استخراج گراف ناوبری بازار تاریخی سرپوشیده تبریز برمبنای استاندارد IndoorGML

ندا کفاش چرندابی[۱]

[۱] استادیار گروه نقشه‌برداری - دانشکده فنی مهندسی مرند - دانشگاه تبریز
n_kaffash@tabrizu.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۷، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۷)

چکیده

کاربران زیادی در سراسر دنیا از خدمات سامانه‌های راهیابی عابرین پیاده و وسایل نقلیه استفاده می‌کنند. به دلیل طراحی و ساخت سازه‌های بزرگ و پیچیده، راهیابی در داخل ساختمان نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. عناصر فضاهای داخلی (شامل انواع اتاق، راهرو، دیوار، درب، آسانسور و غیره) با المان‌های فضاهای خارجی تفاوت زیادی دارند؛ لذا گام نخست در راهیابی داخل ساختمان استخراج گراف ناوبری این فضاها می‌باشد. گراف به دست‌آمده از فضاهای داخلی، به دلیل تنوع عوامل موثر در راهیابی افراد گوناگون، خود دارای معیارهای متنوعی می‌باشد. در نتیجه جمع‌آوری و انتساب این معیارها به گراف ناوبری و مسیریابی برپایه ویژگی‌ها و علایق هر کاربر مراحل بعدی مسیریابی را تشکیل می‌دهد. تحقیق حاضر به استخراج گراف ناوبری بازار تاریخی شهر تبریز برمبنای ضوابط استاندارد IndoorGML و مسیریابی در آن می‌پردازد. بازار تبریز دارای بیش از ۸۱۰۰ المان داخلی شامل مغازه، سرا، تیمچه، راسته، دالان، مسجد و مدرسه می‌باشد. پس از ترسیم دوگان گراف برای بخش‌های مختلف بازار با معماری‌های متنوع و پیچیده بر اساس پلان بازار تبریز، خلاصه‌سازی یال‌های به دست‌آمده و حذف یال‌های غیرقابل عبور برای افراد، ۳۶۰ یال اصلی با طول ۹۲۲۶/۷۷ متر و ۳۱۲ گره استخراج شد. پنج معیار طول، عرض، شیب طولی، وجود مانع و پله برای هر یال از طریق مشاهدات میدانی جمع‌آوری و ذخیره شد. سپس بطور نمونه، مسیریابی برای کاربران عادی و کاربران دارای صندلی چرخ‌دار ارزیابی و مقایسه شد. نتایج حاکی از نامطلوب بودن ۴۳ درصدی یال-ها برای تردد افراد دارای صندلی چرخ‌دار و عدم دسترسی آنان به هفت درصد از بخش‌های اصلی بازار می‌باشد.

واژگان کلیدی: فضای داخلی، گراف ناوبری، بازار تبریز، مسیریابی، IndoorGML

۱- مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های مهم در بحث ترافیک، تسهیل و بهبود هدایت افراد می‌باشد. مسائل مسیریابی به دو دسته کلی مسیریابی در خارج و داخل ساختمان[۱] تقسیم می‌شود. مسئله مسیریابی در خارج ساختمان و بطور ویژه برای وسایل نقلیه و عابرین پیاده یکی از شناخته‌شده‌ترین مسائل بهینه‌سازی می‌باشد که مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [۱]. مسیریابی داخل ساختمان با هدف مسیریابی داخل فضاهای بسته مثل موزه‌ها، مراکز تجاری، فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها، دانشگاه‌ها و غیره در سالهای اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. ضرورت بررسی اینگونه از مسائل به دلیل پیچیده بودن ساختار داخلی فضاهای بسته و عدم شناخت کاربران از آنها به ویژه گردشگران بر همگان آشکار می‌باشد [۲].

برای نمایش فضای داخلی بناهای مختلف از پلان استفاده می‌شود. پلان نقشه بزرگ مقیاس برای نمایش جزئیات معماری بناها؛ نظیر اتاق‌ها، دیوارها، راه‌پله، آسانسور و غیره است. برای نمایش پلان به صورت مدل مکانی، از هر دو مدل رستری و برداری می‌توان بهره جست. در مدل رستری، اجزای فضا به کمک سلول‌های منظم با موقعیت مشخص (x,y,z) و شناسه مشخص (مثلا شماره هر اتاق) قابل نمایش است. در مدل برداری به کمک نقطه، خط و چندضلعی؛ خصوصیات مکانی این اجزا و روابط هندسی میان آنها نشان داده می‌شود. با توجه به اهمیت روابط هندسی در برقراری ارتباط بین اجزای مختلف، مدل برداری برای مسیریابی مناسب‌تر است. از بین مدل‌های برداری مختلف، مدل گراف به دلیل نمایش ساده، خلاصه و صریح روابط هندسی ارجحیت دارد [۳].

بنابراین گام نخست برای راهیابی در فضاهای داخلی، تهیه گراف ناوبری این فضاها می‌باشد. گرافی که یال‌ها نشان‌دهنده راه‌ها و گره‌ها نشان‌دهنده تقاطع‌ها، نقاط تصمیم‌گیری یا سایر نقاط پراهمیت است. جهت استخراج این گراف از فضاهای بسته، OGC[۲] یک استاندارد تحت عنوان استاندارد IndoorGML[۳] ارائه کرده است. هدف این استاندارد طراحی مدل داده برای ناوبری داخل ساختمان به کمک توصیف اجزای مختلف، اتصالات، همسایگی، خصوصیات هندسی و معنایی آنها است [۲].

استاندارد IndoorGML به عنوان یک مدل متن باز و مبتنی بر XML[۴] قابلیت مناسبی برای ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های گوناگون از فضای داخلی را دارا می‌باشد. در این استاندارد، کلاس‌های مختلفی برای عوارض ثابت و متحرک موجود در فضای داخلی تعریف می‌شود و از فضاهای داخلی اولیه، دوگان گراف ساخته می‌گردد. دوگان گراف می‌تواند بصورت توپولوژیک (فقط نشان دهنده اتصالات) یا ژئوتوپولوژیک (نشان دهنده اتصالات و هندسه) تعریف شود [۲، ۳].

ساخت گراف ناوبری داخل ساختمان در تحقیقات متعددی مورد توجه قرار گرفته است. Stoffel و همکارانش در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به بررسی ساخت گراف ناوبری به صورت سلسله مراتبی پرداختند. مدلسازی معنایی عناصر فضای داخلی مبنای کار آنان قرار داشت [۴، ۵]. در تحقیق Yang و Worboys یک مدل جامع برای ساخت گراف ناوبری فضاهای داخلی ارائه شد. در این تحقیق بر پایه استاندارد IndoorGML و به کمک دوگان گراف، برای عناصر معماری یک ساختمان تک طبقه، گراف ناوبری استخراج گردید [۲]. Boguslawski و همکارانش به مدلسازی و تحلیل سه بعدی ساختمان‌ها پرداختند و به صورت ضمنی دوگان گراف فضاهای داخلی را نیز مورد بررسی قرار دادند [۶].

برخی از محققان نیز برای ساخت گراف از مفاهیم دیگری استفاده کردند. Xu و همکارانش برای ناوبری داخل ساختمان از چندضلعی دلونی [۷] استفاده کردند. بدین ترتیب که پس از اتصال نقاط اصلی هریک از عناصر موجود داخل ساختمان و تشکیل شبکه مثلث‌بندی، عمود منصف اضلاع ترسیم شده و شبکه دلونی تشکیل شد. سپس یال‌هایی که از دیوار رد می‌شدند به دلیل غیرقابل عبور بودن برای کاربران، حذف شدند [۸].

Yuan و همکارانش به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ساختمان‌ها پرداختند. ایشان برای بررسی فضای داخلی مدل رستری را مورد ارزیابی قرار دادند. لیکن علیرغم مزایای این مدل در هم‌پوشانی لایه‌ها، به دلیل محدودیت در ابعاد پیکسل و همسایگی‌ها (۴ همسایه اصلی یا ۸

---

۱ Outdoor and Indoor Navigation
۲ Open Geospatial Consortium
۳ Indoor Geographic Markup Language
٤ eXtensible Markup Language

همسایه اصلی و فرعی) با استقبال زیادی مواجه نشد [۹]. لذا مدل‌های گراف مبنا به دلیل حجم پائین، عدم محدودیت در جهت حرکت و شناسایی روابط هندسی در تهیه گراف ناوبری داخل ساختمان موثرتر بوده‌اند. در همین راستا مطالعه‌ای توسط Franz و همکارانش برای مقایسه انواع مدل‌های گراف مبنا انجام شده است [۱۰]. همچنین در برخی از تحقیقات نیز اتوماتیک‌سازی فرآیند تولید گراف و استخراج روابط توپولوژیکی مورد توجه قرار گفته است [۱۱].

در تحقیق [۱۲] استخراج گراف ناوبری داخل ساختمان به صورت اتوماتیک از روی عکس نقشه‌های معماری که محل درها با رنگ سبز مشخص شده، انجام یافته است. Mortari در پایان نامه خود استخراج گراف ناوبری داخل ساختمان، برپایه استاندارد IndoorGML به کمک الگوریتم‌هایی نظیر روش در تا در[۱] را مورد بررسی قرار داده است [۱۳]. در تحقیق Mirvahabi و Abbaspour یک چارچوب برمبنای کدنویسی در جاوا برای استخراج گراف داخل ساختمان دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه تهران برپایه استاندارد IndoorGML پیشنهاد شده است. در این تحقیق گراف ناوبری بر مبنای داده‌های OSM[۲] تهیه شده و در قالب کدهای XML ارائه شده است [۱۴].

هدف اصلی این تحقیقات تمرکز به استخراج اتوماتیک گراف ناوبری داخل ساختمان و پیدا کردن کوتاهترین مسیر بوده است. در حالی که در سالهای اخیر مسیریابی بر پایه معیارهای گوناگون و برای کاربران مختلف اهمیت فراوانی پیدا کرده است. به عنوان نمونه مسیر انتخابی برای یک فرد با صندلی چرخدار بسیار متفاوت از افراد عادی می‌باشد. این مسئله در ناوبری خارج ساختمان مورد بررسی قرار گرفته، لیکن تحقیقات کمتری در ناوبری داخل ساختمان به این مسئله پرداخته‌اند.

Hasemi و Karimi در تحقیق خود به استخراج گراف ناوبری یک ساختمان چند طبقه پرداختند. سپس با توجه به ضوابط تصویب شده برای تردد صندلی چرخدار، به هدایت این نوع از کاربران در شرایط اضطراری پرداختند. به بیان ساده‌تر در این تحقیق بجای مسیر کوتاهتر، کوتاهترین مسیر ممکن برای هر کاربر با توجه به عرض معبر، شیب طولی، شیب عرضی و وضعیت پاگرد پله‌ها انتخاب شده است [۱]. Turhanlar و همکارانش نیز به غیر ممکن بودن خروج اضطراری افراد دارای صندلی چرخدار از راهروهای باریک ساختمان‌های چند طبقه پرداخته‌اند و چالش‌های خروج از طریق آسانسور را مورد توجه قرار داده‌اند [۱۵].

تحقیقات انجام یافته در این حیطه به بررسی ساختمان‌هایی با المان‌های معماری مشخص و اندک پرداخته‌اند که تعداد مسیرهای ممکن بسیار محدود بوده است. حال آنکه با افزایش ابعاد و پیچیدگی فضاهای داخلی، تشکیل گراف ناوبری با چالش‌های متعددی روبرو شده و ضرورت هدایت و مسیریابی برای کاربران مختلف افزایش می‌یابد.

بنابراین تحقیق حاضر در حیطه ناوبری داخل ساختمان به دو مسئله مهم می‌پردازد. مسئله اول، تهیه گراف ناوبری یکی از وسیع‌ترین و پیچیده‌ترین بناهای سرپوشیده جهان، بازار تاریخی تبریز، بر پایه اصول و ضوابط استاندارد IndoorGML است. اجزای مختلف این بازار و وسعت زیاد آن تفاوت معناداری با تحقیقات پیشین داشته و بر ضرورت بررسی آن تاکید دارد. مسئله دوم، جمع‌آوری معیارهای لازم برای ناوبری افراد معلول و مسیریابی برای آنان پس از استخراج گراف ناوبری در این فضا می‌باشد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- استاندارد IndoorGML

برای استخراج گراف ناوبری از فضای داخلی سه سوال اصلی مطرح می‌گردد. به این صورت که ۱) چه المان‌هایی از فضای داخلی باید در گراف نشان داده شود؟ ۲) در مدل گراف گره‌ها و یال‌ها نشان دهنده چه می‌باشند؟ و ۳) چه داده‌هایی بایستی در جدول اطلاعات توصیفی گراف ذخیره شود؟ [۱، ۲، ۳] برای پاسخ به این سه سوال، در ابتدا باید با تعاریف و اصطلاحات موجود در استاندارد IndoorGML آشنا شد. برخی از مهمترین این تعاریف به شرح ذیل می‌باشد [۳].

[۱] door-to-door approach
[۲] OpenStreetMap

- فضای داخلی[۱]: فضای بسته متشکل از یک یا چند ساختمان به همراه اجزای معماری (در، اتاق، پله و غیره) آنها است.
- فضای مختصات[۲]: یک فضا که تعیین کننده مختصات است.
- فضای سمبلیک[۳]: فضایی که اجزا آن به کمک المان-های سمبلیک (نمادین) نشان داده می‌شود.
- گراف گره- یال[۴]: گراف G(V, E) که در آن V مجموعه گره‌ها برای نمایش اجزا فضای داخلی و E مجموعه یال‌ها برای نمایش روابط توپولوژیک (اتصال و مجاورت) بین دو گره می‌باشد.
- دوگان گراف[۵]: دوگان گراف G گرافی است که در هر ناحیه از گراف G یک راس دارد. بین دو راس در گراف دوگان یال وجود دارد.
- گراف اتصال[۶]: گرافی که نشان‌دهنده یال‌های قابل عبور بین گره‌های مختلف است. به بیان ساده دو اتاق از طریق دیوار مجاور هم می‌باشند اما به یکدیگر دسترسی ندارند.
- گراف دسترسی[۷]: گرافی که نشان‌دهنده دسترسی بین گره‌های مختلف است. به عنوان مثال درب مابین دو اتاق به دلیل داشتن پله برای یک کاربر دارای صندلی چرخ دار قابل عبور نخواهد بود. لذا اتصال دارد، ولی دسترسی ندارد.

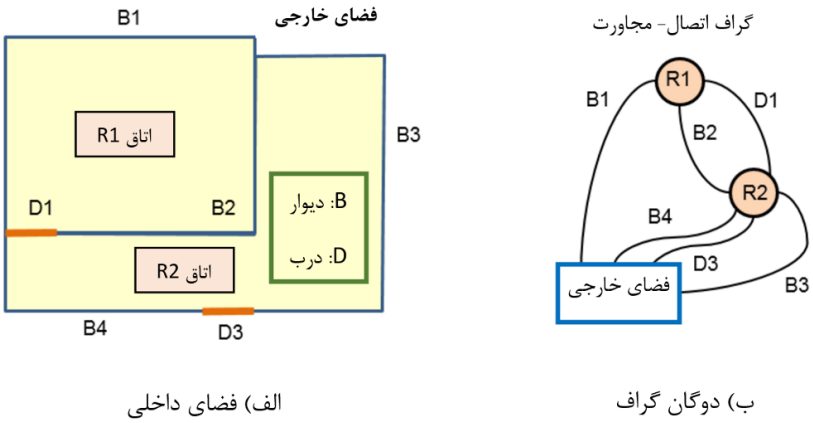
شکل ۱ روند تشکیل گراف از عناصر فضای داخلی را نشان می‌دهد. برای یک فضای داخلی کوچک با عناصر محدود (شکل ۱، الف) دوگان گراف به فرم شکل ۱، ب قابل استخراج است. در دوگان گراف فضاهای داخلی مفروض، مجاورت از نوع دیوار یا در است. لذا بایستی یال-های قابل عبور و غیر قابل عبور در گراف استخراج شده تفکیک گردد (شکل ۱، ج). سپس با توجه به اینکه هدف استخراج گراف ناوبری می‌باشد، بین عناصر ساختمان، یال‌های قابل عبور انتخاب و گراف اتصال ترسیم می‌گردد (شکل ۱، د) [۳].

نکته مهم در ترسیم گراف ناوبری بررسی دسترسی عناصر می‌باشد. به بیان دیگر، بایستی با توجه به شرایط و علایق کاربر، یال‌های اتصال مورد بررسی قرار رفته و درصورتی که برای کاربر هدف قابل عبور باشد در گراف دسترسی ترسیم می‌گردد. نمایش دسترسی می‌تواند با حذف یال‌های نامناسب برای کاربر یا با نمایش قرمز رنگ این‌یال‌ها در گراف دسترسی تفکیک گردد. شکل ۲ گراف دسترسی برای دوگان گراف به دست آمده در شکل ۱ را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه درب D1 برای کاربر قابل عبور نبوده است، این اتصال به دو حالت قطع کامل یال (حالت اول) یا ترسیم با نوع خط دیگر (حالت دوم) نشان داده شده است [۳].

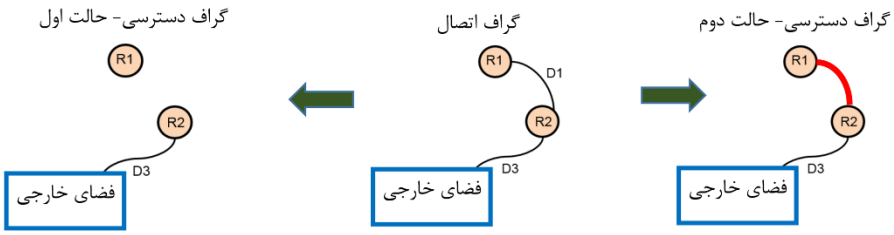
فضای داخلی ممکن است یک، دو یا چند طبقه باشد. در این حالت اتصال طبقات از طریق راه‌پله یا آسانسور برقرار می‌گردد. برای نیل به این امر، پس از ترسیم گراف دسترسی هر طبقه از طریق نمایش یال در محل راه‌پله یا آسانسور، ارتباط بین گراف طبقات برقرار می‌گردد (مطابق شکل ۳) [۱، ۱۶].

همچنین یکی از نیازهای مهم در بررسی ناوبری داخل ساختمان؛ اتصال فضای داخل به فضای خارج از ساختمان می‌باشد. هر فضای داخلی حداقل یک ورودی برای اتصال به فضای خارج از ساختمان دارد، این نقطه (یا نقاط) اتصال تحت عنوان گره لنگر[۸] شناخته می‌شوند [۳]. شکل ۳ نحوه اتصال شبکه ناوبری داخلی به خارجی از طریق گره لنگر را نشان می‌دهد[۱۷]. بایستی توجه داشت که هر دو گراف فضای داخلی و خارجی دارای سیستم مختصات و مقیاس یکسانی باشند تا به درستی این اتصال برقرار گردد [۳، ۱۸].

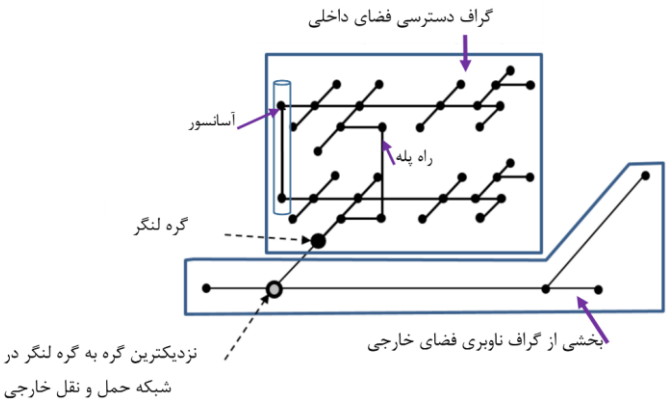
۱ Indoor Space
۲ Coordinates Space
۳ Symbolic Space
٤ Node-Relation Graph
٥ Dual Graph
٦ Connectivity Graph
۷ Accessibility Graph
۸ Anchor Node



شکل ۱- روند تشکیل گراف اتصال از بخش‌های اصلی بازار



شکل ۲- انواع گراف دسترسی حاصل از گراف اتصال



شکل ۳- ارتباط گراف ناوبری فضای داخلی با فضای خارجی

۲-۲- الگوریتم دایجسترا

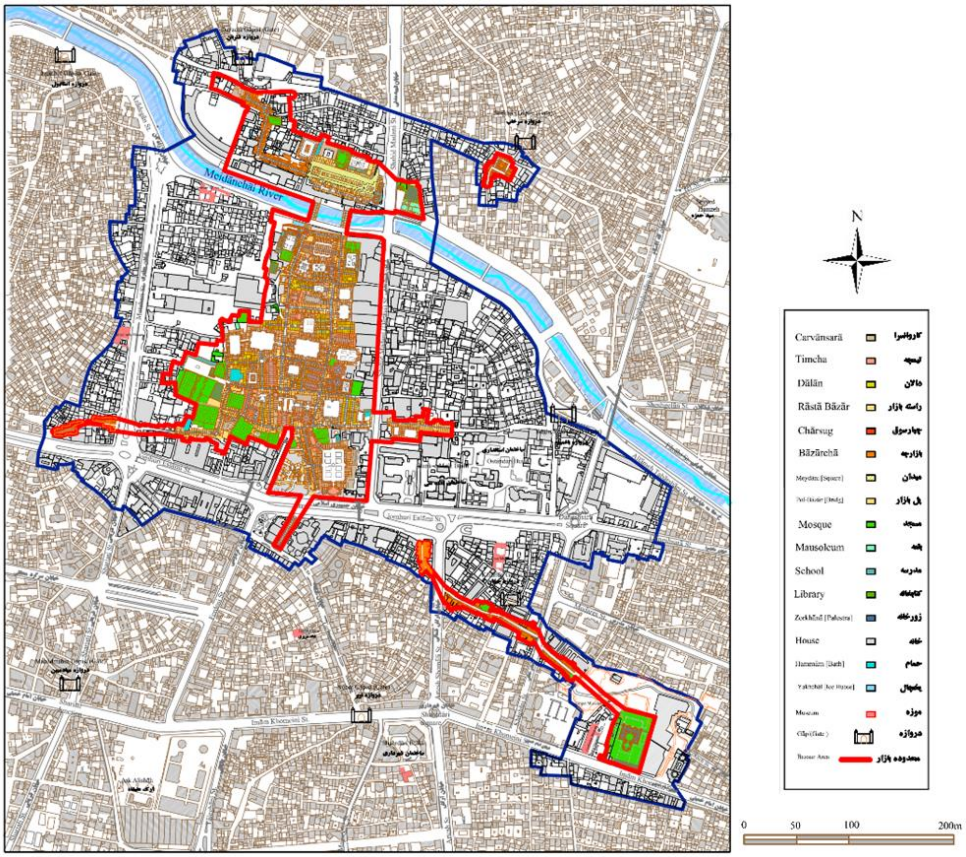
الگوریتم دایجسترا بر پایه مفاهیم گره، یال و جستجوی گراف است که بین دو گره مبدأ و مقصد کم هزینه‌ترین (به عنوان مثال کوتاهترین) مسیر را می‌یابد [۱۹]. این الگوریتم همچنین دارای توانایی یافتن کم هزینه‌ترین مسیر بین دو به دوی گره‌ها می‌باشد. در بیانی ساده، در الگوریتم دایجسترا گرافی با مجموعه گره‌های V و مجموعه یال‌های E تعریف می‌شود ((G(V,E)). زیر مجموعه S شامل گره‌هایی است که کم هزینه‌ترین مسیر آنها نسبت به مبدأ مشخص شده است و V-S سایر گره‌ها را در برمی‌گیرد. مراحل اجرایی این الگوریتم به شرح زیر است [۱۹]:

- گره مبدأ انتخاب می‌شود.
- اندیس گره مبدأ برابر صفر و اندیس سایر گره‌ها برابر بی‌نهایت فرض می‌شود.
- مجموعه S که در ابتدا تهی است و فقط مبدأ با اندیس صفر در آن قرار دارد.
- برای گره‌های مجموعه V-S اندیس معادل طول یال بعلاوه اندیس گره قبلی تعیین می‌گردد.
- اندیس قبلی با اندیس جدید مقایسه شده و گره با اندیس کمتر وارد مجموعه S می‌شود.
- مراحل فوق تا رسیدن به گره مقصد تکرار می‌شود. اندیس گره مقصد همان هزینه گره مبدأ تا گره مقصد می‌باشد.

۳- پیاده‌سازی و ارزیابی

مجموعه بازار سرپوشیده تاریخی تبریز، یکی از میراث-های جهانی کشور ایران است که در سال ۱۳۸۹ در فهرست میراث جهانی یونسکو به ثبت رسیده است [۲۰]. این بازار شامل عناصر مهمی نظیر اماکن مذهبی، مدارس، مراکز تجاری مانند مغازه‌ها، حجره‌ها، انبارها، کاروانسراها، پل-بازار و غیره می‌باشد [۲۱].

بازار تبریز یک شبکه ارتباطی متشکل از تعدادی راسته‌های موازی و متقاطع است که در شکل ۴ نشان داده شده است. این مجموعه با ۲۰ راسته، ۳۵ سرا، ۲۵ تیمچه، ۱۱ دالان، ۹ مدرسه، حدود ۸۰۰۰ مغازه و ۴۰ نوع شغل دارای مساحتی بالغ بر ۲۷ هکتار است [۲۲].

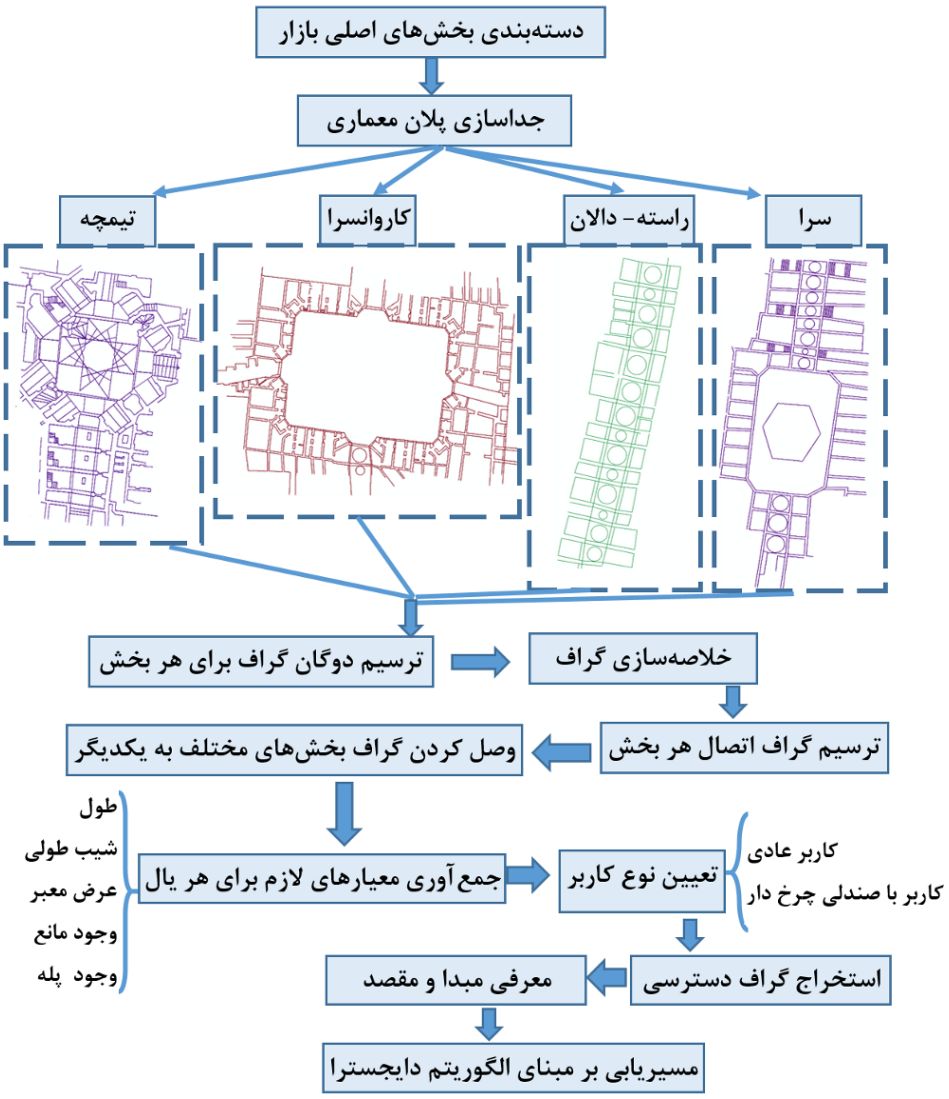


شکل ۴- محدوده بازار تاریخی سرپوشیده تبریز تهیه شده توسط سازمان میراث فرهنگی و صنایع گردشگری

بازارهای تاریخی سرپوشیده ایران به چهار دسته کلی بازارهای خطی، شبکه‌ای، متقاطع و متراکم تقسیم می‌شوند. بازارهای خطی عمدتا از یک راسته (مسیر) اصلی به صورت خطی؛ بازارهای شبکه‌ای از چندین مسیر موازی و متقاطع و از سراهای متعدد؛ بازارهای متقاطع از دو بازار خطی عمود برهم و بازارهای متراکم از راسته‌های متعدد نزدیک به هم تشکیل می‌شوند [۲۳]. در بازارهای خطی و متقاطع به دلیل ساختار ساده، هدایت افراد به سهولت انجام می‌شود. اما در بازارهای شبکه‌ای و متراکم به دلیل وجود مسیرهای متعدد برای رسیدن به مناطق مختلف، ناوبری افراد دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

شهرت جهانی بازار تبریز، ارزش معماری، تاریخی و فرهنگی آن از یک طرف و تنوع کالاها و سوغات از طرف دیگر، سبب شده است که سالیانه گردشگران متعددی به این بازار مراجعه کنند [۲۱]. بازار تبریز به علت داشتن وسعت زیاد و ساختار شبکه‌ای؛ برای افراد مختلف و بطور ویژه برای گردشگران ناشناخته و گمراه کننده است؛ لذا تشکیل گراف ناوبری و هدایت افراد داخل آن از اهمیت بسزایی برخوردار است.

همچنین با توجه به اینکه استاندارد IndoorGML با روابط بین فضاها سروکار دارد و وجود سقف ضرورت ندارد [۳]، لذا با اجزا و شرایط بازار تبریز مطابقت دارد. فقط کافی است که عناصر بازار به دقت شناسایی، اتصالات آنها برقرار و در نهایت گراف دسترسی آن استخراج شود. برای ساخت گراف ناوبری از پلان معماری تهیه شده توسط سازمان میراث فرهنگی و صنایع گردشگری استفاده شد. برای تکمیل اطلاعات مورد نیاز بر روی آن نیز مشاهدات میدانی انجام گردید. تهیه این گراف و مسیریابی در آن مطابق مراحل شکل ۵ می‌باشد.



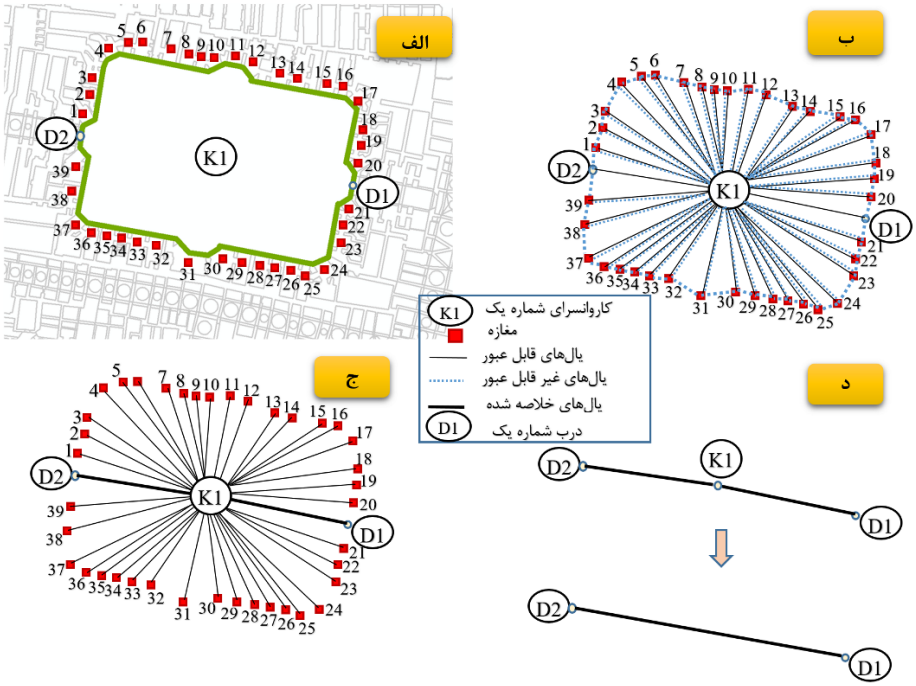
شکل ۵- روندنمای مراحل اجرای تحقیق

۳-۱- استخراج یال‌های اصلی هر قسمت با توجه به مغازه‌ها

بازار تبریز از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که در تحقیق حاضر به چهار بخش راسته و دالان، کاروانسرا، تیمچه و سرا تقسیم شده است. راسته به صورت خطی با ردیف مغازه‌هایی در دو طرف آن است. دالان کمی عریض‌تر از راسته و با طول کمتر می‌باشد که متصل‌کننده فضاهای مختلف بازار به صورت خطی است. به علت رونق راسته‌ها و عدم گنجایش حجره‌ها، در پشت آنها کاروانسراهایی برای عرضه کالا یا انبار آنها به وجود آمدند. تیم به معنای کاروانسرا و تیمچه به معنای کاروانسرای کوچک است. سرا مشابه تیمچه، معمولا روباز و برای معاملات کلی می‌باشد [۲۴]. هر قسمت اصلی از بازار نظیر راسته، کاروانسرا، تیمچه و سرا که از مغازه‌های متعددی تشکیل شده باشد، بایستی در قالب دوگان گراف ترسیم گردد. برای اینکار در ابتدا پلان معماری مربوط به هریک از بخش‌های اصلی بازار جدا شد. که بطور نمونه سرای میرزا جلیل، راسته بازار جدید، کاروانسرای حاج حسین جدید و تیمچه حاج محمد قلی در شکل ۵ نشان داده شده است. سپس دوگان گراف مربوط به هر بخش ترسیم شد.

با توجه به تعدد مغازه‌ها و مبهم شدن گراف، در این تحقیق به ترسیم یال‌های اصلی یا یال‌های خلاصه شده پرداخته شد. منظور از یال اصلی، یال واصل بین درب‌های (ورودی‌های) اصلی راسته، کاروانسرا و تیمچه است. به عنوان مثال در کاروانسرای شکل ۶، الف سی و نه مغازه وجود دارد که طبق استاندارد IndoorGML با فرض چهار وجه برای هر مغازه، سبب تشکیل ۱۵۶ یال می‌گردد. با توجه به وجود یک درب و سه دیوار، این یال‌ها به دو دسته یال‌های قابل عبور و غیرقابل عبور تقسیم می‌شوند که بطور خلاصه در شکل ۶، ب نشان داده شده است.

با توجه به اینکه هدف تحقیق استخراج گراف ناوبری کل بازار است، برای کاهش این پیچیدگی، بطور خلاصه یال‌های قابل عبور شکل ۶، ج به صورت شکل ۶، د ترسیم گردید. با این‌کار پس از هدایت کاربر به هر قسمت، انتقال به مغازه مورد نظر به سادگی انجام می‌گیرد.



شکل ۶- مراحل تشکیل گراف اتصال در هر بخش، با توجه به تعداد و آرایش مغازه‌ها

۳-۲- استخراج یال‌های اصلی هر قسمت با توجه ورودی‌ها

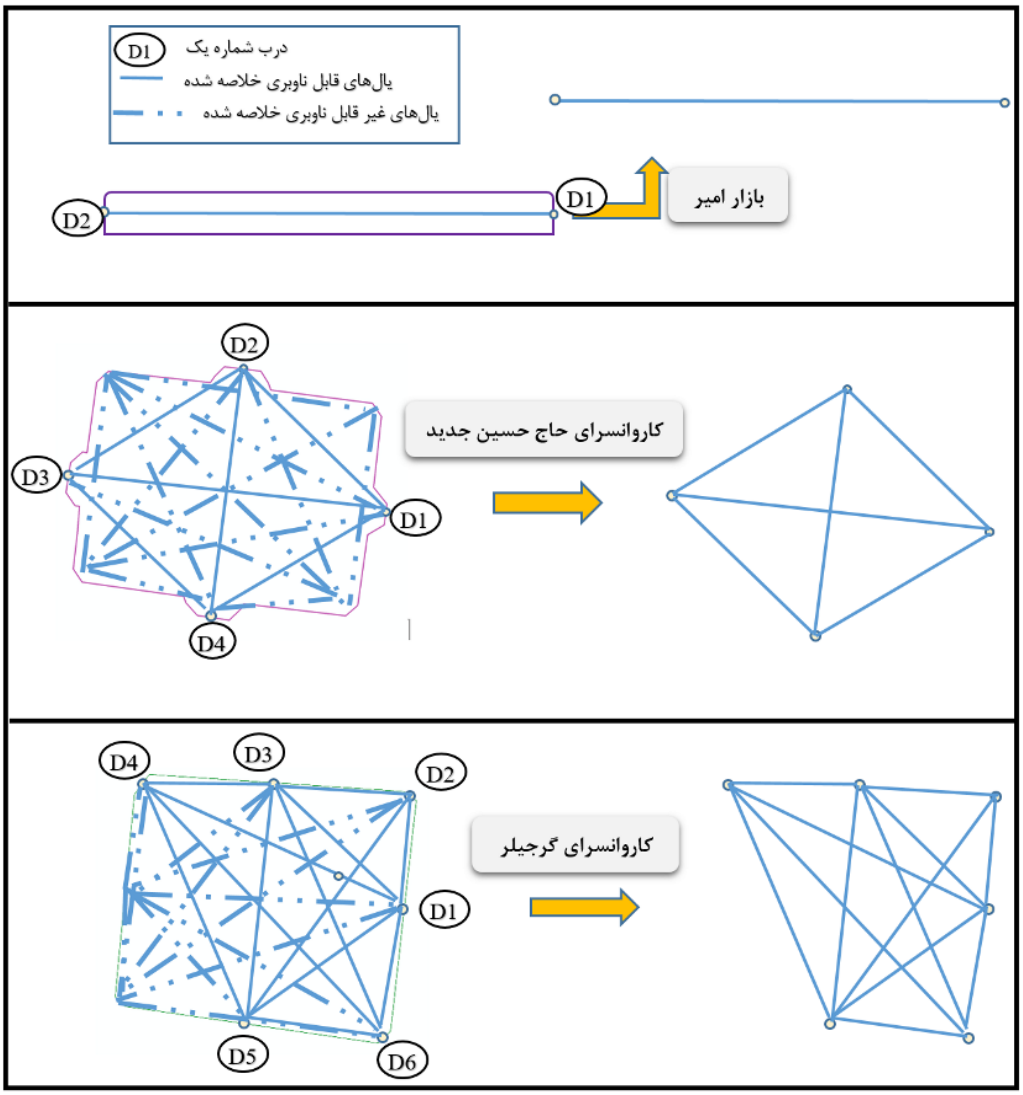
با توجه به اینکه تعداد ورودی‌های هر قسمت متفاوت است، لذا شکل گراف در این قسمت‌ها به ویژه در بخش‌هایی که حالت گذر دارند و به سایر بخش‌ها متصل می‌گردند، بسیار اهمیت دارد. برای روشن شدن مسئله، به عنوان نمونه سه قسمت از بازار به نام بازار امیر، کاروانسرای حاج حسین جدید و کاروانسرای گرجیلر در شکل ۷ نشان داده شده است.

بخش انتخابی از بازار امیر با توجه به وجود دو ورودی اصلی به صورت گراف تک خطی؛ کاروانسرای حاج حسین جدید به علت داشتن چهار ورودی اصلی در ضلع شمالی، شرقی، جنوبی و غربی به صورت گراف شش خطی و کاروانسرای گرجیلر به دلیل داشتن شش ورودی در شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب و شمال غرب کاروانسرا به فرم گراف با ۱۳ یال ترسیم شده است. کدهای XML مربوط به بخش‌های مختلف گراف تولید شده است که به طور نمونه بخشی از کد مربوط به بازار امیر در شکل ۸ نشان داده شده است. این کدها حاوی اطلاعات هندسی مربوط به گره‌ها و توپولوژی مربوط به اتصال یال‌ها می‌باشد.

۳-۳- اتصال قسمت‌های مختلف و تشکیل آبرگراف

پس از بررسی و ترسیم گراف هریک از قسمت‌های بازار، بایستی بین بخش‌های مختلف آن ارتباط برقرار شود تا گراف نهایی استخراج شود. با توجه به اینکه بازار تبریز فاقد طبقات فوقانی و راه‌پله و آسانسور است، اتصال به صورت مسطحاتی انجام شد. لیکن در بخش‌های مختلف بازار تغییرات ارتفاعی وجود دارد که به علت اهمیت این مسئله، به صورت مجزا به عنوان اطلاعات توصیفی برای این گراف ذخیره می‌شود.

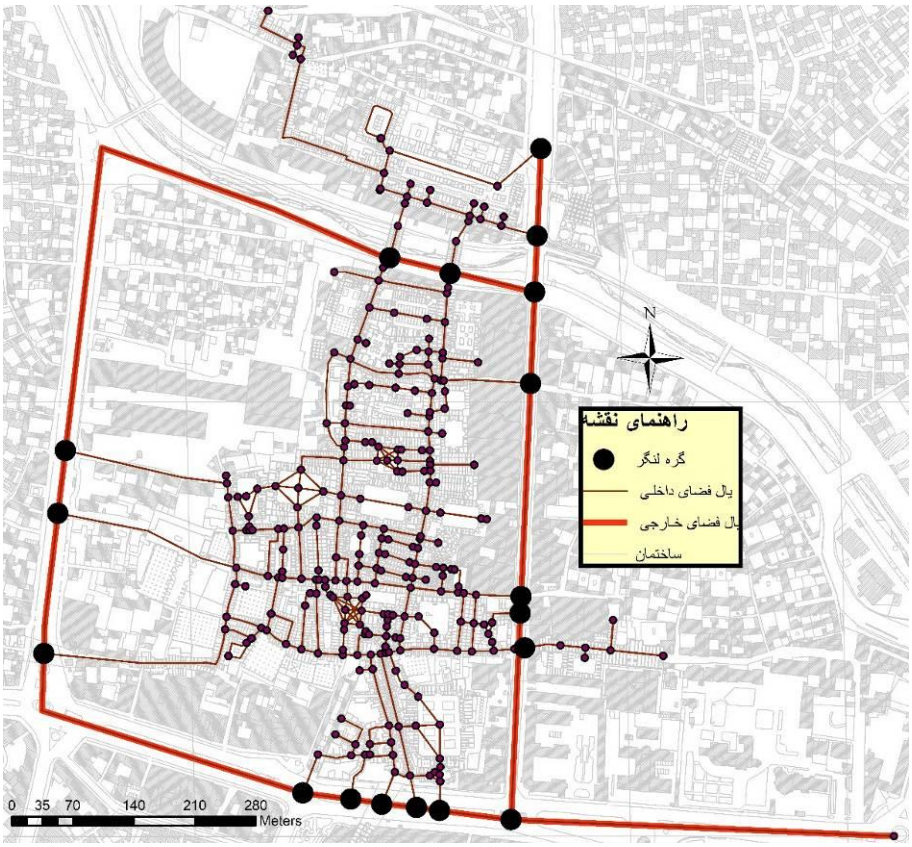
همچنین گراف بازار تبریز (بخش انتخاب شده در این تحقیق) با معابر مجاور (شبکه حمل و نقل خارجی) در ۱۸ نقطه اتصال دارد که تحت عنوان گره‌های لنگر شناسایی و در شکل ۹ نشان داده شد. گراف ناوبری داخل بازار تبریز با ۳۱۲ گره و ۳۶۰ یال دارای طولی در حدود ۹۲۲۶/۷۷ متر می‌باشد. طول زیاد این آبرگراف با بیش از ۶۰ تقاطع سه راه و چهار راه خود مویدی بر ضرورت ناوبری داخل این بازار تاریخی و جاذب گردشگر می‌باشد.



شکل ۷- انواع گراف اتصال در هر بخش، با توجه به تعداد و آرایش ورودی‌های اصلی

```
<indoorcore:State gml:id="R1">
  <gml:description> Amir Bazaari </gml: description >
      <gml:name>101</gml:name>
      <duality gml:id="SR1"/>
      <connects xlink:href="#T1"/>
      <connects xlink:href="#T2"/>
      <connects xlink:href="#T3"/>
      <connects xlink:href="#T4"/>
      <geometry>
        <gml:Point gml:id="P2">
          <gml:pos>613442.472 4215318.893 2.94</gml:pos>
        </gml:Point>
      </geometry>
</indoorcore:State>
```

شکل ۸- بخشی از کدهای XML مربوط به گراف بازار امیر



شکل ۹- اَبرگراف ناوبری داخلی بازار تبریز

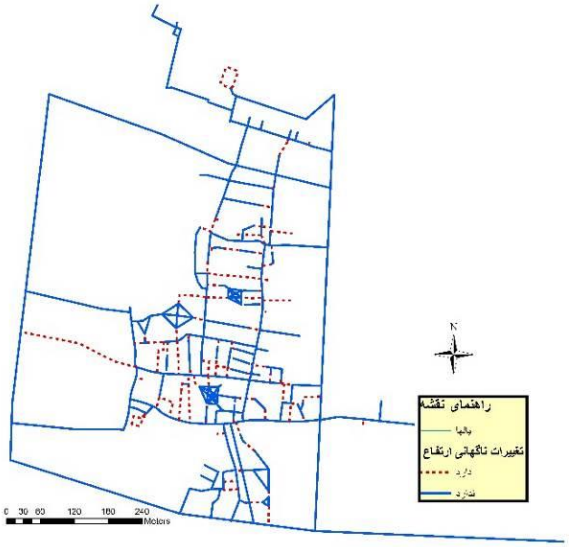
۳-۴- افزودن معیارهای مورد نیاز به گراف

در سال‌های اخیر، ضرورت تعیین بهترین مسیر برای هر کاربر، بر همگان آشکار شده است. چراکه برای تمام کاربران بهترین مسیر، کوتاهترین مسیر نیست و به سبب شرایط و علایق هر کاربر بهترین مسیر می‌تواند کم شیب-ترین مسیر، کم ترافیک‌ترین مسیر، پاک‌ترین مسیر و غیره باشد. در بازار تبریز نیز به سبب مراجعه خیل گسترده افراد با علایق و شرایط گوناگون، این مسئله پراهمیت می-باشد. لذا تعیین معیارهای مختلف بر روی گراف ناوبری آن بسیار ضروری می‌باشد.

در این تحقیق، با توجه به دو دسته از کاربران اصلی بازار که افراد عادی و افراد با صندلی چرخ‌دار می‌باشند؛ علاوه بر طول مسیر، چهار معیار عرض مسیر، شیب طولی راه، وجود مانع و وجود تغییرات ارتفاعی ناگهانی نظیر پله از طریق مشاهدات میدانی جمع‌آوری شد. پس از جمع-آوری داده‌های مورد نیاز و ارزش‌گذاری آنها، اطلاعات در جدول اطلاعات توصیفی یال‌های گراف ذخیره شد. عرض راه در سه کلاس عریض، متوسط و باریک؛ شیب راه در سه کلاس شیب کم، متوسط و زیاد؛ مانع راه و پله در دو کلاس وجود و عدم وجود طبقه‌بندی شدند. نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

الف، انواع مسیرهای گراف بر حسب شیب طولی راه

ب، انواع مسیرهای گراف بر حسب عرض راه



ج، انواع مسیرهای گراف بر حسب تغییرات ناگهانی ارتفاعی

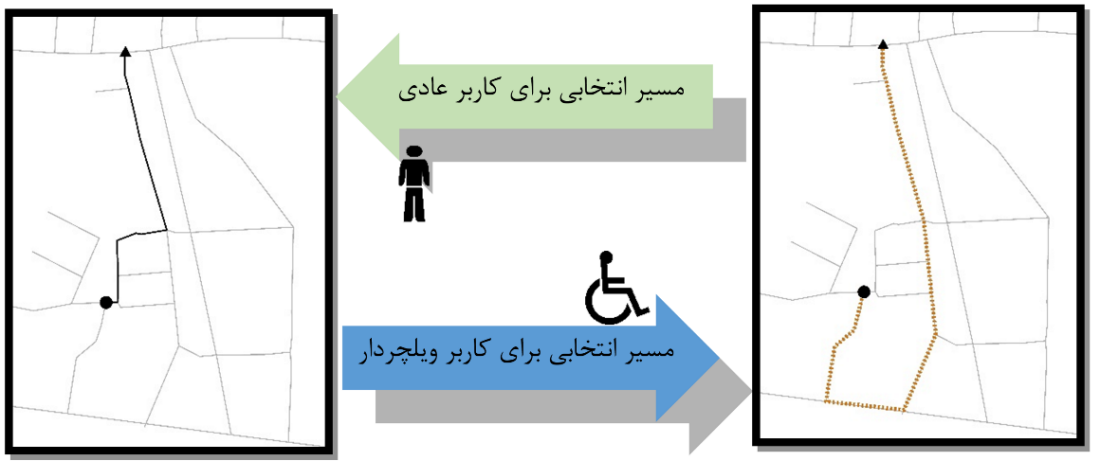
د، انواع مسیرهای گراف بر حسب مانع

شکل ۱۰- نمایش یال‌های آبرگراف بر حسب عوامل موثر در تردد افراد با صندلی چرخ‌دار

با توجه به استانداردهای موجود، عرض‌های کمتر از ۱۲۰ سانتی‌متر، شیب طولی بیشتر از ۸ درصد و تغییرات ارتفاعی بیشتر از ۲/۵ سانتی متر سبب نامناسب شدن مسیر برای تردد صندلی چرخ‌دار می‌گردد. بایستی توجه داشت که وجود مانع به تنهایی سبب حذف مسیر برای صندلی چرخ‌دار نمی‌شود، چراکه اگر عرض معبر کافی باشد، علیرغم وجود مانع، صندلی چرخ‌دار می‌تواند تردد کند. لذا می‌توان برمبنای معیارهای گوناگون برای افراد مختلف مسیریابی انجام داد. این امر سبب افزایش بازده و رضایت کاربران می‌گردد و این به دلیل تطابق بهترین مسیر با شرایط هریک از کاربران است.

۳-۵- مسیریابی با الگوریتم دایجسترا

به عنوان نمونه در شکل ۱۱ بین مبدا و مقصد مشخص، دو مسیر بهینه استخراج گردید. مسیر اول تنها بر مبنای معیار کوتاهترین مسیر برای کاربر عادی استخراج شد؛ درحالیکه مسیر دوم با در نظر گرفتن محدودیت عرض معبر، شیب طولی راه، تغییرات ناگهانی ارتفاع، مانع و طول راه به کمک الگوریتم دایجسترا در آنالیز شبکه نرم افزار ArcGIS® 10.5 به دست آمد.



شکل ۱۱- نتایج مسیریابی با الگوریتم دایجسترا

با توجه به معیارهای موثر در تردد صندلی چرخدار، گراف ناوبری داخلی بازار تبریز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که در حدود ۲۱ درصد از یال‌های گراف به لحاظ شیب، ۵ درصد به لحاظ عرض، ۴ درصد به لحاظ وجود مانع و ۲۵ درصد به لحاظ تغییرات ناگهانی ارتفاعی برای تردد صندلی چرخدار مناسب نیست. در نتیجه در یک برآورد کلی در حدود ۴۳ درصد از یال‌های گراف ناوبری برای تردد صندلی چرخدار مطلوب نبوده و بایستی با ارائه مسیر مناسب جایگزین، به هدایت این کاربران پرداخت. به غیر از کاروانسرای کشمشچیلر، کاروانسرای گرجیلر، کاروانسرای میرزا مهدی و بازار سجاد سایر نقاط بازار برای این نوع از کاربران قابل دسترس است. تحلیل انجام یافته ضمن کمک به ناوبری افراد مختلف، به مدیران نیز این امکان را می‌دهد که مناطق نامطلوب برای تردد کاربران خاص را شناسایی کرده و به رفع موانع و بهبود شرایط بپردازند.

همچنین با توجه به اینکه در برخی از تحقیقات، گراف ناوبری بر اساس داده‌های OSM طراحی شده است. کدهای XML مربوط به گراف بازار تبریز وارد محیط JOSM[1] شد و با داده‌های موجود، به لحاظ کامل بودن مقایسه گردید. نتایج بررسی حاکی از آن است که ۳۵ یال اصلی از ۳۶۰ یال استخراج شده برای بخش مورد مطالعه از بازار تبریز در داده‌های OSM موجود نبوده است. لذا گراف به دست آمده در این تحقیق علاوه بر دقت هندسی مطلوب، سبب تکمیل ۱۰ درصدی داده‌ی موجود از بازار تبریز شده است.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

به دلیل ساختار پیچیده بازار تبریز، تنوع فضاها و معماری‌های متعدد در آن، تحقیق حاضر به بررسی دقیق ساختار بازار سرپوشیده تبریز و راهیابی در آن می‌پردازد. برای تهیه مدل مکانی این بازار، مدل داده برداری از نوع گراف به دلیل سادگی اجزا نمایشی و شفافیت در بیان روابط مکانی انتخاب شد.

در این تحقیق ابتدا ساختارهای متفاوت بازار شامل سرا، راسته، بازار، کاروانسرا و تیمچه شناسایی شد. در هریک بر اساس اصول و ضوابط استاندارد IndoorGML گراف و دوگان گراف تهیه، خلاصه‌سازی انجام و کدهای XML مربوط به آنها استخراج شد. این گراف حاوی اطلاعات هندسی و توپولوژی مربوط به راه‌های داخل بازار می‌باشد. سپس بخش‌های مختلف آن به‌یکدیگر متصل و آبر گراف ناوبری بازار تبریز با ۳۶۰ یال و ۳۱۲ گره استخراج شد. با توجه به وجود معابر با عرض، طول و

[1] Java OpenStreetMap Editor

شیب‌های مختلف، پله و تغییرات ارتفاعی در بخش‌هایی از بازار، امکان تردد و مسیر انتخابی برای همه افراد یکسان نیست. لذا معیارهای فوق برای تمام یال‌ها جمع‌آوری و مسیریابی بطور نمونه برای افراد عادی و افراد دارای صندلی چرخ‌دار مقایسه شد.

علیرغم ساختار قدیمی بنای بازار تبریز، بیش از نیمی از راه‌های موجود در آن برای عبور کاربران دارای صندلی چرخ‌دار مطلوب بوده است و تنها هفت درصد از فضاهای اصلی آن برای صندلی چرخ‌دار غیر قابل دسترس است.

توسعه الگوریتم مناسب برای استخراج خودکار گراف ناوبری از فضاهای داخلی، طراحی سامانه راهیابی داخل بازار تبریز در بستر تلفن‌های همراه هوشمند، توجه به علایق و سایر شرایط کاربران در مسیریابی از جمله زمینه-های تحقیقاتی است که برای ادامه کار در این حیطه پیشنهاد می‌گردد. همچنین لزوم رفع موانع برای تردد کاربران دارای محدودیت‌های حرکتی و ایجاد بستر مناسب برای تردد صندلی چرخ‌دار در همه فضاهای بازار، بایستی مورد توجه مدیران و مسئولان این حیطه قرار گیرد.

مراجع

[1] Hashemi, M., Karimi, HA., (2016). Indoor spatial model and accessibility index for emergency evacuation of people with disabilities. Journal of Computing in Civil Engineering, 30 (4). ISSN 0887-3801/04015056(16).

[2] Yang, L., Worboys, M., (2015). Generation of navigation graphs for indoor space, International Journal of Geographical Information Science, Volume 29(10), 1737-1756.

[3] Nagel, C., Becker, T., Kaden, R., Li, K., Lee, J., Kolbe, T., (2010). Requirements and space-event modeling for indoor navigation. OpenGIS® Discussion paper (OGC 10-191r1), Open Geospatial Consortium, OGC.

[4] Stoffel, E.P., Lorenz, B., and Ohlbach, H.J., (2007). Towards a semantic spatial model for pedestrian indoor navigation. In: J.-L. Hainaut et al., eds. Advances in conceptual modeling–foundations and applications. Berlin: Springer, 328–337.

[5] Stoffel, E.P., Schoder, K., Ohlbach, H.J., (2008). Applying hierarchical graphs to pedestrian indoor navigation. In: Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems, Article No. 54.

[6] Boguslawski, P., Gold, C.M., Ledoux, H., (2011). Modelling and analysing 3D buildings with a primal/dual data structure. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66 (2), 188–197. doi:10.1016/j.isprsjprs.2010.11.003.

[7] Fortune, S., (1992). Voronoi diagrams and Delaunay triangulations. Computing in Euclidean Geometry, 1, 193–233.

[8] Xu, M., Hijazi, I., Mebarki, A., El Meouche, R., Abune'meh, M., (2016). Indoor guided evacuation: TIN for graph generation and crowd evacuation. Geometrics, Natural Hazards and Risk, 7(S1), 47-56.

[9] Yuan, J. P., Fang, Z., Wang, Y.-C., Lo, S. M., Wang, P., (2009). Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings. Fire Safety J., 44(2), 266–275.

[10] Franz, G., Mallot, H.A., Wiener, J.M., (2005). Graph-based models of space in architecture and cognitive science-a comparative analysis. In: roceedings of the 17th International Conference on Systems Research, Informatics and Cybernetics, 30–38.

[11] Khalili, A., Chua, D. H., (2015). IFC-based graph data model for topological queries on building elements. Journal of Computing in Civil Engineering, 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000331, 04014046.

[12] Sjølie, O. M., (2013). Automatic Generation of Walkable Paths in Buildings to Support Indoor Wayfinding. Master of Science in Informatics, Norwegian University of Science and Technology.

[13] Mortari, F., (2013). Automatic Extraction of Improved Geometrical Network Model From CityGML For Indoor Navigation. Master Thesis, university of degli studi dell'aquila.

[14] Mirvahabi, S.S, Abbaspour, R. A., (2015). Automatic Extraction of IndoorGML Core Model from OpenStreetMap. International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, Kish Island, Iran.

[15] Turhanlar, D., He, Y., Stone, G., (2013). The use of lifts for emergency evacuation—A reliability study. Procedia Eng., 62(1), 680–689.

[16] Worboys, M., (2011). Modeling indoor space. In: L. Kulik, R. Güting, and H. Lu, eds. Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL international workshop on indoor spatial awareness. New York: ACM, 1–6.

[17] Lee, J., (2008). Indoor Spatial Data Model, Proc. ISA Workshop, Seoul, Korea.

[18] Yang, L., Worboys, M., (2011). A navigation ontology for outdoor-indoor space. In: Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL international workshop on indoor spatial awareness, 31–34.

[19] Dijkstra, E. W., (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Math- ematik 1, 269-271.

[20] UNESCO World Heritage Centre., (2010) (Retrieved 2012).Tabriz Historic Bazaar Complex., UNESCO World Heritage Centre. UNESCO. [Online] Available: http://whc.unesco.org/en/list/1346. Accessed 2019/03/07.

[21] Marsousi, N., Khani, M.B., (2011). The study of economic function of Tabriz Bazaar and its surrounding areas. Geographical Research Quarterly 75 (spring), pp. 133–152.

[22] PourJafar, M.R., PourJafar A., (2016). Iranian Islamic Urban Design Features of Tabriz; Case study: Great bazaar of the city. CIAUJ, 2 (1) :87-108.

[23] Taghizadeh vahed, N., (2015). A comparative study of covered shopping spaces: covered Bazaars, arcades,shopping malls, Master Thesis. School of natural and applied sciences of middle east technical university.

[23] Omrani, B., Esmaili Sangari, H., (2006). The Historical Texture of Tabriz. Tehran: Miras Ketab Press.