مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و ششم، زمستان ۱۳۹۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۶
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸
صفحات: ۱۱۰ - ۹۱

مقاله (علمی پژوهشی)

ارزیابی مکان گزینی مسیرهای مترو کلان شهر تبریز نسبت به مخاطرات طبیعی با تاکید بر سیلاب و زلزله

حسن محمود زاده*[۱]، عهدیه موسی زاده[۲]

۱*. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تبریز
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز

چکیده

در چند دهه اخیر به دلیل افزایش جمعیت شهرها سیستم‌های حمل و نقل عمومی نظیر مترو، برای جابه جایی سریع و آسان‌تر مسافران ایجاد گردیده است.کلان شهر تبریز نیز از جمله شهرهای دارنده ی سیستم مترو در کشور است. وجود گسل تبریز در شمال آن به عنوان بزرگترین گسل شمال غرب کشور، همواره تهدیدی بزرگ به شمار می‌رود، همچنین به دلیل سیلاب شدید و آبگرفتی معابر شهر تبریز سالهای اخیر، بررسی مخاطرات احتمالی در مسیرهای مترو و ایستگاه‌های آن در کلانشهر تبریز ضروری به نظر می‌رسد. به منظور داشتن دید کلی و جامع نسبت به وضعیت این مخاطرات (سیل و زلزله) نقشه تلفیقی هر دو مخاطره،که از هم‌پوشانی دو نقشه پهنه‌بندی سیل و زلزله با استفاده از مدل FUZZY-AHP تهیه شد. هدف تحقیق حاضر شناسایی خطر سیلاب و زلزله در خطوط مترو و ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه با استفاده از ۱۰ معیار برای شناسایی خطر سیل و ۱۴ معیار برای شناسایی خطر زلزله می‌باشد. طبق نتایج نهایی حاصل از پهنه‌بندی خطر سیل هیچ ایستگاهی در کلاس خطر خیلی کم قرار نگرفته، اما از نظر طولی و موقعیت ۲۰۳,۶۲۱ متر از خطوط مترو در کلاس خطر کم، ۵ تا ایستگاه و ۶۰۱۳,۷۶۸ متر از خطوط مترو در کلاس خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین در پهنه‌بندی زلزله دو ایستگاه و ۲۴۵۴,۹۱ متر از خطوط مترو در کلاس خطر خیلی کم، دو ایستگاه و ۷۲۲,۸۹۸ متر از خطوط مترو در خطر خیلی زیاد قرار گرفته است، که شناسایی و پهنه‌بندی ایستگاه‌ها و مسیرهای مترو دارای پتانسیل خطر وقوع این گونه مخاطرات از اهمیت بسیار بالایی برخودار است و در جانمایی درست و کم خطر مسیرها می‌تواند کمک شایانی در جلوگیری از خسارات احتمالی آتی نماید.

واژگان کلیدی: مخاطرات طبیعی، مکان گزینی، مسیرهای مترو، ایستگاه‌های مترو، کلان شهر تبریز، مدل FUZZY-AHP.

*- حسن محمود زاده (نویسنده مسئول) Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

مقدمه

حمل و نقل شهری یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین مسایل در برنامه ریزی و طراحی شهرهاست که در این میان امروزه مترو شهری یکی از پرکاربردترین سامانه‌های حمل و نقل عمومی در کلان شهرها محسوب می شود (Perk and Catala,2009). همچنین ورود سیستم مترو به شبکه‌های حمل و نقل شهری، تغییرات عمده‌ای در جریان ترافیک شهرها ایجاد کرده است، از تاثیرات مهم این سیستم، فراهم آوردن قابلیت دسترسی مناسب افراد به فعالیت‌های اشتغال، بازار، نواحی تجاری، امکانات آموزشی و درمانی و همچنین سایر تسهیلات رفاهی است (Boucq & Francis, 2008). بنابراین با افزایش جمعیت شهرهای بزرگ، تعداد زیادی از خطوط مترو برای کاهش ترافیک و همچنین افزایش حمل و نقل سریع ساخته شده‌اند. سیستم مترو یک جزء آسیب‌پذیر از سیستم زیربنایی حمل و نقل عمومی در شهرهای بزرگ به ویژه در مکان‌هایی که در معرض مخاطراتی نظیر سیل و زلزله قرار دارد. با این تعاریف، این سیستم یک بخش حیاتی از زیرساخت حمل و نقل عمومی است که خدمات مهم اجتماعی و اقتصادی را در منطقه شهری تامین می‌کند، وحوادثی مانند سیل و زلزله ممکن است موجب اختلال عملکردی در سیستم‌های مترو شوند، بنابراین درک بهتر آسیب‌پذیری آن‌ها، انعطاف‌پذیری آن‌ها را افزایش خواهد داد (Lyu, et al., 2018). مناطق شهری حدود ۵۵ درصد از جمعیت دنیا را در اختیار دارند و انتظار می رود تا سال ۲۰۵۰ این میزان تا ۶۸ درصد افزایش یابد(Petit-Boix et al., 2013). با این وجود، مناطق شهری با جمعیت زیاد، بیشتر در مقابل مخاطرات سیل و زلزله آسیب پذیر هستند(Lyu et al., 2018;a,b; Jha et al.,2011) بدین صورت که تغییرات آب و هوایی، تکنیک‌های مختلف ساخت و ساز، شهرنشینی و توسعه شهری باعث شده افزایش سهم بیشتری از ناحیه‌های غیر قابل نفوذ مثل آسفالت و بتن شده است (Dawson et al ،2011). افزایش سطوح غیر قابل نفوذ به علت شهرنشینی، فراوانی سیلاب‌ها را به دلیل نفوذ ضعیف و کاهش مقاومت جریان افزایش می‌دهد (Huong & Pathirana،2013). سیلاب از جمله بلایای طبیعی شناخته شده است که طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطربلایای طبیعی، همراه با زلزله و خشکسالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (بهشتی راد و همکارن،۱۳۸۸).مخصوصا در طول دو دهه گذشته، بلایای ناشی از سیل و زلزله منجر به مرگ و میر فراوان، صدمه، زیان‌های اقتصادی و حتی از دست دادن عملکرد در بسیاری از شهرها شده است ,.Lyu et al (2018c,d,e). برآوردها حاکی از آن است که حدود ۴۰ درصد از سیل و تلفات اقتصادی مرتبط با آن مربوط به سیل شهری است (Duan et al,2016). رویدادهای شدید سیل باعث آسیب فاجعه بار به ساختمان‌ها و زیرساخت‌های زیرزمینی مانند تونل‌های مترو و ایستگاه‌ها شده است(,.Shen et al 2015a,b,2016,2017., 2016;Qiao et al., 2017). سوابق سیلاب زیر زمینی در توکیو طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱، ۱۷ رویداد سیلاب زیرزمینی رخ داده است که باعث آب گرفتگی و فرو ریختن ساختمان‌ها و همچنین آسیب جدی به تونل‌های مترو و ایستگاه‌های آن وارد ساخته است (Herath & Dutta،2004). در کشور چین نیز در سال۲۰۱۶ طی یک رویداد سیل که در تونل‌های مترو شهر گوانگ ژو اتفاق افتاد که منجر به انفجار چندین ایستگاه مترو شد (Lyu et al ،2016). در ایران در ۲۷ فروردین ماه سال ۱۳۹۱بارش شدید باران باعث آبگرفتگی معابر و طغیان مسیل میانرود شد و سیلاب به تونل خط ۴ مترو تهران نفوذ کرد و ۴ ایستگاه فعال به همراه ۲ رام قطار را به طور کامل زیر آب فرو برد (سلمانی،۱۳۹۵). از سوی دیگر زلزله نیز یکی از ناملایمات اساسی طبیعی عصر حاضر است که همواره در مدت بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد و تاکنون

فجایع بزرگی را رقم زده است (کوبرن و اسپنس،۱۳۸۹). وقوع این پدیده هم مانند سیل در بیشتر موارد، تاثیرات مخربی بر سگونتگاه‌های انسانی می‌گذارد و تلفات سنگینی بر ساکنان آنها وارد می‌کند. در نتیجه، ساختمان‌ها و زیر ساخت‌های این گونه مناطق را از بین می‌روند و جوامع بشری با عوارض اقتصادی و اجتماعی زیادی روبه رو می‌شوند (خاکپور و همکاران،۱۳۹۰). امروزه رفتار تونل‌های زیرزمینی بزرگ در مناطق شهری تحت اقدامات لرزه‌ای بسیار پیچیده است و تا دو دهه قبل عموما به عنوان یک مسئله طراحی اصلی مورد توجه قرار نگرفت. از لحاظ تاریخی، سازه‌های زیرزمینی آسیب‌های قابل ملاحظه‌ای نسبت به سازه‌های سطحی ایجاد کردند (Hashash et al,2001). با این حال، زلزله کوبه موجب فروپاشی عمده ایستگاه‌های مترو در کوبه شد. زلزله‌ای در شهرکوبه در۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۵ اتفاق افتاد این زلزله باعث خسارت جانی و مالی زیادی شد ایستگاه‌های مترو و جاده ها از بین رفتند و برای روزهای طولانی حمل و نقل در بندر کوبه و حومه آن فلج گردید. هم‌چنین زلزله دیگری در شهر یوشیدا در سال ۱۹۹۹ آسیب جدی به زیر ساخت‌های شهری از جمله مترو وارد کرد. می‌توان گفت بعد از وقوع این زلزله‌ها تحقیقاتی در زمینه بررسی رفتار، مکان‌یابی دقیق مسیرهای مترو و مقامت تونل‌های آن انجام گرفت (Fabozzi, et al, 2017). کشور ایران نیز از جمله کشورهای در حال توسعه است که همواره در معرض انواع مخاطرات مانند سیل و زلزله بوده و در زمرهء آسیب‌پذیرترین نقاط جهان در برابر سوانح طبیعی قرار گرفته است، در طول ۹۰سال گذشته ۱۸ زلزله با توان بیش از ۷ ریشتر را تجربه کرده است که باعث خسارات بزرگ اجتماعی، اقتصادی و آسیب دیدن بخش اعظمی از جمعیت انسانی که (٪ ۷۶) از کل تلفات جانی ایران طی این چند دهه بر اثر زلزله جان خود را از دست داده اند (Bolhari & Chime, 2008). در مجموع رویدادهای سیل و زلزله در طول تاریخ نشان دهنده جدی بودن آسیب این مخاطرات به مسیر مترو و ایستگاه‌های آن در شهرها است. با توجه به مطالب ذکر شده با گسترش جوامع انسانی و ارتقاء نیازهای بشری برای زندگی بهتر جابجایی انسان از اهمیت زیادی برخودار است. از این رو دستیابی به حمل و نقل ایمن، سریع و نسبتا ارزان یکی اهداف همیشگی جوامع انسانی طی دهه‌های اخیر بوده است. بنابراین کلان شهرهایی که با مشکل حمل و نقل روبرو بوده اند در طی دهه‌های اخیراقدام به ساخت سیستم مترو کرده اند. یکی از راه‌های مقابله و کاهش خطرات بلایای شهری در جوامع انسانی پیروی از الگو مناسب برای مکان گزینی است. از جمله موارد عدم توجه به مکانیابی شهرها، مکانیابی و رشد آنها بر روی گسل و حریم رودها می‌باشد که این امر باعث خسارات جبران ناپذیرجانی و مالی شهروندان می‌شود و با توجه به افزایش سریع جمعیت شهری و قرارگیری حدود۵۰ درصد از شهرهای کشور در پهنه خطر بلایای طبیعی از قبیل سیل و زلزله لزوم توجه به مکان‌یابی و مقاوم سازی زیرساخت‌ها مثل مترو در برابر این بلایا را در شهرهایی که امکان وقوع آنها وجود دارد را نمایان می‌سازد (کشکولی،۱۳۹۵).

قرارگیری کشور ایران بر روی یک از فعال‌ترین نوارهای لرزه خیز دنیا سبب بروز زلزله‌های بزرگی در طول تاریخ گردیده است. در این میان شهر تبریز نیز که سابقه زلزله‌خیزی بسیاری داشته و چندین بار زمین لرزه‌های مهیب باعث از بین رفتن شهر شده است (ماهوتی،۱۳۹۰). به دلیل اینکه در محدوده و نزدیکی کلان شهر تبریز گسل‌های مهمی وجود دارد، بنابراین باید در طراحی مسیر مترو و همچنین مکان‌یابی ایستگاه‌های آن دقت زیادی از نظر امنیتی در برابر مخاطرات طبیعی از قبیل سیل و زلزله شود که در مواقع بروز چنین مخاطراتی این نوع از سیستم

حمل و نقل متحمل کم‌ترین آسیب شود. هدف تحقیق حاضر شناسایی پهنه‌های خطر خطوط مترو نسبت به مخاطره سیلاب و زلزله و روش تحلیلی چند متغیره فازی در کلانشهر تبریز هست. در ارتباط با موضوع این تحقیق پژوهش‌های متعددی در طی سالهای اخیر در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است به چند مورد از آنها در اینجا اشاره شده است.

مین لی [1]و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با موضوع ارزیابی خطر سیل در سیستم مترو شهرهای بزرگ با استفاده از رویکرد مدلسازی GIS در گوانگژو چین با ادغام روند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) و تحلیل سلسله مراتبی فاصله (I-AHP[3]) با مدلسازی فضایی در محیط GIS برای ارزیابی خطر سیل درسیستم‌های مترو پرداختند و با استفاده از دو روش AHP و I-AHP که برای ارزیابی خطر سیل در مترو مورد استفاده قرار گرفته نشان داده شد که خطوط مترو با خطر زیاد و بسیار زیاد در مرکز شهر توزیع شده است. مقایسه دو روش نشان می‌دهد که با روشi-AHP می‌توان به یک ارزیابی منطقی‌تر از روشAHP دست یافت. نتایج هر دو روش نشان می‌دهدکه سیستم مترو شهر گوانگژو آسیب‌پذیر است. روش مورد استفاده برای ارزیابی خطر سیل در این تحقیق می‌تواند به راحتی به شهرهای دیگر و سیستم‌های مترو آنها اعمال شود. یوسف و هگاب (۲۰۱۹) در تحقیقی به مدلسازی ارزیابی خطر سیل با استفاده از تحلیل چند معیار و GIS با به کارگیری کاربرد تحلیل سلسله مراتبی و GIS به منظور ایجاد نقشه‌های حساس به سیل در شهر گوانگژو پرداختند و یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که تکنیکAHP توانایی بالایی در پهنه‌بندی خطر سیلاب دارد و نتایج حاصل از ارزیابی دقت ۸۳,۳ برای مدل AHP نشان داد. روش به کار رفته در این مطالعه برای پیش‌بینی سیل بسیار مناسب است و می‌تواند برای مهندسان و برنامه‌ریزان و تصمیم گیرندگان در مدیریت خطر سیلاب مفید باشد.

مین لی و همکاران (۲۰۱۹) به جنبه های ارزیابی و مدیریت خطر سیل برای سیستم مترو شهر مگا در کشور چین با روش‌های آماری، تجزیه و تحلیل چندمعیاره، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل سیل مبتنی بر سناریو به ارزیابی خطر سیل در سیستم مترو منطقه مورد مطالعه (شهرگوانگژو) پرداخته و نتایج تحقیق نشان داد پرتراکم‌ترین توزیع خطوط مترو در منطقه با سطح بالایی از خطر روبرو است، روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) می‌تواند مناطق پر خطر را نشان دهد و با توجه به بررسی روش‌های ارزیابی ریسک سیل در مترو یک رویکرد جدید پیشنهاد شده است. رویکرد شامل دو روش خطر سیل در درجه بالا در ۵۰۰ متری خط مترو و میزان ریسک سیل با ارزیابی کیفی بود که براساس نتایج کیفی، تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو برای پیش بینی کمی از آب و هوای قبل از سیل انجام شده است.

عرب عامری و همکاران(۲۰۱۹) به مقایسه روش‌های آماری و تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین حساسیت خطر سیل در شمال ایران برای شناسایی مناطق سیل خیز چهار مدل باور شهودی(EBF)، نسبت فراوانی(FR)، ویکور (Vikor)، تاپسیس(Topsis) را مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق اهمیت معیارها با AHP مشخص شدند و نتایج مطالعه نشان می‌دهد که ترکیبی از روش‌های آماری و MCDM[4] با داده‌های سنجش از دور و تکنیک GIS می‌تواند

1 Min Lyu
2 analytic hierarchy process
3 Interval analytic hierarchy process
4 Multiple-criteria decision analysis

ابزاری قدرتمند برای پهنه‌بندی سیل باشد. با توجه به دقت بسیار خوب در مناطقی با شرایط محیطی مشابه، به ویژه مناطقی که کمبود داده وجود دارد، توصیه شده است. آتش[1] و همکاران (۲۰۱۹) با نقشه برداری و تجزیه و تحلیل خطر زمین لرزه با ادغام GIS، AHP و TOPSIS برای منطقه Küçükçekece در ترکیه با دو روش AHP وTopsis پرداختند. در نهایت نقشه خطر زلزله در محیط Arc GIS تهیه شد که نقشه حاصل از مدل Topsis قابل مقایسه با روش AHP بود. همچنین استفاده از سایر روش‌های MCDA مقایسه جامع‌تری در منطقه مورد مطالعه فراهم آورد.

یوسف و همکاران(۲۰۱۹) مدل ارزیابی سیلاب با استفاده از تحلیل چند معیار و GIS مطالعه موردی - منطقه راس غریب، مصر را با استفاده از روش AHP به کار گرفتند. برای پردازش نقشه‌ها از نرم افزار Arc GIS استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که اکثریت قریب به اتفاق شهرک‌های موجود در مناطق مستعد خطر بسیار زیاد قرار داشتند. از طرف دیگر، جاده‌ها و بزرگراه‌های مستقر به صورت عمود و به موازات جریان‌های اصلی نشان دهنده حساسیت به سیلاب زیاد و بسیار زیاد است و اکثر زیرساخت‌ها و مناطق شهری که از مدت‌ها قبل ساخته شده‌اند در ارزیابی‌های خطر طبیعی قبل از مراحل ساخت و ساز مورد توجه قرار نگرفته‌اند. با توجه به این نتایج، تکنیک‌های مناسب برای کاهش خطر می‌تواند به طور مؤثر ایجاد و اجرا شود و در آمادگی اضطراری بسیار مفید واقع شود.

خرم روز و طالعی (۱۳۹۱) در تحقیقی با عنوان ارزیابی و اصلاح موقعیت مکانی ایستگاه‌های شبکه قطار شهری با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: خط ۳ قطارشهری تهران) با سه هدف بهبود مکانی شبکه ایستگاه‌های مترو، تناسب مکانی ایستگاه و تناسب مکانی مسیر مترو به وضعیت طراحی فعلی ساختار شبکه قطار شهری را مورد ارزیابی قرار دادند و با اعمال تغییرات محلی در شبکه، پیشنهاد اصلاح نقشه موجود را کردند.

موسوی مبارکه و خزائی (۱۳۹۷) در تحقیقی با عنوان مکان‌یابی ایستگاه‌های مترو براساس اصول پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: منطقه ۳۱ شهر اصفهان) به شناسایی معیارهای تاثیر گذار در مکان‌یابی ایستگاه‌های مترو با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) پرداختند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مکان‌یابی ایستگاه‌های تعیین شده بر اساس ملاحظات پدافند غیر عامل با مکان‌های تعین شده از نظر فنی منطبق است و همچنین به کارگیری روش‌های علمی همچون ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاری نظیر AHP، می‌تواند در مکان‌یابی ایستگاه‌های مترو نقش موثری داشته باشد. جمع بندی پیشینه تحقیق نشان از کارآمدی روش‌های تحلیل چند متغیره در شناسایی متغیرها، مدیریت لایه‌های اطلاعاتی و تحلیل فضایی نتایج در اصلاح روندهای پهنه‌بندی خطرات طبیعی دارد.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که به کار بردن سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله روش AHP و ANP توانایی زیادی برای پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی مانند سیل و زلزله دارد. همچنین روش‌های مذکور می‌توانند در مکان یابی ایستگاه‌ها و خطوط مترو مؤثر واقع شوند. در تحقیق حاضر با توجه به سیلاب اتفاق افتاده در سالهای اخیر در بیش از ۲۵ استان کشور، و از طرف دیگر همجواری کلان شهر تبریز با گسل شمال تبریز به بررسی هم زمان هر دو نوع مخاطره (سیل و زلزله) پرداخته شده است.

[1] Atesh

داده‌ها و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

شهر تبریز به عنوان بزرگترین متروپل شمال غرب در مرکز استان آذربایجان شرقی با مساحتی بالغ بر۴۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است. این شهراز نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و در ۳۸ درجه و ۰۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۷ دقیقه عرض شمالی در جلگه تبریز قرار گرفته است(شکل۱). موقع جغرافیایی، استقرار شهر در محل متقاطع دره‌ها و شیب‌های ملایم به همراه عوامل اقتصادی و انسانی و به ویژه مرزهای سیاسی و فرهنگی، راه‌های ارتباطی داخلی و راه های ترانزیتی تبریز به کشورهای هم جوار (آذربایجان، ترکیه و عراق) باعث ایجاد یک موقعیت ممتاز و استراژیک برای این شهر شده است(زیستا، ۱۳۸۳). براساس آخرین تقسیمات، شهر تبریز دارای ۱۰ منطقه شهرداری است. شهر تبریز در دهه‌های اخیر دارای رشد سریعی بوده و جمعیت آن در سال ۱۳۹۵ ،۱۵۵۸۶۹۳نفر بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

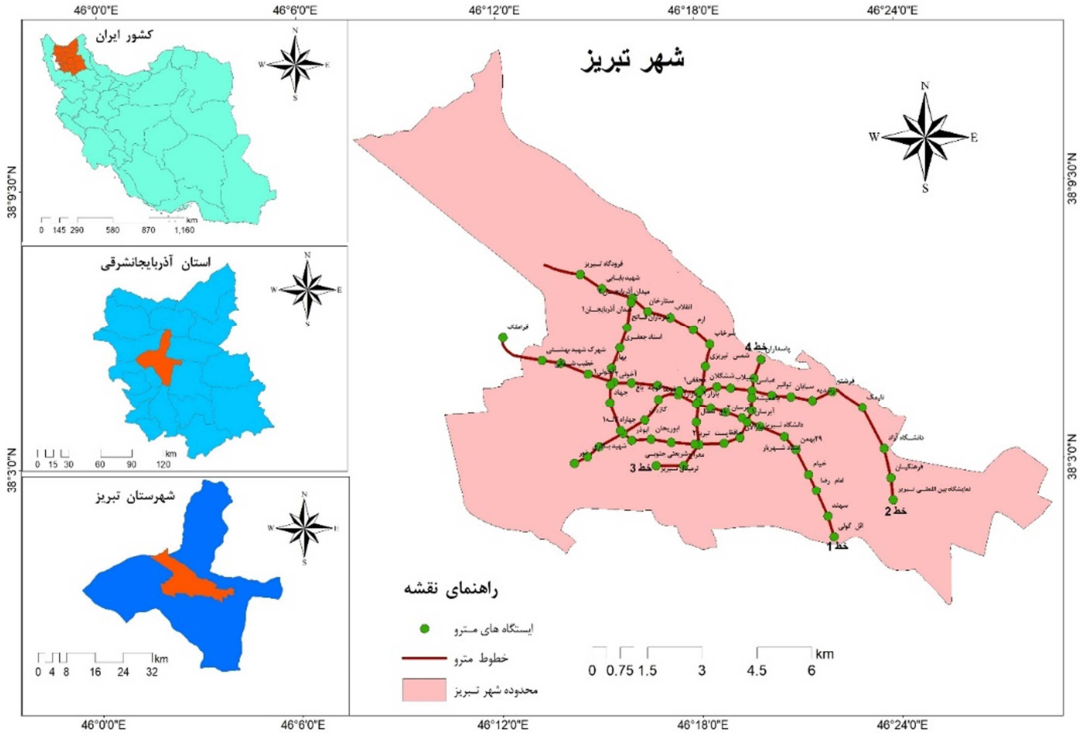
معرفی مترو کلان شهر تبریز

خط یک: به طول ۱۷/۲ کیلو متر با ۱۸ ایستگاه از میدان ائل گلی آغاز و از طریق بلوار شهید باکری و ۲۹ بهمن، خیابان امام خمینی، چها رراه محقّقی، باغ گلستان و خیابان خیام به کوی لاله ختم می شود. حدود۸ کیلومتر از مسیر به صورت تونل عمیق طراحی شده و با دو دستگاه حفار TBM در عمق حدود ۱۶-۲۵ متری در حال حفاری می‌باشد (شکل۱).

خط دو: به طول حدود۲۲/۴ کیلو متر شامل ۲۰ ایستگاه از محدوده زمین‌های قراملک (کارخانه کود آلی) شروع شده، از طریق خیابان وحدت و میدان قراملک (اولین ایستگاه) و پس از عبور از زیر خیابان آخونی، خیابان قدس، بازار، میدان دانشسرا، وارد خیابان عباسی شده و تا میدان شهید فهمیده امتداد یافته و در ادامه مسیر به سمت سه راهی ولیعصر، میدان استاد معین و در نهایت در میدان بسیج خاتمه می‌یابد.

خط سه: به طول حدود ۱۵ کیلو مترو شامل ۱۴ ایستگاه از فرودگاه بین المللی تبریز آغاز و با عبور از میدان بزرگ آذربایجان و خیابان انقلاب، از طریق میدان دانشسرا و خیابان ارتش به پایانه بزرگ اتوبوس‌های بین شهری تبریز جنب بزرگراه شهید کسائی ختم می‌شود.

خط چهار: به طوی ۱۰ کیلو متر شامل ۱۰ ایستگاه به شکل حلقوی در مرکز شهر سه مسیر فوق الذکر را به هم ارتباط می‌دهد. خط تبریز سهند نیز در محل ایستگاه ۱۸ با خط یک دارای ایستگاه مشترک بوده و باعبور از مقابل کارخانه تراکتور سازی به سمت شهر جدید سهند ادامه خواهد یافت (پور محمدی،۱۳۹۶:سلمانی،۱۳۹۵). در حال حاضر خطوط ۱ و ۲ در حال بهره برداری هستند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه. *منبع: نگارندگان، سال ۱۳۹۸*

روش تحقیق

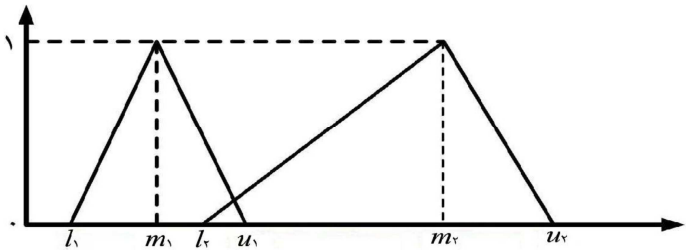
الف)مدل فازی AHP

تحقیق حاضر از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ روش توصیفی – تحلیلی است. برای ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب و زلزله مسیرها و ایستگاه‌های مترو از مدل فازی AHP که از بهترین روش‌ها برای تصمیم‌گیری چند در مواقعی که معیارهای مختلف و گاه متضاد وجو دارد، استفاده شده است. روش‌های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) اغلب برای حل مشکلات دنیای واقعی با معیارها و معیارهای چندگانه، متناقض و ناسازگار استفاده می‌شود (Hwang,1981) در سال‌های اخیر فنون و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای کمک مدیریتی و اولویت بندی معیارهای گوناگون توسعه یافته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) اشاره کرد (مافی غلامی،۱۳۹۵)، پروفسور توماس ال. ساتی فرایند سلسله مراتبی(AHP) را در سال ۱۹۷۰ ارائه داد. اساس این روش یر مقایسات زوجی استوار است، پس از توماس ال.ساتی، ون لارهوون و پدریچ مدل AHP را برای افزودن منطق فازی با هدف ایجاد FAHP گسترش داده‌اند. آنها در رویکرد شان از توابع عضویت فازی مثلثی استفاده کرده اند، این رویکرد نشان داد که چگونه می‌توان تصمیماتی را در صورت عدم اطمینان در طی فرایند مقایسات زوجی اتخاذ نمود (Saaty,1987). در تکنیک AHP فازی، در مرحله انجام مقایسات زوجی از اعداد فازی استفاده می‌شود. اعداد فازی تعمیمی از اعداد معمولی هستند و برای بیان ابهام و

تقریب مورد استفاده قرار می‌گیرد (آذر و فرجی،۱۳۸۱). به منظور انعکاس تقریب و عدم قطعیت موجود در نظر کارشناسان و نزدیک نمودن مدل به واقعیت، در تکنیک AHP فازی از اعداد مثلثی فازی استفاده می‌شود. بدین منظور روش تحلیل توسعه‌ای را که در سال۱۹۹۶ توسط یونگ چانگ ارئه گردیده است استفاده می‌شود.

(Chang,1996). در تحقیق حاضر از روش ارایه شده توسط چانگ استفاده شده و روش انجام محاسبات به طور خلاصه در ادامه آمده است.

دو عدد فازی مثلث M1=(L1,m1,u1) وM2=(L2,m2,u2) را در شکل(۲) نظر بگیرید.



شکل ۲ : اعداد مثلثی M2 , M1

عملگرهای ریاضی آن به روابط(۱)،(۲) و (۳) تعریف می شوند.

$$M1+M2=(L1+L2,m1+m2,u1+u2) \quad (۱)$$

$$M1*M2=(L1*L2,m1*m2,u1*u2) \quad (۲)$$

$$M_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_1}.\frac{1}{m_1}.\frac{1}{l_1}\right) \ . \ M_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_2}.\frac{1}{m_2}.\frac{1}{l_1}\right) \quad (۳)$$

باید توجه داشت حاصل ضرب دو عدد مثلثی فازی،یا معکوس یک عدد فازی مثلثی،دیگر یک عدد فازی مثلثی نیست. این روابط فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند.در این روش، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی،مقدار SK که خود یک عدد مثلثی است،از راه رابطه(۴) محاسبه می شود:

$$S_{k=}\sum_{j=1}^{n}M_{kj}*\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}M_{ij}\right]^{-1} \quad (۴)$$

که در آن k بیانگر شماره سطر وj به ترتیب نشان دهنده گزینه ها و شاخص‌ها هستند.

پس از محاسبه SKها درجه بزرگی آن ها نسبت به هم را باید به دست آورد.به طور کلی اگر M2 و M1 دو عدد مثلثی فازی باشند درجه بزرگی M1 برM2،که با$V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده می شود به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$\begin{cases} V(M_1=M_2)=1 & if\ m_1 \geq m_2 \\ V(M_1=M_2)=hgt(M_1 \cap M_2) & otherwise \end{cases} \quad (۵)$$

$$hgt(M_1 \cap M_2)=\frac{u_{1-}l_2}{(u_{1-}l_2)+(m_2-m_1)}$$

هم‌چنین داریم:

میزان بزرگ تر بودن یک عدد فازی مثلثی ازk عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_{2.....}M_K) = V(M_1 \geq M_2). \ldots . V(M_1 \geq M_K) \quad (۶)$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$W'^{(x_i)} = MinV\{(S_i \geq S_K)\}. \quad k = 1.2. \ldots . n \qquad k \neq i \quad (۷)$$

بنابراین بردار وزن شاخص ها به صورت زیر خواهد بود:

$$W'(x_i) = [W'(c_1). W'(c_2). \ldots . W'(c_n)]^T \quad (۸)$$

که همان بردار ضرایب نابهنجار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی است.

که همان بردار ضرایب نابهنجار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی است.

به کمک رابطه (۹)،نتایج نابهنجار به دست آمده از رابطه (۸) بهنجار می‌شود. نتایج بهنجار شده از رابطه (۹)،W نامیده می‌شود.

$$W_i = \frac{w'_1}{\sum w'_1} \quad (۹)$$

ب) داده ها

در این پژوهش شاخص‌های مختلف طبیعی و انسانی برای رسیدن به هدف مورد استفاده قرار گرفته است. طی فرایند تحقیق ابتدا معیارهای تاثیر گذار در پهنه‌بندی خطر سیل و زلزله شناسایی شد،که معیارهای موثر در پهنه‌بندی سیل در قالب ۱۰ شاخص شامل فاصله از رودخانه، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، شیب، ضریب رواناب، فضای باز، کاربری اراضی، کیفیت ابنیه، سازند زمین شناسی و ضریب cn، معیارهای موثر در پهنه بندی زلزله نیز شامل۱۴ شاخص فاصله از گسل، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، شیب، قابلیت دسترسی به شبکه خیابان‌ها، فاصله از خطوط انتقال نیرو، کیفیت مصالح، کیفیت ابنیه، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از مراکز حساس و خطر زا، سازند زمین شناسی، تعداد طبقات، قابلیت جا به جایی در شرایط بحرانی و اندازه بلوک‌های ساختمانی و هم‌چنین نقشه خطوط مترو و ایستگاه‌ها می‌باشد. منبع داده‌های یاد شده سازمان نقشه برداری کشور و شهرداری تبریز می‌باشد.

پ)معیارهای ارزیابی استاندارد سازی لایه‌ها به روش فازی

پس از رقومی کردن همه لایه‌ها، چون هر لایه نقشه معیار دارای دامنه و مقیاس اندازه گیری متفاوتی است، بنابراین برای تحلیل و ارزیابی چند معیاری باید مقیاس اندازه گیری آنها را هم‌خوان نمود. برای همسان سازی مقیاس‌های اندازه گیری و تبدیل آنها به واحد های قابل مقایسه از فرایند استادندارد سازی معیارها استفاده می‌شود. در این پژوهش برای استانداردکردن از روش فازی استفاده شده است. دلیل به کارگیری روش فازی این است در تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، تئوری فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی و عدم قطعیت‌ها شناخته شده است. در واقع، روشی است برای برگرداندن متنوع وگسترده‌ای از اطلاعات-داده‌های عینی،اطلاعات کمی، نظرها و قضاوت‌های ذهنی و عینی به یک زبان طبیعی که توصیف اثرهای محیط را فراهم می‌آورد (موسوی،۱۳۹۳) .استاندارد سازی

داده‌ها کلیه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه ای را به دامنه یکسانی بین صفرتا یک تبدیل می‌کند که در این حالت بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی عدد صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد(کرم،۱۳۸۳).

جدول ۱: معیارهای و توابع مورد استفاده در استاندارد سازی نقشه‌ها

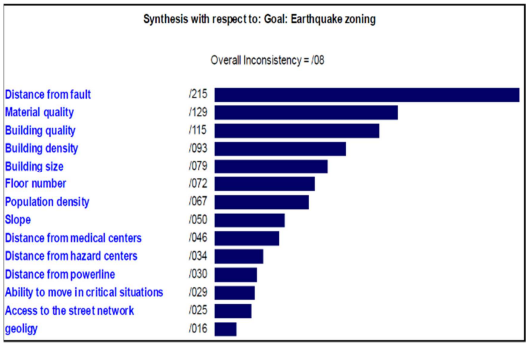
لایه نقشه	تابع عضویت	نام تابع فازی
فاصله از گسل	$M_A(x)\begin{cases}0. & x \le 500\\ \dfrac{x-500}{1500-500} & 500 < x \le 1500\\ 1. & x > 1500\end{cases}$	small
کیفیت مصالح	$if_{(x)}\begin{cases}1 & \text{سنگ}\\ 0.8 & \text{بلوک سیمانی}\\ 0.6 & \text{اجروآهن اسکلت، فلزی}\\ 0.4 & \text{سایرمصالح ترکیبی}\\ 0.2 & \text{بتن آرمه}\end{cases}$	linear
کیفیت ابنیه	$\begin{cases}0.2 & \text{تخریبی}\\ 0.3 & \text{تعمیری}\\ 0.4 & \text{ویژه}\\ 0.8 & \text{فاقدسازه}\end{cases}$	small
تراکم ساختمانی	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & \text{تراکم خیلی کم}\\ 0.4 & \text{تراکم کم}\\ 0.6 & \text{تراکم متوسط}\\ 0.8 & \text{تراکم زیاد}\\ 1 & \text{تراکم خیلی زیاد}\end{cases}$	large
اندازه بلوک‌های ساختمانی	$if_{(x)}\begin{cases}1 & 75 \text{ متر}\\ 0.8 & 75-100\\ 0.6 & 100-200\\ 0.4 & 200-500\\ 0.2 & 500 <\end{cases}$	Small
تعداد طبقات	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & \text{بقات }0\text{، }1\text{، }2\text{، }3\\ 0.4 & \text{بقات }4\text{، }5\text{،}6\\ 0.6 & \text{بقات }7\text{،}8\text{،}9\\ 0.8 & \text{بقات }10\text{، }11\text{،}12\\ 1 & \text{بقات }13\text{،}14\text{،}15\end{cases}$	large
تراکم جمعیت	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & \text{تراکم خیلی کم}\\ 0.4 & \text{تراکم کم}\\ 0.6 & \text{تراکم متوسط}\\ 0.8 & \text{تراکم زیاد}\\ 1 & \text{تراکم خیلی زیاد}\end{cases}$	linear
شیب	$M_{A(x)}\begin{cases}1. & x \le 10\\ \dfrac{1}{2}\left[1+cos\left[\pi\dfrac{x-10}{30-10}\right]\right] & .10 \le x\ 30\\ 0. & x > 30\end{cases}$	large

linear	$M_A(x)\begin{cases}0. & x \le 500\\ \dfrac{x-500}{3000-500} & 500 < x \le 3000\\ 1. & x > 3000\end{cases}$	**فاصله از مراکز درمانی**
linear	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & 0-500\\ 0.4 & 500-1000\\ 0.6 & 1000-1500\\ 0.8 & 1500-2000\\ 1 & 2000 <\end{cases}$	**فاصله از مراکز حساس و خطرا**
small	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & 0-300\\ 0.4 & 300-1000\\ 0.6 & 1000-2000\\ 0.8 & 2000-3000\\ 1 & 3000 <\end{cases}$	**فاصله از خطوط انتقال نیرو**
linear	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & 0-5\\ 0.4 & 10-20\\ 0.6 & 20-30\\ 0.8 & 30-40\\ 1 & 40 <\end{cases}$	**دسترسی به شبکه خیابان ها**
large	$if_{(x)}\begin{cases}1 & \text{ماسه آهک و آهک آهکی، شیلهای مارنی،آهک}\\ 0.8 & \text{کوارتزی سفید سنگ ماسه}\\ 0.6 & \text{سنگ ماسه و کنگلومرا از هایی لایه میان با برش توف}\\ 0.4 & \text{سنگ ماسه از هایی لایه میان بهمراه سخت نیمه کنگلومرای}\\ 0.2 & \text{گرانیت}\end{cases}$	**سازند زمین شناسی**
linear	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & \text{خیلی کم}\\ 0.4 & \text{کم}\\ 0.6 & \text{متوسط}\\ 0.8 & \text{زیاد}\\ 1 & \text{خیلی زیاد}\end{cases}$	**قابلیت جا به جایی در شرایط بحرانی**
linear	$M_{A(x)}\begin{cases}0. & x = 67\\ \dfrac{1}{2}\left[1+cos\left[\pi\dfrac{x-67}{92-67}\right]\right] & .67 < x < 92\\ 1. & x = 92\end{cases}$	**ضریبCN**
small	$if_{(x)}\begin{cases}1 & \text{اراضی بایر ومتروک گورستان، مزارع، فضای،، باز . آثار تاریخی و جهانگردی}\\ 0.8 & \text{بهداشتی ، درمانی مذهبی، آموزشی، ، مسکونی فرهنگی، ، اداری ورزشی، تجاری،}\\ 0.6 & \text{،باغات اراضی کشاورزی کارگاه، ، فضاهای سبز}\\ 0.4 & \text{تاسیسات و تجهیزات شهری ، صنعتی}\\ 0.2 & \text{حمل و نقل ، پایانه های مسافر بری}\end{cases}$	**کاربری اراضی**
linear	$if_{(x)}\begin{cases}0.2 & \text{فضای باز}\\ 0.8 & \text{فضای متراکم}\end{cases}$	**فضای باز**

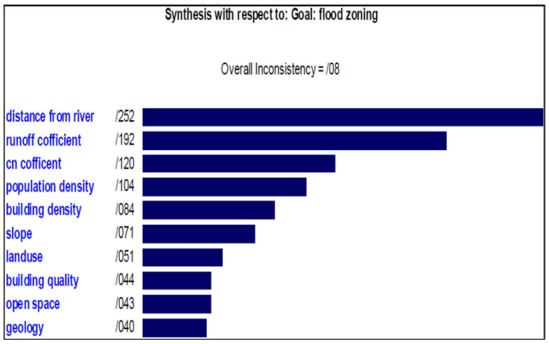
small	$M_A(x)\begin{cases}0. x \le 500\\ \dfrac{x-500}{1000-500} \quad 500 < x \le 1000\\ 1. x > 1000\end{cases}$	فاصله از رودخانه
large	$M_{A(X)}\begin{cases}0. x = 0.1\\ \dfrac{1}{2}\left[1+cos\left[\pi\dfrac{x-10}{30-10}\right]\right]\\ 1. x = 0.8\end{cases}. 0.1 < x < 0.8$	ضریب رواناب

همان گونه که اشاره شد وجود معیارهای مختلف و گاه متضاد برای تصمیم‌گیری کاربرد روش‌های چند متغیره را الزامی می‌کند. به منظور بررسی مخاطرات سیل و زلزله در مترو کلانشهر تبریز ابتدا تمامی لایه‌ها تهیه و ویرایش شدند. سپس با مطالعه و بررسی تحقیقات صورت گرفته به استاندارد سازی اقدام شد. جدول شماره(۱) به معرفی لایه‌ها، ضوابط مربوط به آن‌ها و نوع استاندارد سازی هر لایه بر اساس مدل FAHP می‌پردازد. با توجه به فراوانی متغیرها خلاصه نتیجه نهایی مقایسه زوجی و اوزان در شکل ۳ و ۴ ارائه شد.

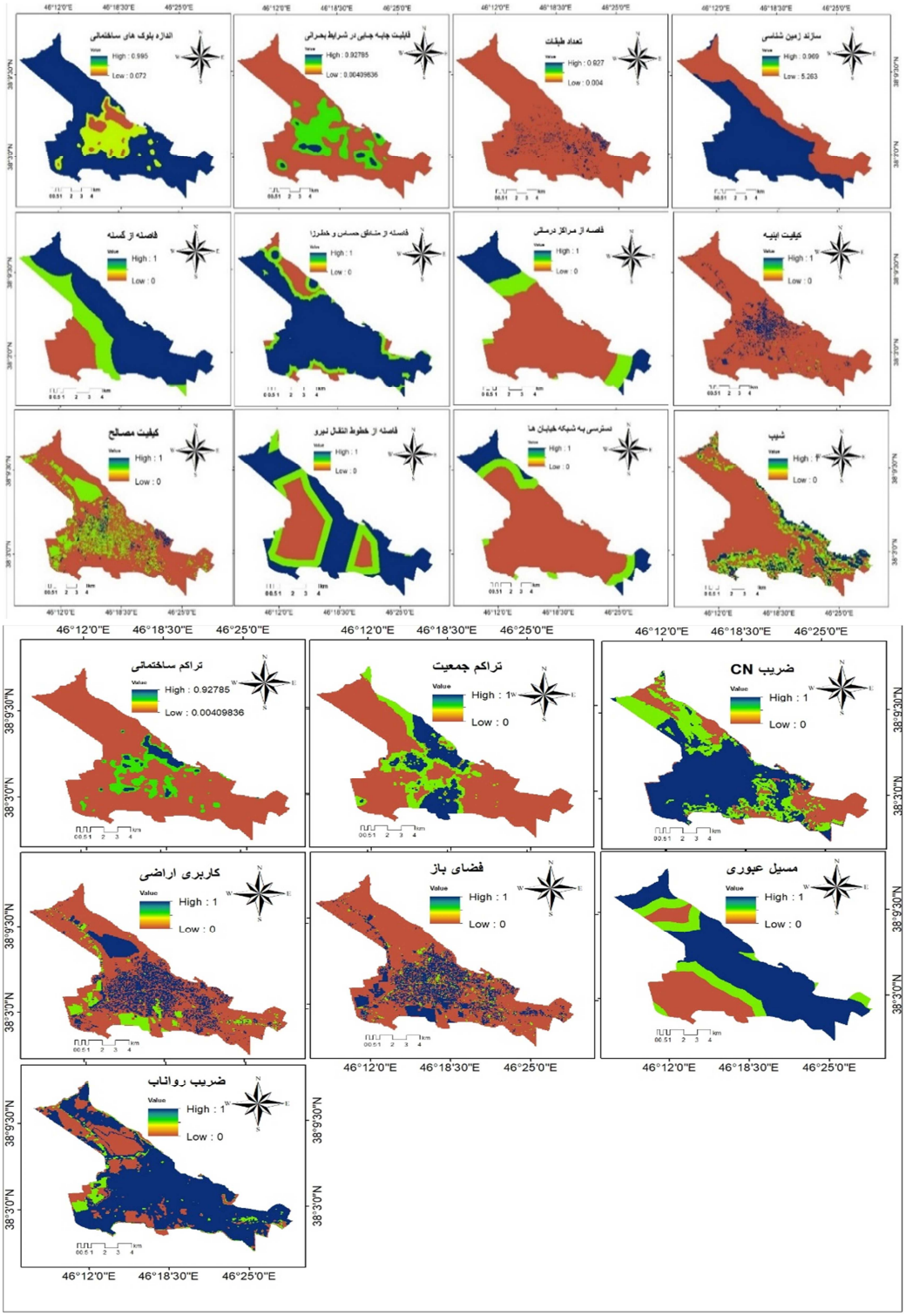
سپس با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی درجه اهمیت لایه‌ها یا اوزان مربوطه با تعریف ماتریس مقایسه دوتایی در محیط نرم افزار Export choice و تعیین ارجحیت لایه‌ها با استفاده از نظرات کارشناسان حوزه ساخت و ساز و عمران نسبت به هم دیگر، وزن نهایی لایه‌های مربوط به پهنه‌بندی سیل و همچنین لایه‌های مربوط به پهنه‌بندی زلزله با ضریب ناپایداری کمتر از۰/۱ به دست آمد وزن نهایی معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی سیل و زلزله به طور جداگانه با ضریب ناپایداری۰/۰۸ در نرم افزارExport choice محاسبه گردید (شکل۳ و شکل۴). با توجه قابل قبول بودن ضریبCR با استفاده از ArcMap10.5 نقشه پهنه‌بندی سیل و زلزله در متروکلان‌شهر تبریز در ۵ کلاس خطر استخراج گردید.



شکل ۳: وزن نهایی معیارهای موثر در زلزله به ترتیب اهمیت



شکل۴ : وزن نهایی معیارهای موثر در سیل به ترتیب اهمیت



شکل۵ : نقشه‌های فازی استاندارد شده مورد نیاز در تحقیق

یافته ها و بحث

همان گونه در شکل های ۷ و ۸ هم پوشانی سیل و زلزله با مسیرها و ایستگاه‌های حاصل از اجرای مدل فازی AHP مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های مترو کلان شهر تبریز که در جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی وشمالی وغربی، در خطر کم و متوسط، ۶۱ ایستگاه از ایستگاه‌های جنوب شرقی و جنوبی در خطر زیاد و ایستگاه‌های شمال شرقی و در نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیل در خطر خیلی زیاد قرار دارند. در نقشه پهنه‌بندی زلزله نیز ۲۶ ایستگاه‌ها در قسمت جنوب غربی شهر در خطر خیلی کم و کم، جنوب، جنوب شرقی و شمال شرقی در خطر متوسط، ۱۱ ایستگاه از ایستگاه‌های شرق و شمال شرقی در خطر زیاد و ایستگاه‌های شمالی در خطر خیلی زیاد قرار دارند (شکل۶). جدول شماره ۳ به تفصیل ایستگاه‌های در پهنه‌های مختلف خطر را نشان می‌دهد.

در خطوط مسیر مترو نیز در قسمت‌های شرقی، جنوب شرقی و جنوب در پهنه‌بندی خطر زلزله، خطر متوسط و زیاد، جهت شمال شرقی خطر خیلی زیاد، شمال غربی، جنوب و هم‌چنین در مرکز شهر در خطرخیلی کم و کم دیده می‌شود. در نقشه پهنه‌بندی خطر سیل برای مسیرهای مترو قسمت‌های جنوب شرقی، جنوب غربی، جنوب و شمال غربی در بین خطر خیلی کم، کم و متوسط، در قسمت‌های مرکزی شهر خطر زیاد و در قسمت شمال شرقی در خطر خیلی زیاد قرار دارد (شکل ۶). در جدول شماره ۴ مسیرهای مترو در پهنه خطر بر حسب متر مشخص شده است. همان طور مشخص شده است حدود ۶۰۱۳,۷۶۸ متر در پهنه خطر خیلی زیاد سیل،۷۲۲,۸۹۸ متر در پهنه خطر خیلی زیاد زلزله قرار دارد.

جدول۲ : تعداد ایستگاه های در پهنه های خطر

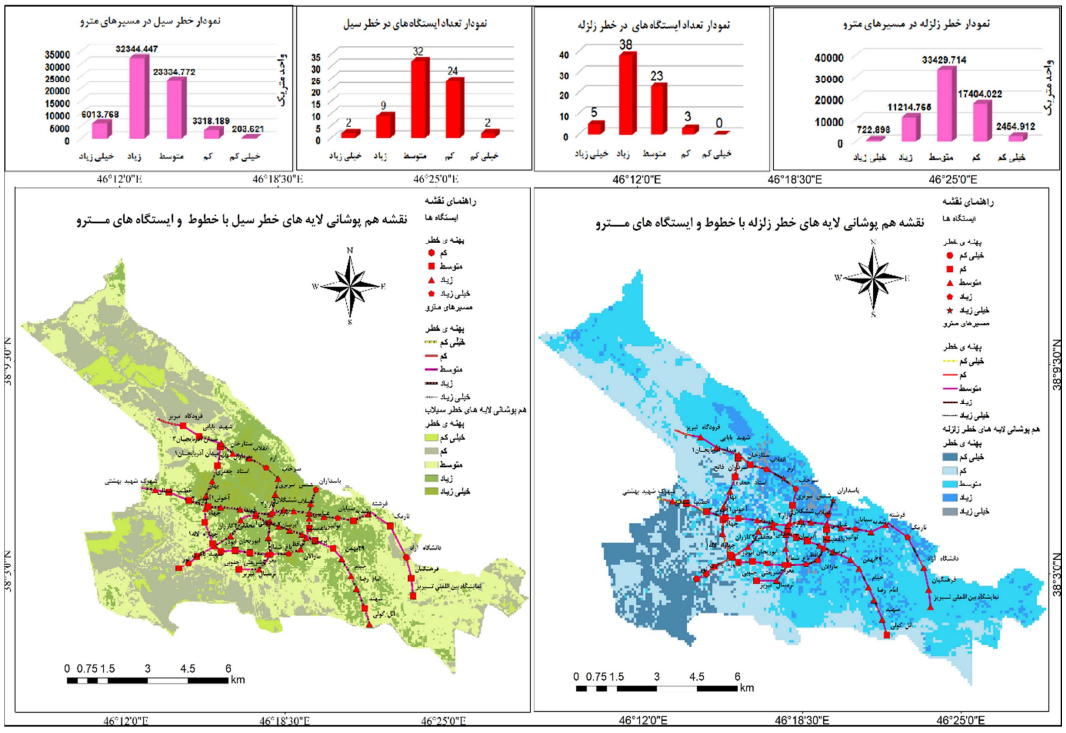
پهنه ی خطر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
تعداد ایستگاه ها / سیلاب	۰	۳	۲۳	۳۸	۵
تعداد ایستگاه ها / زلزله	۲	۲۴	۳۲	۹	۲

جدول۳ : مسیرهای مترو در پهنه خطر به کیلو متر

پهنه / خطر / مسیرها	خیلی کم		کم		متوسط		زیاد		خیلی زیاد	
	سیل	زلزله	سیل	زلزله	سیل	زلزله	سیل	زلزله	سیل	زلزله
خط ۱	۱۳۴,۳۵۱	۷۷۹,۶۲۱	۴۵۷,۵۶۶	۳۳۹۴,۰۲۳	۵۹۹۱,۱۹۲	۹۳۰۲,۹۴۶	۸۷۲۹,۹۷۱	۲۰۹۵,۵۳۷	۲۷۹,۰۴۹	۰
خط۲	۶۹,۲۷۰	۱۲۲۴,۵۷۲	۱۰۶۶,۱۵۱	۳۹۴۸,۵۸۷	۷۳۱۳,۲۸۰	۱۱۵۸۸,۰۴۱	۹۷۷۱,۷۳۴	۳۱۲۸,۴۶۹	۱۶۳۷,۷۲۱	۰
خط۳	۰	۷۰,۹۹۸	۱۶۰۳,۳۶۹	۴۳۵۲,۹۴۶	۴۱۲۲,۶۱۹	۷۴۹۳,۰۷۵	۶۸۵۲,۲۶۳	۲۳۳۷,۷۹۷	۲۳۵۰,۷۷۷	۶۷۴,۲۱۵
خط۴	۰	۳۷۹,۷۲۱	۱۹۱,۱۰۳	۵۷۰۸,۴۶۶	۵۹۰۷,۶۸۱	۵۰۴۵,۶۵۲	۶۹۹۰,۴۷۹	۳۶۵۲,۹۶۲	۱۷۴۶,۲۲۱	۴۸,۶۸۳

همانطور که قبلا اشاره شد در جدول شماره۲ تعداد ایستگاه‌ها در ۵ کلاس پهنه‌بندی مخاطرات سیل و زلزله ارائه شده است که بیشترین تعداد ایستگاه‌ها در کلاس پهنه‌بندی خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. در جدول شماره ۳

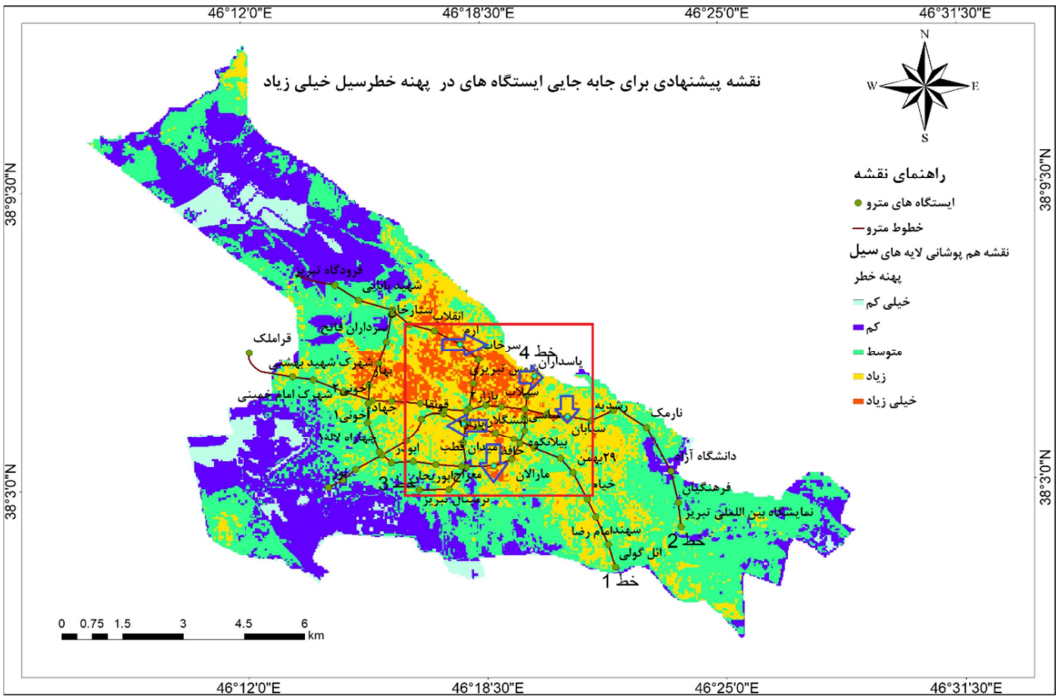
نیز مسیرهای مترو در خطر سیل و زلزله در بین ۵ کلاس و ۷۲۲,۸۹۸ متر از ۴ تا خط مترو در پهنه خطر خیلی زیاد است که مسیرهای مرکز به شمال غربی مثل شهید بابایی، سرخاب را شامل می‌شود.



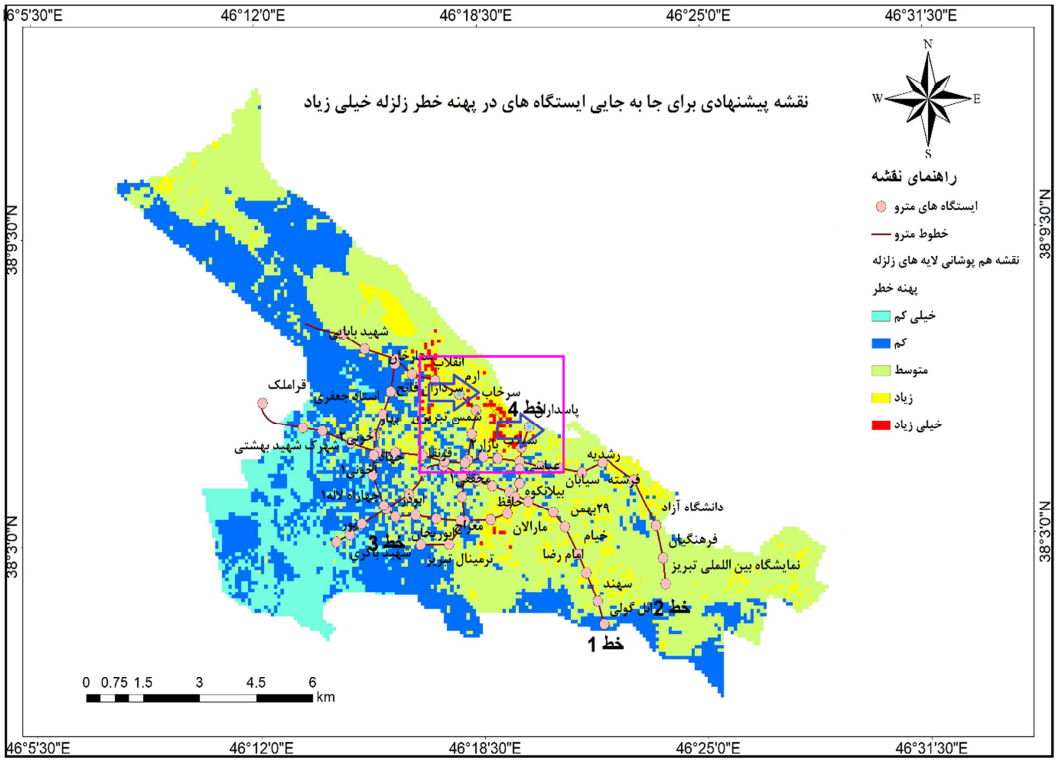
شکل۶: نقشه‌های نهایی هم پوشانی پهنه‌بندی خطر سیل و زلزله همراه نمودارهای آن. *منبع: نگارندگان ۱۳۹۸*

در شکل (۷) ایستگاه‌های در کلاس خطر خیلی زیاد سیل مشخص شده است، این ایستگاه‌ها عبارتند از ارم، پاسداران، سیابان، میدان ساعت۱، حافظ. به دلیل اینکه هنوز مسیرهای (۱،۲،۳) مترو کلان‌شهر تبریز راه اندازی نشده‌اند.

بنابراین ایستگاه‌های ذکر شده در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد را می‌توان به جاهایی که دارای خطر سیل کمتری هستند انتقال داد. چون در صورت وقوع سیل در سطح شهر ایستگاه‌های فوق در خطر سیل شدید قرار دارند. همان طور که در شکل (۸) مشخص شده است، ایستگاه‌های ارم و پاسداران در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد از نظر خطر زلزله قرار گرفته‌اند.



شکل۷: نقشه پیشنهادی جابه جایی ۵تا ایستگاه در خطرسیل خیلی زیاد.*منبع: نگارندگان ۱۳۹۸*



شکل۸: نقشه پیشنهادی جابه جایی ۲ تا ایستگاه در خطرزلزله خیلی زیاد.*منبع: نگارندگان ۱۳۹۸*

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از ۱۰ معیار برای شناسایی خطر سیل و ۱۴معیار برای شناسایی خطر زلزله، هر دو مخاطره پهنه‌بندی شد و طبق نتایج نهایی حاصل از پهنه‌بندی خطر سیل هیچ ایستگاهی در کلاس خطر خیلی کم قرار نگرفته، اما از طولی و موقعیت ۲۰۳،۶۲۱ متر از خطوط مترو در کلاس خطر کم، ۵ تا ایستگاه و ۶۰۱۳،۷۶۸ متر از خطوط مترو در کلاس خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. هم‌چنین در پهنه‌بندی زلزله ۲ تا ایستگاه در ۲۴۵۴،۹۱ متر از خطوط مترو در کلاس خطر خیلی کم، ۲ تا ایستگاه و ۷۲۲،۸۹۸ متر از خطوط در مترو خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. قابل ذکر است با توجه به اینکه شبکه مترو کلان‌شهر تبریز از زیرساخت‌های اساسی و مهم این شهر، وجود جمعیت ۱،۵ میلیون نفر، همجواری شهر تبریز با گسل مهم شمال تبریز و هم چنین هزینه‌های عظیم سرمایه گذاری شده در پروژه مترو، جابه جایی و انتقال ایستگاه‌های در پهنه‌بندی با خطر خیلی زیاد ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به خروجی این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که روش فازی AHP قابلیت و توانایی زیادی در بررسی وضعیت نقشه‌ی طراحی شده مسیر مترو شهر تبریز و ایستگاه‌های آن دارد، از ویژگی‌های روش(AHP) به کار رفته در تحقیق نیز قابلیت تعمیم آن به سایر شهرهای کشور است. نکته قابل توجه حاصل از نتایج تحقیق این است که وضعیت ساختار و زمین شناسی و جهت گیری روند گسله تبریز وتخریب شدید فضای سبز در سه دهه اخیر روند آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی به خصوص مترو را در وضعیت مناسبی نشان نمی‌دهد.

منابع

آذر عادل، فرجی حجت. (۱۳۸۱). علم مدیریت فازی، تهران، نشر اجتماع.

بهشتی راد، مسعود؛ فیض نیا، سادات ؛ سلاجقه، علی؛ احمدی، حسن(۱۳۸۸)، بررسی کارایی پهنه بندی زمین لغزش فاکتور اطمینان مطالعـه مـوردی: حوزه آبخیز معلم کلایه. فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره۵، صص۲۸-۱۹.

پورمحمدی، محمدرضا؛ بدری اصل، شیرین .(۱۳۹۶)، تحلیلی بر الگوهای مکان یابی ایستگاه‌های مترو شهری، مطالعه موردی شهرتبریز. نشریه علمی – پژوهشی جغرافیا و برامه ریزی، سال ۲۱، شماره۶۰، صص۷۱-۵۳.

خاکپور، براتعلی؛ زمردیان، محمدجعفر؛ صادقی، سلیمان؛ مقدمی، احمد.(۱۳۹۰). تحلیل میزان آسیب پذیری فیزیکی-کالبدی منطقه ۹ شهر مشهد از دیدگاه زلزله خیزی. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، سال نهم، شماره۱۶، صص۳۴-۱. (DOI): 10.22111/jneh.2017.3276 .

خرم روز، حامد رضا. (۱۳۹۰). بهبود ساختار شبکه ایستگاه‌های مترو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

رفاهی، حسین. (۱۳۹۶). طراحی سیستم تهویه خط۲ مترو مشهد با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

زیستا، مهندسین مشاور معماری و شهر سازی. (۱۳۸۳). مطالعات حاشیه نشینی تبریز، اداره کل مسکن و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

سلمانی، سعید. (۱۳۹۵). مدلسازی حوادث بحرانی مترو شهر تبریز در محیط GIS، مطالعه موردی خط ۱ مترو، استاد راهنما: خلیل ولی‌زاده کامران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

کرم، عبدالامیر. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی(WLC) در پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهار محال و بختیاری. جغرافیا و توسعه، شماره۴، ۱۴۶ -۱۳۱.

کـــوبرن، آندرو ؛ اســـپنس، رابین. (۱۳۸۹). ایمـــن ســـازی در برابـــر زلزلـــه. ترجمـــه: فریـــدون غضـــبان، ســـحر درخشـــان، بابـــک امیـــدوار.انتشارات دانشگاه تهران.

کشکولی، محمد رضا؛ صید بیگی، صادق.(۱۳۹۵). نقش و جایگاه برنامه ریزی شهری در کاهش اثرات بلایای طبیعی(سیل و زلزله) در شهرستان اسد آباد با استفاده از تحلیل SWOT، مطالعات هنر و علوم انسانی، سال دوم، شماره ۸ و ۹، جلد ۱، صص۴۵-۲۹ .

ملکی، امجد. (۱۳۸۶). پهنه بندی خطر زمین لرزه و اولویت بندی بهسازی مساکن در استان کردستان، پژوهش های جغرافیایی، ، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، شماره ۵۹، صص ۱۲۴-۱۱۵.

ماهوتی، عطاالله. (۱۳۹۰). تحلیل خطر زمین لرزه در مسیرشماره ۲ متروی شهر تبریز، استاد راهنما: غلام مرادی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

مافی، غلامی داود؛ فقهی جهانگیر؛ دانه کار، افشین. (۱۳۹۵). به کار گیری روش دلفی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی(FAHP) برای اولویت بندی عوامل منفی موثر بر جنگل های مانگرا استان هرمزگان،ایران. فصلنامه علمی و پژوهشی اکوبیوژی تالاب-دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۱۰۰-۸۵.

موسوی مبارکه، پدارام؛ خزائی، صفا. (۱۳۹۷). مکان یابی ایستگاه های مترو براساس اصول پدافند غیرعامل (مطالعه موردی :منطقه۱۳ شهر اصفهان)، فصلنامه علمی –ترویجی پدافند غیرعامل، سال نهم، شماره۲،پیاپی۳۴،صص۶۰-۴۹.

ولی زاده کامران، خلیل. (۱۳۸۰). پهنه بندی خطر زلزله در شهرستان تبریز با استفاده از سنجش از دور و GIS.فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۴، صص۴۹-۶۶.http://noo.rs/No4IS .

Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C., & Kalantari, Z. (2019). A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. Science of the Total Environment, 660, 443-458. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021.

Ateş, A., & Mutlu, A. H. (2019). Earthquake Hazard Mapping and Analysis by Integrating GIS, AHP and TOPSIS for Gölyaka Region in Duzce, 53, 104-113. https://depot.ceon.pl/handle/123456789/17079.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy sets and systems, 17(3), 233-247. https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9

Boucq, E., Francis, P. (2008). Assessment of the Real Estate Benefits Due to Accessibility Gains Brought by a Transport Project: the Impacts of a Light Rail Infrastructure Improvement in the Hauts-de-Seine Department. Trasporti Europei,(40): 51-68.

Bolhari, J., & Chime, N., (2008). Mental health intervention in Bam earthquake crisis: a qualitative study. Tehran University Medical Journal TUMS Publications, 65(13), 7-13.

Berndtsson, R., Becker, P., Persson, A., Aspegren, H., Haghighatafshar, S., Jönsson, K., ... & Nordström, J., (2019). Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. Journal of environmental management, 240, 47-56. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.03.094.

Chang, Y., (1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, No. 95, pp. 649–655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2.

Chen, S., Xue, Z., Li, M., Zhu, X., (2013). Variable sets method for urban flood vulnerability assessment. Sci. China Technol. Sci. 56 (12), 3129–3136. DOI: 10.1007/s11431-013-5393-0.

Dawson, R. J., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J. W., & Roche, N., (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. Global Environmental Change, 21(2), 628-646.

Darroch, N., Beecroft, M., & Nelson, J. D. (2016). A conceptual framework for land use and metro infrastructure. Infrastructure Asset Management, 3(4), 122-131. https://doi.org/10.1680/jinam.16.00008.

Duan, H. F., Li, F., & Yan, H., (2016). Multi-objective optimal design of detention tanks in the urban stormwater drainage system: LID implementation and analysis. Water resources management, 30(13), 4635-4648. DOI: 10.1007/s11269-016-1444-1.

Fabozzi, S., Licata, V., Autuori, S., Bilotta, E., Russo, G., & Silvestri, F., (2017). Prediction of the seismic behavior of an underground railway station and a tunnel in Napoli (Italy).Underground Space, 2(2), 88-105. https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.03.005.

Givoni, B. (1977). Underground long-term storage of solar energy—An overview. Solar Energy, 19(6), 617-623.

Hwang, C. L. et Yoon, K.,(1981) Multiple Attribute Decision Making, Methods, and Applications: a State of the Art Survey. Lecture notes in economics and mathematical systems, Springer-Verlag, New York, NY. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9.

Hashash, Y. M., Hook, J. J., Schmidt, B., John, I., & Yao, C., (2001). Seismic design and analysis of underground structures. Tunneling and underground space technology, 16(4), 247-293. https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7.

Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., & Pagano, T. C., (2011). A review of advances in flash flood forecasting. Hydrological processes, 25(18), 2771-2784. https://doi.org/10.1002/hyp.8040.
Herath, S. R. I. K. A. N. T. H. A., & Dutta, D. U. S. H. M. A. N. T. H. A., (2004). Modeling of urban flooding including underground space. In Proceedings of the Second International Conference of Asia-Pacific Hydrology and Water Resources Association (pp. 55-63).
Huong, H. T. L., & Pathirana, A., (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. Hydrology and Earth System Sciences, 17(1), 379-394. doi:10.5194/hess-17-379-2013.
Jha, A., Lamond, J., Bloch, R., Bhattacharya, N., Lopez, A., Papachristodoulou, N., ... & Barker, R., (2011). Five feet high and rising: cities and flooding in the 21st century. The World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3412.
Lyu, H. M., Wang, G. F., Shen, J. S., Lu, L. H., & Wang, G. Q. (2016). Analysis and GIS mapping of flooding hazards on 10 May 2016, Guangzhou, China. Water, 8(10), 447. https://doi.org/10.3390/w8100447.
Lyu, H.M., Wu, Y.X., Shen, J.S., Zhou, A.N., (2018)d. Assessment of social-economic risk of Chinese dual land use system using fuzzy AHP. Sustainability 10 (7), 2451. DOI: 10.3390/su10072451.
Lyu, H. M., Cheng, W. C., Shen, J. S., & Arulrajah, A. (2018). Investigation of collapsed building incidents on soft marine deposit: Both from social and technical perspectives. Land, 7(1), 20. DOI: 10.3390/land7010020.
Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Arulrajah, b., (2018)A. Flood risk assessment in metro systems of mega-cities using a GIS-based modeling approach. Science of the Total Environment, 626, 1012-1025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.138.
Lyu, H. M., Xu, Y. S., Cheng, W. C., & Arulrajah, c. (2018). Flooding hazards across southern China and prospective sustainability measures. Sustainability, 10(5), 1682. https://doi.org/10.3390/su10051682.
Lyu, H. M., Shen, J. S., & Arulrajah, d. (2018). Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China. Sustainability, 10(2), 304. DOI: 10.3390/su10020304.
Perk, V. & Catalá, M.(2009). Land Use Impacts of Bus Rapid Transit: Effect of BRT Station Proximity on Property Values along with the Pittsburgh Martin Luther King, Jr. East Busway. the Federal Transit Administration (FTA), Office of Research, Demonstration, and Innovation, U.S. Washington, D.C.: Department of Transportation. https://trid.trb.org/view/1401767.
Petit-Boix, A., Sevigné-Itoiz, E., Rojas-Gutierrez, L. A., Barbassa, A. P., Josa, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2017). Floods and consequential life cycle assessment: Integrating flood damage into the environmental assessment of stormwater Best Management Practices. Journal of cleaner production, 162, 601-608. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.047.
Qiao, Y.K., Peng, F.L., Wang, Y., (2017). Monetary valuation of urban underground space: A critical issue for the decision-making of urban underground space development. Land Use Policy. 69 (12), 12–24. DOI: 10.28991/cej-2019-03091404.
Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modeling, 9(3-5), 161-176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.
Shen, S.L., Wu, Y.X., Xu, Y.S., Hino, T., Wu, H.N., (2015a). Evaluation of hydraulic parameters from pumping tests of multi-aquifers with vertical leakage in Tianjin. Comput. Geotech. 68 (2015), 196–207. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2015.03.011.
Shen, S.L., Wang, J.P., Wu, H.N., Xu, Y.S., Ye, G.L., Yin, Z.Y., (2015b). Evaluation of hydraulic conductivity for both marine and deltaic deposits based on piezocone testing. Ocean Eng. 110 (2015), 174–182. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.011.
Shen, S.L., Cui, Q.L., Ho, C.E., Xu, Y.S., (2016). Ground response to multiple parallel micro tunneling operations in cemented silty clay and sand. J. Geotech. Geoenviron.Eng. 142 (5) 04016001(1–11).
Shen, S.L., Wu, Y.X., Misra, A., (2017). Calculation of head difference at two sides of a cutoff barrier during excavation dewatering. Comput. Geotech. 91, 192–202. DOI: 10.3390/ijerph14101114.
White, P. R. (2016). Public transport: its planning, management, and operation. Routledge. https://transecongroup.org/wp-content/uploads/journal/Transport_Economist_22-2.
Youssef, A. M., & Hegab, M. A. (2019). Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study—Ras Gharib Area, Egypt. In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences.12 (229-257). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00010-7.

Research Article

Assessing Site Selection of subway routes of the metropolis of Tabriz for natural hazards with an emphasis on flood and earthquake

Hassan Mahmoudzadeh[1*], Ahdiyeh Mousazadeh[2]

1*. Associate professor, Geography and Urban Planning Department, University of Tabriz, Iran.
2. Master student of Remote Sensing and Geographic Information System, University of Tabriz, Iran.

Received: 27-11-2019 Final Revised: 14-07-2020 Accepted: 28-11-2020

Abstract

The public transport system, such as Metro, has been created for the rapid and easy movement of passengers due to population growth in recent decades. Tabriz is one of Iran's cities with a subway system as well. The existence of Tabriz's fault in the north of Tabriz as the biggest threat fault in northwestern Iran and as a result of severe flooding in many of the country's cities this year, it seems necessary to assess the risks on the subway routes and stations in Tabriz. Combined flood and earthquake risk maps were prepared using FUZZY-AHP to have a comprehensive overview of the status of hazards. The purpose of this study was to identify flood and earthquake risk using 10 flood risk criteria and 14 earthquake risk criteria in the study area metro lines and stations. According to the final results of the flood risk zoning, there is no station in the very low-risk class, but there are 203,621 meters of low-risk subway lines, 5 stations, and 6013,768 meters of high-risk subway lines. It also has 2 stations and 2454,91 meters of low-risk subway lines and 2 stations and 722,898 meters of high-risk subway lines, which make it necessary to identify and link stations with a potential risk of occurrence.

Keywords: Tabriz Metropolis, Metro Routes, Metro Stations, Natural Hazards, FUZZY-AHP.

[*] Corresponding Author Email: mahmoudzadeh@tabrizu.ac.ir

References

References (in Persian)

Beheshti Rad, Massoud., Feiznia Sadat., Salajeghah Ali., Ahmadi Hassan., (2009), Investigation of Landslide Zoning Effectiveness of Landslide Factor Reliability Study, Kalayeh Moallem Watershed. [In Persian].
Coburn, Andrew., Spence Robin., (2010), Earthquake Safety. Translated by: Faridoun Ghazban, Sahar Derakhshan, Babak Amidvar. [In Persian].
Khakpour, Baratali., Zardarian, Mohammad Jafar., Sadeghi, Soleiman., Moghaddam, Ahmad., (2011), Analysis of Physical-Physical Vulnerability of Mashhad Region 9 from the Earthquake Perspective, Journal of Geography and Regional Development, Ninth Year, No. 16, pp. 34-1. [In Persian].
Khoram Rooz, Hamed Reza., (2011), Improving the Network Structure of the Metro Stations. [In Persian].
Karam, Abdul Amir., (2004), Application of Weighted Linear Combination Model (WLC) in Landslide Potential Zoning Case Study: Sarkhoon Region in Chaharmahal va Bakhtiari Province, Geography and Development, 146-131. [In Persian].
Keshkoli, Mohammad Reza., Sayed Beigi, Sadegh., (2016), The Role and Position of Urban Planning in Reducing the Impacts of Natural Disasters (Floods and Earthquakes) in Assad Abad City Using SWOT Analysis, Arts and Humanities Studies, Second Year, Nos. 8 and 9, Volume 1, p. 29-29. [In Persian].
Maleki, Amjad., (2007), Earthquake Risk Zoning and Prioritizing Housing Improvement in Kurdistan Province, Geographical Research, No. 59, Faculty of Geography, University of Tehran, pp. 124-115. [In Persian].
Mahouti, Attaleh., (2011), Earthquake Risk Analysis in Tabriz Subway Route 2, M.Sc., University of Tabriz. [In Persian].
Mafia Gholami, Davood., Faghi, Jahangir., Daneh Kar, Afshin., (2016), Using Delphi Method and Fuzzy Hierarchy Process (FAHP) to Prioritize Negative Factors Affecting Mangrove Forests of Hormozgan Province, Iran, Wetland Ecosystem Research- Islamic Azad University of Ahvaz Branch, Eighth Year, No. 27. [In Persian].
Mousavi Mobarakeh, Pardaram-Khazaei Safa (2018), Locating Subway Stations Based on Passive Defense Principles (Case Study: District 13 of Isfahan), Journal of Passive Defense, Ninth Year, No. 2, No.2, pp. 34-60. [In Persian].
Pourmohammadi, Mohammadreza., Badri Asl Shirin., (1986), An Analysis of the Patterns of Locating Urban Subway Stations, Case Study of Tabriz City. Journal of Geography and Planning Research, Volume 21, Number 60, pp. 71-53. [In Persian].
Rafahi, Hossein., (1986), Design of Mashhad Metro Line 2 Ventilation System Using Computational Fluid Dynamics Model. MSc, Shahrood University of Technology. [In Persian].
Salmanieh, Saeed., (2016), Modeling of Tabriz City Critical Events in GIS Environment, Case Study of Metro Line 1, MSc Thesis. [In Persian].
Taqi Pur, Ali., Akbar., (2014), Spatial Analysis of Land and Housing Price Differences in Tabriz Urban Areas Using Geographic Weighted Regression (GWR) PhD Thesis, School of Geography and Planning. [In Persian].
Vali Zadeh Kamran, Khalil., (2001), Earthquake Risk Zoning in Tabriz City Using Remote Sensing and, GIS Journal of Geographical Space, Issue 4 (ISC) 4, From 49 to 66. http://noo.rs/No4IS. [In Persian].

Zista, Consulting Engineers in Architecture and Urban Planning. (2004). Suburban studies of Tabriz, General Department of Housing and Urban Development of East Azerbaijan Province. [In Persian].

References (in English)

Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C., & Kalantari, Z. (2019). A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. Science of the Total Environment, 660, 443-458. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021.
Ateş, A., & Mutlu, A. H. (2019). Earthquake Hazard Mapping and Analysis by Integrating GIS, AHP and TOPSIS for Gölyaka Region in Duzce, 53, 104-113. https://depot.ceon.pl/handle/123456789/17079.
Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy sets and systems, 17(3), 233-247. https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9
Boucq, E., Francis, P. (2008). Assessment of the Real Estate Benefits Due to Accessibility Gains Brought by a Transport Project: the Impacts of a Light Rail Infrastructure Improvement in the Hauts-de-Seine Department. Trasporti Europei,(40): 51-68.
Bolhari, J., & Chime, N., (2008). Mental health intervention in Bam earthquake crisis: a qualitative study. Tehran University Medical Journal TUMS Publications, 65(13), 7-13.
Berndtsson, R., Becker, P., Persson, A., Aspegren, H., Haghighatafshar, S., Jönsson, K., ... & Nordström, J., (2019). Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. Journal of environmental management, 240, 47-56. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.03.094.
Chang, Y., (1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, No. 95, pp. 649–655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2.
Chen, S., Xue, Z., Li, M., Zhu, X., (2013). Variable sets method for urban flood vulnerability assessment. Sci. China Technol. Sci. 56 (12), 3129–3136. DOI: 10.1007/s11431-013-5393-0.
Dawson, R. J., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J. W., & Roche, N., (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. Global Environmental Change, 21(2), 628-646.

Darroch, N., Beecroft, M., & Nelson, J. D. (2016). A conceptual framework for land use and metro infrastructure. Infrastructure Asset Management, 3(4), 122-131. https://doi.org/10.1680/jinam.16.00008.

Duan, H. F., Li, F., & Yan, H., (2016). Multi-objective optimal design of detention tanks in the urban stormwater drainage system: LID implementation and analysis. Water resources management, 30(13), 4635-4648. DOI: 10.1007/s11269-016-1444-1.

Fabozzi, S., Licata, V., Autuori, S., Bilotta, E., Russo, G., & Silvestri, F., (2017). Prediction of the seismic behavior of an underground railway station and a tunnel in Napoli (Italy).Underground Space, 2(2), 88-105. https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.03.005.

Givoni, B. (1977). Underground long-term storage of solar energy—An overview. Solar Energy, 19(6), 617-623.

Hwang, C. L. et Yoon, K.,(1981) Multiple Attribute Decision Making, Methods, and Applications: a State of the Art Survey. Lecture notes in economics and mathematical systems, Springer-Verlag, New York, NY. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9.

Hashash, Y. M., Hook, J. J., Schmidt, B., John, I., & Yao, C., (2001). Seismic design and analysis of underground structures. Tunneling and underground space technology, 16(4), 247-293. https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7.

Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., & Pagano, T. C., (2011). A review of advances in flash flood forecasting. Hydrological processes, 25(18), 2771-2784. https://doi.org/10.1002/hyp.8040.

Herath, S. R. I. K. A. N. T. H. A., & Dutta, D. U. S. H. M. A. N. T. H. A., (2004). Modeling of urban flooding including underground space. In Proceedings of the Second International Conference of Asia-Pacific Hydrology and Water Resources Association (pp. 55-63).

Huong, H. T. L., & Pathirana, A., (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. Hydrology and Earth System Sciences, 17(1), 379-394. doi:10.5194/hess-17-379-2013.

Jha, A., Lamond, J., Bloch, R., Bhattacharya, N., Lopez, A., Papachristodoulou, N., ... & Barker, R., (2011). Five feet high and rising: cities and flooding in the 21st century. The World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/3412.

Lyu, H. M., Wang, G. F., Shen, J. S., Lu, L. H., & Wang, G. Q. (2016). Analysis and GIS mapping of flooding hazards on 10 May 2016, Guangzhou, China. Water, 8(10), 447. https://doi.org/10.3390/w8100447.

Lyu, H.M., Wu, Y.X., Shen, J.S., Zhou, A.N., (2018)d. Assessment of social-economic risk of Chinese dual land use system using fuzzy AHP. Sustainability 10 (7), 2451. DOI: 10.3390/su10072451.

Lyu, H. M., Cheng, W. C., Shen, J. S., & Arulrajah, A. (2018). Investigation of collapsed building incidents on soft marine deposit: Both from social and technical perspectives. Land, 7(1), 20. DOI: 10.3390/land7010020.

Lyu, H. M., Sun, W. J., Shen, S. L., & Arulrajah, b., (2018)A. Flood risk assessment in metro systems of mega-cities using a GIS-based modeling approach. Science of the Total Environment, 626, 1012-1025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.138.

Lyu, H. M., Xu, Y. S., Cheng, W. C., & Arulrajah, c. (2018). Flooding hazards across southern China and prospective sustainability measures. Sustainability, 10(5), 1682. https://doi.org/10.3390/su10051682.

Lyu, H. M., Shen, J. S., & Arulrajah, d. (2018). Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China. Sustainability, 10(2), 304. DOI: 10.3390/su10020304.

Perk, V. & Catalá, M.(2009). Land Use Impacts of Bus Rapid Transit: Effect of BRT Station Proximity on Property Values along with the Pittsburgh Martin Luther King, Jr. East Busway. the Federal Transit Administration (FTA), Office of Research, Demonstration, and Innovation, U.S. Washington, D.C.: Department of Transportation. https://trid.trb.org/view/1401767.

Petit-Boix, A., Sevigné-Itoiz, E., Rojas-Gutierrez, L. A., Barbassa, A. P., Josa, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2017). Floods and consequential life cycle assessment: Integrating flood damage into the environmental assessment of stormwater Best Management Practices. Journal of cleaner production, 162, 601-608. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.047.

Qiao, Y.K., Peng, F.L., Wang, Y., (2017). Monetary valuation of urban underground space: A critical issue for the decision-making of urban underground space development. Land Use Policy. 69 (12), 12–24. DOI: 10.28991/cej-2019-03091404.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modeling, 9(3-5), 161-176. https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.

Shen, S.L., Wu, Y.X., Xu, Y.S., Hino, T., Wu, H.N., (2015a). Evaluation of hydraulic parameters from pumping tests of multi-aquifers with vertical leakage in Tianjin. Comput. Geotech. 68 (2015), 196–207. https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2015.03.011.

Shen, S.L., Wang, J.P., Wu, H.N., Xu, Y.S., Ye, G.L., Yin, Z.Y., (2015b). Evaluation of hydraulic conductivity for both marine and deltaic deposits based on piezocone testing. Ocean Eng. 110 (2015), 174–182. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.011.

Shen, S.L., Cui, Q.L., Ho, C.E., Xu, Y.S., (2016). Ground response to multiple parallel micro tunneling operations in cemented silty clay and sand. J. Geotech. Geoenviron.Eng. 142 (5) 04016001(1–11).

Shen, S.L., Wu, Y.X., Misra, A., (2017). Calculation of head difference at two sides of a cutoff barrier during excavation dewatering. Comput. Geotech. 91, 192–202. DOI: 10.3390/ijerph14101114.

White, P. R. (2016). Public transport: its planning, management, and operation. Routledge. https://transecongroup.org/wp-content/uploads/journal/Transport_Economist_22-2.

Youssef, A. M., & Hegab, M. A. (2019). Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study—Ras Gharib Area, Egypt. In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences.12 (229-257). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00010-7.