نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹
صفحات ۶۷ - ۸۰

طراحی و اجرای وب اپلیکیشن مسیر یابی سه بعدی در فضاهای داخلی

جواد سدیدی[۱]؛ استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی ، دانشگاه خوارزمی, تهران، ایران.
, زهرا جودکی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS ، دانشکده علوم جغرافیایی ، دانشگاه خوارزمی, تهران، ایران
هانی رضائیان؛ استادیار گروه سنجش از دور و GIS ، دانشکده علوم جغرافیایی , دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۷/۱۲/۰۹ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۰۱

چکیده

با توجه به وسیعتر و پیچیده‌تر شدن فضای بسته داخل ساختمان‌ها مانند فرودگاه‌ها، مراکز خرید و بیمارستان‌ها نیاز به سیستم های ناوبری در فضای بسته (Indoor) جهت راهنمایی کاربر مخصوصا در مواقع بحران مانند زلزله و آتش سوزی احساس می شود. هدف اصلی این پژوهش طراحی و پیاده‌سازی سیستم تحت وب ناوبری در فضای سه‌بعدی داخل ساختمان است. این سیستم بطور اتوماتیک مدل داده CityGML را پردازش کرده، و اطلاعات مفهومی، توپولوژی و ژئومتری مانند، پلان طبقات، کاربری فضاهای داخلی و نحوه اتصال این فضاها را از آن استخراج و سپس یک گراف مسیریابی از اطلاعات استخراج شده تولید می‌کند. پردازش مدل داده CityGML و آنالیز گراف و مسیریابی در سمت سرور و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python انجام شده، و رابط کاربری نیز با استفاده از زبان‌های توسعه وب مانند HTML، JavaScript، JQuery و AJAX توسعه یافته‌است. از ویژگی‌های این وب اپلیکیشن، ارائه مسیر و مدل سه‌بعدی ساختمان در یک محیط سه‌بعدی است که با استفاده از کره مجازی Cesium ایجادشده و علاوه بر آن به همراه مسیر محاسبه شده یک راهنمای توصیفی نیز در اختیار کاربر قرار می گیردکه باعث درک بهتر از مسیر شده‌است. انجام اتوماتیک پردازش مدل داده CityGML و تولید گراف و مسیریابی، توسط موتور نرم‌افزاری توسعه داده شده در این پژوهش باعث شده تا نیازی به استفاده از هرگونه نرم‌افزار جانبی برای اینگونه محاسبات نباشد. امکان اجرای این نرم‌افزار روی هر وسیله‌ای که به شبکه اینترنت متصل و مجهز به یک مرورگر رایج وب باشد، وجود دارد.

واژه های کلیدی: مسیر یابی سه بعدی، وب اپلیکیشن، فضاهای داخلی، مخاطرات محیطی.

[۱] . نویسنده مسئول: Email: jsadidi@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

مقدمه

ناوبری به فرایند پایش و کنترل حرکت عناصر از مبدا به یک مقصد در طول یک مسیر اطلاق میشود (Ozdenizci et al, ۲۰۱۵). مطالعات در کشورهای مختلف نشان میدهد که افراد تقریبا ۹۰ درصد از زمان خود را در داخل ساختمانها می‌گذرانند (Worboys, ۲۰۱۱) و نیز با توجه به اینکه فضاهای بسته مثل برجهای مسکونی بزرگ, مراکز خرید، فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها و دانشگاهها دائما در حال توسعه، بزرگتر و پیچیده‌تر شدن هستند، اغلب افراد در این فضاهای بزرگ بخصوص در مواقع بحران نیاز به یک سیستم مسیریابی برای پیدا کردن مسیر خود، دارند. (Nagel, ۲۰۱٤).

بعنوان مثال، در زمان شرایط اضطراری مانند مخاطره زلزله یا آتش‌سوزی، کمک‌های فوری مثل راهنمایی مردم به نزدیکترین خروجی و هدایت امدادگران و نیروهای آتش نشانی به سمت آسیب‌دیدگان با استفاده از چنین سیستم‌هایی می‌تواند باعث ذخیره زمان و هدایت سریع افراد به خروجی شود. چنین سیستم‌هایی می‌توانند پاسخگوی خدمات به افراد سالخورده و معلول هم باشند؛ در شرایطی که جمعیت بالای ۶۵ سال به سرعت در حال زیاد شدن است، تکنولوژی و اپلیکیشن‌های خدمات مکان مبنا (LBS) می‌تواند به عنوان بخشی از یک محیط هوشمند که هدف آن زندگی بدون هرگونه وابستگی برای سالمندان است، باشد. نمونه آن می‌تواند هدایت سالمندان و معلولان به سمت مسیرهای ویژه و یا خدمات ویژه آنها در ساختمان‌های عمومی باشد. کاربرد دیگر این‌گونه سیستم‌ها این است که، در مراکز خرید بزرگ افراد می‌توانند، فرد خاص یا کالای خاصی را دنبال کنند، و مسیر آن را در فضای داخلی پیدا نمایند(Nagel, ۲۰۱٤).

فضای بیرون ساختمان عموما در یک محیط دو بعدی تعریف می‌شود و برای مسیریابی, فاصله و زاویه تا مقصد کفایت میکند. اما در فضای داخلی ساختمان با توجه به محیط سه بعدی و ضعف سیگنال‌های GPS، برای ناوبری علاوه بر اطلاعات ژئومتریک که هندسه سه بعدی فضا را توصیف کند، به اطلاعات توپولوژیک به منظور تعریف نحوه ارتباط اجزاء مختلف فضای داخلی با یکدیگر نیاز است (Yang & Worboys, ۲۰۱۱). به علت تعداد، اندازه و پیچیدگی فضای داخلی، امکان جمع آوری دستی داده‌های توصیف کننده این فضا وجود ندارد. به همین دلیل در فضای آکادمیک و صنعتی روی مسئله استخراج اتوماتیک و نیمه اتوماتیک چنین داده‌هایی پژوهش می‌شود (Worboys, ۲۰۱۱).

به طور کلی در پژوهش‌های مربوط به مدل‌های فضای داخلی ساختمان (Nagel, ۲۰۱٤)، این مدل‌ها در سه گروه سمبلیک، ژئومتریک و مفهومی قرار می‌گیرند. مدل فضایی سمبلیک، مکان های فیزیکی و اشیای داخلی را از طریق مجموعه‌ای از نمادهای انتزاعی (مثلا نام های توصیفی انسانی) نشان می دهد و روابط فضایی کیفی بین آنها را بیان می کند. در مدل‌های ژئومتریک، موقعیت فضایی و اجزاء آن بیشتر به عنوان شکل‌های چند بعدی هندسی با استفاده از مجموعه‌ای از مختصات که در یک سیستم مختصات مرجع قرار می‌گیرند تعریف می‌شوند. مدل‌های فضایی مفهومی نیز، محیط داخلی را از منظر مفهومی، که با توجه به نوع نهادهای فضایی (مانند در، پنجره، راهرو و ...) و ارتباط فضایی و غیر فضایی آنها، استنباط می‌شود، توصیف می‌کند.

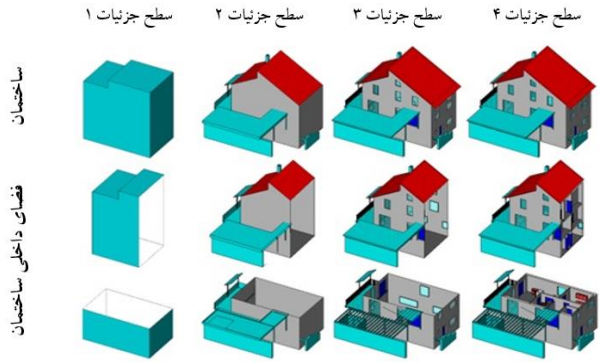
اصولا ساختار داده پایه‌ای که بمنظور پشتیبانی از ناوبری در یک فضای بسته استفاده می‌شود، گراف مسیریابی است. به طوریکه اتصال‌ها (Edges) مسیرهای عبور و گره‌ها (Nodes) نقاط تصمیم‌گیری و یا علامت‌گذاری شده زمین، یا دیگر مکان‌ها که نیاز به انتقال اطلاعات در سیستم دارند، هستند (Yang & Worboys, ۲۰۱۵). با توجه به ویژگی‌های

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

فضای داخلی، گراف قابل ناوبری برای پشتیبانی از مسیریابی در این فضا باید شامل اطلاعات ژئومتریک و توپولوژیک باشد.

به منظور تولید گراف مسیریابی، به مدل داده‌ای نیاز است که از اطلاعات مفهومی، ژئومتریک و توپولوژیک پشتیبانی کند. از انواع این مدل داده می‌توان به CityGML اشاره کرد. CityGML یک مدل داده باز و با فرمت مبتنی بر XML برای ذخیره سازی و تبادل مدل‌های ۳D مجازی است. هدف توسعه CityGML، دستیابی به یک تعریف مشترک از نهادهای اساسی، ویژگی‌ها و ارتباطات یک مدل شهر ۳D است (OGC , ۲۰۱۹). این استاندارد می‌تواند ناهمواری سطح زمین شهری و اجزاء سه‌بعدی آن را در پنج سطح جزئیات (LOD) از ۰ تا ۴ نمایش دهد. مدل داده CityGML LOD٤ که یک مدل فضایی داخلی ساختمان را ارائه می‌کند، به منظور نمایش محیط داخلی (اتاق‌ها، راه‌پله، وسایل و ...) استفاده شده‌است. CityGML LOD٤ امکان ارائه مدل‌های مفهومی از ساختمان را نیز می‌دهد (Liu, ۲۰۱۷). شکل شماره ۱ سطح جزئیات مختلف در مدل داده CityGML را نشان میدهد.



شکل ۱: مفهوم سطح جزئیات در مدل داده CityGML (Open Geospatial Consortium, ۲۰۱۲).

در این پژوهش از مدل داده CityGML برای پشتیبانی از اطلاعات ژئومتری، مفهومی و توپولوژی مورد نیاز برای ناوبری در فضای داخلی ساختمان استفاده شده‌است.

در مورد مسئله ناوبری در فضای داخلی پژوهش‌هایی انجام شده‌است که بخش عمده آنها مربوط به سالهای اخیر می‌باشد. در بعضی از منابع، ناوبری در فضای داخلی با اهداف مختلف و با استفاده از ابزار موجود در نرم‌افزار تجاری ArcGIS مربوط به شرکت ESRI انجام شده‌است، که در آنها گراف مسیریابی و مدل سه‌بعدی ساختمان بصورت دستی و با استفاده از CityEngine طراحی شده‌اند و آنالیز شبکه نیز با استفاده از Network Analyst صورت گرفته شده‌است (Tsiliakou & Dimopoulou, ۲۰۱٦; Tashakkori et al, ۲۰۱٥; Xu et al, ۲۰۱٦; Makdoom, ۲۰۱٥; Petrenko, ۲۰۱۳; Kim & Wilson, ۲۰۱٥;). در پژوهش‌های دیگری نیز روش‌هایی بمنظور استخراج اطلاعات از مدل‌های داده‌ی CityGML و IFC، که فضای داخلی را با هدف انجام ناوبری توصیف می‌کند، ارائه شده‌است. به عبارتی در عمده این پژوهش‌ها روش‌هایی ارائه شده‌است که از منابع داده موجود، اطلاعات توصیف کننده فضای داخلی را استخراج می‌کند و یک شبکه قابل ناوبری تشکیل می‌دهد که بعضی از این روش‌ها اتوماتیک و بعضی نیمه اتوماتیک هستند (Isikdag et al, ۲۰۱۳; Lee, ۲۰۰٤; Diakite et al, ۲۰۱۷; Jamali et al, ۲۰۱۷; Boguslawski et al, ۲۰۱٦; Tang et al, ۲۰۱٥; Teo & Cho, ۲۰۱٦; Kruminaite & Zlatanova, ۲۰۱٤; Boguslawski et al, ۲۰۱۱; Goetz, ۲۰۱۲). در پژوهش دیگری یک فرایند اتوماتیک بمنظور تولید مدل داده Indoor GML از مدل‌های داده IFC و CityGML LOD٤ برای

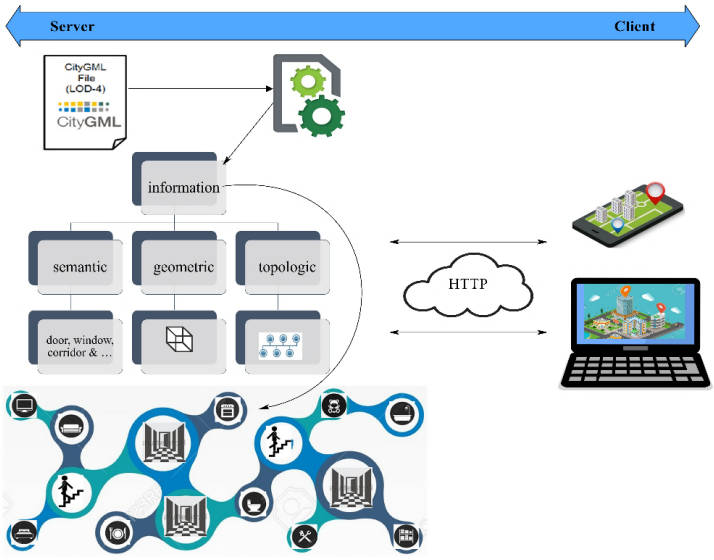
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

ناوبری در فضای داخلی، ارائه شده‌است (Khan et al, ۲۰۱٤). روش دیگری نیز بمنظور محاسبه گراف مسیریابی، با استفاده از پلان داخلی ساختمان ارائه شده‌است (Yang & Worboys, ۲۰۱٥). در ارزیابی انجام شده روی انواع مدل داده نیز مشخص شده که مدل‌های هیبرید (مدل‌هایی که اطلاعات توپولوژیک و ژئومتریک را باهم دارند) به علت ایجاد یک سازمان سلسله مراتبی از اطلاعات مکانی به همراه اطلاعات توپولوژیک، باعث تضمین انعطاف پذیری، بازدهی و دقت خواهد شد (Afyouni et al, ۲۰۱۲).

با توجه به مطالعات صورت گرفته و راه حل‌های ارائه شده در مورد استخراج شبکه‌های قابل ناوبری به منظور مسیریابی در فضای داخلی، می‌توان دریافت که چالش‌های مختلفی در مسیر انجام این نوع تحقیقات وجود دارد که شاید مهمترین آنها استخراج اتوماتیک شبکه اتصالات توپولوژیک (ارتباط فضایی بخش‌های داخلی ساختمان) باشد. در این میان استفاده از مدل‌های سه بعدی مانند CityGML که دارای اطلاعات مفهومی و ژئومتری بطور همزمان هستند، می‌تواند در تولید گراف مسیریابی بسیار مفید باشد. بنابراین به منظور ارائه یک روش مناسب برای ناوبری در فضای داخلی در این پژوهش از مدل داده CityGML استفاده شده‌است.

داده ها و روش کار

همانطور که توضیح داده شده‌است، در این پژوهش یک وب اپلیکیشن بمنظور ناوبری در فضای داخلی سه‌بعدی طراحی و پیاده‌سازی شده‌است. نحوه عملکرد این اپلیکیشن در دیاگرام شکل ۲ ارائه شده‌است.



شکل ۲: دیاگرام عملکرد وب اپلیکیشن مسیریابی در فضای داخلی ساختمان.

همان طوری که، در دیاگرام شکل ۲ مشاهده می‌شود، مجموع فرایند ارائه شده بمنظور ناوبری در فضای سه‌بعدی داخلی بصورت تحت وب می‌باشد. این فرایند بعنوان نمونه روی یک سرور محلی و با استفاده از Apache HTTP Server اجرا شده‌است. بمنظور سرعت بخشیدن به اجرای این وب اپلیکیشن، محاسبات مربوط به پردازش مدل داده CityGML، تولید گراف و محاسبه مسیر در سمت سرور با استفاده از زبان پایتون برنامه نویسی شده است. برای پردازش مدل داده از کتابخانه XML (library)، محاسبات ژئومتریک از کتابخانه OGR و تولید گراف و محاسبه مسیر از کتابخانه NetworkX استفاده شده‌است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

- **پردازش مدل داده CityGML**:

در مدل داده CityGML، عوارض شهری مانند ساختمان، پل و ...، به صورت ماژولار توصیف می‌شود. این مدل داده برای توصیف فضای داخلی ساختمان از جزئیات زیادی استفاده می‌کند و بیشترین سطح جزئیات نیز در LOD٤ وجود دارد. با اینکه این مدل داده بسیار پرجزئیات است، اما دارای سلسله مراتب خاص خود می‌باشد. به عبارتی اطلاعات فضای داخلی ساختمان به صورت موضوعی دسته‌بندی شده‌اند. اطلاعات مربوط به ساختمان و فضای داخلی آن در ماژول Building این مدل داده قرار دارد.

از مهم‌ترین کلاس‌های اطلاعاتی در فضای داخلی ساختمان در سطح جزئیات ۴، کلاس Room است. هر Room ممکن است ویژگی‌های توصیفی داشته باشد، یکی از این ویژگی‌ها کاربری است. از انواع کاربری اتاق می‌توان به اتاق نشیمن، آشپزخانه و ... اشاره کرد. هر اتاق دارای سطوح قابل مشاهده مانند سطح دیوار داخلی یا کف است. همچنین هر اتاق دارای کلاس موضوعی Opening است که Opening از نوع در یا پنجره می‌باشد. به عبارتی با استفاده از جزئیات دقیق در مدل داده CityGML می‌توان پلان اتاق‌ها و طبقات و راههای دسترسی به آنها و کاربری هرقسمت را استخراج کرد. روند پردازش مدل داده CityGML و استخراج اطلاعات از آن و تولید گراف و مسیریابی در فضای داخلی ساختمان در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ به صورت شبه کد ارائه شده‌است.

Algorithm: floor plan extraction

```
FOR each room of building
    GET floorSurface of room.
    IF floorSurface has geometry
        create polygon from FloorSurface geometry.
        accumulate polygon.
    ENDIF
ENDFOR
FOR each floor of building
    union all polygon of floor.
ENDFOR
```

شکل ۳: شبه کد استخراج پلان طبقات از مدل داده CityGML.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

```
Algorithm:        semantic information extraction

۱.      FOR each room in building
۲.              accumulate room usage.
۳.              FOR each wall in room
٤.                      IF wall has opening AND opening is a door
٥.                              SET door to room name
٦.                              IF Door has geometry
۷.                                      accumulate door geometry.
۸.                              ENDIF
۹.                      ENDIF
۱۰.             ENDFOR
۱۱.     ENDFOR
```

شکل ۴: شبه کد استخراج اطلاعات مفهومی از مدل داده CityGML.

```
Algorithm:        stairCase extraction

۱.      FOR each BuildingInteriorInstallation
۲.              IF InteriorInstallation is StairCase
۳.                      FOR each element in StairCase
٤.                              IF element is horizontal
٥.                                      accumulate element.
٦.                              ENDIF
۷.                      ENDFOR
۸.                      Sort all element.
۹.              ENDIF
۱۰.     ENDFOR
```

شکل ۵: شبه کد استخراج راه‌پله داخلی ساختمان از مدل داده CityGML.

نکته قابل توضیح در مورد استخراج اطلاعات مربوط به راه‌پله، این است که، ژئومتری ذخیره شده برای بخش‌های مختلف آن مانند سطح افقی پله‌ها، سطح عمودی اتصال دهنده پله‌ها، کناره‌های راه‌پله و نرده‌های محافظ آن دسته بندی موضوعی ندارد و باید بشکل دیگری، سطوح مورد نیاز از راه‌پله خوانده‌شوند. بدلیل اینکه پردازش مدل داده CityGML در این پژوهش با هدف ناوبری انجام شده‌است، تنها سطوحی از فضای داخلی که قابل ناوبری باشند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در مورد راه‌پله نیز تنها سطح افقی پله‌ها قابل ناوبری است، در نتیجه همانطور که در سودو کد شکل ۶ نیز مشاهده می‌شود، تنها اجزاء افقی راه‌پله هستند که استخراج و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

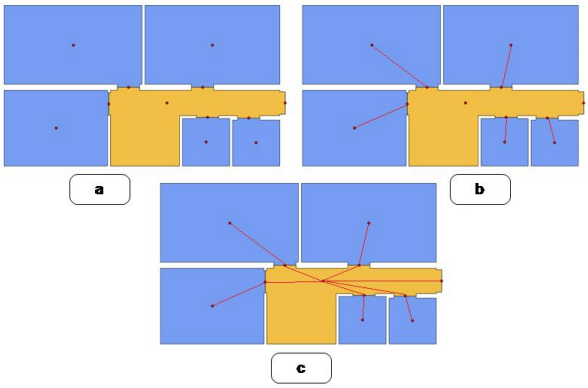
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

- **تولید گراف مسیریابی**

با استفاده از اطلاعات استخراج شده از مدل داده CityGML مانند پلان طبقات، محل درها، کاربری اتاق‌ها، محل راهروها و ... می‌توان مدل داده‌ای بشکل یک گراف بمنظور پشتیبانی از ناوبری تولید کرد. اطلاعات توپولوژیک برای تولید گراف مسیریابی ضروری هستند. این اطلاعات نحوه ارتباط فضایی اجزاء تشکیل دهنده ساختمان با یکدیگر را نشان می‌دهند.

روش ارائه شده در این پژوهش، اطلاعات استخراج شده از مدل داده CityGML را به یک فضای توپولوژیک یا همان گراف مسیریابی تبدیل می‌کند. به این صورت که مرکز هر اتاق به ورودی آن اتاق متصل می‌شود و سپس ورودی اتاق-های هرطبقه نیز به مرکز راهروی آن طبقه متصل می‌شود. با توجه به ماهیت سه‌بعدی فضای داخلی، اتصال طبقات مجاور نیز با استفاده از اطلاعات استخراج شده از راه‌پله داخلی ساختمان انجام شده‌است. به همراه گره‌ها (Nodes) و اتصال‌ها (Edges)، اطلاعات دیگری مانند طول و عرض جغرافیایی ، ارتفاع نقاط، طول اتصال‌ها، نام و کاربری اتاق‌ها که از مدل داده استخراج شده‌اند نیز، بشکل ویژگی توصیفی (property) در ساختار گراف، ذخیره می‌شود. به این صورت که مرکز اتاقی که بصورت یگ گره وارد گراف شده، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، کاربری اتاق و محل در ورود و خروج آن اتاق را نیز به همراه دارد، یا اینکه طول یک اتصال درواقع فاصله محاسبه شده بین دو گره ابتدا و انتهایی آن اتصال است. به عبارتی گراف تولید شده اطلاعات توپولوژیک، ژئومتریک و مفهومی فضای داخلی را باهم داراست. نمونه شماتیک از تهیه گراف برای یک طبقه، در شکل شماره ۶ ارائه شده‌است.



شکل ۶: پلان طبقه اول مدل ساختمانی استفاده شده در پژوهش حاضر (تن روشن راهرو و تن تیره اتاق می‌باشد). a، پیداکردن مرکز اتاق‌ها، درها و راهروها، b، اتصال مرکز اتاق‌ها به درها، c، اتصال درها به راهرو.

- **تحلیل گراف و مسیریابی**

با استفاده از گراف تهیه شده در مرحله قبلی می‌توان در فضای سه‌بعدی داخلی ساختمان ناوبری کرد. برای محاسبه مسیر بین مبدا و مقصد مورد نظر به الگوریتمی بمنظور آنالیز گراف مسیریابی نیاز است. در وب اپلیکیشن طراحی شده در این پژوهش از الگوریتم Dijkstra برای این هدف استفاده شده‌است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

- **الگوریتم Dijkstra**

این الگوریتم برای پیدا کردن کوتاهترین مسیر در یک گراف وزن دار استفاده می‌شود. وزن اتصال‌ها به عنوان طول آنها در نظر گرفته می‌شود و طول مسیر بین دو راس، مجموع طول تک‌تک اتصال‌های موجود در این مسیر است (Wallis, ۲۰۰۷, ۲).

مسیر محاسبه شده توسط الگوریتم Dijkstra تنها شامل لیستی از گره‌ها از ابتدا تا انتهای مسیر می‌باشد و برای تبدیل به یک مسیر سه‌بعدی باید طول، عرض و ارتفاع هر نقطه به آن اضافه شود. در شکل شماره ۷ مراحل محاسبه یک مسیر سه‌بعدی از گراف مسیریابی، ارائه شده‌است.

Algorithm: ۳D path generation

```
GET graph, source, target.
FUNC Dijkstra (graph, source, target)
        calculate shortest path between source and target.
        RETURN the calculated path.
ENDFUNC
FUNC Create ۳D path (path of Dijkstra function)
        FOR each node in path
                add lat, lon and elevation to node.
        ENDFOR
        create a ۳D LineString from path.
        RETURN ۳D LineString.
ENDFUNC
```

شکل ۷: شبه کد محاسبه مسیر سه‌بعدی.

از زبان‌های توسعه وب مانند HTML، JavaScript، JQuery و تکنولوژی AJAX نیز به منظور توسعه نرم‌افزار در سمت کاربر استفاده شده‌است. یکی از مهمترین وظایفی که در سمت کاربر انجام می‌شود، نمایش اطلاعات مکانی سه-بعدی از قبیل مدل سه‌بعدی ساختمان و مسیر سه‌بعدی محاسبه شده توسط سرور است. که برای این منظور از کره مجازی Cesium در این پژوهش بهره گرفته شده‌است. Cesium در واقع یک پلتفرم اطلاعات مکانی سه‌بعدی بمنظور ایجاد کره‌های مجازی است. هدف آن ایجاد یک کره و نقشه مرجع و تحت وب بمنظور نمایش پویای داده‌های مکانی است. این پروژه کوشیده است تا بهترین کارایی، دقت، کیفیت بصری، راحتی استفاده، پشتیبانی از پلتفرم و رضایت را ایجاد کند (Cesium, ۲۰۱۹).

نکته قابل توجه در مورد کتابخانه Cesium این است که توانایی نمایش مدل داده CityGML به طور مستقیم را دارا نیست و قبل از نمایش این مدل داده در محیط کره مجازی، باید به فرمت قابل پذیرش برای محیط Cesium تبدیل شود. این کار با استفاده از از پکیج نرم‌افزاری ۳D CityDB انجام شده‌است. این ابزار یک پکیج نرم‌افزاری متن باز، شامل یک مدل پایگاه داده و مجموعه‌ای از ابزارهای نرم‌افزاری بمنظور واردسازی، مدیریت، آنالیز، نمایش، و گرفتن خروجی به صورت مدل مجازی شهر سه‌بعدی، از استاندارد CityGML است (Yao et al, ۲۰۱۸). با استفاده از این نرم‌افزار مدل داده CityGML به فرمت gltf که قابل پذیرش توسط Cesium می‌باشد، تبدیل شده‌است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

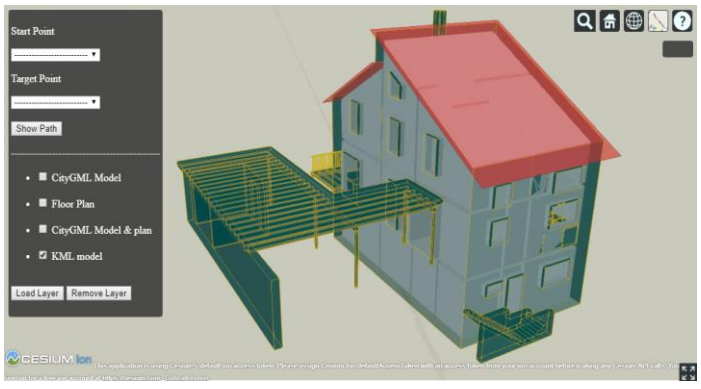
نکته قابل ذکر این است که، از نرم‌افزار ۳D CityDB تنها برای تهیه یک مدل قابل نمایش از ساختمان، توسط کتابخانه Cesium استفاده شده‌است، و پردازش مدل داده CityGML مستقیما روی خود مدل داده و توسط موتور نرم‌افزار توسعه داده شده در پژوهش حاضر روی سرور انجام شده‌است.

شرح و تفسیر نتایج

با توجه به جدید بودن مدل داده CityGML، دسترسی به مدل‌های طراحی شده با این فرمت و بخصوص در سطح جزئیات چهار، محدود می‌باشد، بنابراین، بمنظور اثبات کارایی فرایند پردازش مدل داده CityGML طراحی شده و آزمودن وب اپلیکیشن طراحی شده در این پژوهش، از مدل داده FJK-House CityGML LOD٤ که دارای یک ساختار استاندارد از این نوع مدل داده در سطح جزئیات چهار است و مربوط به یک ساختمان مسکونی سه طبقه می‌باشد، استفاده شده‌است. نماهای مختلف از این مدل داده در شکل شماره ۸ نمایش داده شده‌است.

شکل ۸: مدل داده CityGML استفاده شده از زاویه‌های متفاوت.

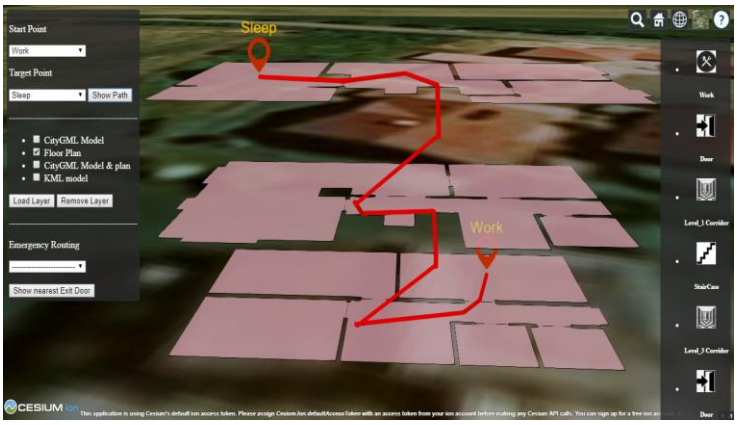
همانطور که قبلا نیز بیان شده‌است، این سیستم یک گراف مسیریابی را به طور اتوماتیک با استفاده از مدل داده CityGML ایجاد می‌کند و با دریافت نقطه شروع و پایان از کاربر، مسیر موجود بین آنها را در یک فضای سه‌بعدی نمایش می‌دهد. رابط کاربری طراحی شده برای این سیستم در شکل شماره ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹: امکان بارگذاری داده‌های مکانی مختلف و استفاده از نقشه‌های پایه متفاوت در محیط نرم‌افزار.

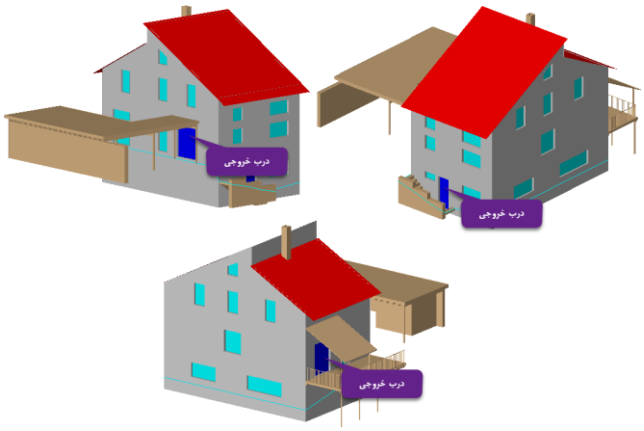
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]



شکل ۱۰: ارائه مسیر و راهنمای توصیفی به کاربر.

همانطور که در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود رابط کاربری سیستم طراحی شده، شامل یک محیط سه-بعدی برای نمایش داده، و با قابلیت تغییر نقشه پایه، و یک پنل کاربری می‌باشد. پنل کاربری نیز شامل دو بخش بمنظور واردسازی داده مورد نظر به محیط سه‌بعدی و انجام مسیریابی در فضای مدل وارد شده می‌باشد. در بخش ورودی، داده مورد نظر انتخاب شده و به محیط سه‌بعدی وارد می‌شود. در بخش دوم پنل کاربری نیز، امکان مسیریابی در فضای داخلی ساختمان به کاربر داده شده‌است. در این قسمت کاربر با انتخاب مبدا و مقصد خود از لیست‌هایی که در اختیار او قرار گرفته است، و ارسال درخواست خود به سرور، مسیر موجود بین مبدا و مقصد انتخاب شده را، دریافت خواهد کرد. نمونه ارائه مسیر محاسبه شده به کاربر به همراه راهنمای توصیفی، در شکل شماره ۱۰ نمایش داده شده-است. مدل ناوبری ارائه شده در این پژوهش، در مسیریابی در شرایط اضطراری نیز آزمایش شده‌است. بدین منظور بخشی با عنوان مسیریابی اضطراری در رابط کاربری طراحی شده‌است که با دریافت موقعیت کاربر، نزدیک‌ترین راه خروج از ساختمان را برای او نمایش می‌دهد. موقعیت خروجی‌های مدل ساختمانی مورد مطالعه، در شکل شماره ۱۱ آورده شده‌است و همانطور که در شکل شماره ۱۲ نیز مشاهده می‌شود، این سیستم در وضعیت خروج اضطراری نیز عملکرد خوبی داشته است.



شکل ۱۱: خروجی‌های مدل ساختمانی مورد مطالعه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

شکل ۱۲: مسیر محاسبه شده از موقعیت کاربر تا نزدیکترین خروجی ساختمان.

از ویژگی‌های سیستم طراحی شده، تحت مرورگر بودن آن است، در نتیجه امکان اجرای این وب اپلیکیشن روی تمام وسایلی که به وب متصل می‌شوند و دارای یک مرورگر مثل اکسپلورر, کروم, فایرفاکس و ...هستند وجود دارد. بعلاوه این سیستم از سرعت مناسبی برخوردار است، بطوریکه متوسط زمان انتظار برای بارگذاری رابط گرافیکی در سمت کاربر ۷/۰۳ میلی‌ثانیه، متوسط زمان انتظار برای اجرای ماژول پردازش مدل داده CityGML، ۱۲/۴۳ ثانیه، و متوسط زمان اجرای ماژول مسیریابی ۲/۴۴ ثانیه است که در موقع بحران های طبیعی و همچنین آتش سوزی و .. به سرعت به کاربر مسیر خروجی میدهد. در این سیستم، ارائه مسیر و نمایش در فضای سه‌بعدی انجام می‌شود که باعث درک بهتر از محیط توسط کاربر می‌شود، بعلاوه استفاده از کتابخانه Cesium باعث شده‌است که امکان انتخاب انواع نقشه‌های پایه در این نرم‌افزار وجود داشته باشد. علاوه بر مسیر ارائه شده به کاربر، یک راهنمای توصیفی نیز در اختیار او قرار می‌گیرد، که در این راهنما، هر فضا با توجه به کاربری آن، با یک سمبل نمایش داده می‌شود، که باعث درک بهتر کاربر از مسیر شده‌است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش‌های انجام شده، تامین اطلاعات مورد نیاز برای تولید گراف مسیریابی، بعنوان یکی از چالش‌های موجود در ناوبری فضای بسته مطرح شده‌است. در بعضی از مطالعات، گراف مسیریابی با استفاده از محیط‌های طراحی سه‌بعدی، مانند ArcScene و CityEngine تولید شده‌است و در بعضی دیگر که گراف، از مدل داده استخراج شده‌است، معمولا اطلاعات مربوط به اتصال طبقات از طریق آسانسور یا راه‌پله و اطلاعات مفهومی مانند کاربری اتاق و ...، بصورت جداگانه به فرایند تولید گراف اضافه شده‌است. در واقع در اجرای فرایند مسیریابی در فضای داخلی ساختمان، جای خالی روشی بمنظور استخراج اتوماتیک چنین اطلاعاتی بطور مستقیم از مدل داده، حس می‌شود. الگوریتم ارائه شده در این پژوهش، با پردازش مستقیم مدل داده CityGML، گراف مسیریابی را از آن، بصورت اتوماتیک استخراج کرده‌است که باعث کاهش خطای انسانی در فرایند تولید گراف می‌شود، و نیازی نیست که دائما انواع مدل‌های داده را به یکدیگر تبدیل کرد و علاوه بر آن، بدیهی است فرایندی که بصورت دستی اجرا شود زمانبر نیز خواهد بود، و اتوماتیک شدن آن باعث کاهش این زمان نیز خواهد شد. این مسئله با توجه به اینکه مدل داده CityGML یک مدل داده جدید و در حال توسعه است و تنها توسط معدودی از نرم‌افزارهای تجاری موجود در بازار پشتیبانی می‌شود، حائز اهمیت می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

بعلاوه نقطه قوت دیگر سیستم ناوبری طراحی شده، عدم وابستگی آن به محیطهای نرم‌افزاری دسکتاپ بوده و تنها ابزار مورد نیاز برای استفاده از این وب اپلیکیشن، یکی از مرورگرهای رایج وب می‌باشد. این سیستم را می‌توان با اهداف مختلف شخصی‌سازی (customize) کرد. بعنوان مثال همانطور که در نتایج مربوط به خروجی سیستم نیز مشاهده می‌شود، می‌توان خروج اضطراری جمعیت در شرایط بحرانی، مانند زلزله, آتش‌سوزی و ...، را با استفاده از این سیستم ناوبری، و با ارائه کوتاهترین مسیر خروج از ساختمان به افراد، مدیریت کرد.

منابع

Afyouni, I.; C. Ray, and C. Claramunt. ۲۰۱۲. Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. *Journal of Spatial Information Science,*٤(٤): ٨٥-١٢٣. **DOI** ١٠,٥٣١١/josis.٢٠١٢,٤,٧٣

Boguslawski, P.; C. M. Gold, and H. Ledoux. ٢٠١١. Modelling and analysing ٣D buildings with a primal/dual data structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,*٦٦(٢): ١٨٨-١٩٧. **DOI** ١٠,١٠١٦/j.isprsjprs.٢٠١٠,١١,٠٠٣

Boguslawski, P.; L. Mahdjoubi, V. Zverovich, and F. Fadli. ٢٠١٦. Automated construction of variable density navigable networks in a ٣D indoor environment for emergency response. *Automation in Construction,*٧٢(٢): ١١٥-١٢٨. **DOI** ١٠,١٠١٦/j.autcon.٢٠١٦,٠٨,٠٤١

Cesium. ٢٠١٩. CesiumJS - Geospatial ٣D Mapping and Virtual Globe Platform. Retrieved January ١٩, ٢٠١٩, from https://cesiumjs.org/

Diakite´, A. A.; S. Zlatanova, and K. J. Li. ٢٠١٧. ABOUT THE SUBDIVISION OF INDOOR SPACES IN INDOORGML. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial,* **IV-٤/W٥**: ٤١-٤٨. **DOI** https://doi.org/١٠,٥١٩٤/isprs-annals-IV-٤-W٥-٤١-٢٠١٧

Goetz, M. ٢٠١٢. Using Crowdsourced Indoor Geodata for the Creation of a Three-Dimensional Indoor Routing Web Application. *Future Internet,*٤(٢): ٥٧٥-٥٩١. **DOI** ١٠,٣٣٩٠/fi٤٠٢٠٥٧٥

Isikdag, U.; S. Zlatanova, & J. Underwood. ٢٠١٣. A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems,*٤١: ١١٢-١٢٣. **DOI** ١٠,١٠١٦/j.compenvurbsys.٢٠١٣,٠٥,٠٠١

Jamali, A.; A. A. Rahman, P. Boguslawski, P. Kumar, and C. M. Gold. ٢٠١٧. An automated ٣D modeling of topological indoor navigation network. *GeoJournal,*٨٢(١): ١٥٧-١٧٠. **DOI** https://doi.org/١٠,١٠٠٧/s١٠٧٠٨-٠١٥-٩٦٧٥-x

Khan, A. A.; A. Donaubauer, and T. H. Kolbe. ٢٠١٤. A multi-step transformation process for automatically generating indoor routing graphs from existing semantic ٣D building models. In *Conference Chairs of 3DGeoInfo in Karlsruhe/ Germany*. Retrieved January ١٩, ٢٠١٩, from https://mediatum.ub.tum.de/doc/١٢٣١٢٥٦/٩٣٩٤٧٧.pdf

Kim, K.; and J. P. Wilson. ٢٠١٥. Planning and visualising ٣D routes for indoor and outdoor spaces using CityEngine. *Journal of Spatial Science,*٦٠(١): ١٧٩-١٩٣. **DOI** ١٠,١٠٨٠/١٤٤٩٨٥٩٦,٢٠١٤,٩١١١٢٦

Krūminaitė, M.; and S. Zlatanova. ٢٠١٤. Indoor space subdivision for indoor navigation. *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*. **DOI** ١٠,١١٤٥/٢٦٧٦٥٢٨,٢٦٧٦٥٢٩

Lee, J. ٢٠٠٤. A Spatial Access-Oriented Implementation of a ٣-D GIS Topological Data Model for Urban Entities. *GeoInformatica,*٨(٣): ٢٣٧-٢٦٤. **DOI** ١٠,١٠٢٣/b: gein.٠٠٠٠٠٣٤٨٢٠. ٩٣٩١٤.d٠

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

Liu, L. ۲۰۱۷. Indoor semantic modelling for routing: The two-level routing approach for indoor navigation. *A BE | Architecture and the Built Environment*,۱۷: ۱-۲۵۲. **DOI** https://doi.org/۱۰,۷٤۸۰/abe.۲۰۱۷,۱۷,۱۸۷۹

Makdoom, U. (master's thesis). ۲۰۱۵. *3D Indoor Routing and Visualization for the University of Redlands*. University of Redlands, Redlands

Nagel, C. (Doctoral thesis). ۲۰۱٤. *Spatio-semantic modelling of indoor environments for indoor navigation*. Technische Universität, Berlin

OGC. ۲۰۱۹. CityGML | OGC - The Open Geospatial Consortium. Retrieved January ۱۹, ۲۰۱۹, from http://www.opengeospatial.org/standards/citygml

Open Geospatial Consortium. ۲۰۱۲. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Version: ۲,۰,۰. Retrieved January ۱۹, ۲۰۱۹, from https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=٤۷۸٤۲

Ozdenizci, B.; V. Coskun, and K. Ok. ۲۰۱۵. NFC Internal: An Indoor Navigation System. *Sensors*,۱۵(٤): ۷۵۷۱-۷۵۹۵. **DOI** ۱۰,۳۳۹۰/s۱۵۰٤۰۷۵۷۱

Petrenko, A. (master's thesis). ۲۰۱۳. *Generation of an Indoor Navigation Network for the University of Saskatchewan*. University of Saskatchewan, Saskatchewan

Tang, S. J.; Q. Zhu, W. W. Wang, and Y. T. Zhang. ۲۰۱۵. Automatic Topology Derivation From Ifc Building Model For In-Door Intelligent Navigation. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,**XL-٤/W۵**: ۷-۱۱. **DOI** ۱۰,۵۱۹٤/isprsarchives-xl-٤-w۵-۷-۲۰۱۵

Tashakkori, H.; A. Rajabifard, and M. Kalantari. ۲۰۱۵. A new ۳D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation. *Building and Environment*,۸۹: ۱۷۰-۱۸۲. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.buildenv.۲۰۱۵,۰۲,۰۳٦

Teo, T.; and K. Cho. ۲۰۱٦. BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning. *Advanced Engineering Informatics*,۳۰(۳): ۲٦۸-۲۸۲. **DOI** ۱۰,۱۰۱٦/j.aei.۲۰۱٦,۰٤,۰۰۷

Tsiliakou, E.; and E. Dimopoulou. ۲۰۱٦. ۳D Network Analysis For Indoor Space Applications. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*,**XLII-۲/W۲**: ۱٤۷-۱۵٤. **DOI** ۱۰,۵۱۹٤/isprs-archives-xlii-۲-w۲-۱۴۷-۲۰۱۶

Wallis, W. D. (۲nd Eds.). ۲۰۰۷. *A Beginner's Guide to Graph Theory*. Birkhäuser, Boston

Worboys, M. ۲۰۱۱. Modeling indoor space. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*. Retrieved January ۱۹, ۲۰۱۹. **DOI** ۱۰,۱۱٤۵/۲۰۷۷۳۵۷,۲۰۷۷۳۵۸

Xu, M.; I. Hijazi, A. Mebarki, R. E. Meouche, and M. Abunemeh. ۲۰۱٦. Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*,۷(Sup۱): ٤۷-۵٦. **DOI** ۱۰,۱۰۸۰/۱۹٤۷۵۷۰۵,۲۰۱٦,۱۱۸۱۳٤۳

Yang, L.; and M. Worboys. ۲۰۱۱. Similarities and differences between outdoor and indoor space from the perspective of navigation. In *Mike Worboys Space and Sound*. Retrieved January ٤, ۲۰۱۸, from http://worboys.org/publications/sigspatial ۲۰۱۱.pdf

Yang, L.; and M. Worboys. ۲۰۱۵. Generation of navigation graphs for indoor space. *International Journal of Geographical Information Science*,۲۹(۱۰): ۱۷۳۷-۱۷۵٦. **DOI** https://doi.org/۱۰,۱۰۸۰/۱۳٦۵۸۸۱٦,۲۰۱۵,۱۰٤۱۱٤۱

Yao, Z.; C. Nagel, F. Kunde, G. Hudra, P. Willkomm, A. Donaubauer, . . ., T. H. Kolbe. ۲۰۱۸. ۳DCityDB - a ۳D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]

semantic ۳D city models based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards,*۳(۱). **DOI** ۱۰,۱۱۸٦/s٤۰۹٦٥-۰۱۸-۰۰٤٦-۷

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-18]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.2.67]