ارائه‌شده 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 ارائه‌شده است [۲۱]. روشی نیز برای تبدیل اتوماتیک *IFC* و زبان نشانه‌گذاری جغرافیایی شهر[۴] (*CityGML*) به زبان نشانه‌گذاری جغرافیایی فضای بسته[۵] (*IndoorGML*) ارائه‌شده 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 تولیدشده است [۲۳]. در این روش از اطلاعات معنایی مربوط به موقعیت اثاثیه داخل فضا که از مدل داده *IFC* استخراج‌شده، نیز استفاده‌شده است. در روشی تقریباً مشابه با استفاده از پلان دوبعدی که موقعیت اسباب و وسایل داخل آن به‌صورت چندضلعی دوبعدی مشخص‌شده، 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 ارائه‌شده است [۲۵]. در این پژوهش‌ها با استفاده از اطلاعات معنایی، فضای داخل ساختمان، تنها به دو بخش قابل ناوبری و غیرقابل ناوبری تقسیم و درواقع تقسیم‌بندی ساختاری انجام‌شده است. در پژوهشی دیگر با استفاده از تقسیم‌بندی ساختاری فضای بسته ساختمان، یک شبکه منطقی برای ناوبری در این فضا تولیدشده 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

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

معیارهای هندسی به‌تنهایی قابل انجام نیست. همچنین تقسیم‌بندی معنایی باعث افزایش دقت ناوبری و موقعیت‌یابی می‌شود [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 موجودیت‌های مفهومی فضای داخلی ساختمان، با استفاده از مدل داده *CityGML* است. به این منظور شبکه ناوبری فضای داخل ساختمان، با استفاده از تقسیم‌بندی کاربردی فضای بسته ساختمانی و هندسه محاسباتی (روش معنایی-هندسی)، تولیدشده است. استفاده از سلسله‌مراتب معنایی مدل داده *CityGML* در فرایند تولید گراف مسیریابی برای فضای داخلی ساختمان، در این پژوهش نوآوری محسوب می‌شود.

۲- روش تحقیق

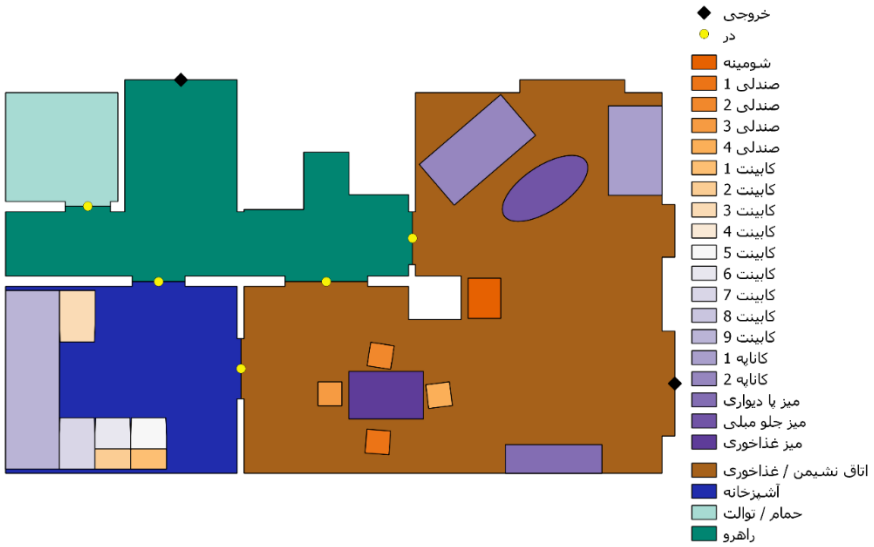
در این پژوهش برای اضافه کردن موجودیت‌های معنایی به گراف مسیریابی از یک مدل داده *CityGML* با سطح جزئیات۴ [۱] (*LOD4*) استفاده‌شده است. در مدل داده *CityGML* ممکن است *LOD* مختلفی تعیین شود که از ۱ تا ۴ متغیر باشد. میزان اطلاعات مربوط به فضای داخلی ساختمان از *LOD1* به *LOD4* افزایش می‌یابد و به‌عبارت‌دیگر مدل داده مربوطه ممکن است از یک پلان دوبعدی تا یک مدل سه‌بعدی با تمام جزئیات داخلی یک ساختمان متغیر باشد. ویژگی دیگر مدل داده *CityGML*، این است که موجودیت‌های مفهومی فضای بسته ساختمانی با یک سلسله‌مراتب کل به جزء در آن ذخیره‌شده‌اند [۳۰].

در پژوهش حاضر، اطلاعات و موجودیت‌های معنایی مربوط فضای داخلی ساختمان، شامل کاربری فضاها، تأسیسات موجود در بخش‌های مختلف، امکانات و لوازم موجود در آن و همچنین اطلاعات هندسی آن‌ها، شکل(۴) با استفاده از نرم‌افزاری که به این منظور توسعه داده‌شده، استخراج‌شده است. ابزار توسعه داده‌شده مدل داده *CityGML* را که یک داده متنی محسوب می‌شود، خوانده و اطلاعات موردنیاز را از آن استخراج می‌کند. با استفاده از سلسله‌مراتب معنایی این اطلاعات، یک گراف منطقی از توپولوژی فضای داخل ساختمان تولیدشده است، (شکل(۵)). همان‌طور که در شکل(۵) نیز مشاهده می‌شود پایه اصلی این گراف بر اساس سلسله‌مراتب معنایی موجود در فضای داخلی ساختمان شکل‌گرفته است. به‌عبارت‌دیگر هر موجودیت به‌صورت یک گره به گراف اضافه‌شده و در ادامه اگر موجودیت موردنظر زیرمجموعه یک موجودیت دیگر باشد (مثلاً لوازمی که در یک اتاق وجود دارند)، یک لبه یا اتصال به ازای آن به گراف اصلی اضافه‌شده است و نیز درصورتی‌که آن موجودیت بین دو موجودیت دیگر مشترک باشد (مانند حالتی که یک «در» بین دو فضا مشترک است و آن‌ها را به هم متصل می‌کند)، دو اتصال به گراف اضافه می‌شود.

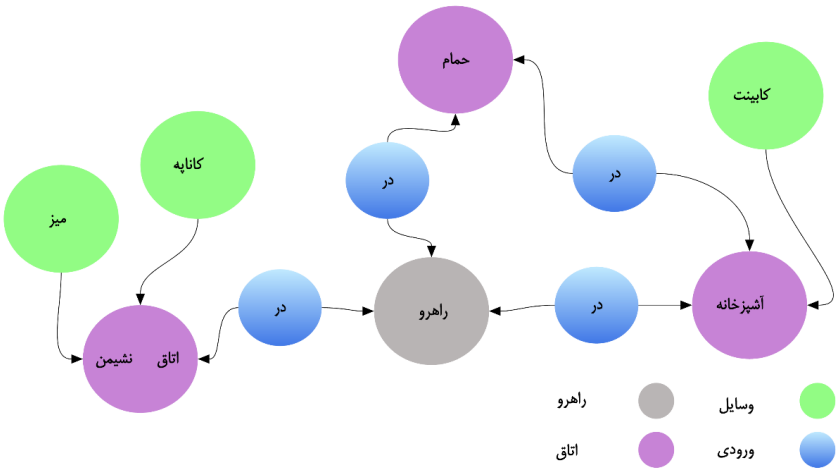
در ادامه فرایند تولید گراف مسیریابی در فضای داخلی ساختمان، گراف معنایی به گراف ژئومتریک تبدیل‌شده است. برای تولید شبکه ژئومتریک باید موقعیت مکانی به گره‌های گراف اضافه شود اما استفاده تنها از موقعیت سنتروئید موجودیت‌ها، مسیرهایی خشن و کم‌دقت تولید می‌کند (شکل(۶))؛ بنابراین از الگوریتم *MAT* برای بازتولید مسیرها و برطرف کردن مشکلاتی که ذکر شد، استفاده‌شده است.

[۱] *Level Of Details*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

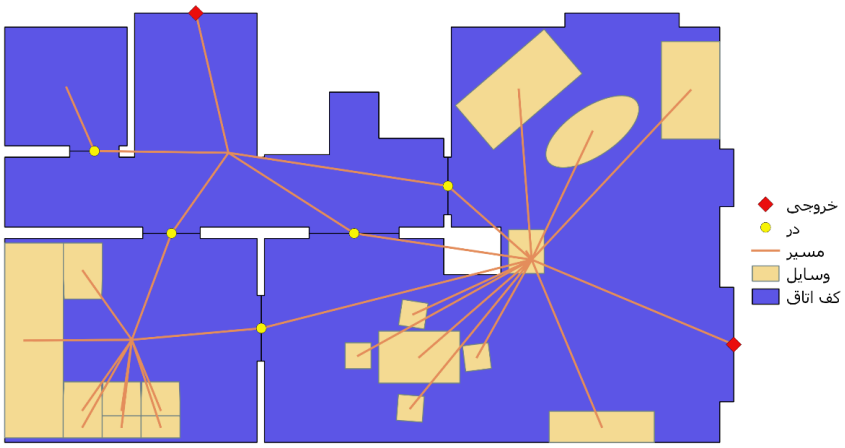


شکل ۴: تقسیم‌بندی کاربردی فضای داخلی ساختمان



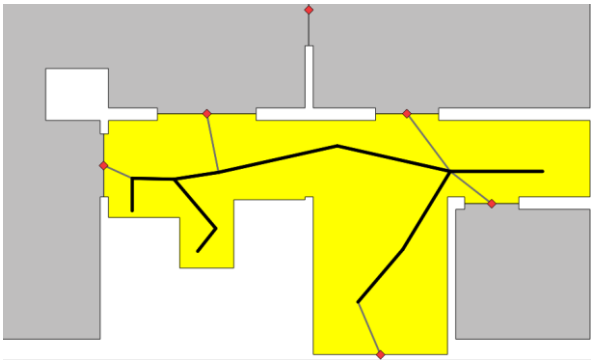
شکل ۵: نمونه شماتیک از گراف معنایی استخراج‌شده از فضای داخلی ساختمان

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]



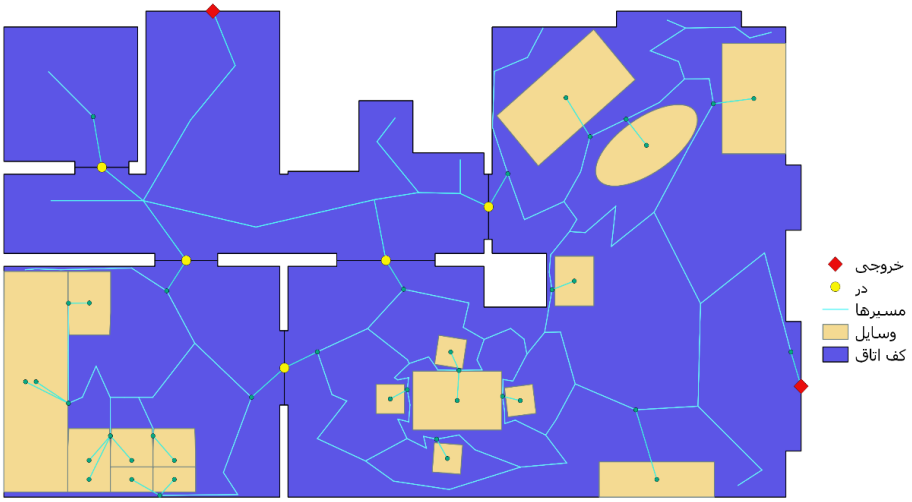
شکل ۶: گراف ناوبری تولیدشده با استفاده از اتصال موقعیت سنتروئید اجزاء به یکدیگر

به این منظور سطح قابل ناوبری از کاربری‌های مختلف (بخشی که توسط افراد قابل‌رفت‌وآمد باشد) محاسبه‌شده است. به‌عبارت‌دیگر بخش‌هایی که توسط تأسیسات یا وسایل اشغال‌شده، از کل آن حذف‌شده است. سپس محور مرکزی برای سطح قابل ناوبری، با استفاده از الگوریتم *MAT* محاسبه‌شده و این محور به گراف ژئومتریک اضافه‌شده است (نقاط و پاره‌خط‌ها به‌صورت گره و اتصال وارد گراف ژئومتریک شده‌اند). در مرحله بعد موجودیت‌هایی که بر اساس گراف معنایی، زیرمجموعه کاربری موردنظر هستند، به محور مرکزی که محاسبه‌شده است، متصل شده‌اند (شکل(۷)). منظور از متصل شدن، اضافه شدن یک لبه جدید به ازای موجودیت زیرمجموعه کاربری موردنظر به گراف ژئومتریک است. به‌این‌ترتیب گرافی که در شکل(۶) نمایش داده‌شده است، توسعه داده‌شده و دقت آن نیز افزایش‌یافته است (شکل(۸)).



شکل ۷: محور مرکزی راهرو و اتصال آن به درهای مرتبط به راهرو (نقاط قرمزرنگ محل درها، خط مشکی‌رنگ محور مرکزی راهرو و خطوط خاکستری‌رنگ اتصالات بین راهرو درها هستند.)

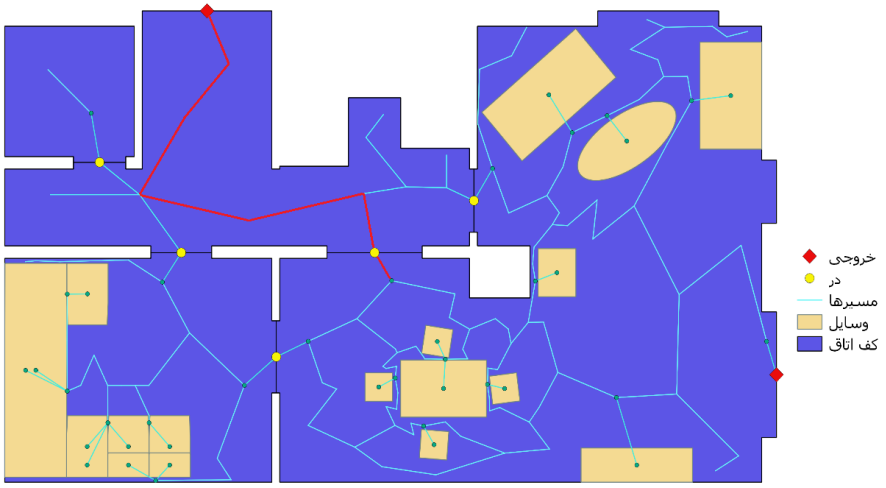
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]



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

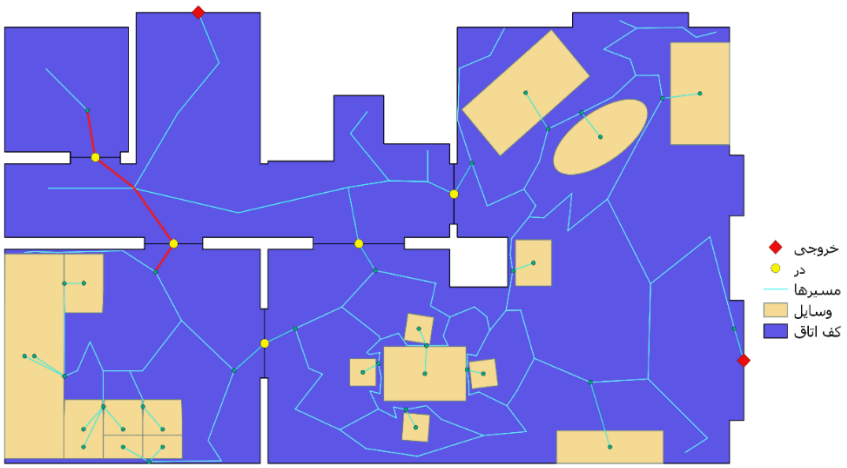
۳- نتایج و بحث

برای ارائه نتایج و کارایی روش ارائه‌شده در این پژوهش، مسیریابی با سناریوهای مختلفی انجام‌شده است و مسیر خروجی در شکل‌های (۹) تا (۱۱) نمایش داده شده است.

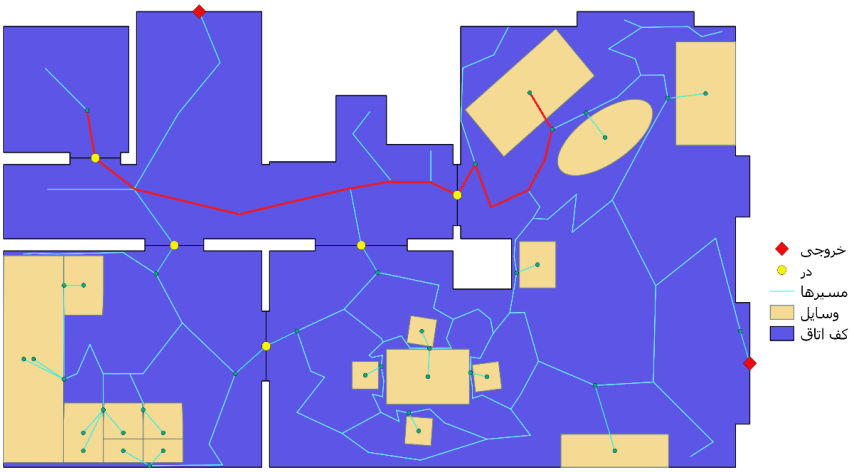


شکل ۹: مسیر محاسبه‌شده از خروجی ساختمان به اتاقی که دارای کاناپه است (مسیر قرمزرنگ)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]



شکل ۱۰: مسیر محاسبه‌شده از حمام تا آشپزخانه (مسیر قرمزرنگ)



شکل ۱۱: مسیر محاسبه‌شده از حمام تا نزدیک‌ترین کاناپه (مسیر قرمزرنگ)

همان‌طور که از نتایج ارائه‌شده برمی‌آید، گراف ژئومتریک تولیدشده، 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 ارائه‌شده 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 به‌عبارت‌دیگر فضای هیبرید (معنایی هندسی) موجود در مدل داده *CityGML* با سطح جزئیات ۴، به گراف مسیریابی منتقل‌شده است.

برخلاف بسیاری از روش‌های تولید شبکه ناوبری، مانند دیجیتایز کردن و یا استفاده از الگوریتم‌های هندسه محاسباتی که گاها بسیار پیچیده می‌شوند، روش ارائه‌شده در این پژوهش پایه معنایی و منطقی دارد و شفاف‌تر از روش‌های دیگر است. همچنین تقسیم‌بندی فضای داخلی ساختمان به‌صورت 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

۴- نتیجه‌گیری

تفاوت روش استفاده‌شده در این پژوهش با دیگر پژوهش‌ها، استفاده از یک گراف معنایی، به‌عنوان پایه اولیه تولید گراف مسیریابی است. درواقع گراف معنایی اولیه مانند یک راهبرد برای تولید گراف ژئومتریک 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.

علاوه بر آن زمانی که اطلاعات معنایی در فرایند تولید گراف و مسیریابی دخیل هستند، رفتار سیستم ناوبری به رفتار انسان نزدیک خواهد شد. به‌بیان‌دیگر زمانی که مفهوم اثاثیه، تأسیسات و کاربری فضاهای مختلف در گراف تعریف‌شده 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 ارائه‌شده در این پژوهش در ترکیب با مسیریابی رباتیک در فضای بسته مورد مطالعه قرار گیرد.

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

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. Donaubauer, 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. Diakité, S. Zlatanova, and K.-J. Li, "About The Subdivision Of Indoor Spaces

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.8 No.4, Winter 2021

Research Paper

Generating an Indoor space routing graph using semantic-geometric method

Javad Sadidi [1*], Zahra Joudaki [2], Hani Rezayan [3]

1- Assisstant professor in Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi of Tehran
2- Ms.c of RS & GIS in Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi of Tehran
3- Assisstant 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.*

Correspondence Address*: Department of RS & GIS, College of Geographic Sciences, University of Kharazmi, Tehran, Iran.*
Tel*: +98 21 8832922.*
Email: *jsadidi@gmail.com*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1399.8.4.4.0]
[DOI: 10.52547/jgit.8.4.69]