

## ارائه روشی بهینه برای مسیریابی انتقال

## مصدومان مبتنی بر زلزله احتمالی

(نمونه موردی: شهر تبریز)

محمدعلی سالکی ملکی<sup>۱</sup>، معصومه قاسمی<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، مهندسین مشاور رازان آب زاگرس، تبریز، ایران.

Email: salekimaleki@gmail.com

۲. کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، مهندسین مشاور طرح و توسعه بنیان. تبریز، ایران.

دریافت: ۹۳/۱/۲۷ پذیرش: ۹۴/۳/۱۲

## چکیده

**مقدمه:** زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین ناملایمات طبیعی زمین، همواره در زمان کوتاهی، خسارات غیرقابل جبرانی را به پیکره سکونتگاه‌های بشری وارد ساخته است. یکی از مهم‌ترین مسائلی که بعد از زلزله با آن مواجه می‌شویم انتقال مصدومان و حادثه‌دیدگان زلزله به اماکن امن و مراکز درمانی است. بعد از زلزله، سیستم حمل و نقل شهری به عنوان مأمّن و راهی برای حمل و نقل امدادی، اطفای حریق و مانند آن عمل می‌کند. شهر تبریز یکی از شهرهای بزرگ و مهم ایران است که در جایگاه پهنه با خطر بسیار بالای زلزله قرار دارد. مجاورت با گسل تبریز و وجود سرمایه‌های عظیم صنعتی، فرهنگی و تاریخی، شهر تبریز را به عنوان خطرناک‌ترین شهر از نظر خطر زمین‌لرزه معرفی می‌کند. وجود بافت‌های فرسوده زیاد همراه با معابر تنگ و باریک با عرض کم و لزوم صرفه جویی زمان در امدادسانی، لزوم یک مسیریابی بهینه برای

تخلیه آسیب‌دیدگان زلزله را در این شهر اثبات می‌کند.

**روش:** مدل اصلی به کار رفته در این مقاله مدل تحلیل شبکه است که از توابع طول مسیر، سرعت حرکت در مسیر، نوع مسیر و موانع موجود در مسیر و شاخص closeness در آن استفاده شده است. علاوه بر توابع مورد استفاده در مدل عوامل و معیارهایی از قبیل ظرفیت مراکز درمانی، خطرپذیری مکان و... نیز در فرایند تحقیق دخیل بوده است. روش تحلیل شبکه در این تحقیق به صورت یک فرایند سلسله مراتبی ۴ مرحله‌ای است.

**یافته‌ها:** نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که زمان انتقال مصدومان از ۳ الی ۳۰ دقیقه در نوسان است و میانگین آن معادل ۸/۱۴ دقیقه است. در زمینه مراکز درمانی و میزان مراجعات می‌توان گفت که بیمارستان ارتش، سینا، ۲۹ بهمن و شهریار به دلیل قرار گرفتن در مسیر تقاطع‌های غیر همسطح یا دوری از مراکز بحران بدون مسیر (مراجعه) و بیمارستان‌های کودکان، امام رضا (ع) و شمس به دلیل نزدیکی بیشتر به مراکز بحرانی و قرار گرفتن در مسیر بهینه دارای ۲ مسیر (مراجعه) هستند.

**نتیجه‌گیری:** در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت زمان به دست آمده در این تحقیق برای حمل مصدومان به مراکز درمانی بهینه نیست و باید بازنگری اساسی در جانمایی مراکز درمانی نسبت به مراکز بحران و خطر صورت گیرد.

**کلمات کلیدی:** زلزله، تحلیل شبکه، شاخص closeness، مسیر.

## مقدمه

زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین نامالایمات طبیعی زمین، همواره در زمان کوتاهی، خسارات غیرقابل جبرانی را به سکونتگاه‌های بشری وارد می‌سازد. امروزه با وجود پیشرفت‌های تکنولوژیکی و افزایش دانش و توانایی انسان در کنترل بلایای طبیعی شهرها هنوز با خطر زلزله مواجه هستند و از این منظر آسیب‌پذیرند (۱) در واقع زلزله‌ها اساساً به عنوان پدیده‌های غیر قابل کنترل هستند. (۲) یک واقعیت اساسی در مورد این سوانح این است که در مواجهه با چنین سوانحی در لحظه وقوع کار چندانی نمی‌توان انجام داد، در حالی که اثرات آنها را با برنامه‌ریزی از قبل می‌توان خنثی کرد یا به حداقل رساند. (۳)

یکی از مهم‌ترین مسائلی که بعد از زلزله با آن مواجه می‌شویم انتقال مصدومان و حادثه‌دیدگان زلزله به اماکن امن و مراکز درمانی است. تخلیه اضطراری افراد نجات یافته از بلایا که در منطقه تحت تأثیر مخاطره واقع شده‌اند، یکی از راهبردهای عمومی و فعالیت‌های اصلی در مدیریت بحران ناشی از حوادث غیرمترقبه به شمار می‌رود. در بسیاری از حوادث خطرناک، بهترین گزینه جابه‌جایی جمعیت در معرض آسیب به مناطق امن است (۴) بنابراین، تخلیه اضطراری از نخستین مراحل مدیریت بحران به شمار می‌رود که باید در کمترین زمان ممکن انجام شود؛ چرا که سرعت در جابه‌جا کردن آسیب‌دیدگان می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش نرخ مرگ و میر ناشی از وقوع مخاطره

داشته باشد. (۵) بعد از وقوع زلزله، کارایی شبکه ارتباطی به علت فروریختن ساختمان‌ها و احتمال بسته‌شدن مسیرها به شدت کاهش می‌یابد. (۶) شبکه‌های ارتباطی برای حفظ کارکردهای جامعه مدرن حیاتی هستند. بعد از وقوع زلزله، شبکه‌های ارتباطی نقش حیاتی را در فعالیت‌های نجات و تخلیه، اطفای حریق و فعالیت‌های امدادرسانی بازی می‌کنند. (۷) این توجه به نقش حیاتی شبکه‌های ارتباطی به ویژه بعد از زلزله‌هایی که در کوبه ژاپن و سانفرانسیسکو روی داد به صورت ملموس‌تری مورد توجه قرار گرفت. (۸) بعد از زلزله، سیستم حمل و نقل شهری به عنوان مأمون و راهی برای حمل و نقل امدادی، اطفای حریق و... عمل می‌کند.

بر اساس پژوهش‌های وزارت مسکن و شهرسازی در طرح کالبد ملی، ۵۰ درصد جمعیت شهرنشین کشور در پهنه‌هایی زندگی می‌کنند که دارای بیشترین خطر زلزله‌خیزی است. (۹) به عبارتی نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در ایران گویای آن است که بخش اعظم مناطق مسکونی کشور در محدوده خطر نسبتاً بالا، و قریب به تمام سرزمین در محدوده خطر نسبتاً متوسط رو به بالا قرار دارد و فقط در محدوده کوچکی از کشور (آبادان، خرمشهر، بندر امام خمینی، ماهشهر و هویزه)، خطر نسبی زلزله پایین است. (۱۰) در این میان تبریز یکی از شهرهای بزرگ و مهم ایران است که در جایگاه پهنه با خطر بسیار بالا قرار دارد. (۱۱) مجاورت با گسل تبریز و داشتن جمعیتی بالغ بر ۱۳۷۸۹۳۵ نفر (۱۲) و وجود سرمایه‌های عظیم صنعتی، فرهنگی و تاریخی این

مشکلات مسیریابی و اصول محاسباتی ارائه شده است. (۱۵)

- اوزدامار و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای تحت عنوان روش خوشه‌بندی و مسیریابی سلسله‌مراتبی برای امداد رسانی در مقیاس بزرگ به معرفی مدلی ریاضی با عنوان HOGCR برای مسیر یابی در شرایط بحرانی می‌پردازند. HOGCR یک الگوریتم چند مرحله‌ای خوشه‌ای است که تقاضا در گره‌ها را به خوشه‌های کوچک‌تر در هر سطح برنامه‌ریزی تقسیم‌بندی می‌کند و از این طریق راه‌حل بهینه مسیریابی را امکان می‌دهد. (۱۶)

- میشایل هووانگ و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله دیگری با عنوان «یک رویکرد تقریب مستمر برای ارزیابی مسیریابی امداد رسانی» به توسعه مدل تقریب مستمر (CAM) برای حل مشکلات مسیریابی (ARP) پرداخته‌اند. ایشان یک رویکرد تقریب مستمر پیشنهاد می‌کنند که از مجموع اطلاعات و داده‌ها برای گسترش و توسعه سیاست‌های مسیریابی استفاده می‌کند. این روش نیاز به اطلاعات دقیق و جزئی و نیازهای محاسباتی را کاهش می‌دهد. (۱۷)

- سیگرید جانسون و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله‌ای تحت عنوان «یک مدل مسیریابی احتمالی سه مرحله‌ای برای برنامه‌ریزی مدیریت بحران» با رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی به معرفی یک مدل سه مرحله‌ای برای مسیریابی در شرایط بحرانی می‌پردازد. (۱۸)

- محمد طالعی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای تحت عنوان «مسیریابی بهینه در محیط GIS برای تخلیه اضطراری آسیب‌دیدگان از حوادث ناگهانی»

شهر را به عنوان خطرناک‌ترین شهر از نظر خطر زمین‌لرزه معرفی می‌کند و بر این اساس گسل تبریز خطرناک‌ترین گسل کشور به حساب می‌آید. (۱۳) از طرف دیگر وجود بافت‌های فرسوده زیاد همراه با معابر تنگ و باریک با عرض کم و لزوم صرفه‌جویی زمان در امداد رسانی، لزوم یک مسیریابی بهینه برای تخلیه آسیب‌دیدگان زلزله را اثبات می‌کند.

تا به حال مطالعات محدودی به ویژه مطالعات داخلی در زمینه مسیریابی حمل‌مصدومان در شرایط بعد از زلزله انجام شده است. در زیر به تعدادی از این مطالعات اشاره می‌شود:

- آرون جوتشی و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله‌ای با عنوان اعزام و مسیریابی وسایل نقلیه اورژانسی در کاهش بحران با استفاده از داده‌های ترکیبی به بررسی مسیرهای بهینه در شرایط بحرانی در لوس‌آنجلس آمریکا پرداخته‌اند. ایشان در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی زلزله ۱۹۹۴ تورجرینک و استفاده ترکیبی از داده‌های ترافیکی، شرایط جاده، شرایط بیمار، ظرفیت بیمارستان و فاصله و با یک رویکرد سلسله‌مراتبی و با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده CMIF نقشه‌ای برای نشان دادن مسیرهای بهینه ترسیم کرده‌اند. (۱۴)

- میشایل هووانگ و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله‌ای تحت عنوان «مدلی برای مسیریابی بحران: تساوی، کارایی و اثربخشی به صورت تئوریک» با توجه به عوامل تساوی، کارایی و اثربخشی مدلی به نام IMDP معرفی کرده است. این مدل با تأکید بر تأثیر عوامل تساوی، کارایی و اثربخشی و بر پایه تحلیل

نیز در فرایند تحقیق دخیل بوده است. روش تحلیل شبکه در این تحقیق به صورت یک فرآیند سلسله مراتبی ۴ مرحله‌ای است که سه مرحله اول بیشتر وظیفه شناسایی مبدأ، مقصد و موانع را داشته که مبتنی بر تحلیل‌های توصیفی و بر اساس وضع موجود است و مرحله چهارم مرحله تحلیل اطلاعات به دست آمده و اجرای شاخص closeness و استخراج نقشه نهایی نشان دهنده مسیرهای بهینه تخلیه مصدومان است.

مرحله اول: تشخیص نقاط بحرانی اجزای تشکیل دهنده مدل تحلیل شبکه عبارتست از مبدأ، مقصد، موانع و مسیر که هر یک از این اجزا نیازمند شناسایی دقیق و علمی هستند. این اجزا در واقع مراحل چهارگانه تحقیق را تشکیل می‌دهند. اولین مرحله که شناسایی مبدأ است در واقع باید مبدأ تعریف شود. در این تحقیق مبدأ نقاط بحرانی است. نقاطی که بیشترین مصدومان در این نقاط پیش‌بینی می‌شود. اساس تعیین این نقاط استفاده از یک سناریوی زلزله است. در یک مقاله پژوهشی که توسط قنبری و همکاران (۲۵) در زمینه زلزله انجام شده است نقاط حادثه‌خیز شهر تبریز بر مبنای خطر زلزله پهنه‌بندی شده است. در این تحقیق ۵ پهنه معرفی شده است که در این تحقیق کانون و مرکز مناطقی با حداکثر خطر زلزله به عنوان نقاط حادثه‌خیز این تحقیق انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است استفاده از یک طرح ریزپهنه‌بندی دقیق که مناطق خطرزا و بحرانی را به صورت دقیق و در واحد ساختمانی نشان دهد بسیار بهتر و بهینه‌تر

با استفاده از مدل دایجسترا به مسیریابی در منطقه ۷ شهرداری تهران پرداخته‌اند. آزمایش‌های انجام شده حاکی از آن است که برای تعیین مسیر بهینه در یک شبکه واقعی شهری با ۴۳۲ گره بلوک ساختمانی، ۱۱ گره ناحیه امن و تعداد ۱۱۸۹ یال، فقط نیاز به زمانی در حدود ۹۰ ثانیه است. (۱۹)

محمد اسماعیل جلالی (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت عنوان «ارائه یک الگوریتم نموداری برای یافتن سریع‌ترین مسیرهای امداد رسانی در شبکه ترافیک شهری با استفاده از تلفیقی از مدل‌های فلوید-وارشال، پای و تابع دیویدسون» به بررسی مسیرهای بهینه برای امداد رسانی در شهر شاهرود پرداخته است. (۲۰)

یکی از مزایای عمده این تحقیق که آن را از سایر مطالعات متمایز می‌کند دیدگاه جامع، سلسله مراتبی و چند مرحله‌ای بودن آن به همراه استفاده از مدل تحلیل شبکه و ارائه نقشه‌ای مکانی و دقیق از مسیرهای انتقال مصدومان حادثه است.

اهداف اساسی این تحقیق عبارتند از شناسایی مسیرهای بهینه برای حمل مصدومان در هنگام رخداد زمین‌لرزه بر اساس شناسایی موانع و مبادی.

### روش تحقیق

مدل اصلی به کار رفته در این مقاله مدل تحلیل شبکه است که از توابع طول مسیر، سرعت حرکت در مسیر، نوع مسیر و موانع موجود در مسیر و شاخص closeness در آن استفاده شده است. علاوه بر توابع استفاده شده در مدل، عوامل و معیارهایی از قبیل ظرفیت مراکز درمانی و خطرپذیری مکان و...

قبیل شهرداری و اداره کل راه و شهرسازی در قالب نقشه‌های ۱/۲۰۰۰ شهری، برداشت‌های میدانی، GPS، تصاویر گوگل ارث و نرم‌افزارهای CADMAP, GLOBALMAPPER, GOOGLE EARTH, ARC GIS نقشه شبکه ارتباطی، شهر تبریز (اصلی و فرعی) ترسیم شد و پس از آماده‌سازی داده‌ها (انجام توپولوژی و ژئورفرنس) برای تبدیل به ساختار شبکه‌ای وارد نرم‌افزار Arc catalog شده و نهایتاً در نرم‌افزار مذکور ساختار شبکه‌ای با تعریف روابط و با استفاده از توابع سرعت حرکت در شبکه، طول شبکه، نوع شبکه، مقاومت ظاهری شبکه و موانع شبکه ایجاد شد و در نرم‌افزار Arc map با استفاده از فرمان New closet facility در منوی Network analyst تحلیل‌های مدنظر انجام گرفت. ویژگی این ابزار این است که هم بهترین مسیر و هم نزدیک‌ترین مرکز خدماتی (مرکز درمانی) به محل وقوع حادثه را انتخاب می‌کند. خروجی نرم‌افزار در نهایت شده نقشه مسیرهای بهینه برای انتقال آسیب‌دیدگان زلزله است که مسیرهای یادشده را به همراه ویژگی‌های آنان نشان می‌دهد. لازم به ذکر است سرعت حرکت در مسیر اصلی ۶۰ و در اتوبان ۹۰ کیلومتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است.

### مدل تحلیل شبکه

شبکه، مجموعه‌ای از عوارض خطی مرتبط است که از طریق آن مواد، کالا و افراد منتقل می‌شوند، یا در امتداد آن انتقال صورت می‌گیرد. مدل‌های شبکه‌ای در GIS به مثابه نمادسازی انتزاعی از مؤلفه‌ها و ویژگی‌های همتایشان در جهان واقعی هستند. شبکه مجموعه‌ای از عوارض خطی است که از دو عامل

می‌تواند در تعیین نقاط بحرانی مؤثر باشد، ولی به دلیل نبود چنین طرحی در این تحقیق از طرح پهنه‌بندی مذکور استفاده شده است و به دلیل مشخص نبودن دقیق مناطق، مرکز پهنه‌های پرخطر به عنوان مناطق بحرانی انتخاب شده است. نقشه شماره ۱ پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر تبریز را نشان می‌دهد.

مرحله دوم: تعیین مراکز درمانی (مقصد): در این مرحله با استفاده از ظرفیت مراکز درمانی و بیمارستان‌ها تعدادی از بیمارستان‌های نزدیک به نقاط بحرانی که بیشترین ظرفیت بیمار را دارند به عنوان مقصد در نظر گرفته شده است. جدول شماره ۲ ظرفیت بیمارستان‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

مرحله سوم: تعیین موانع: در این مرحله با توجه به خطر زلزله به تحلیل شبکه ارتباطی پرداخته شده است که مسیریایی که دارای تقاطع غیر همسطح هستند به عنوان موانع شناسایی و انتخاب شده‌اند. فرض این تحقیق در انتخاب این مسیرها این بوده است و در هنگام زلزله مسیریایی که دارای چنین تقاطع‌هایی هستند اکثراً با ریزش پل یا مسدود شدن زیر گذرها همراهند و عملاً عبور از این مسیرها غیر ممکن خواهد بود. پس بنابراین این تقاطع‌ها که تعداد آنها ۱۹ مورد است و در جدول شماره ۳ اسامی آنها آمده است، برای مدل تحلیل شبکه به عنوان موانع انتخاب شده‌اند.

مرحله چهارم: اجرای روش تحلیل شبکه: در این مرحله ابتدا باید نقشه‌ای از شبکه ارتباطی منطقه مورد مطالعه تهیه شود. برای این کار در این تحقیق با استفاده از اطلاعات دریافتی از نهادهای مسئول از

انواع تحلیل و اندازه‌گیری در تحلیل شبکه به ۵ نوع Reach, Gravity, Betweenness, Closeness, Straightness تقسیم می‌شود. (جدول شماره ۱) (۲۵)

همان‌طور که ذکر شد در این تحقیق از شاخص Closeness و ابزار New closet facility استفاده شد. ابزار نزدیک‌ترین خدمات یا همان New closet facility ابزاری است که با استفاده از آن می‌توان نزدیک‌ترین مراکز خدماتی از قبیل بیمارستان به مراکز مورد نیاز مثل مرکز بحران مسیر مورد نیاز برای رسیدن به مراکز مذکور را شناسایی کرد. با توجه به اینکه ابزار مذکور در یک بستر نرم‌افزاری (ARC GIS) قرار دارد، تمامی مراحل تئوریک، ریاضی و محاسباتی به صورت اتوماتیک انجام می‌شود و نیازی به انجام محاسبات ریاضی به صورت دستی نیست و در واقع تمامی این محاسبات در قالب برنامه‌های کامپیوتری برنامه‌نویسی و مدل‌سازی شده است. لازم به ذکر است که تحلیل‌گر Network analyst بر پایه الگوریتم شناخته شده دایجسترا طراحی و مدل‌سازی شده است.

#### الگوریتم دایجسترا

روش دایجسترا در سال ۱۹۵۹ گسترش یافت و شاید بتوان گفت، هم اینک یکی از مهم‌ترین و پُرکاربردترین روش‌ها برای حل مسأله یافتن کوتاه‌ترین مسیر در شبکه‌های بُرداری است. مشخصه بسیار مهم آن، امکان ارائه بهینه‌ترین گزینه از میان گزینه‌های ممکن است. بدین صورت که مسیرهای ممکن در تمام جهات خروجی از رأس مبدأ را

لبه و تقاطع تشکیل می‌گردد. شبکه معابر یک شهر نمونه‌ای از لبه‌ها با اتصالات است. لبه‌ها از طریق تقاطع با یکدیگر مرتبط می‌شوند و از طریق لبه‌ها جریان منابع صورت می‌گیرد. از آنجایی که عوارض موجود در شبکه دارای شکل و هندسه است، چنین شبکه‌ای به نام شبکه هندسی نامیده می‌شود. برای هر شبکه هندسی یک شبکه منطقی وجود دارد که دارای یک ساختار داده‌ای پشت صحنه است که عناصر و تقاطع را ذخیره و ارتباط بین آنها را که در نتیجه توپولوژی ایجاد شده حفظ می‌کند. (۲۱) روش تحلیل شبکه، ابزاری مفید در تحلیل توزیع آب، جریان رودخانه و جریان ترافیک و جز آن است. Network analyst در یافتن محدوده خدمات، سرویس‌دهی در شبکه، پلی‌گونی دور خدمات خاص (مانند پارک‌های شهری) ترسیم می‌کند و بر اساس زمان تعریف شده و محدودیت دسترسی‌ها محدوده خدمات‌رسانی آن را مشخص می‌کند (۲۲) تحلیل‌گر Network analyst تحلیل‌های فضایی بر مبنای شبکه اعم از مسیریابی برای سفر، نزدیک‌ترین خدمات، شعاع خدمات‌رسانی و تحلیل مبدأ مقصد را فراهم می‌کند. با استفاده از تحلیل شبکه می‌توان به صورت پویا شرایط طبیعی شبکه را از قبیل نوع شبکه، محدودیت ارتفاع، محدودیت سرعت و سرعت متغیر بر اساس ترافیک مدل‌سازی کرد. با استفاده از این تحلیل می‌توان به راحتی از داده‌های شبکه‌ای مدل‌های پیچیده شبکه ساخت. (۲۳)

تنظیم می‌شود. البته در روش دایجسترای اولیه، هر رأس فقط می‌تواند یکی از دو وضعیت برچسب‌دار موقت و برچسب‌دار دائم را داشته باشد. بنابراین در هر بار تکرار مدل، مدل رأس دارای وضعیت برچسب موقت با برچسب فاصله حداقل نسبت به رأس بعدی را انتخاب می‌کند (۱۹). روش برچسب‌گذاری شیوه رأس  $i$  مطابق زیر است:

#### Procedure Scanning Operation ( $i$ )

```
begin
for all successor nodes of  $i$  do
if  $d(i)+l(i,j)<d(j)$  then
begin
 $d(j)=d(i)+l(i,j)$ ;
 $p(j)=i$ ;
 $S(j)=\text{labeled}$ ;
end
 $S(i)=\text{permanently labeled}$ ;
end
```

درخصوص انتخاب روش یاده شده و بهینه بودن آن در مقایسه با سایر تحقیقات و روش‌ها، می‌توان گفت که اکثر تحقیقات در این خصوص یا بیشتر تئوریک بوده و به معرفی یک مدل ریاضی پرداخته و نمونه‌های موردی و عملی کمتری داشته‌اند یا مسیریابی را به صورت تک بُعدی و از نظر شبکه و طول آن بررسی کرده‌اند. در این تحقیق یک روش چهار مرحله‌ای مبتنی بر متغیرهای گوناگون، جامع و چند بُعدی اجرا می‌شود. از طرفی وجه غالب این تحقیق معرفی ابزار تحلیل شبکه و شاخص‌های مرتبط با آن به عنوان یک بستر نرم‌افزاری و محیطی مطلوب و قابل استفاده برای تحلیل‌های مکانی است که با استفاده از مدل‌سازی الگوریتم دایجسترای تمامی عملیات ریاضی مذکور را به صورت تحلیل‌های مکانی اجرا می‌کند، در حالی که می‌توان سایر

جست‌وجو می‌کند و هنگام رسیدن به رأس مقصد خاتمه می‌یابد. با وجود پژوهش‌های انجام شده برای بهبود عملکرد، این روش تا به امروز به نیازهای جدید مطرح شده را پاسخ داده و اعتبار جهانی کسب کند.

در روش‌های کوتاه‌ترین مسیر، روش برچسب‌گذاری اهمیت زیادی دارد. خروجی حاصل از این روش، یک شبکه درختی خارج شده از رأس مبدأ  $S$  به یک مجموعه از رئوس دیگر شبکه است. این شبکه به صورت تکراری ایجاد می‌شود تا در نهایت، کوتاه‌ترین مسیر میان  $S$  و  $I$  به دست آمده و اجرای مدل خاتمه یابد. سه نوع اطلاعات برای هر رأس از شبکه در فرایند برچسب‌گذاری، نگهداری می‌شود:

- برچسب فاصله  $d(i)$  که بیانگر کران بالای کوتاه‌ترین فاصله میان  $S$  و  $I$  در طول تکرار مدل است و به محض خاتمه یافتن مدل،  $d(i)$  بیانگر کوتاه‌ترین مسیر یکتا میان  $S$  و  $I$  است.

- برچسب رأس والد  $p(i)$  که بیانگر رأس والد رأس  $i$  در شبکه درختی ایجاد شده است.

- برچسب‌دار موقت و برچسب‌دار دائم باشد. هنگامی که یک رأس در طول تکرار مدل مورد پیمایش قرارنگرفته باشد، بدون برچسب خواهد بود و بیشتر برچسب فاصله آن برابر مثبت بی نهایت تنظیم می‌شود. هنگامی که به طور قطعی، کوتاه‌ترین مسیر حاصله تا رأس  $i$ ، کوتاه‌ترین مسیر ممکن باشد، برچسب رأس  $i$  روی وضعیت برچسب‌دار دائم تنظیم می‌شود و هنگامی که انتظار بهبود بیشتر مسیر بهینه در تکرارهای بعدی مدل وجود دارد، برچسب رأس  $i$  روی وضعیت برچسب‌دار موقت

<sup>1</sup> Network analysis

نرم افزار اجرا کرد. در ضمن در داخل خود ابزار تحلیل شبکه می توان متغیرهای فراوان دیگری را تعریف کرد.

تحلیل های مکانی از قبیل همپوشانی سایر لایه های اطلاعاتی از قبیل پهنه بندی زلزله و سایر بحران های طبیعی و انسانی را که می توان به عنوان متغیرهای تحقیق فرض کرد همزمان با تحلیل شبکه و در یک

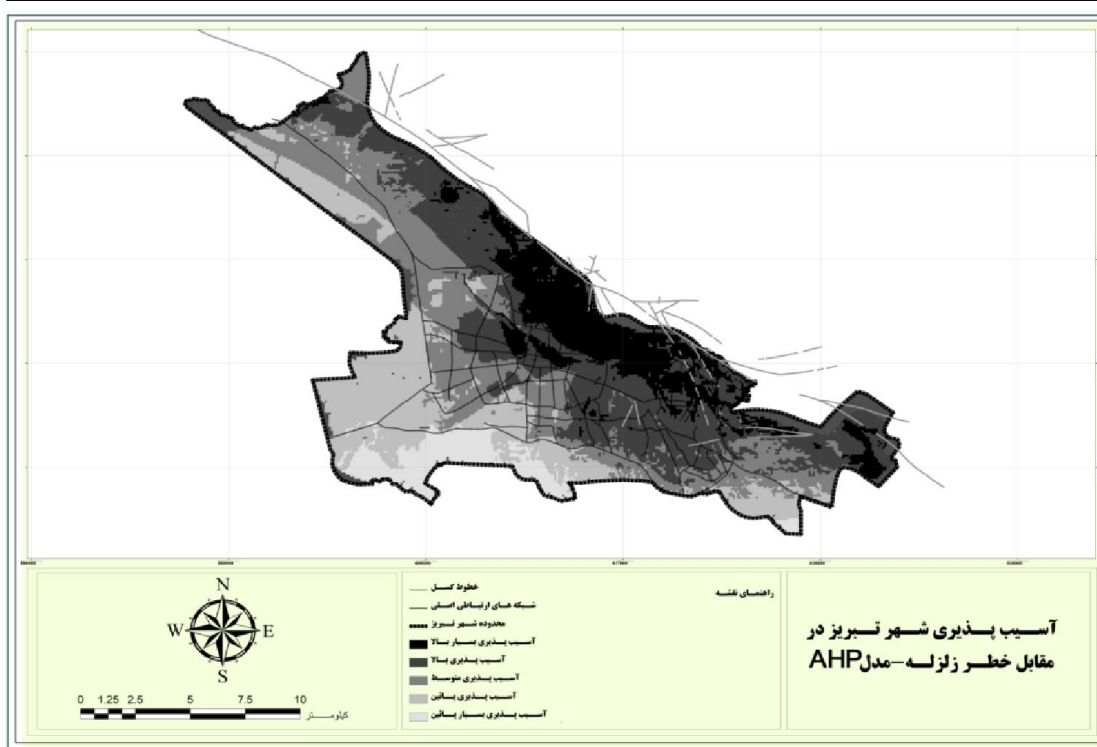
جدول شماره ۱: شاخص های تحلیل در مدل تحلیل شبکه

Measure	Definition
Reach	$\text{Reach } (i)^r = \sum_{J \in G - \{i\} \mid d[i,j] \leq r} W(J)$
Gravity	$\text{Gravity } (i)^r = \sum_{J \in G - \{i\} \mid d[i,j] \leq r} \frac{w(J)}{e^{\beta \cdot d[i,j]}}$
Betweenness	$\text{Betweenness } (i)^r = \sum_{J, k \in G - \{i\} \mid d[i,j] \leq r} \frac{n_{jk}^i}{n_{jk}} W[j]$
Closeness	$\text{Closeness } [i]^r = \frac{1}{\sum_{J \in G - \{i\} \mid d[i,j] \leq r} (d[i,j] w[j])}$
Straightness	$\text{Straightness } [i]^r = \sum_{J \in G - \{i\} \mid d[i,j] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]} \cdot W(J)$

### یافته ها

ابتدا با استفاده از نقشه پهنه بندی زلزله تبریز نقاط بحرانی یاد شده شناسایی شد. تعداد این مراکز ۱۱ بود و اکثر آنها در مناطق شمالی و مرکزی و در بافت فرسوده و حاشیه نشین شهر قرار داشتند. نقشه شماره ۱ پهنه بندی خطر زلزله در شهر تبریز را نشان می دهد.





نقشه شماره ۱: پهنه بندی خطر زلزله در شهر تبریز (۲۵)

در مرحله بعد به شناسایی مراکز درمانی پرداخته شد که جدول شماره ۲ مشخصات مراکز درمانی انتخاب شده را نشان می دهد.

جدول شماره ۲: مشخصات مراکز درمانی (۲۶)

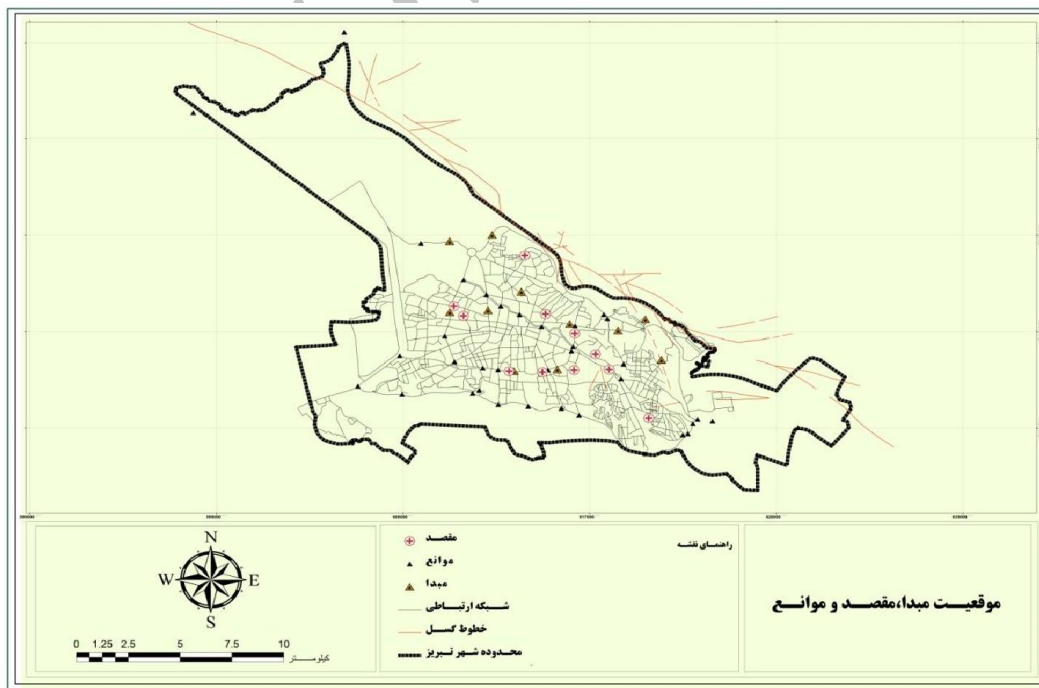
نام	سال تأسیس	ظرفیت	مقیاس
عالی نسب	۱۳۸۳	۲۸۶	شهری-فرا شهری
شهدا	۱۳۶۳	۳۶۰	شهری-فرا شهری
امام رضا (ع)	-	۵۵۸	شهری-فرا شهری
۲۹ بهمن	۱۳۵۰	۲۴۵	شهری-فرا شهری
شهریار	۱۳۵۲	۱۰۰	شهری-فرا شهری
شمس	۱۳۵۶	۱۸۷	شهری-فرا شهری
کودکان	۱۳۴۹	۲۰۰	شهری-فرا شهری
سینا	۱۳۰۰	۴۰۰	شهری-فرا شهری
ارتش	-	۵۲۲	شهری-فرا شهری
اسدآبادی	۱۳۵۸	۱۸۰	شهری-فرا شهری
امیرالمؤمنین	۱۳۷۴	۱۲۰	شهری-فرا شهری

در مرحله بعد موانع (تقاطع های غیر همسطح) شناسایی و روی نقشه جانمایی شدند. جدول شماره ۳ مشخصات موانع را نشان می دهد.

جدول شماره ۳: مشخصات تقاطع‌های غیر همسطح (۲۶)

ردیف	نام تقاطع	ردیف	نام تقاطع
۱	زیرگذر چای کنار - خیابان فلسطین	۲۰	تقاطع بزرگراه پاسداران - خیابان شهید بهشتی
۲	پل بزرگراه پاسداران - بلوار توانیر	۲۱	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - جاده باسمنج
۳	پل سرداران فاتح	۲۲	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - بلوار بسیج
۴	زیرگذر بلوار آزادی - ۲۲ بهمن	۲۳	زیرگذر بلوار توانیر - خیابان عارف
۵	زیرگذر بلوار آزادی - خیابان شهید منتظری	۲۴	تقاطع پل روگذر قاری
۶	روگذر بلوار آزادی - خیابان امام	۲۵	پل سه راهی مرند
۷	زیرگذر چای کنار - بلوار استاد شهریار	۲۶	کنارگذر بازار صاحب الامر
۸	زیرگذر میدان حکیم نظامی گنجوی	۲۷	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - بلوار فتح
۹	زیرگذر چهارراه لاله	۲۸	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - خیابان سلیمان خاطر
۱۰	زیرگذر بلوار آزادی - خیابان طالقانی	۲۹	تونل صاحب الامر
۱۱	زیرگذر میدان پنج مرداد	۳۰	تقاطع بلوار توانیر - بلوار ولیعصر (عج)
۱۲	زیرگذر چای کنار - خیابان شهید بهشتی	۳۱	پل خیابان سلیمان خاطر
۱۳	زیرگذر فرودگاه تبریز	۳۲	پل ورودی دروازه تهران
۱۴	زیرگذر سه راهی ولیعصر (عج)	۳۳	زیرگذر بلوار ملت - ورودی کوی لاله
۱۵	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - بلوار ملت	۳۴	بزرگراه شهید کسایی - خیابان شهید منتظری
۱۶	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - جاده وادی رحمت	۳۵	بزرگراه شهید کسایی - بلوار ملاصدرا
۱۷	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - ایل گلی	۳۶	بزرگراه شهید کسایی - بلوار مشروطه
۱۸	زیرگذر بزرگراه شهید کسایی - ورودی شهرک یاغچیان	۳۷	بزرگراه شهید کسایی - خیابان عدل
۱۹	تقاطع میدان بسیج - نمایشگاه بین‌المللی تبریز	۳۸	تقاطع چهارراه عباسی

نقشه شماره ۲: پراکندگی مبدأ، مقصد و موانع در سطح شهر تبریز



در آخرین مرحله و اجرای روش تحلیل شبکه ۱۰ مسیر برای انتقال مصدومان و حادثه‌دیدگان به مراکز درمانی مشخص شد. جدول شماره ۴ ویژگی مسیرهای انتقال مصدومان را نشان می‌دهد. نقشه شماره ۳ نیز به عنوان خروجی نهایی مدل، مسیرهای انتقال مصدومان را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۴: ویژگی مسیرهای انتقال مصدومان

ردیف	مقصد	طول مسیر (متر)	زمان (دقیقه)
۱	امیرالمؤمنین	۱۹۰۱	۴.۱۱
۲	کودکان	۱۵۰۸	۹
۳	کودکان	۲۳۸۶	۲۸.۱۴
۴	شمس	۲۲۹۱	۷۴۶.۱۳
۵	شمس	۴۱۸۶	۱۶.۲۹
۶	استاد عالی نسب	۲۷۵۷	۵۴۲.۱۶
۷	امام رضا (ع)	۱۰۸۶	۵۱۶.۶
۸	امام رضا (ع)	۳۴۸۸	۹۲۸.۲۰
۹	اسدآبادی	۴۹۹	۹۹۴.۲
۱۰	شهدا	۳۹۱۴	۴۸۴.۲۳



نقشه شماره ۳: خروجی نهایی مدل

## بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که زمان انتقال مصدومان از ۳ الی ۳۰ دقیقه در نوسان است و میانگین آن معادل ۸/۱۴ دقیقه می‌باشد که این عدد بیانگر وضعیت مناسبی برای امداد رسانی بعد از زلزله نیست. البته در این تحقیق امداد رسانی زمینی مدنظر بوده، چراکه در امداد رسانی هوایی زمان کمتری برای حمل مصدومان نیاز است که به دلیل محدودیت امداد هوایی همواره امداد رسانی زمینی در اولویت قرار دارد و این فاصله‌ها و زمان‌ها باید در شرایط بهینه کمتر باشد. از طرفی چون در این تحقیق بیشتر حمل و انتقال مصدومانی مدنظر بوده که به مراکز درمانی و بیمارستان‌ها نیازمند بوده‌اند این زمان بیشتر شده است، وگرنه اکثر مصدومان را می‌توان در مراکز اسکان موقت و فضاهای باز شهری معالجه کرد و خدمات رسانی کرد. در زمینه مراکز درمانی و میزان مراجعات می‌توان گفت که بیمارستان ارتش، سینا، ۲۹ بهمن و شهریار به دلیل قرار گرفتن در مسیر تقاطع‌های غیر همسطح یا دوری از مراکز بحران بدون مسیر (مراجعه) و بیمارستان‌های کودکان، امام رضا (ع) و شمس به دلیل نزدیکی بیشتر به مراکز بحرانی و قرار گرفتن در مسیر بهینه دارای ۲ مسیر (مراجعه) هستند. بدون مراجعه بودن تعدادی از بیمارستان‌ها به این معنی نیست که نمی‌توان از ظرفیت این بیمارستان‌ها استفاده کرد، بلکه وقتی برای مثال بیمارستان ارتش در مسیر تقاطع غیر همسطح قرار می‌گیرد در واقع مسیر زمینی برای انتقال مصدومان حداقل تا بازگشایی مسیر مسدود

خواهد بود و می‌توان از ظرفیت‌های این بیمارستان در انتقال هوایی مصدومان استفاده کرد. شاید یکی از مهم‌ترین اشکالات یا در واقع موانع تحقیق عدم شناسایی دقیق مراکز بحران و حادثه از طرفی و موانع و مسیرهای مسدود از طرف دیگر باشد. دلیل این موارد نبود اطلاعات دقیق از خسارت‌های احتمالی زلزله در شهر تبریز است. لازمه رفع این مشکل نیز در دسترس بودن یک طرح دقیق از ریز پهنه‌بندی خطر زلزله در سطح واحد مسکونی و میزان آسیب‌پذیری شبکه معابر شهر در مقابل زلزله در سطح همه شبکه‌های ارتباطی است. در خصوص مزایای تحقیق و وجه تمایز آن با سایر تحقیقات، چنانچه قبلاً نیز بحث شد این تحقیق یک دید جامع به مسأله دارد. از طرفی منطقه مورد مطالعه آن یک شهر با تمامی مناطق آن است. دلیل این انتخاب نیز ریشه در همان جامعیت تحقیق دارد، چون در بحران‌های طبیعی و انسانی تمامی اجزای شهر به یکدیگر وابسته‌اند و شاید مناطق مجاور یک منطقه دلیل تشدید بحران در آن باشند. مثلاً در خصوص زلزله مجاورت با گسل‌های فعال یا مراکز خطرزا و.. می‌تواند کیلومترها آن طرف‌تر تأثیرگذار باشد و انسداد یک معبر اصلی در یک منطقه باعث انسداد کل شهر شود مانند اتوبان‌های شهری که ورودی‌های یک شهر هستند. در این تحقیق چون تقاطع‌های همسطح به عنوان مانع فرض شده‌اند این مسأله بهتر درک می‌شود. از طرفی مراکز درمانی نیز سطح منطقه‌ای و شهری دارند و نمی‌توان با بررسی یک منطقه موردی کوچک‌تر از منطقه و شهر به

ارتباطی و محاسبه دقیق میزان آوار و انسداد شبکه معابر.

۲- توجه به برنامه‌ریزی کاربری اراضی درمانی و مکان‌یابی و احداث بیمارستان‌ها با توجه به دوری یا نزدیکی به مراکز بحران و حادثه و تجهیز و آماده‌سازی این مراکز برای خدمات‌رسانی در شرایط اضطراری و بحرانی.

۳- مطالعه و احداث پایگاه‌های اسکان موقت و تجهیز این مراکز به خدمات درمانی اورژانسی و لزوم توجه به دسترسی‌های مناسب به این مراکز در شرایط بعد از زلزله.

۴- توجه به ناوگان حمل و نقل هوایی در شرایط بعد از زلزله و تجهیز مراکز امداد‌رسانی از قبیل هلال‌احمر به هلی‌کوپترها و وسایل نقلیه هوایی مناسب از طرفی و تجهیز مراکز درمانی به باندهای فرود هوایی.

۵- طراحی سازه‌های پایدار و مقاوم در تقاطع‌های غیر همسطح برای جلوگیری از انسداد مسیر در شرایط بعد از زلزله.

هدف مورد نظر رسید. از دیگر مزیت‌های این تحقیق ارائه یک بستر نرم‌افزاری مناسب برای انجام تحلیل‌های مکانی و ریاضی (الگوریتم دایجسترا) به صورت همزمان و آسان با قابلیت نمایش و تحلیل‌های ثانویه مورد نیاز و محیطی کاربرپسند برای اپراتورهای GIS است که می‌توان از آن در ادارات مرتبط با مدیریت شهری از قبیل شهرداری‌ها و مراکز بحران استفاده کرد. در سایر تحقیقات انجام شده در این خصوص کمتر با ویژگی‌های یاد شده مواجه می‌شویم.

### پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

۱- اهتمام و توجه ویژه مسئولان امر مدیریت شهری و حوادث غیرمترقبه به امداد‌رسانی بعد از بحران‌های طبیعی به خصوص زلزله و تهیه طرح‌های جامع مدیریت بحران مبتنی بر مطالعات ریز پهنه‌بندی در واحدهای ساختمانی و مطالعات آسیب‌پذیری شبکه‌های معابر در سطح همه معابر و شبکه‌های

### References

1. Mahdavi nejad m, Javanroudy k, (2012). *Assessment of Reducing Earthquake Damage in Transportation Networks of Great Tehran*, Crisis Management, 1:13-21. [In Persian]
2. Fournier Dale, E (1982): An approach to earthquake risk, management, engineering structures, Vol4, issue 3, 147-152
3. Undro, (1976), *Guidelines for Disaster Prevention*, Vol 1, pre-disaster physical planning of human settlements
4. Cova, T. J. and Johnson, J. P. (2003), *A Network Flow Model For Lane-based Evacuation Routing, Transportation Research, Part A, Policy and Practice*, Vol. 37, No. 7, PP. 579-604
5. Yi, W. and Özdamar, L., (2007), *A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities*, European Journal of Operational Research Vol. 179, No.3, Pp. 1177-1193
6. Yung-Lung Lee, Ming-Chin Ho, Tsung-Cheng Huang, Cheng-An Tai. (2007). *Urban Disaster Prevention Shelter Vulnerability Evaluation Considering Road Network Characteristics*, 2<sup>nd</sup> International

- Conference on Urban Disaster Reduction November 27-29
7. Furuta, Hitoshi; Nakatsu, Koichiro. (2011). *Application of Evolutionary Computing Restoration & Prevention Problems*. Proceeding of the ICVRAM & ISUMA conference
  8. Tzeng, G. H. & Chen, Y. W. (1998), *Implementing an effective schedule for reconstructing post-earthquake road-network based on asymmetric traffic assignment-an application of genetic algorithm*, international journal of operations & quantitative management, 4(3), 229-46
  9. Faraji A, Garakhlo M, (2010). *Earthquake and Urban Disaster Management*, Geography, Volume 8, Issue 25, Page 164-143. [In Persian]
  10. Zeyari k, (1999), *Principles and methods of regional planning*, Yazd University Press, Fifth Edition, pp. 1-334. [In Persian]
  11. Mahmodzadeh H. (2006). *Assessment and Zoning Degree of Physical Fitness in Tabriz Using GIS*, Geometrics Conference [In Persian]
  12. Statistical Center of Iran, <http://www.amar.org.ir>
  13. <http://www.irna.ir>
  14. Arun Jotshi, Qiang Gong, Rajan Batta. (2009). *Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion*, socio-economic planning sciences 43, 1-24
  15. Michael Huang, Karen Smilowitz, Burcu Balcik, (2011). *Models for Relief Routing: Equity, Efficiency and Efficacy*, 19<sup>th</sup> International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 416-437
  16. Linet Özdamar, Onur Demir, (2012). *A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning*, Transportation Research, Part E, 48 591-602
  17. Michael Huang, Karen R. Smilowitz, Burcu Balcik. (2013). *A continuous approximation approach for assessment routing in disaster relief*, Transportation Research, Part B, 50 20-41
  18. Sigrid Johansen Rennemo, Kristina Fougner Rø, Lars Magnus Hvattum, Gregorio Tirado, *A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning*, Transportation Research, Part E, 62(2014):116-135.
  19. Taleai M, Saadatseresht M, Mansourian A, Ahmadiyan S, (2011), *A GIS based Optimum Route Determination for Emergency Evacuation*, Physical Geography Research Quarterly, 78:83-102
  20. Jalali m, Noroze m, Forohande f, Yasene M, (2013), *Presenttion a graph algorithm to quickly find relief routes in urban traffic networks*, Rescue & Relief, 1:1-15 [In Persian]
  21. Heydar R, Safarpour M, Azare M. (2014). *The assessment and analysis of the behavior patterns of tourists in the access to urban attraction by using GIS (case study; Shiraz-IRAN)*, Vol 4, Issue 12, Pp.1-132 [in Persian]
  22. Ganbari A, Ganbari M. (2013). *Assessing Spatial Distribution of Tabriz Parks by GIS (Compared Network Analysis and Buffering)*, Vol.50, No. 2, Summer, p 223-234 [in Persian]
  23. <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst>
  24. City Form Lab, Urban Network Analysis, (2012)
  25. Ganbari a, Saleki m. Gasemi m. (2013). *Zoning of cities level of vulnerability to earthquake danger (case study: Tabriz)*, Geography and Environmental Hazards, No.5, pp21-35. [In Persian]
  26. *Project of Seismic Micro zoning of Tabriz*, (2010). Tehran Padir Consulting Engineers, [In Persian]