نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲
Vol.11, No.3, Autumn 2023
۴۲- ۲۱
مقاله پژوهشی

توسعه سادک‌مبنای گراف خصوصیت برای مدل‌سازی شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی

مهدی رحیمی[1*]، محمدرضا ملک[2]

۱- دانشجوی دکتری گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استاد گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی ، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳

چکیده

در این پژوهش یک مدل‌داده گراف‌مبنا برای مدل‌سازی شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا برای فضاهای داخلی ارائه شده است. به کمک روش ارائه‌شده در این مقاله، مدل‌داده گراف‌مبنا از مفهوم سادک در توپولوژی جبری برای مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌های فضای داخلی استفاده می‌کند. این راهبرد سادک‌مبنا که شامل انجام تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی اجتماعی ـ مکانی است، با درنظر گرفتن مسیرهای روابط چندگانه بین افراد و مکان‌های فضای داخلی، ضمن غلبه بر ضعف ساختارهای مبتنی بر گراف در عدم امکان مدل‌سازی روابط فراتر از دوبه‌دو، امکان آشکارسازی روابط پنهان را فراهم می‌سازد. به کمک این راهبرد یک سنجه سادک‌مبنا برای تخمین میزان آسانی دسترسی بین هر دو مکان در فضای داخلی تعریف می‌شود که می‌توان از آن در پردازش جزء مکانی پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی استفاده کرد. از سویی دیگر به کمک راهبرد سادک‌مبنا امکان تعریف معیاری برای تخمین مشابهت اجتماعی ـ مکانی فراهم شده، روشی برای تخمین احتمال انتقال تغییرات بین سادک‌ها پیشنهاد می‌شود. مجموعه معیارها و راهبردهای یادشده، بازیابی داده در پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی را آسان‌تر کرده و امکان آشکارسازی روابط پنهان بین افراد و مکان‌ها در فضای داخلی را مهیا می‌سازند. پیاده‌سازی آزمایشی دو شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی، ضمن تایید مزیت کمّی استفاده از ساختار گراف‌مبنا در سطح مدل‌سازی و پیاده‌سازی، کاربردهای پیاده‌سازی در پایگاه داده مبتنی بر گراف را در رهگیری تماس و ارزیابی ریسک در زمان همه‌گیری بیماری‌های ویروسی نشان می‌دهد. همچنین پیاده‌سازی آزمایشی انجام‌شده برتری کیفی استفاده از سادک‌ها برای مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌ها را در پردازش پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی در فضای داخلی به خصوص در سناریوهایی مرتبط با همه‌گیری بیماری‌ها نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها : شبکه اجتماعی مکان‌مبنا، فضای داخلی، پایگاه داده گراف‌مبنا، سادک، تحلیل کیو.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
تلفن: ۰۹۱۲۲۲۷۴۵۴۷

Email: mrahimi@sina.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

علیرغم توسعه روش‌های مختلف مدل‌سازی شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا[۱](*LBSN*) در فضاهای بیرونی که منجر به کاربردهای گوناگونی از قبیل پیشنهاد دوست و پیشنهاد مکان شده است، مدل‌سازی اطلاعات مکانی کاربران شبکه‌های اجتماعی‌مکان‌مبنا در فضاهای داخلی، چندان مورد توجه قرار نگرفته است. مدل داده شبکه اجتماعی مکان‌مبنای داخلی باید خصوصیات منحصربه‌فردی مناسب ویژگی‌های خاص مکانی، سازمانی و کارکردی فضاهای داخلی داشته باشد. فضاهای داخلی عموماً فضاهایی کوچکتر و ساختاریافته‌تر از فضاهای بیرونی هستند که هم‌مکانی‌ها[۲] در آنها معمولاً در فواصل کوچکتری شکل می‌گیرند [۱و۲]. به همین علت مکان و روابط توپولوژی بین مکان‌ها[۳] نسبت به موقعیت‌های[۴] مبتنی بر مختصات و فواصل هندسی میان آنها تطابق بیشتری با شناخت مکانی[۵]انسانی از فضاهای داخلی دارد [۳، ۴ و۵]. از سویی دیگر چیدمان ساختار ی[۶]، تقسیم‌بندی‌های سازمانی و جنبه‌های کارکردی زیرفضاها روی تعامل‌های رسمی و غیررسمی کاربران شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا تاثیرگذار هستند [۶]. لذا مدل داده مناسب شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضاهای داخلی می‌بایست از ساختارهای معماری و مکانی فضا، زیرفضاسازی‌های سازمانی و کارکردی و روابط توپولوژی بین زیرفضاها پشتیبانی کند.

ساختارهای داده گراف‌مبنا قبلاً کارایی خود را برای مدل‌سازی داده‌های اجتماعی ـ مکانی فضاهای بیرونی[۷] روابط بین آنها و تاریخچه فعالیت‌های افراد حاضر در فضاهای داخلی، به خصوص در مورد توصیف روابط دوبه‌دوی[۸]میان افراد و مکان‌ها نشان داده‌اند [۷ و ۸]. از سویی دیگر داده‌های مرتبط با شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا، در عین هم‌قالب نبودن، ماهیتی به هم متصل دارند. همچنین ساختارها و الگوریتم‌های مرتبط با گراف به خصوص پیمایش گراف، در پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی حضور دارند. لذا از نظر پیاده‌سازی نیز استفاده از پایگاه‌های داده گراف‌مبنا برای ذخیره‌سازی و پرسش و پاسخ روی داده‌های اجتماعی ـ مکانی، عملی موجه است.

با وجود قابلیت‌های تحلیلی گراف‌ها و شبکه‌ها، توانایی آنها در مدل‌سازی روابط بین افراد و مکان‌ها محدود به روابط دوبه‌دو است، در حالیکه تعامل بین افراد و مکان‌ها محدود به روابط دوبه‌دو نیست و یک فرد می‌تواند با یک مکان به صورت ضمنی یا صریح تعامل چندگانه[۹]مستقیم یا غیرمستقیم داشته باشد. استفاده از روابط چندگانه راهبردی مناسب برای کاوش اطلاعات مربوط به این تعامل‌ها است که با مدل‌سازی دوبه‌دو گراف‌مبنا از دست می‌روند. ازطرفی سادک‌ها[۱۰] می‌توانند به خوبی روابط چندگانه را مدل‌سازی کنند، به صورتی که انجام تحلیل کیو[۱۱]روی مجتمع‌های سادکی[۱۲] جنبه‌های توپولوژی روابط چندگانه مرتبه بالاتر[۱۳]را در قالب مسیرهای روابط چندگانه[۱۴]توصیف می‌کند [۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲]. با همه‌گیری جهانی بیماری ویروسی کووید-۱۹، روش‌های مختلفی برای رهگیری

---

۱ *Location-based Social network*
۲ *Collocation*
۳ *Place*
۴ *Location*
۵ *Spatial Cognition*
۶ *Structural Layout*
۷ *Spatial-social Data*
۸ *Binary Relations*
۹ *N-ary*
۱۰ *Simplices*
۱۱ *Q-analysis*
۱۲ *Simplicial Complex*
۱۳ *Higher-order*
۱۴ *Traces of N-ary Relations*

تماس[۱]افراد و ارزیابی ریسک ابتلای افراد به این بیماری در فضاهای بیرونی و داخلی به کار گرفته شده‌اند. فعالیت‌های انجام‌شده برای رهگیری تماس در فضاهای داخلی عمدتاً نیازمند وجود سامانه‌های موقعیت‌یابی و تحلیل خط‌سیر[۲]در فضای داخلی هستند که لزوماً در همه فضاهای داخلی در دسترس نیستند. همچنین نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی روی کیفیت فعالیت‌های انجام شده اثرگذار هستند[۱۳]. لذا می‌توان از اطلاعات مستخرج از شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا که کاربران داوطلبانه به اشتراک می‌گذارند به عنوان یکی از منابع داده جهت تدقیق فعالیت‌های مرتبط با ارزیابی ریسک و یا به عنوان تنها منبع برای به دست آوردن تقریبی از رهگیری تماس و ارزیابی ریسک استفاده کرد. در این پژوهش یک مدل‌داده گراف‌مبنا برای مدل‌سازی مکان‌های یک فضای داخلی و کاربران یک شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در آن فضا پیشنهاد شده است. با پیاده‌سازی این مدل در یک پایگاه داده مبتنی بر گراف، قابلیت‌های گراف‌مبنای مدل درپردازش پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی مرتبط با رهگیری تماس در انتقال بیماری‌های همه‌گیر مورد بحث قرار گرفته‌اند. از سویی دیگر با توسعه این مدل از طریق مدل‌سازی نمایه[۳]کاربران و مکان‌های فضای داخلی به کمک سادک‌ها و با تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی اجتماعی ـ مکانی ساخته‌شده از کاربران و مکان‌های یادشده، امکان پشتیبانی از مسیرهای روابط چندگانه فراهم شده است. به کمک این راهبرد سادک‌مبنا، یک سنجه فاصله برای نشان‌دادن میزان آسانی دسترسی از یک مکان به مکانی دیگر، معیاری برای ارزیابی میزان مشابهت[۴]اجتماعی ـ مکانی و رویه‌ای برای ارزیابی ریسک انتقال بیماری‌های همه‌گیر در فضاهای داخلی پیشنهاد شده است. لازم به ذکر است بیان قابلیت‌ها و کاربردهای متصور مدل پیشنهادی در رهگیری تماس و ارزیابی ریسک ابتلا در همه‌گیری بیماری‌ها، با نگاهی ویژه به مکانیزم‌های انتقال ویروس عامل بیماری کووید-۱۹، انجام شده است.

در ادامه، بخش دوم مروری مختصر بر تحقیقات انجام شده در زمینه شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی ارائه می‌کند. بخش سوم اصول مدل‌سازی گراف‌مبنا و توسعه سادک‌مبنای این مدل‌سازی را بیان می‌کند. در بخش چهارم، ضمن اشاره‌ای بر برتری کمی پیاده‌سازی مدل در پایگاه‌های داده مبتنی بر گراف در مقایسه با پایگاه‌های داده رابطه‌ای، قابلیت‌های پیاده‌سازی انجام‌شده در رهگیری تماس و اتخاذ مداخلات غیردارویی مناسب در زمان همه‌گیری بیماری‌ها نمایش داده می‌شوند. بخش پنجم، ضمن معرفی تحلیل کیو به عنوان ابزار اصلی تحلیل روی مجتمع‌های سادکی‌اجتماعی ـ مکانی، از آن در توسعه-سنجه فاصله‌ای برای یافتن آسان‌ترین مسیر بین مکان‌های فضای داخلی استفاده می‌کند. همچنین نحوه استفاده از تحلیل کیو برای تخمین مشابهت سادک‌مبنا و خاصیت q- انتقال و مزیت این دو در ارزیابی ریسک در زمان همه‌گیری بیماری‌ها در بخش پنجم مورد توجه قرار گرفته است. بخش پایانی نیز شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات بعدی است.

۲- تحقیقات مرتبط در مورد شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضاهای داخلی

شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا، شبکه‌های اجتماعی برخطی هستند که اطلاعات مکانی کاربران را در مکان‌ها و زمان‌های مختلف ثبت می‌کنند. این اطلاعات می‌تواند در قالب‌های مختلف منطقی، سمبلیک، معنایی مربوط به مکان‌هایی باشد که کاربر در آنها حضور

[۱] *Contact Tracing*
[۲] *Trajectory Analaysis*
[۳] *Profile*
[۴] *Similarity*

داشته است. معمولاً این اطلاعات از طریق اعلام حضور[۱] داوطلبانه افراد در مکان‌های مجزایی که کاربر در آنها حضور دارد، جمع‌آوری می‌شود. به کمک اطلاعات مستخرج از تحلیل این شبکه‌ها می‌توان خدمات شبکه‌های اجتماعی موجود را بهبود داده، و خدمات جدیدی مانند ترویج محصول[۲]، برنامه‌ریزی مسیر[۳] و توصیه‌گری[۴] را بر مبنای مطالعه چگونگی حرکت کاربران ارائه کرد [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. تاکنون تحقیقات نسبتاً اندکی برای مدل‌سازی و کاربردهای شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضاهای داخلی انجام شده‌است. برای نمونه الحمشری[۵] و همکاران (۲۰۱۷) سامانه چک‌اینسایدیاب[۶] را توسعه داده‌اند که با ترکیب‌کردن داده‌های سنسورهای تلفن هوشمند با اطلاعات در دسترس شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضاهای بیرونی، اطلاعات اثرانگشت معنایی چندساختی از مکان‌های مختلف در داخل یک فروشگاه بزرگ را ایجاد می‌کند [۱۷]. به عنوان نمونه‌ای دیگر، وانگ[۷]، ژو[۸]، چین[۹] و همکارانشان (۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) سامانه فایند اند کانکت[۱۰] را توسعه داده‌اند که بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از یک شبکه اجتماعی فضای داخلی شامل کارکنان یک ساختمان اداری، منابع اشتراکی ساختمان مانند اتاق جلسات و میزها را مدیریت می‌کند و بر اساس حضور کاربران در مکان‌های مشترک و برخوردهای اتفاقی، افراد را برای همکاری به یکدیگر پیشنهاد می‌دهد[۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]. در حالی که هدف چک‌اینسایدیاب، تدقیق موقعیت‌یابی در فضای داخلی است، فایند اند کانکت بر روی مطالعه چگونگی تعامل بین مکان‌ها و افراد برای توصیه‌گری تمرکز کرده است. با این حال، در هیچکدام از دو تحقیق یادشده ساختار به‌هم‌پیوسته فضای داخلی و ماهیت چندگانه تعامل بین افراد و مکان‌ها مورد توجه قرار نگرفته است. لذا هیچ‌کدام به مسیرهای روابط چندگانه بین افراد و مکان‌ها توجهی نکرده‌اند. همچنین از نظر پیاده‌سازی هیچ‌کدام از پایگاه‌های داده گراف‌مبنا استفاده نکرده‌اند.

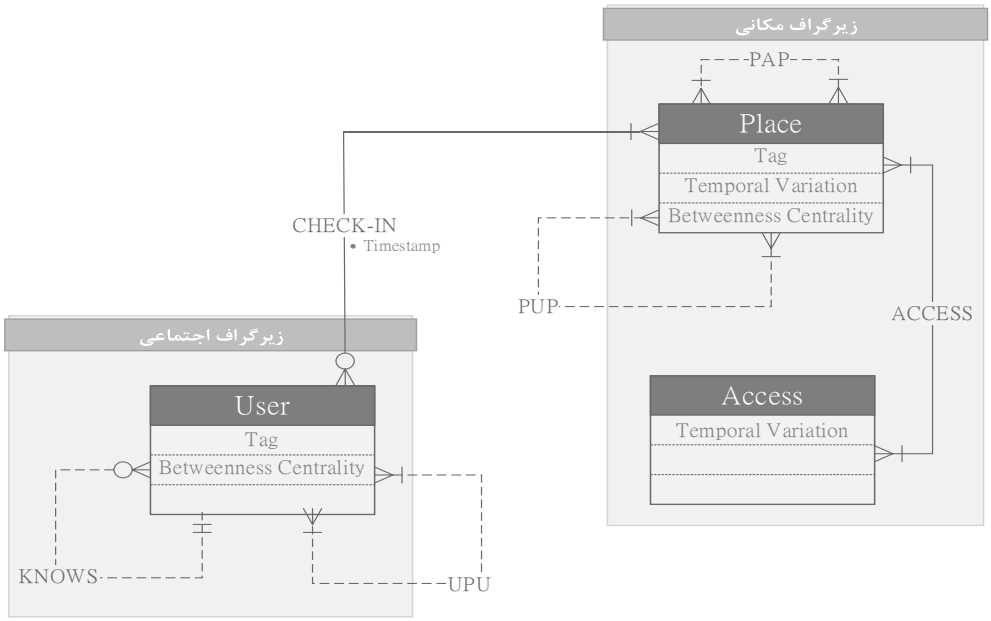
۳- مدل‌سازی شبکه‌ای ـ توپولوژی شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی

مدل داده پیشنهادی این مقاله برای یک شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی یک شمای گراف خصوصیت[۱۱] است که می‌تواند به صورت یک گراف اجتماعی ـ مکانی شامل دو زیرگراف اجتماعی و مکانی تعریف گردد که توسط اطلاعات اعلام حضور کاربران به هم متصل شده‌اند. گراف خصوصیت، به عنوان یکی از دو ساختار داده گراف‌مبنای متداول، از مجموعه‌ای از گره‌ها و یال‌های جهت‌دار بین دو گره تشکیل شده است که هر دو می‌توانند خصوصیت‌هایی[۱۲] در قالب کلید ـ مقدار[۱۳] داشته باشند. برای افزایش کارایی و غلبه بر ضعف‌های ذاتی ساختارهای مبتنی بر گراف، از راهبردی مبتنی بر سادک‌ها، به عنوان انتزاعی‌ترین فرم‌های هندسی در توپولوژی جبری، برای مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌ها در فضای داخلی استفاده شده‌است. روند کلی به این صورت است که زیرگراف‌های مکانی و اجتماعی بعد از ترکیب‌شدن با اطلاعات اعلام حضور افراد، گراف اجتماعی ـ مکانی را می‌سازند. گره‌ها و یال‌های گراف اجتماعی ـ مکانی برای ایجاد سه نوع سادک مورد استفاده قرار می‌گیرند که به نوبه خود سه نوع مجتمع سادکی را تشکیل می‌دهند. به کمک تحلیل کیو روی این مجتمع‌های سادکی مسیرهای روابط چندگانه میان افراد و مکان‌ها در نظر گرفته شده و روابط پنهان‌مانده در

[۱] *Check-in*
[۲] *Product Promotion*
[۳] *Route Planning*
[۴] *Recommendation*
[۵] *Elhamshary*
[۶] *Check-Inside*
[۷] *Wang*
[۸] *Zho*
[۹] *Chin*
[۱۰] *Find and Connect*
[۱۱] *Property Graph*
[۱۲] *Property*
[۱۳] *Key-Value*

ساختار گراف‌مبنا، آشکار می‌شوند. این مسأله قابلیت‌های مدل در تحلیل مشابهت اجتماعی ـ مکانی، تحلیل مسیر بهینه بر مبنای آسانی دسترسی بین مکان‌های فضای داخلی و ارزیابی ریسک انتقال بیماری را افزایش می‌دهد.

شکل (۱) نمودار اصلی موجودیت ـ رابطه (*Entitiy-Relationship Diagram*) مدل‌داده پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل۱: نمودار اصلی موجودیت ـ رابطه مدل پیشنهادی برای شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی [۲۲]

۳-۱- گراف اجتماعی ـ مکانی

در این مقاله از بین مدل‌های سمبلیک، هندسی و معنایی مختلفی که تاکنون برای نمایش جنبه‌های کمی، کیفی و معنایی اجزاء مکانی یک فضای داخلی پیشنهاد شده است، یک مدل‌داده سمبلیک مکان ـ خروجی[۱] بر مبنای پیشنهاد لی (۲۰۰۸)، به عنوان زیرگراف مکانی انتخاب شده است[۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶]. یکی از دلایل انتخاب این مدل به عنوان زیرگراف مکانی، هماهنگی بیشتر خدمات شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا با مدل‌های سمبولیک، که تمرکزشان بر مکان‌های مجزا از هم و روابط بین آنها است، نسبت به مدل‌های هندسی مبتنی بر موقعیت است. از سوی دیگر، مدل‌داده مکان ـ خروجی با پشتیبانی‌کردن از اتصال توپولوژی بین مکان‌های مختلف در فضای داخلی، امکان تعریف فاصله بین مکان‌ها را بر مبنای سنجه‌هایی متناسب‌تر با شناخت مکانی انسانی فراهم می‌آورد. با توجه به لزوم تعریف مکان در فضاهای داخلی به صورت زیرفضایی همگن از نظر معیارهای ساختاری، کارکردی و یا سازمانی، در این تحقیق همگن‌ترین زیرفضاهای داخلی با مرز هندسی مشخص و یک یا چند خروجی و با یک کاربرد مشخص مانند اتاق یا راهرو به عنوان مکان‌های فضای داخلی داخلی در نظر گرفته شده‌اند.

زیرگراف مکانی پیشنهادی شامل گره‌های مکان[۲] و دسترسی[۳] به ترتیب برای مدل‌سازی مکان‌های داخلی

[۱] *Location-Exit*

[۲] *Place*

[۳] *Access*

و اجزاء متصل‌کننده مکان‌های داخلی مثل دَر است. وقتی بین دو مکان داخلی دَری قرار دارد، دو یال دسترسی[۱]بین دو گره نماینده آن دو مکان و گره نماینده دَر قرار می‌گیرد. یال‌های دسترسی می‌توانند خصوصیت‌های مختلفی مربوط به سنجه‌های متفاوت فاصله داشته باشند. زیرگراف اجتماعی شامل گره کاربر[۲]است که کاربران شبکه اجتماعی را نمایندگی می‌کند. همچنین بین هر دو کاربری که یکدیگر را می‌شناسند، یک یال شناختن[۳]قرار می‌گیرد. این زیرگراف به کمک یال‌های اعلام‌حضور[۴]مکانی می‌شود. وقتی یک کاربر در یک مکان داخلی اعلام حضور می‌کند، یک یال اعلام‌حضور بین کاربر و مکان مربوطه، که دارای خصوصیت زمان اعلام حضور است، به گراف افزوده می‌شود. شکل(۲) قسمتی از نقشه ساختمان مورد استفاده برای شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در این مقاله، ساختمان موسسه ایسن[۵]در شهر برست[۶]فرانسه، شامل سالن انفورماتیک سیسکو[۷]و بعضی از مکان‌های دارای دسترسی به آن را نشان می‌دهد. شکل(۳) قسمتی از زیرگراف‌های مکانی و اجتماعی را نمایش می‌دهد که مرتبط با بخش‌هایی هستند که در پلان شکل(۲) تیره‌تر ترسیم شده‌اند. در شکل (۳)، مکان‌های دارای دسترسی به سالن (دایره‌های آبی) از طریق یال‌های دسترسی (سبزرنگ) به گره‌های دسترسی (دایره‌های کوچک قهوه‌ای) متصل شده‌اند. همچنین کاربری که در سالن اعلام حضور کرده با یال اعلام حضور (به رنگ خاکستری) به سالن متصل است و کاربرانی که این کاربر می‌شناسد (دایره‌های زرد) با یال شناختن (زرد رنگ) به این کاربر متصل شده‌اند.

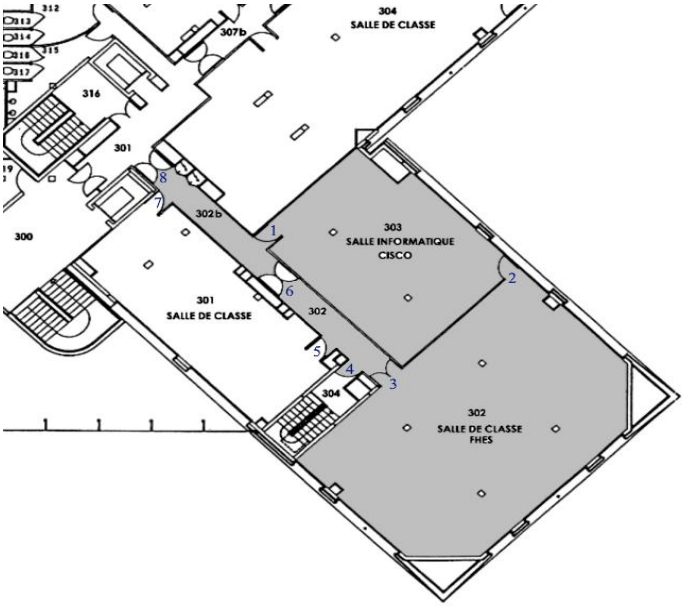
۳-۲- مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌ها به کمک سادک‌ها

نمایه‌های کاربران، اجزاء اصلی شبکه‌های اجتماعی برخط هستند که تعامل کاربران با یکدیگر را مدل‌سازی می‌کنند. شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا اطلاعات وابستگی افراد به مکان‌ها را برای مشخص‌کردن علایق مکانی و معنایی کاربران به این نمایه‌ها می‌افزایند [۹]. به صورت مشابه می‌توان نمایه مکان را تعریف کرد که مشخص‌کننده افرادی است که در آن مکان اعلام حضور کرده‌اند. در این تحقیق برای مدل‌سازی این نمایه‌ها از سادک‌ها استفاده شده است. یک سادک n-بعدی $\sigma_o^n = <v_0,v_1,...,v_n>$ که n-سادک خوانده می‌شود، با $n+1$ راس مشخص می‌شود که نمایش‌گر $n+1$ شیء مرجعی است که با شیء اصلی o رابطه دارند. یک وجه q-بعدی $\sigma_o^q = <v_0,v_1,...,v_q>$ زیرسادکی از σ_o^n است که مجموعه راس‌هایش، زیرمجموعه ناتهی از مجموعه راس‌های σ_o^n باشد. اشتراک دو سادک وجه مشترک آن دو سادک است. مجتمع سادکی، مجموعه‌ای از سادک‌های مرتبط است که به همراه تمام وجه‌هایشان به صورت مناسبی به هم متصل شده‌اند [۱۲ و ۲۷]. برای مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌ها، سه نوع سادک در این تحقیق پیشنهاد شده است:

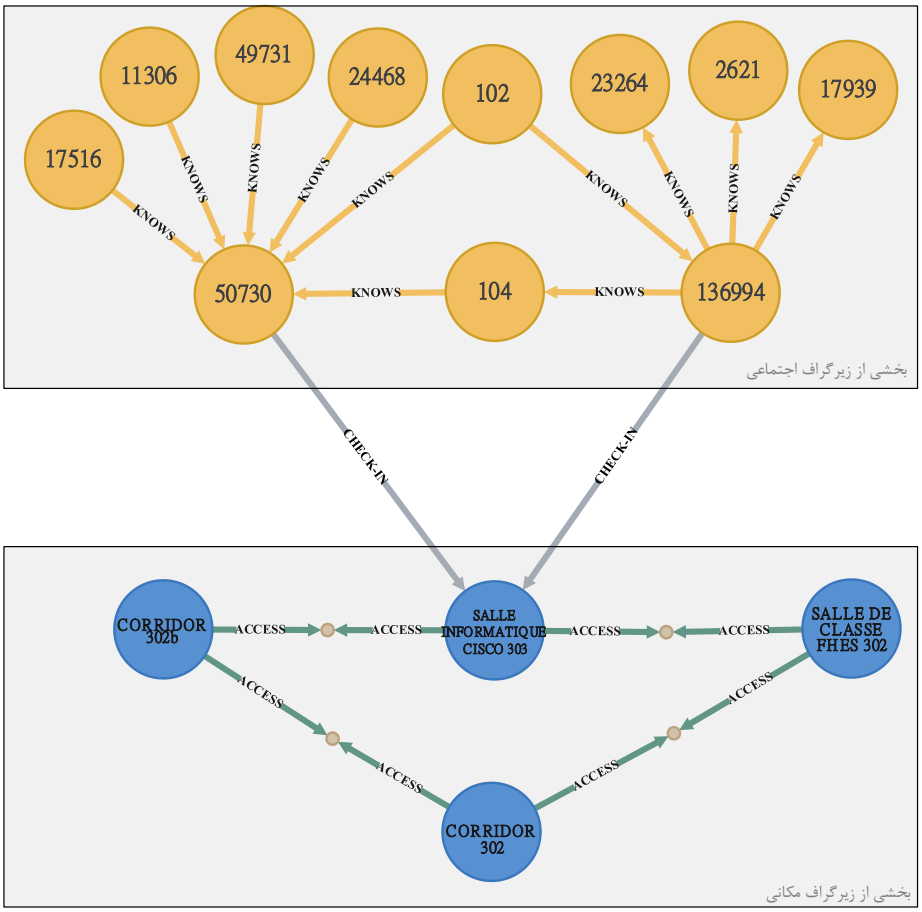
- سادک دسترسی‌محور مکان: اگر یک مکان داخلی از طریق $d+1$ دَر قابل دسترسی باشد، یک d-سادک آن مکان را نمایندگی خواهد کرد.
- سادک کاربرمحور مکان: اگر $u+1$ کاربر در مکانی اعلام حضور کرده باشند، یک u-سادک آن مکان را نمایندگی خواهد کرد.
- سادک مکان‌محور کاربر: اگر کاربری در $p+1$ محل اعلام حضور کند، یک p-سادک، آن کاربر را نمایندگی خواهد کرد.

---

[۱] *ACCESS*
[۲] *User*
[۳] *KNOWS*
[۴] *CHECK-IN*
[۵] *ISEN*
[۶] *Brest*
[۷] *SALLE INFORMATIQUE CISCO 303*

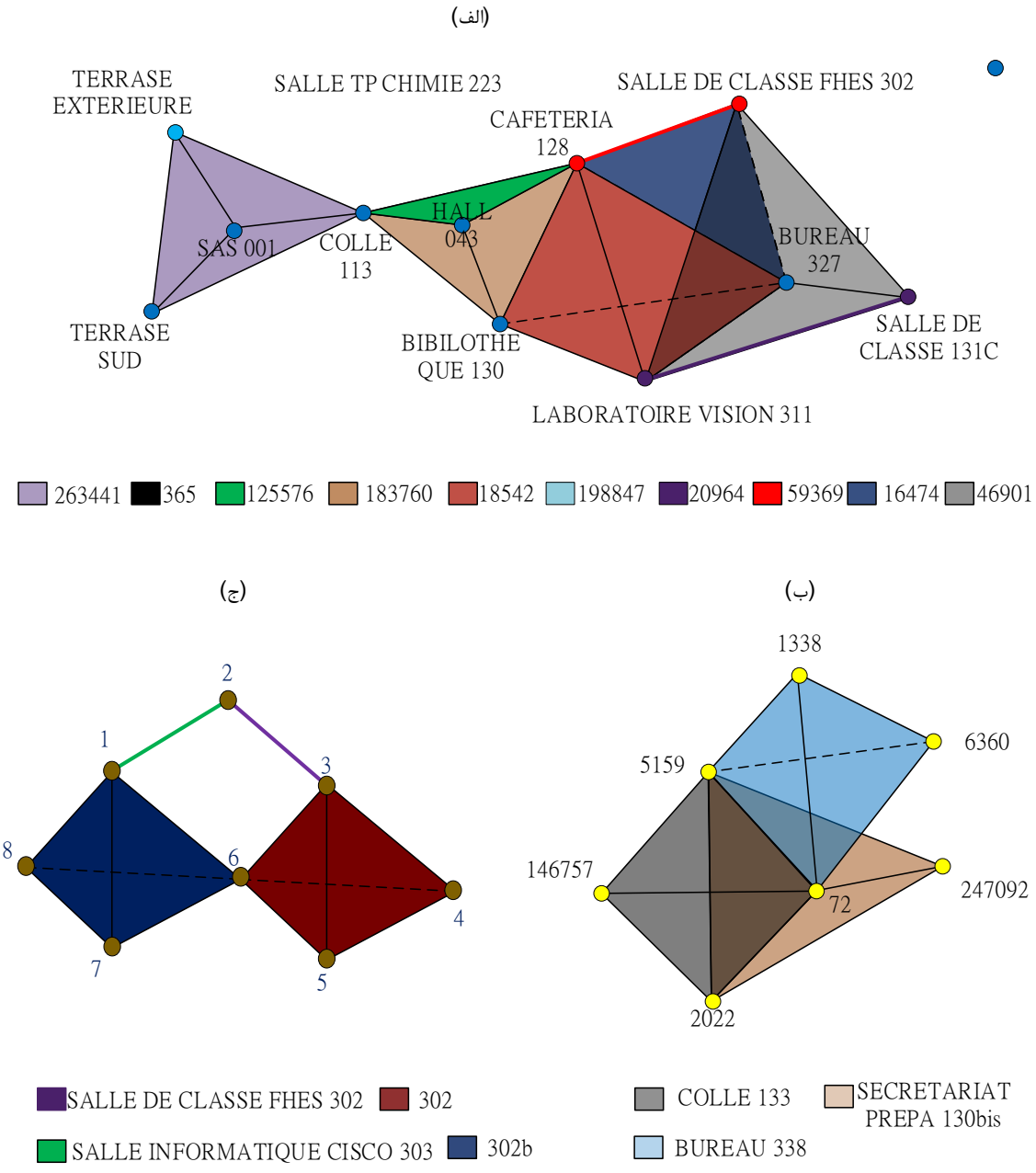


شکل ۲: بخشی از پلان ساختمان موسسه ایسن در شهر برست فرانسه



شکل ۳: بخشی از پلان ساختمان، قسمت‌هایی از گراف اجتماعی ـ مکانی و مجتمع سادکی دسترسی‌محور مکان مرتبط

سادک‌های یادشده مجتمع‌های سادکی متناظر خود را به وجود می‌آورند. بر مبنای اطلاعات شبکه اجتماعی مکان‌مبنای پیاده‌سازی شده در این مقاله، تعبیر هندسی چند نمونه از انواع سادک‌ها و مجتمع‌های سادکی در شکل(۴) معرفی شده است. شکل (۴-الف) تعبیر هندسی یک مجتمع سادکی مکان‌محور کاربران، شکل (۴-ب) تعبیر هندسی یک مجتمع سادکی کاربرمحور مکان‌ها و شکل (۴-ج) تعبیر هندسی مجتمع سادکی دسترسی‌محور مکان مربوط به مکان‌های یادشده در شکل (۲) را نمایش می‌دهد.



شکل ۴: تعبیر هندسی سه مجتمع سادکی نمونه

۴- قابلیت‌های راهبرد گراف‌مبنا

قابلیت‌ها و کارایی بخش گراف‌مبنای مدل پیشنهادی این تحقیق با پیاده‌سازی دو شبکه اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی ساختمان موسسه ایسن در شهر برست فرانسه مورد بررسی قرار گرفته است. پیاده‌سازی در پایگاه‌داده گراف‌مبنا نِئوفورجِی (*Neo4j*) انجام شده و پرسش و پاسخ‌ها در نسخه توسعه‌یافته توسط پایگاه‌داده از زبان سایفر (*Cypher*) نوشته شده‌اند [۲۸ و ۲۹]. جدول (۱) ویژگی‌های پیاده‌سازی‌های انجام‌شده را نمایش می‌دهد.

در ادامه بخش سعی‌شده است برخی از کاربردهای راهبرد گراف‌مبنا در انجام مداخلات غیردارویی مناسب برای مقابله با همه‌گیری بیماری‌ها در فضای داخلی معرفی شوند و ارزیابی کمی روی پرسش و پاسخ‌های مرتبط صورت گیرد.

جدول ۱: اطلاعات پیاده‌سازی انجام‌شده

	تعداد مکان‌ها	تعداد کاربران	موارد اعلام حضور	مدت زمان
پیاده‌سازی اول	۶۹	۲۹	۲۵۶	دو روز کاری
پیاده‌سازی دوم	۲۶۸	۱۱۰۸	۵۲۰۰	پنج روز کاری

۴-۱- رهگیری تقریبی تماس گراف-مبنا

رهگیری تماس یکی از راهبردهای موثر برای مقابله با بیماری‌های ویروسی همه‌گیر است که به نامزدکردن افراد برای تست، قرنطینه و درمان کمک می‌کند. پیشفرض رهگیری تماس بر این مبنا است که ویروس عامل بیماری می‌تواند به صورت مستقیم از انسان به انسان یا به صورت غیر مستقیم از مکان و اشیاء آلوده‌شده توسط فرد مبتلا به انسانی دیگر منتقل شود. هدف رهگیری تماس پیش‌رو[۱] یافتن افرادی است به صورت همزمان یا با تاخیر با فرد مبتلا هم‌مکان بوده‌اند و احتمالاً توسط فرد مبتلا بیمار شده‌اند. از سویی دیگر در رهگیری تماس پس‌رو[۲] افرادی یافته می‌شوند که به صورت همزمان یا زودتر با فرد مبتلا هم‌مکان بوده‌اند و احتمالاً بیماری از آن‌ها به فرد مبتلا سرایت کرده‌است. رهگیری دقیق تماس در فضای داخلی نیازمند وجود سامانه‌های موقعیت‌یابی و تحلیل خط‌سیر داخلی است که لزوماً همه‌جا در دسترس نیستند. شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضاهای داخلی می‌توانند تاحدی کمبود وجود چنین سامانه‌هایی را جبران کنند. با این‌که شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا نیز می‌توانند بر مبنای به اشتراک‌گذاری خط‌سیر توسط کاربرانشان ایجاد شوند، تاکنون با توجه به دغدغه‌های مرتبط با حریم شخصی، این شبکه‌ها بر مبنای اطلاعات نقطه‌ای اعلام‌حضور داطلبانه افراد شکل گرفته‌اند [۱۳]. لذا مدل پیشنهادی این تحقیق نیز برمبنای اطلاعات اعلام حضور داوطلبانه شکل گرفته است. لذا اطلاعات پراکنده‌ای از اعلام حضور افراد در مکان‌های داخلی وجود دارد و امکان تخمین مدت‌زمان تماس افراد، که عامل تعیین‌کننده‌ای در سرایت برخی از بیماری‌ها مانند کووید-۱۹ است، در دسترس نیست.

با توجه به پیش‌فرض‌های یادشده، راهبرد کاربردی برای انجام رهگیری تماس پیش‌رو با توجه به اطلاعات اعلام حضور، یافتن افراد نامزدی است که در مکان‌هایی که فرد مبتلا اعلام حضور کرده، بعد از فرد مبتلا یا همزمان با او اعلام حضور کرده‌اند. همچنین برای انجام رهگیری تماس پس‌رو باید افراد نامزدی را یافت که در

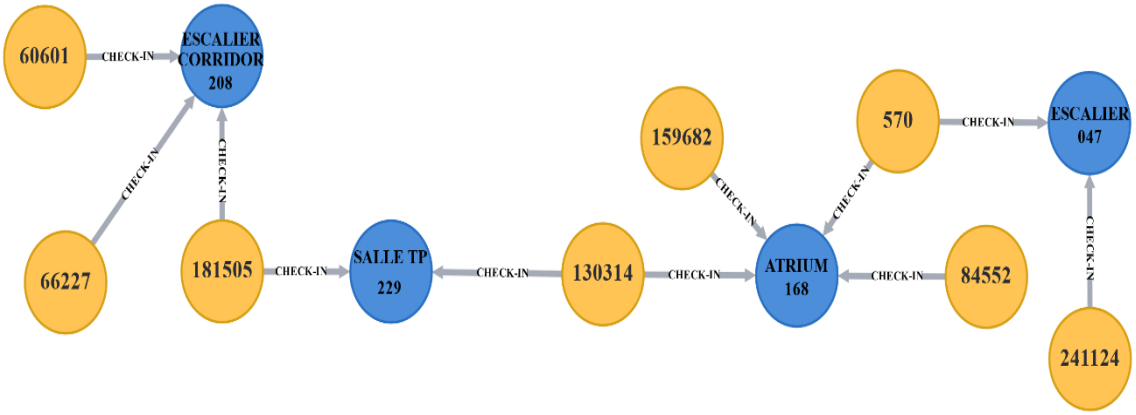
[۱] *Forward Contact Tracing*

[۲] *Backward Contact Tracing*

مکان‌هایی که فرد مبتلا اعلام حضور کرده، قبل از فرد مبتلا یا همزمان با او اعلام حضور کرده‌اند. یکی از نکات مهم رهگیری تماس در بعضی از بیماری‌های همه‌گیر، نظیر کووید-۱۹، نیاز به انجام رهگیری چندپله‌ای (*Multi-hop Tracing*) است[۳۰]؛ به این معنا که یافتن افراد نامزد تنها محدود به ارتباط مستقیم با فرد مبتلا نمی‌ماند بلکه سعی می‌شود افرادی که به صورت غیرمستقیم با فرد مبتلا برخوردی داشته‌اند نیز شناسایی شوند. از سویی دیگر با توجه به اطلاعات اعلام حضور افراد، در فرایند رهگیری تماس در کنار افراد نامزد، مکان‌های نامزد برای ضدعفونی‌شدن نیز یافته می‌شوند.

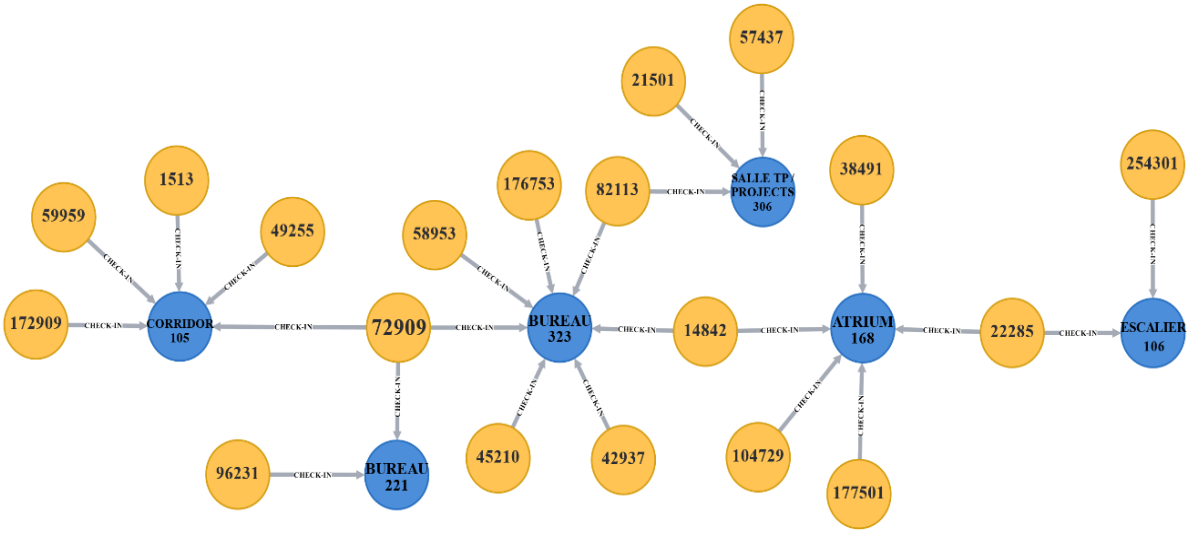
انجام رهگیری تماس چندپله‌ای نیازمند پیمایش چندپله‌ای گراف است که پایگاه داده مبتنی بر گراف در مقایسه با پایگاه داده رابطه‌ای کارایی بیشتری در پردازش آن دارند [۲۲]. برای نمونه با فرض این‌که در تست انجام‌شده در روز ششم دسامبر، ابتلای کاربر شماره ۱۳۰۳۱۴ در پیاده‌سازی دوم تایید شده باشد، پرسش و پاسخ زیر فرایند رهگیری تماس پیش‌رو سه‌پله‌ای را برای یافتن افراد و مکان‌های نامزد که احتمالاً در روز پنجم دسامبر توسط این کاربر مبتلا و آلوده شده‌اند انجام می‌دهد. همچنین شکل (۵) نتیجه گرافیکی پردازش این پرسش و پاسخ را نمایش می‌دهد. از سویی دیگر با فرض این که ابتلای کاربر شماره ۷۲۹۰۹ در روز چهارم دسامبر تایید شده است، پرسش و پاسخ زیر کاربران و مکانی‌هایی که احتمالاً سبب ابتلای این کاربر شده‌اند را در فرایند رهگیری تماس پس‌رو سه‌پله‌ای پیدا می‌کند. شکل (۶) نتیجه گرافیکی این پردازش را نمایش می‌دهد.

```
MATCH p=((up:User{un:"130314"})-[r:CHECKIN*1..6]-(uc:User))
WITH head(relationships(p))as rf,last(relationships(p))as rl,p
WHERE all(rm in relationships(p)
      WHERE  rm.time.day = 5 AND duration.inSeconds(rf.time, rm.time).seconds <= 10800 AND
      rl.time > rf.time AND NOT rm.time < rf.time)
return p
```



شکل ۵: نتیجه گرافیکی پردازش پرسش و پاسخ رهگیری تماس پیش‌رو سه‌پله‌ای

```
MATCH p=((up:User{un:"72909"})-[r:CHECKIN*1..6]-(us:User))
WITH head(relationships(p))AS rp,last(relationships(p))AS rs,p
WHERE all(rm IN relationships(p)
      WHERE rm.time.day = 3 AND rs.time < rp.time AND NOT rm.time > rp.time AND NOT
      rm.time < rs.time)
RETURN p
```



شکل۶:نتیجه گرافیکی پردازش پرسش و پاسخ رهگیری تماس پس‌رو سه‌پله‌ای

۴-۲- حفاظت از شکستن حباب‌های اجتماعی

یکی از راهبردهای حفاظت افراد در مقابل ابتلا به بیماری‌ها در زمان همه‌گیری حفاظت از حباب‌های اجتماعی است به این معنا که که افراد تعاملات روزمره خود را به تماس‌های کمابیش تکراری با گروهی اندک در مکان‌های اندک محدود کنند. در زمان همه‌گیری افراد یا مکان‌هایی که نقش واسط بین گروه‌هایی از افراد یا مکان‌ها را ایفا می‌کنند، افرادی هستند که حباب‌های اجتماعی را می‌شکنند و انتقال بیماری بین گروه‌های مختلف را تسهیل می‌کنند [۳۱ و ۳۲]. در شبکه اجتماعی مکان‌مبنای فضای داخلی، این واسطه‌ها (افراد یا مکان‌ها) که در صورت نبودشان، گراف اجتماعی ـ مکانی به صورت از هم گسسته در خواهد آمد، با معیار مرکزیت بینیت[۱]قابل شناسایی هستند [۳۳]. هرچه میزان مرکزیت بینیت کاربری در شبکه اجتماعی مکان‌مبنا بالاتر باشد، احتمال این‌که حباب اجتماعی توسط او شکسته شود بیشتر است. همینطور مکان‌هایی که مرکزیت بینت بالاتری دارن نقش پل بین گروه‌های مختلف کاربران را ایفا می‌کنند و احتمال انتقال بیماری از طریق آلودگی‌شان و شکسته‌شدن حباب اجتماعی بیشتر است. به صورت کلی برای کاهش ریسک شکسته‌شدن حباب‌های اجتماعی، باید مرکزیت بینیت کاربران و مکان‌ها از طریق محدودکردن تعداد مکان‌هایی که کاربران در آنها حضور پیدا می‌کنند، کاهش یابد.

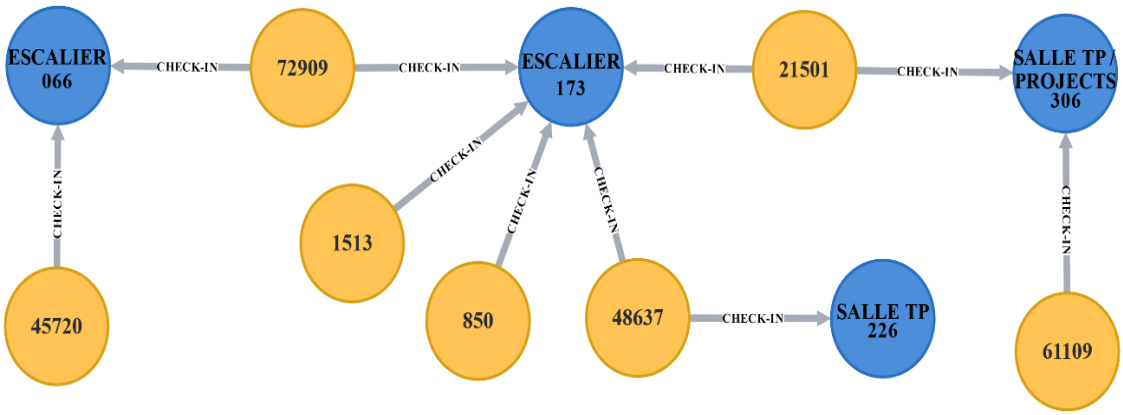
[۱] *Betweenness Centrality*

در یک گراف، هر چه یک گره یا یال، بیشتر در کوتاه‌ترین مسیرهای بین گره‌ها یا یال‌های دیگر قرار گیرد، مرکزیت بینیت بالاتری خواهد داشت. در گراف اجتماعی ـ مکانی، هرچه گره منتسب به یک فرد یا مکان، بیشتر در کوتاه‌ترین مسیرهای شامل یال‌های اعلام حضور بین گره‌های افراد و مکان‌های دیگر قرار گیرد، مرکزیت بینیت بیشتری خواهد داشت. بینیت مرکزیت یک فرد یا مکان در گراف اجتماعی ـ مکانی را می‌توان از رابطه (۱) محاسبه کرد.

$$B(u) = \sum_{s \neq u \neq t} \frac{p(u)}{p} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

در رابطه(۱)، u یک گره فرد یا مکان و s و t دو گره هم‌جنس u در گراف اجتماعی ـ مکانی هستند. p تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای شامل یال‌های اعلام حضور بین s و t است و $p(u)$ تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی از p است که از u عبور می‌کند. در این تحقیق از ابزارهای موجود در کتابخانه علوم گراف در پایگاه داده نِئوفورجِی برای محاسبه مرکزیت بینیت کاربران و مکان‌ها، با توجه به روابط اعلام حضور میان آن‌ها استفاده شده است که مقادیر آن در خصوصیت مرکزیت بینیت کاربران یا مکان‌های فضای داخلی ذخیره می‌شود. برای نمونه پرسش و پاسخ زیر ده اعلام حضور افراد با بالاترین مرکزیت بینیت را در مکان‌هایی با بالاترین مرکزیت بینیت پیدا می‌کند. شکل (۷) نمایش گرافیکی نتیجه این پرسش و پاسخ را نمایش می‌دهد.

```
MATCH (u:User)
WITH u ORDER BY u.betweenness DESC LIMIT 10
WITH collect(u.un) as usernames
MATCH (p:Place)-[r:CHECKIN]-(u:User)
WHERE u.un in usernames
return p, r, u
ORDER BY p.betweenness DESC LIMIT 10
```



شکل ۷: ده اعلام حضور کاربران با بیشترین بینیت مرکزیت در مکان‌هایی با بیشترین بینیت مرکزیت

۴-۳- ارزیابی کمی پیاده‌سازی در پایگاه داده سادک‌مبنا

به صورت خلاصه می‌توان گفت، پایگاه‌های داده گراف‌مبنا با کاهش مشکل عدم تطابق بین مدل‌سازی مفهومی و پیاده‌سازی فیزیکی[۱]، ضمن کم‌کردن پیچیدگی، قابلیت‌های مناسبی در هنگام کار عملیات مرتبط با گراف در پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی در یک شبکه اجتماعی مکان‌مبنای فضای داخلی ارائه می‌دهند. همچنین پرسش و پاسخ‌های نوشته‌شده در زبان سایفر، عموماً کوتاه‌تر، قابل‌فهم‌تر، و شهودی‌تر از پرسش و پاسخ‌های معادل در زبان اس‌کیوال[۲] هستند. از سویی دیگر ماهیت انعطاف‌پذیری پایگاه‌های داده گراف‌مبنا، می‌تواند برای مدل‌سازی ویژگی تغییرپذیری شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا مناسب‌تر باشد. با تجزیه پرسش و پاسخ‌های محک به اساسی‌ترین اجزاء، می‌توان به بررسی مزایای قابلیت مدل‌سازی مجاورت مستقل از فهرست‌بندی[۳]، بر پیچیدگی زمانی اجرای پرسش و پاسخ‌ها پرداخت. پیچیدگی زمانی در پرسش و پاسخ‌های نِئوفورجِی، $O(k)$ است که k تعداد گره‌ها در نتیجه پرسش و پاسخ است در حالی که پیچیدگی زمانی در پرسش و پاسخ‌های پُستگْرِس‌کیوال $O(2k \log n)$ است که k عبارت است از تعداد گره‌های نتیجه و n تعداد گره‌های گراف اصلی است. بهتربودن پیچیدگی زمانی در نِئوفورجِی به خاطر قابلیت مدل‌سازی مجاورت مستقل از فهرست‌بندی است که سبب می‌شود این پایگاه داده گراف‌مبنا بتواند به گره‌های متصل به گره ابتدایی پرسش و پاسخ با هزینه $O(1)$، مراجعه آنی داشته باشد. در حالی که پُستگْرِس‌کیوال باید برای هر گره متصل به گره شروع پرسش و پاسخ، با هزینه $O(2\log n)$ به جداول مربوط مراجعه کند.

برای ارزیابی توانایی‌ها و کارایی مدل در پردازش پرسش و پاسخ‌های مکانی ـ اجتماعی در فضای داخلی دو پرسش و پاسخ مندرج در بخش‌های ۴-۱ ده بار با ۴ مقدار پله متفاوت برای رهگیری چندپله‌ای پردازش شده‌اند. اگرچه ارزیابی کارایی کمی هدف اصلی این مقاله نبوده است، ولی برای مقایسه، پرسش و پاسخ‌های یادشده همزمان در زبان اس‌کیوال نوشته‌شده و روی پایگاه داده پُستگْرِس‌کیوال[۴] پردازش شده‌اند.

جدول(۲) حاوی میانگین زمان اجرای پرسش و پاسخ‌های یادشده بر روی اطلاعات شبکه اجتماعی پیاده‌سازی شده دوم در پایگاه‌های داده پُستگْرِس‌کیوال و نِئوفورجِی بر حسب میلی‌ثانیه است.

نتایج پیاده‌سازی انجام‌شده نشان می‌دهد، به خصوص در مواردی که نیاز به پیمایش چند پله‌ای گراف وجود دارد، پایگاه داده گراف‌مبنا نتایج بهتری نسبت به پایگاه داده رابطه‌ای در پردازش‌های اجتماعی ـ مکانی روی مدل به دست می‌دهد. همانطور که جدول (۲) نشان می‌دهد، هرچه نیاز به پیمایش‌های عمیق‌تر در گراف بیشتر می‌شود، برتری پایگاه داده مبتنی بر گراف نمایان‌تر می‌گردد. با این‌حال نتایج پیاده‌سازی پرسش و پاسخ بخش ۴-۲، نشان از برتری نسبی پایگاه داده رابطه‌ای دارد چرا که فرایند محاسبه مقادیر مرکزیت بینیت، قبلا در پایگاه داده مبتنی برگراف انجام شده، لذا در بازیابی ساده اطلاعات ذخیره‌شده، پایگاه داده رابطه‌ای نتیجه بهتری ارائه می‌کند. در مجموع نتایج اجرای پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی مرتبط با همه‌گیری بیماری‌های خاص، نشان می‌دهد مدل پیشنهادی پیاده‌سازی‌شده در نِئوفورجِی ، قابلیت‌های رضایت‌بخشی در سطوح مختلف از گویا بودن پرسش و پاسخ‌های نوشته‌شده در سایفر تا کارایی محاسباتی بیشتر در ذخیره‌سازی، اندکس‌گذاری و بازیابی اطلاعات در یک شبکه اجتماعی مکان‌مبنای فضای داخلی نشان می‌دهد.

---

[۱] *Impedance Mismatch*

[۲] *SQL*

[۳] *Index-free Adjacency*

[۴] *PostgreSQL*

جدول۲: میانگین زمان اجرای پرسش و پاسخ‌های رهگیری تماس بر حسب میلی‌ثانیه

نوع رهگیری تماس	پُستگْرِس‌کیوال				نِئوفورجِی			
	تک پله‌ای	دو پله‌ای	سه پله‌ای	چهار پله‌ای	تک پله‌ای	دو پله‌ای	سه پله‌ای	چهار پله‌ای
پیش‌رو	۶۹	۱۲۶	۲۱۰۰	۶۹۶۰۱	۶۳	۱۱۴	۱۴۳۴	۵۷۹۹۹
پس‌رو	۸۶	۹۷	۴۱۰۹	۲۱۲۴۱۰	۸۹	۹۱	۲۷۴۹	۱۵۱۰۹۰

۵- قابلیت‌های راهبرد سادک‌مبنا

قابلیت‌های راهبرد سادک‌مبنای پیشنهادی این پژوهش، برمبنای تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی ایجادشده از افراد و مکان‌های فضای داخلی شکل گرفته‌اند. اگر دوسادک یک وجه مشترک q-بعدی داشته باشند، آن دو سادک q-نزدیک[1]هستند. یک q-زنجیره $\mathcal{C}_{ab}$ بین دو سادک σ_a و σ_b، به طول $L(\mathcal{C}_{ab})$ عبارت است از $l-1$ سادک پیاپی $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_l$به صورتی که $\sigma_1 = \sigma_a$ و $\sigma_2 = \sigma_b$ که هر سادک آن نسبت به هم حداقل q-نزدیک باشند. اگر دو سادک σ_a و σ_b، q-نزدیک باشند یا بین آن‌ها q-زنجیره وجود داشته باشد، q-متصل هستند. از آنجا که رابطه q-متصل‌بودن، خاصیت بازتابی، تقارنی و ترایایی دارد، رابطه‌ای هم‌ارزی است و مجموعه‌های q-متصل، کلاس‌های هم‌ارزی تشکیل می‌دهند. تحلیل کیو عبارت است از تعیین تعداد مجموعه‌های q-متصل در یک مجتمع سادکی [۳۴]. $(q+1)$ به عنوان بزرگترین عددی که دو سادک در یک مجتمع سادکی به هم q-متصل هستند را قدرت اتصال[2](CS) آن دو سادک می‌نامند [۲۳]. تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی اجتماعی ـ مکانی یادشده در بخش ۳-۲، به مدل‌سازی مسیرهای تودرتوی روابط سطح بالا میان کاربران و مکان‌ها در شبکه اجتماعی مکان‌مبنا می‌انجامد. این راهبرد قابلیت‌های مختلفی را به مدل گراف‌مبنای پیشنهادی می‌افزاید که از آن جمله می‌توان به سنجه‌ای سادک‌مبنا برای پیداکردن آسان‌ترین مسیر بین مکان‌های فضای داخلی، معیار مشابهت اجتماعی ـ مکانی به عنوان ابزاری برای ارزیابی ریسک ابتلا به بیماری در زمان همه‌گیری و رویه‌ای برای مدل‌سازی چگونگی انتقال تغییرات بین سادک ها و کاربرد آن در سرایت بیماری‌ها اشاره کرد.

۵-۱- غنی‌سازی سادک‌مبنای زیرگراف مکانی

استفاده از سادک‌ها و مجتمع‌های سادکی دسترسی‌محور مکان، امکان تعریف یک سنجه توپولوژیک برای نمایش میزان آسانی دسترسی از یک مکان داخلی به مکان دیگر را فراهم می‌کند. مکان الف که از نظر مسافت هندسی به مکان ب دور است، می‌تواند از نظر توپولوژی نزدیک مکان ب باشد. این زمانی امکان‌پذیر است که مکان‌های میان این دو مکان از نظر توپولوژی به خوبی به هم متصل باشند [۳۵]. لذا نزدیکی توپولوژیک دو مکان در فضای داخلی در بسیاری از موارد از نظر شناخت مکانی ارزشمندتر از نزدیکی هندسی موقعیت‌محور آن دو مکان به یکدیگر است [۳، ۴، ۳۶ و ۳۷]. به صورت شهودی، اگر یک مکان داخلی درهای متعددی داشته باشد، تصمیم‌گیری برای انتخاب در مناسب برای رسیدن به مقصد، برای کاربر سخت‌تر خواهد بود. متقابلاً وجود تعداد زیادی مسیر بین دو مکان، رسیدن کاربر از یک مکان به مکان دیگر را آسان‌تر می‌کند [۲۳]. با تحلیل کیو روی

[1] *Q-near*
[2] *Connective Strength*

مجتمع‌های سادکی دسترسی‌محور مکان، میزان قدرت اتصال و طول اتصال بین هر دو سادک را به‌دست آورد. قدرت اتصال بین دو سادک دسترسی‌محور مکان، می‌تواند تاحدی سادگی دسترسی از یک مکان به مکان دیگر را نشان دهد. در تحقیق حاضر بر اساس کارهای لی، رابطه (۲) برای محاسبه شاخصی جهت مدل‌سازی آسانی حرکت از یک مکان به مکان دیگر در فضای داخلی پیشنهاد می‌شود [۲۳ و ۳۸]:

$$EM = \frac{2\times CS\left(\sigma_a^i, \sigma_b^j\right)}{(i+1)+(j+1)} \qquad \text{رابطه(۲)}$$

در رابطه (۲)، σ_a^i و σ_b^j سادک‌های دسترسی‌محور مبین دو مکان a و b و CS قدرت اتصال بین این دو سادک است. هرچه مقدار EM بیشتر باشد، دسترسی بین دو مکان آسان‌تر است. تعداد راه‌های دسترسی به هر سادک در مخرج کسر رابطه (۲) قرار دارند که مطابقت شاخص پیشنهادی با فهم شهودی یادشده را نشان می‌دهد که تعداد درهای بیشتر در یک مکان، انتخاب مسیر درست را سخت‌تر می‌کند. قرارگرفتن قدرت اتصال در صورت رابطه (۲) هم با فهم شهودی یادشده هماهنگ است که هر چه تعداد مسیرهای بین دو مکان بیشتر باشد، دسترسی بین دو مکان آسان‌تر است. برای آن‌که بتوان از رابطه (۲) برای تحلیل‌های مسیر بهینه استفاده کرد، نیاز به تعریف فاصله بر مبنای آسانی دسترسی است. به این منظور رابطه (۳) به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$MD = 1 - EM = 1 - \frac{2\times CS\left(\sigma_a^i, \sigma_b^j\right)}{(i+1)+(j+1)} \qquad \text{رابطه(۳)}$$

از نقطه‌نظر مکانی، در هر کدام از سرویس‌های معمول شبکه اجتماعی مکان‌مبنا مانند یافتن نزدیک‌ترین دوست احتمالی، یا یافتن نزدیک‌ترین مکان قابل توصیه، غنی‌سازی سادک‌مبنای زیرگراف مکانی، می‌تواند به یافتن مکان‌ها و افرادی که دسترسی به آن‌ها ساده‌تر از مکان‌ها و افراد دیگر است، کمک کند. برای نمونه به کمک خصوصیت میزان آسانی دسترسی بین دو مکان بر اساس رابطه (۱)، هر کاربر می‌تواند دیدی کلی از میزان آسانی دسترسی به مکان توصیه‌شده نسبت به مکان فعلی خود در فضای داخلی به دست آورد. همچنین کاربر می‌تواند به کمک الگوریتم‌های مسیر بهینه با به کارگیری خصوصیت فاصله بر مبنای آسانی دسترسی در یال‌های دسترسی، بر اساس رابطه (۲)، دوست احتمالی با آسان‌ترین دسترسی در فضای داخلی خود را پیدا کند.

توجه به این نکته لازم است که مسیرهایی با آسان‌ترین دسترسی، در فضاهای داخلی پیچیده با زیرفضاهایی با اتصال زیاد به هم معنی بیشتری پیدا می‌کنند در حالی که در فضاهای داخلی ساده‌تر، تفاوت کمتری با کوتاه‌ترین مسیر خواهد داشت [۲۲]. برای نمونه در مجتمع سادکی دسترسی‌محور مکان شکل (۴-ج)، بین دو مکان کلاس اف اچ ای اس ۳۰۲[1] و راهرو ۳۰۲b دو مسیر وجود دارد که یکی از راهرو ۳۰۲ و دیگری از سالن انفورماتیک سیسکو عبور می‌کند. با فرض این‌که فاصله بین هر دو مکان در فضای داخلی، صرفنظر از پیچیدگی‌های هندسی ۱ در نظر گرفته شود، مجموع فواصل در هر دو مسیر یکسان و برابر ۲ خواهد بود. اما بر اساس (رابطه (۳)) مجموع فواصل بر مبنای سنجه پیشنهادی این پژوهش برای مسیر اول ۱٫۳۸ و برای مسیر دوم ۱٫۱۷ خواهد بود. لذا مسیری که از سالن انفورماتیک ۳۰۲ عبور می‌کند، صرف‌نظر از محدودیت‌های زمانی و کارکردی احتمالی، راحت‌تر از مسیری خواهد بود که از راهرو ۳۰۲ می‌گذرد. دلیل این مساله تعداد درهای بیشتر در راهرو ۳۰۲ است.

۵-۲- مشابهت سادک‌مبنا و ارزیابی ریسک بیماری در زمان همه‌گیری

تخمین شباهت بین هر جفت نمایه کاربر یا مکان یکی از نیازهای بسیاری از خدمات شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا از جمله توصیه‌گری و تشخیص اجتماعات است. به صورت شهودی می‌توان گفت، مشابهت

[1] *SALLE DE CLASSE FHES 302*

اجتماعی ـ مکانی بین دو کاربر نشان می‌دهد آن دو کاربر تا چه حد در مکان‌های مشترکی فعالیت‌های خود را انجام می‌دهند. همچنین مشابهت اجتماعی ـ مکانی بین مکان‌ها نشان می‌دهد تا چه حد کاربران مشترکی در این مکان‌ها فعالیت می‌کنند [۳۹]. در زمان همه‌گیری یک بیماری، هرچه میزان مشابهت اجتماعی ـ مکانی کاربر نامزد با کاربر مبتلا بیشتر باشد، احتمال ابتلای کاربر نامزد بیشتر خواهد بود چرا که در مکان‌های بیشتری حضور داشته که کاربر مبتلا نیز در آن‌ها حضور داشته است. به طریق مشابه ریسک آلودگی یک مکان نامزد را می‌توان با میزان مشابهت اجتماعی ـ مکانی آن مکان با مکان آلوده تخمین زد.

استفاده از اطلاعات مرتبه‌بالاتر اعلام حضور افراد در مکان‌ها، نسبت به اطلاعات مرتبه اول، راهبرد بهتری در فهم الگوهای روابط بین افراد و مکان‌ها ایجاد می‌کند و به فرایند بازیابی اطلاعات اجتماعی ـ مکانی کمک می‌کند [۳۸، ۴۰ و ۴۱]. به کمک پشتیبانی از ساختارهای چندبعدی در تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی می‌توان مسیرهای اطلاعات مرتبه‌های بالاتر از حضور افراد در مکان‌ها را تحلیل کرد. از طرفی خاصیت q-متصل بودن می‌تواند نمایانگر نوعی از مشابهت میان اشیاء اصلی بر مبنای اشیاء مرجع مشترک باشد [۴۲ و ۴۳]. لذا برای غلبه بر ضعف‌های ضریب سورنسن ـ دایس[۱] و بری ـ کورتیس[۲]در مدلسازی روابط مرتبه بالاتر و بر اساس کارهای لی، این مقاله ضریب مشابهت را بر مبنای رابطه (۴) برای سنجش مشابهت اجتماعی ـ مکانی بین دو سادک σ_a^i و σ_b^j، بر اساس قدرت اتصال (CS) و طول اتصال (L) بین این دو سادک پیشنهاد می‌کند[۳۸، ۴۱، ۴۴، ۴۵ و ۴۶]:

$$SSM = 0.5^L \times \frac{2\times CS\left(\sigma_a^i, \sigma_b^j\right)}{(i+1)+(j+1)} \qquad \text{رابطه(۴)}$$

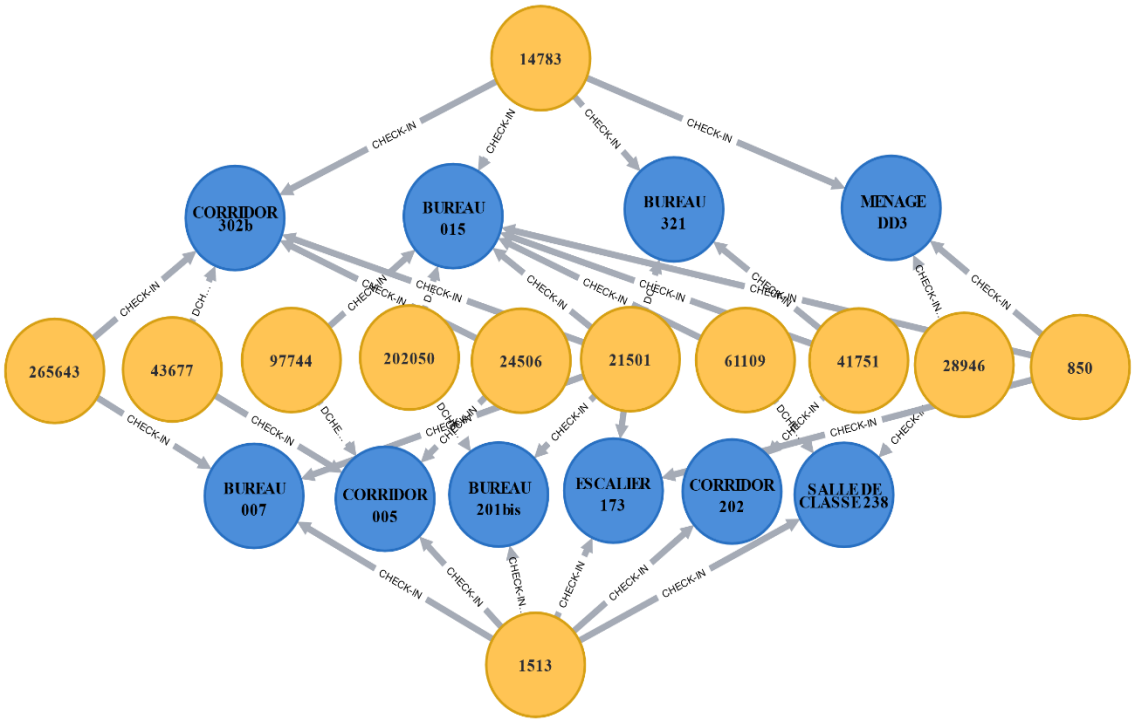
در رابطه(۴)، ضریب 0.5^Lنقش تابع زوال[۳]را ایفا می‌کند تا ارزش میزان مشابهت با افزایش طول اتصال کاهش یابد. SSM می‌تواند تخمینی از مشابهت اجتماعی ـ مکانی بین یک جفت سادک کاربرمحور مکان را بر مبنای تحلیل کیو روی مسیرهای روابط مرتبه بالا از افراد مشابهی که در دو مکان یادشده اعلام حضور کرده‌اند ارائه کند. به طریق مشابه، این شاخص می‌تواند تخمینی از میزان مشابهت اجتماعی ـ مکانی بین یک جفت سادک مکان‌محور کاربر را بر مبنای تحلیل کیو روی مسیرهای روابط مرتبه‌بالا از مکان‌های مشابهی که دوکاربر در آنها اعلام حضور کرده‌اند، ارائه کند. استفاده از شاخص توسعه داده‌شده مشابهت اجتماعی ـ مکانی به کمک تحلیل کیو روی مجتمع‌های سادکی، مدل‌داده گراف‌مبنا را قادر می‌سازد تا علاوه‌بر پشتیبانی از روابط دوبه‌دوی افراد و مکان‌ها، از مسیرهای روابط مرتبه بالاتر افراد و مکان‌ها پشتیبانی کند تا ارتباطات پنهان، آشکارتر شوند [۳۸، ۴۰ و ۴۱].

می‌توان گفت استفاده از مسیرهای مرتبه بالاتر در تحلیل کیو همان نقش ویژگی چندپله‌ای بودن در رهگیری تماس را ایفا می‌کند. پیش‌نیاز اصلی استفاده از معیار مشابهت سادک‌مبنای اجتماعی ـ مکانی برای ارزیابی ریسک بیماری در زمان همه‌گیری، شکل‌گیری مجتمع‌های سادکی بر اساس شرایط زمانی است به صورتی که تنها مواردی از اعلام حضور کاربران برای تشکیل مجتمع‌های سادکی مورد استفاده قرارگیرند که از نظر زمانی با زمان رخداد شواهد بیماری سازگاری داشته باشند. برای نمونه فرض کنیم بیماری کاربر شماره ۱۵۱۳ اثبات شده است. با بررسی اعلام حضورهای کاربر شماره ۱۴۷۸۳، مکان مشابهی با

[۱] *Sørensen-Dice*
[۲] *Bray – Curtis*
[۳] *Decay Function*

مکان‌هایی که کاربر ۱۵۱۳ در آنها اعلام حضور کرده است ندارد. با وجود عدم ارتباط مستقیم میان این دو کاربر، مقدار مشابهت اجتماعی ـ مکانی نسبتاً بالای مشابهت بین این دو کاربر (۰/۱۴) نشان از وجود مسیری از ارتباطات مرتبه بالاتر از جنس اعلام حضور بین این دو کاربر می‌دهد.

شکل(۸) مسیرهای مرتبه دوم روابط اعلام‌حضور بین دو کاربر ۱۵۱۳ و ۱۴۷۸۳ را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مسیرهای مرتبه بالاتر به دلیل وضوح بیشتر تصویر حذف شده‌اند. به صورت مشابه می‌توان از مشابهت مکانی ـ اجتماعی برای یافتن مکان‌های مشابه با مکان آلوده و تلاش برای ضدعفونی‌کردن این مکان‌ها استفاده کرد.



شکل ۸:مسیرهای مرتبه دوم روابط اعلام‌حضور بین دو کاربر

۵-۳- Q-انتقال[1] و ارزیابی ریسک انتقال بیماری

اگر هر تغییری در یک مقدار کمی که بتوان آن مقدار کمی را به سادک‌های یک مجتمع سادکی نسبت داد، برای انتقال به سادک‌های دیگر آن مجتمع نیازمند وجود رشته‌ای q-متصل بین سادک مبدا و سادک مقصد باشد، آن مجتمع سادکی نسبت به آن تغییر دارای خاصیت q-انتقال است. در اکثر موارد وجود یک راس مشترک بین سادک‌ها برای انتقال یک تغییر کافی است. به عبارت بهتر در دنیای واقعی، مجتمع‌های سادکی نسبت به بسیاری از تغییرات دارای خاصیت ۰-انتقال هستند. برای نمونه وجود تنها یک مکان مشترک بین دو سادک مکان‌محور کاربر می‌تواند سبب انتقال بیماری بین دو کاربر گردد. در این موارد تفاوت در مقادیر مختلف q نقش خود را در احتمال انتقال تغییر از یک سادک به سادک دیگر نشان می‌دهد. این احتمال را می‌توان در قالب تابع توزیع تجمعی هندسی تعریف کرد [۴۷ و ۴۸].

فرض کنید احتمال انتقال بیماری بین سادک‌ها در مجتمع‌سادکی به ازاء هر راس مشترک p در نظر گرفته

[1] *Q-transmission*

شود. اگر ابتلای کاربر شماره ۴۶۹۰۱ در مجتمع سادکی شکل (۴-الف) به بیماری مشخص باشد، احتمال ابتلای کاربر ۵۹۳۶۹ که نسبت به کاربر ۴۶۹۰۱ ، ۰-نزدیک است، p خواهد بود. به عبارتی این انتقال تنها از طریق کلاس اف اچ ای اس ۳۰۲ ممکن خواهد بود. از سویی دیگر سادک کاربر ۲۰۹۶۴ نسبت به سادک کاربر ۴۶۹۰۱، ۱-نزدیک است. لذا اگر احتمال آنکه این کاربر از طریق حضور مشترک در کلاس c۱۳۱ یا آزمایشگاه بینایی ۳۱۱[۱]مبتلا شود، p باشد، احتمال عدم ابتلا از طریق حضور مشترک در هر کدام از این مکان‌ها p-۱ خواهد بود. لذا احتمال انتقال بیماری از کاربر ۴۶۰۹۱ به کاربر ۲۰۹۶۴، $1-(1-p)^2=2p-p^2$ خواهد بود. به طریق مشابه، احتمال انتقال بیماری از یک سادک به سادک دیگری که نسبت به آن سادک q-نزدیک است، $1-(1-p)^{q+1}$ خواهد بود. از سویی دیگر، با توجه به اهمیت پیش‌گفته رهگیری چندپله‌ای و با توجه به این فرض که مجتمع سادکی از نظر زمانی نسبت به اعلام حضور کاربر مبتلا ساختاریافته است، به طریق مشابه احتمال انتقال بیماری از یک سادک به سادک دیگر که نسبت به آن سادک با طول (L)، q-متصل است برابر $(1-(1-p)^{q+1})^L$خواهد بود. لذا هرچه طول اتصال کاربر به کاربر مبتلا بیشتر باشد، احتمال ابتلا کمتر خواهد بود. برای نمونه با فرض ابتلای کاربر شماره ۴۶۹۰۱، احتمال ابتلای کاربر شماره ۱۹۸۸۴۷ از طریق مسیر ۰-اتصال به طول ۴ از کاربر شماره ۴۶۹۰۱ ، P^4خواهد بود. در صورت وجود مسیرهای مختلف، حداکثر احتمال محاسبه‌شده بین مسیرهای مختلف، به عنوان احتمال ابتلای شخص موردنظر در نظر گرفته می‌شود.

لازم به ذکر است برای آن که بتوان از خاصیت q-انتقال استفاده کرد، مجتمع‌های سادکی کاربران و مکان‌ها باید از نظر زمانی، در قالب تعریف مجموعه‌ای از زمان‌های حال در یک سیستم زمانی، ساختاریافته باشند *[۱۲]*. با این شرط، برای برقرار بودن مطالب ذکرشده در مورد نمونه مجتمع سادکی شکل (۴-الف)، باید شرط زمانی در تشکیل مجتمع‌های سادکی نظر گرفته شود. به این صورت که مسیرهای q-اتصال بر مبنای توالی زمانی ابتلای احتمالی افراد شکل بگیرند و تنها مواردی از اعلام‌حضور در ساخت سادک‌ها در نظر گرفته شود که با این توالی زمانی همخوانی داشته باشد. به همین صورت می‌توان در یک مجتمع سادکی کاربرمحور مکان‌ها، مانند مجتمع سادکی شکل (۴-ب)، احتمال آلوده‌شدن یک سادک کاربرمبنای مکان را به کمک نحوه اتصال آن به سادک کاربرمبنای مکانی که آلودگی آن اثبات‌شده است، به دست آورد. لازم به ذکر است کل این فرایند را می‌توان جهت انجام رهگیری تقریبی پس‌رو در جهت عکس زمانی انجام داد تا احتمال آن‌که یک سادک منشأ بیماری یا آلودگی سادکی دیگر باشد را به دست آورد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله راهبرد جدیدی برای مدل‌سازی شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا در فضای داخلی از طریق پیشنهاد اضافه‌کردن سادک‌ها به مدل‌داده گراف‌مبنا ارائه شده است که برتری‌های نظری مدل‌سازی سادک‌مبنا و کارایی پیاده‌سازی مدل‌سازی گراف‌مبنا را همزمان به دست می‌دهد. درهم‌تنیدگی[۲] گراف اجتماعی ـ مکانی، محمل مناسبی را برای استفاده از پایگاه‌های داده گراف‌مبنا جهت پرکردن فاصله بین مدل‌سازی مفهومی و پیاده‌سازی فیزیکی ایجاد می‌کند. از آن‌جایی که پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی عموماً از نوع تطبیق الگو بوده و مبتنی بر پیمایش گراف هستند، استفاده از پایگاه‌های داده گراف‌مبنا پردازش آن‌ها را تسهیل می‌کنند. از جمله این پرسش و پاسخ‌ها می‌توان

[۱] *LABORATOIRE VISION 311*

[۲] *Interconnectedness*

به رهگیری تماس و ارزیابی ریسک گراف‌مبنا اشاره کرد که جزء گراف‌مبنای مدل پیشنهادی این پژوهش، امکان پردازش و پاسخ به این پرسش و پاسخ‌ها را فراهم می‌کند. . نتایج پیاده‌سازی‌های انجام‌شده قابلیت راهبرد انتخابی را در بازیابی داده و انجام پرسش و پاسخ‌های مکانی، اجتماعی و اجتماعی ـ مکانی به خصوص در رهگیری تماس و ارزیابی ریسک در زمان همه‌گیری بیماری‌های ویروسی را نشان می‌دهد.

از سویی دیگر استفاده از راهبرد سادک‌مبنا برای مدل‌سازی نمایه کاربران و مکان‌های فضای داخلی شبکه اجتماعی مکان‌مبنا، مدل را قادر می‌سازد که با درنظر گرفتن مسیرهای روابط چندگانه بین آنها، شباهت‌ها و ارتباطات پنهان بین آن‌ها را آشکار کند. این مساله به تعریف معیاری برای مشابهت اجتماعی ـ مکانی می‌انجامد که متسامحاً می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای ارزیابی ریسک ابتلای افراد و مکان‌های مختلف بر مبنای میزان مشابهتشان با فرد مبتلا یا مکان آلوده در زمان همه‌گیری بیماری‌های ویروسی استفاده کرد. همچنین بر مبنای راهبرد سادک‌مبنا، این پژوهش رویه‌ای برای ارزیابی احتمال ابتلای افراد به بیماری بر مبنای خاصیت q-انتقال در مجتمع‌های سادکی ارائه می‌کند. همچنین غنی‌سازی سادک‌مبنای زیرگراف مکانی امکان تعریف یک سنجه فاصله بر مبنای میزان آسانی دسترسی بین دو مکان در فضای داخلی را فراهم می‌کند که از آن می‌توان در پردازش جزء مکانی پرسش و پاسخ‌های اجتماعی ـ مکانی استفاده کرد.

در عین حال، راهبرد پیشنهادی این مقاله می‌تواند فاکتورهای اضافی دیگری مانند نقش کاربران، قابلیت‌های قابل ارائه توسط مکان‌ها (*Place Affordances*)، الگوهای زمان ـ مکانی و فعالیت‌هایی که در فضای داخلی انجام می‌شوند را هم در نظر بگیرد. برای نظرگرفتن بهتر قابلیت‌های قابل ارائه توسط مکان‌ها و فعالیت‌های فضای داخلی ، می‌توان از ترکیب و به‌کارگیری هستی‌شناسی‌های مبتنی بر زبان هستی‌شناسی وب (*Web Ontology Language*) در پایگاه‌داده گراف برای افزایش قابلیت استنتاج استفاده کرد[۸ و ۲۵]. از سوی دیگر، زیرگراف مکانی، ساختار سلسله‌مراتبی فضای داخلی را که می‌تواند بازتاب‌دهنده خصوصیات ساختاری و کارکردی اضافی در مورد شبکه اجتماعی مکان‌مبنا باشد، در نظر نگرفته است که می‌تواند موضوع تحقیقات بعدی باشد. در کنار موارد یادشده، پیاده‌سازی مدل‌سازی سمبلیک فضای داخلی نیازمند توسعه یک روش اندکس‌گذاری منحصربفرد، با نگاهی به کارهای قبلی است [۴۹و۵۰].

مراجع

[1] *A. Shema and Y. Huang, "Indoor Collocation: Exploring the Ultralocal Context," presented at the Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct, Florence, Italy, 2016.*

[2] *K.-F. Richter, S. Winter, and S. Santosa, "Hierarchical Representations of Indoor Spaces," Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 38, no. 6, pp. 1052-1070, 2011.*

[3] *R. Si and M. Arikawa, "a Framework of Cognitive Indoor Navigation Based on Characteristics of Indoor Spatial Environment," The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 40, no. 4, p. 25, 2015.*

[4] *G. Sithole and S. Zlatanova, "Position, Location, Place and Area: An Indoor Perspective," ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 3, p. 89, 2016.*

[5] *M. Rahimi and M. R. Malek, "Context-aware Abstraction and Generalization of Street Networks: Two Cognitively*

Engineered User-oriented Approaches Using Network Voronoi Diagrams," Geocarto International, vol. 30, no. 5, pp. 560-579, 2015.

[6] M. L. Small and L. Adler, "The Role of Space in the Formation of Social Ties," Annual Review of Sociology, vol. 45, no. 1, pp. 111-132, 2019.

[7] M. A. Saleem, "Location Analytics for Location-Based Social Networks," Thesis (PhD), Technical Faculty of IT and Design, Aalborg University, 2018.

[8] J. Fan, "Modeling Space-time Activities and Places for a Smart Space—a Semantic Approach," Thesis (PhD), Graduate College, The University of Iowa, 2017.

[9] H. Tarakci, "A Hypergraph Based Framework for Representing Aggregated User Profiles, Employing IT for A Recommender System and Personalized Search through a Hpernetwork Method," Thesis (PhD), The Graduate School of Natural and Applied Science, Middle East Technical University, 2017.

[10] D. Wang, Y. Zhao, H. Leng, and M. Small, "A Social Communication Model Based on Simplicial Complexes," Physics Letters A, vol. 384, no. 35, p. 126895, 2020.

[11] F. Battiston et al., "Networks Beyond Pairwise Interactions: Structure and Dynamics," Physics Reports, vol. 874, pp. 1-92, 2020.

[12] J. Johnson, Hypernetworks in the Science of Complex Systems (Series on Complexity Science, no. 3). London: Imperial College Press, 2013.

[13] M. Mokbel, S. Abbar, and R. Stanojevic, "Contact Tracing: Beyond the Apps," SIGSPATIAL Special, vol. 12, no. 2, pp. 15-24, 2020.

[14] Y. Zheng, "Location-Based Social Networks: Users," in Computing with Spatial Trajectories, Y. Zheng and X. Zhou Eds. New York: Springer, 2011, pp. 243-276.

[15] Y. Zheng and X. Xie, "Location-Based Social Networks: Locations," in Computing with Spatial Trajectories, Y. Zheng and X. Zhou Eds. New York: Springer, 2011, pp. 277-308.

[16] P. Krishnamurthy and K. Pelechrinis, "Location Based Social Networks," in Advanced Location-Based Technologies and Services, H. Karimi Ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2013, pp. 127-144.

[17] M. Elhamshary, A. Basalmah, and M. Youssef, "A Fine-Grained Indoor Location-Based Social Network," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 16, no. 5, pp. 1203-1217, 2017.

[18] H. Wang, L. Zhu, and A. Chin, "An Indoor Location-Based Social Network for Managing Office Resource and Connecting People," presented at the 2010 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Conference on Autonomic & Trusted Computing, Xian, China, 2010.

[19] L. Zhu, A. Chin, K. Zhang, W. Xu, H. Wang, and L. Zhang, "Managing Workplace Resources in Office Environments through Ephemeral Social Networks," presented at the Ubiquitous Intelligence and Computing, Berlin, Heidelberg, 2010.

[20] A. Chin, H. Wang, L. Zhu, B. Xu, and H. Wang, "Connecting People through Physical Resources in an Office Environment," presented at the 13th international conference on Ubiquitous computing, Beijing, China, 2011.

[21] A. Chin, B. Xu, H. Wang, and X. Wang, "Linking People Through Physical Proximity in a Conference," presented at the MSM '12: 3rd international workshop on Modeling social media, Milwaukee, Wisconsin, USA, 2012.

[22] M. Rahimi, M. R. Malek, C. Claramunt, and T. Le Pors, "A Topology-based Graph Data Model for Indoor Spatial-social Networking," International Journal of

Geographical Information Science, vol. 35, no. 12, pp. 2517-2539, 2021.

[23] D. Li and D. L. Lee, "A Topology-based Semantic Location Model for Indoor Applications," presented at the GIS '08: Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Irvine, California, USA, 2008.

[24] C. Nagel, "Spatio-Semantic Modelling of Indoor Environments for Indoor Navigation," Thesis (PhD), Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, Technischen Universität Berlin, 2014.

[25] L. Yang, "Theories and Models of Indoor Space," Thesis (PhD), The Graduate School, The University of Maine, 2015.

[26] I. Afyouni, C. Ray, and C. Claramunt, "Representation: Indoor Spaces," in International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology, D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu, and R. A. Marston Eds. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, 2016, pp. 1-12.

[27] M. F. Worboys and M. Duckham, "Fundamental Spatial Comcepts," in GIS: a Computing Perspective, 2nd ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2004, ch. 3, pp. 83-132.

[28] Neo4j Inc. "Neo4j." https://neo4j.com/.

[29] N. Francis et al., "Cypher: An Evolving Query Language for Property Graphs," presented at the Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data, Houston, Texas, USA, 2018.

[30] J. Kim, X. Chen, S. S. Bidokhti, and S. Sarkar, "Tracing and Testing the COVID-19 Contact Chain: Cost-benefit Tradeoffs," medRxiv, 2020.

[31] A. Iranmanesh and R. Alpar Atun, "Reading the Changing Dynamic of Urban Social Distances During the COVID-19 Pandemic via Twitter," European Societies, vol. 23, no. sup1, pp. S872-S886, 2021.

[32] R. Van Bruggen. "(Covid-19) Contact Tracing Blogpost - Part 2/4. Bruggen Blog: (Covid-19) Contact Tracing Blogpost - part 2/4." https://blog.bruggen.com/2020/04/covid-19-contact-tracing-blogpost-part_21.html.

[33] M. Needham and A. E. Hodler, Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Spark and Neo4j. O'Reilly Media, 2019.

[34] R. H. Atkin, "An Approach to Structure in Architectural and Urban Design. 2. Algebraic Representation and Local Structure," Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 1, no. 2, pp. 173-191, 1974.

[35] S.-L. Shaw and D. Sui, "Understanding the New Human Dynamics in Smart Spaces and Places: Toward a Splatial Framework," Annals of the American Association of Geographers, vol. 110, no. 2, pp. 339-348, 2020.

[36] J. Sun, H. Li, and H. Huang, "A General Hierarchy-Set-Based Indoor Location Modeling Approach," presented at the Foundations and Applications of Foundations and Applications of Intelligent Systems, Berlin, Heidelberg, 2014.

[37] M. Werner and S. Feld, "Homotopy and Alternative Routes in Indoor Navigation Scenarios," in Fifth International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Busan, Korea, 27-30 Oct. 2014, pp. 230-238

[38] D. Li, "Geometric and Topological Approaches to Semantic Text Retrieval," Thesis (PhD), The Chinese University of Hong Kong, 2007.

[39] Y. Kanza, E. Kravi, E. Safra, and Y. Sagiv, "Location-Based Distance Measures for Geosocial Similarity," ACM Transactions on the Web (TWEB), vol. 11, no. 3, p. 17, 2017.

[40] M. C. Ganiz, N. I. Lytkin, and W. M. Pottenger, "Leveraging Higher Order Dependencies Between Features for Text Classification," in Joint European

Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, Berlin, Heidelberg, 2009: Springer, in Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, pp. 375-390

[41] D. Li and C. P. Kwong, "Understanding Latent Semantic Indexing: A Topological Structure Analysis using Q-analysis," Journal of the American Society for Information Science and Technology, vol. 61, no. 3, pp. 592-608, 2010.

[42] J. Legrand, "How Far Can Q-analysis Go Into Social Systems Understanding," presented at the Fifth European Systems Science Congress, Crete, Greece, 2002.

[43] P. Iravani, "Discovering Relevant Sensor Data by Q-Analysis," presented at thتخد RoboCup 2005: Robot Soccer World Cup IX. RoboCup 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 4020, Osaka, Japan, 2006.

[44] L. R. Dice, "Measures of The Amount of Ecologic Association Between Species," Ecology, vol. 26, no. 3, pp. 297-302, 1945.

[45] T. Sørensen, "A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology based on Similarity of Species and its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons," Biologiske Skrifter, vol. 5, pp. 1-34, 1948.

[46] J. R. Bray and J. T. Curtis, "An Ordination of Upland Forest Communities of Southern Wisconsin.-Ecological Monographs," Journal of Ecological Monographs, vol. 27, pp. 325-349, 1957.

[47] D. T. Utari and A. P. Hendradewa, "Risk Analysis on the Growth Rate of Covid-19 Cases in Indonesia Using Statistical Distribution Model," ENTHUSIASTIC: International Journal of Applied Statistics and Data Science, vol. 1, no. 01, pp. 13-19, 2021.

[48] J. H. Johnson, "Q-Transmission in Simplicial Complexes," International Journal of Man-Machine Studies, vol. 16, no. 4, pp. 351-377, 1982.

[49] H. Lin, L. Peng, S. Chen, T. Liu, and T. Chi, "Indexing for Moving Objects in Multi-Floor Indoor Spaces That Supports Complex Semantic Queries," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 5, no. 10, p. 176, 2016.

[50] C. S. Jensen, H. Lu, and B. Yang, "Indexing the Trajectories of Moving Objects in Symbolic Indoor Space," presented at the Advances in Spatial and Temporal Databases. SSTD 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5644, Aalborg, Denmark, 2009.

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.11, No.3, Autumn 2023

Research Paper

A Simplex-based Enhancement of Property Graphs for Modelling Indoor LBSNs

Mahdi Rahimi [1], Mohammad Reza Malek [2]*

1- Ph.D. Candidate of GIS in Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology
2- Professor in Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

This research proposed a property graph data model, enriched with a simplex-based approach, to model a discrete and place-based indoor spatial model with a location-based social network (LBSN). The graph-based modeling approach facilitates multi-hop contact tracing that is necessary for epidemics risk analysis. The simplex-based approach uses the simplices to model the indoor LBSN's user and place profiles. Through Q-analysis of the emerged socio-spatial simplicial complexes, the latent user-place relations are revealed to provide the measures and procedures for socio-spatial query processing, especially related to epidemics risk analysis. An indoor-specific metric was developed to measure the ease of access between the pairwise indoor places. This simplex-based metric can be used to analyze the spatial compartments of the socio-spatial queries in the indoor spaces. The proposed simplex-based model also integrates a similarity indicator from Q-analysis of the socio-spatial simplicial complexes, allowing easier data manipulation and discovering the latent relationships in an indoor LBSN. The simplex-based approach also facilitates a socio-spatial transmission procedure to model how a change can be transmitted on the socio-spatial simplicial complexes. Both mentioned socio-spatial similarity measure, and the transmission procedure can be used to estimate the LBSN's users' risk of infection and places' risk of contamination during the epidemics in the indoor environments. The experimental implementation of the proposed model demonstrates the quantitative efficiency of the adopting graph-based representation as well as the qualitative excellence of the simplex-based enrichment in processing the spatial-social queries in the indoor spaces, especially in the case of the epidemics' related contact tracing and risk analysis, as shown in the results.

Key words: *Location-based social network (LBSN); Indoor Space, Graph Database, Simplex.*

Correspondence Address: *Ubiquitous & Mobile GIS Research Lab, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel : +98 9122274547
Email : *mrahimi@sina.kntu.ac.ir*