نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

تحلیل چند معیاره آسیب‌پذیری شبکه معابر درون شهری از منظر پدافند غیرعامل (نمونه موردی: شهر جدید صدرا)

علی سلطانی[1*]؛ زهرا پاستون[2]؛ خلیل حاجی‌پور[3]
۱- دانشیار شهرسازی دانشگاه شیراز
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری دانشگاه شیراز
۳- استادیار شهرسازی دانشگاه شیراز

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۵/۰۵/۲۶؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

واژگان کلیدی
آسیب‌پذیری
شبکه ارتباطی
پدافند غیرعامل
شهر جدید صدرا

چکیده

شبکه ارتباطی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین بخش‌ها در یک جامعه مدرن هستند؛ سطح اطمینان شبکه ارتباطی و نیاز به کاهش خسارات ناشی از حمله دشمن، با تداوم خدمات شهری روزانه مرتبط هستند، بنابراین، لازم است اقدامات مدیریتی برای پیشگیری اتخاذ گردد. هدف این پژوهش ارزیابی میزان آسیب-پذیری شبکه ارتباطی شهر جدید صدرا با رویکرد پدافند غیرعامل و ارائه راهکارهایی برای کاهش آن است. بدین منظور ابتدا، مبانی نظری مربوطه با مطالعه اسنادی و رویکردی تحلیلی – توصیفی بررسی شده و در ادامه معیارهای مورد نیاز پژوهش استخراج شده است. جهت وزندهی معیارها از نظر کارشناسان و مدل *IHWP* (*Inversion Hierarchical Weight Process*) استفاده شده است. در تحلیل اطلاعات از نرم‌افزارهای *Space Syntax* (چیدمان فضایی)، برای محاسبه میزان همپوشانی فضایی معابر و *GIS* (*Geographic Information System*)، جهت تحلیل و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی، استفاده شده است. نتایج نهایی نشان می‌دهد محور شریانی شهر جدید صدرا، از میزان آسیب‌پذیری بالایی نسبت به سایر معابر شهر، برخوردار است. پیشنهادات کاربردی این پژوهش می‌تواند برای کاهش آسیب‌پذیری شبکه معابر شهر جدید صدرا، برای برنامه‌ریزان و مسئولین این شهر، به کار گرفته شود.

۱- مقدمه

در طول تاریخ همواره عوامل متعددی زندگی بشر را تهدید کرده و آسایش وی را تحت الشعاع قرار داده است. تنازعات بشری و بروز جنگ یکی از عواملی است که امنیت یک جامعه را به مخاطره می‌انداخته است. این موضوع و خسارت‌هاای ناشی از بروز جنگ بشر را وادار به تأمل و پیشگیری از بروز خسارت های جبران ناپذیر قبل از جنگ و حملات ناگهانی ساخته است. امروزه این موضوع در چارچوب تمهیدات پدافند غیرعامل مطرح است. منظور از پدافند غیرعامل مجموعه اقداماتی است که بدون نیاز به کاربرد تجهیزات نظامی و سلاح‌های گرم و صرفاً بر مبنای طراحی ساختار و مشخصات فضا از دو بعد شکل و فرم و عملکردهای آن، در پی محدود نمودن آسیب‌های ناشی از جنگ، بهبود قابلیت‌های فضای باز به منظور تأمین حفاظت از جان شهروندان و به حداقل رسانیدن لطمات جانی ناشی از سانحه جنگ است *(Lacina, 2006)*.

شبکه ارتباطی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین بخش-ها در یک جامعه مدرن است؛ به همین دلیل، قابلیت اطمینان از شبکه ارتباطی، عاملی تعیین کننده برای تداوم زندگی در جامعه امروز است. هرگونه تهدیدی که موجب

* شیراز، گلدشت معالی آباد، دانشکده هنر و معماری؛ شماره‌ی تلفکس: ۰۷۱۳-۶۲۳۰۴۵۳ رایانامه: Ali_Soltani54@yahoo.com

پایین آوردن قابلیت اطمینان شبکه ارتباطی شود، به معنی ایجاد نقطه‌ای آسیب‌پذیر در آن است (*Schuchmann, ۲۰۱۰*). راه‌ها و شبکه‌های ارتباطی یک شهر، بازتاب کالبدی «نیاز دسترسی» می باشند. دسترسی تلاش مورد نیاز برای غلبه بر جدایی فضایی از دو مکان است و معمولاً نشان دهنده مطلوبیت ارتباط با سفر بین این مکان ها می باشد *(Ford, Barr, Dawson, & James, 2015)*. اهمیت فراوانی که برای دسترسی و تبلور کالبدی آن یعنی شبکه های ارتباطی و معابر شهری عنوان شد، مربوط به شرایط عادی جامعه می‌باشد. در شرایط غیر عادی و بحرانی، اهمیت ذکر شده برای دسترسی دوچندان می گردد؛ زیرا اگر برقراری دسترسی بهینه در شرایط عادی جامعه باعث افزایش مطلوبیت و کیفیت سطح زندگی می‌شود، در شرایط بحرانی، حفظ دسترسی و جریان آمد و شد در معابر شهری، باعث نجات و تداوم حیات انسانی می‌گردد.

در صورت حفظ کارایی شبکه ارتباطی در مواقع بحرانی و غیرطبیعی می‌توان میزان قابل توجهی خسارات وارده را به دلیل دسترسی به نواحی امن و کمک‌رسانی، کاهش داد. اگرچه نمی‌توان تمامی آثار ناشی از حمله را از بین برد، اما کاهش خسارات ناشی از آن امری دست یافتنی است. شناسایی معابری که در مقابل حمله دشمن آسیب-پذیرترند، آمادگی را برای کاهش خسارات، افزایش می‌دهد *(Fekete, 2012)*. شبکه ارتباطی، به طور فزاینده‌ای تحت تأثیر عواقب و اختلالات ناشی از اقدامات تروریستی است. از این رو تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری بایستی به منظور درنظرگیری اقدامات امنیتی، بهبود کیفیت و اثربخشی شبکه ارتباطی انجام گیرد *(Husdal, 2005)*.

شهر جدید صدرا علی رغم قدمت کم (مصوب سال ۱۳۶۹) و عدم شکل‌گیری کامل پهنه شهری، جمعیت زیادی را به خود جذب کرده و توسعه روز افزون آن قابل مشاهده است. این موضوع میزان جذابیت شهر صدرا را برای مورد هدف قرار گرفتن توسط دشمن افزایش می دهد؛ بنابراین پیشگیری از بروز خطر و خسارات احتمالی با رویکرد پدافند غیرعامل برای این شهر ضروری به نظر می‌رسد. بنابر آنچه که گفته شد، برای نیل به این هدف، یکی از ابعاد مهمی که باید مورد بررسی قرار گیرد میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی این شهر است. در همین راستا، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی شهر جدید صدرا با رویکرد پدافند غیرعامل و ارائه راهکارهای کاهش آن می‌باشد. برای نیل به این هدف، ابتدا با بررسی متون نظری و پیشینه پژوهش، معیارها و روش پژوهش مشخص شده و پس از تحلیل اطلاعات، نتایج ارائه می‌شوند.

۱-۱- مبانی نظری، پیشینه و معیارهای پژوهش

آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی

تحلیل آسیب‌پذیری، فرآیند برآورد آسیب‌پذیری عناصر معینی است که در معرض خطر احتمالی ناشی از وقوع خطرات مصیبت بار هستند *(Fischer, scharnberger, & Geiger, 1992)*. با گسترش کالبد و اقتصاد جوامع شهری، به تدریج نیاز به کاهش مخاطرات، نه تنها به عامل اطمینان بخش در کنترل ریسک مخاطرات بدل شده است، بلکه دیگر اقدامات مهم و مدیریتی در جهت برنامه‌ریزی و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب‌پذیری‌های بیشتر، اهمیتی روز افزون یافته است *(Liangfeng, Guirong, Kunlong, & Liang, 2002)*.

زیرساخت‌های حمل و نقلی توسط برخی از نویسندگان مهم‌ترین شریان حیاتی شهری معرفی شده است، زیرا بروز آسیب در آن موجب عدم امکان مداخله در نواحی مسکونی و سایر تأسیسات شهری خواهد شد *(Caiado, Oliveira, Amaral Ferreira, & Sá, 2012)*. آسیب پذیری شبکه ارتباطی توسط عوامل داخلی و خارجی ایجاد می شود و نتیجه ارتباط بین هر دو عامل در فضا-زمان مشخص است. علل داخلی مربوط به ساختار شبکه ارتباطی، در حالی که علل خارجی مربوط به اختلالات از محیط خارجی مانند تصادفات، تعمیر و نگهداری جاده، آب و هوای بد، فعالیت‌های تروریستی و بسیاری از حوادث ناگهانی است *(Wang, Feng, Li, Fulcher, & Zhang, 2014)*. اگرچه احتمال وقوع چنین حوادثی کم است، اما پیامدهای ناشی از آن، می‌تواند برای ایجاد یک مشکل بزرگ کافی باشد *(Chen, William, Sumalee, Li, & Li, 2012)*.

آسیب‌های به وجود آمده توسط حوادث طبیعی و غیرطبیعی موجب وقفه در جریان حمل و نقل و کاهش دسترسی می‌شود، عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار می-دهد، به طوری که زمان سفر، فاصله و هزینه‌ها افزایش می-یابد *(Cafiso, 2010)*. در ارتباط با وقایعی همچون هجوم

دشمن این عواقب کاهش دسترسی به مراکز درمانی و سایر سرویس‌های حیاتی را شامل می‌شود (Jenelius & Mattsson, 2012). مردم ممکن است از یک بخش فاقد امکانات در شهر به یک بخش دارای تسهیلات و امکانات زندگی حرکت کنند، ولی در مواقع بروز بحران، شبکه ارتباطی باید قادر به ارائه حداقل سرویس برای حفظ ساکنین باشد. لازم است شبکه ارتباطی طوری طراحی شود که ارتباط بین بخش‌های مختلف شهر حفظ و تقویت شود (Huang, 2003).

تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی امری بسیار مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت حمل و نقل است. امروزه، مفهوم آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی یکنواخت نیست. بردیکا (Berdica) برای اولین بار مفهوم آن را ارائه داد و بیان کرد آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی یک ضریب حساسیت از میزان تأثیرپذیری از حوادث بوده که در نهایت موجب کاهش شدید سطح خدمات‌رسانی می‌شود (Lupin & Dalin, 2012). آسیب‌پذیری شبکه به ساختار فضایی شبکه پرداخته و در زمینه تخلیه عمومی کاربرد دارد تا قسمت-هایی از ساختار شهری که آسیب‌پذیرند، مشخص شوند. این آسیب‌پذیری مربوط به ساختار شبکه، طبیعت و ترافیک است (Husdal, 2006). با مطالعه یک شبکه می‌توان مشخص کرد که کدام مناطق و تقاطع‌ها در معرض آسیب‌پذیری بیش‌تری در زمان حمله قرار دارند. در این زمینه، سهولت دسترسی به خروجی و یا معابر اصلی از اهمیت زیادی برخوردار است. در بیشتر مطالعات مربوط به تخریب شبکه ارتباطی، تمرکز بر مناطق مستعد برای شکست بوده است (Taylor, Sekhar, & D'Este, 2006).

در ارتباط با آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی، شناخت طیف گستره‌ای از عوامل مؤثر بسیار مهم است. این عوامل شامل توپولوژی، هندسه معبر، ترافیک، میزان جریان عبوری، همجواری با کاربری خطرآفرین و ... می‌باشد (Jenelius, Petersen, & Mattsson, 2006). در تحلیل این موضوع عوامل متعددی همچون عرض معبر، ترافیک معبر، فاصله تا معابر اصلی، محصوریت معبر و .... تأثیرگذارند. اما برای ارائه راهکار کاهش آسیب‌پذیری، دو مفهومی که برای کاهش آسیب‌پذیری معابر استفاده می‌شود، افزونگی و انعطاف‌پذیری است و افزونگی به معنای ایجاد مسیری جایگزین و چندگانه بین مبدأ و مقصد است (Sohn, 2006).

نظریه چیدمان فضایی

روابط بین عناصر موضوع اصلی نظریه چیدمان فضایی است که در آن از طریق شبکه ارتباطی به بررسی چگونگی استفاده اجتماعی از یک فضا، پرداخته می‌شود (Dettlaff, ۲۰۱۴). دیدگاه چیدمان فضایی، نسبت به فضا دیدگاهی رابطه‌ای داشته و مبتنی بر آن چیزی است که میان توده های ساختمانی و در خود توده‌های ساختمانی وجود دارد. چیدمان فضایی از طریق تمرکز بر فضای آزاد، سیستم شهری را مدل‌سازی می‌کند. تمایز میان فضای آزاد و موانع فضایی از طریق وجود مرزهایی میان خیابان‌ها و محیط ساخته شده شکل می‌گیرد (Hillier, 1999). چیدمان فضایی به عنوان ابزاری علمی و تجاری برای تجزیه و تحلیل فضا در مقیاس شهری است. این ابزار برای مطالعه نوع رفتار و حرکت کاربران فضا در شبکه ارتباطی نیز کاربرد دارد (Emo, Holscher, Wiener, & Dalton, 2012).

برای تحلیل ریخت‌شناسی شهر، چیدمان فضایی طیفی از پارامترهای ویژگی فضایی را مانند اتصال، کنترل، عمق و ... فراهم می‌آورد. «همپیوندی» یکی از این پارامترهاست است. همپیوندی مطابق با انسجام فضایی است. هرچه میزان همپیوندی بیشتر باشد به معنای آنست که یکپارچگی بیشتری بین فضای مورد بررسی و دیگر فضاهای تحت مجموعه وجود دارد. همچنین این پارامتر بیان کننده میزان دسترسی نیز می‌باشد؛ یعنی فضایی که از بیشترین میزان همپیوندی برخوردار است، نسبت به دیگر فضاها بیشترین میزان دسترسی را نیز داراست (Moughtin, ۲۰۰۳). در نتیجه با افزایش همپیوندی دسترسی افزایش و در نتیجه امکان فرار یا دستیابی به پناهگاه، درمانگاه و سایر مراکز متولی بحران در زمان حملع دشمن، افزایش می‌یابد.

پیشینه پژوهش

هانگ ییینگ و لی کان (Hong-ying & Li-qun, 2010) در مقاله «ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه های حمل و نقلی» روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری معابر را به چهار دسته روش ارزیابی سناریو خاص، روش ارزیابی استراتژی خاص، روش ارزیابی بر اساس شبیه‌سازی، و روش‌های مدل‌سازی ریاضی طبقه‌بندی کرده‌اند. بل و همکاران نیز (Bell, Kanturska, Schmöcker, & Fonzone, 2008) در مقاله «مدل‌های آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی و حملات تروریستی» نیز، به

بررسی انواع مدل و سناریوهای آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی در مقابل حملات تروریستی پرداخته و پس از آن یکی از مدل‌های ریاضی را برای شبکه ارتباطی شهر لندن به اجرا درآورده است.

سیواکا *(Cioaca, 2013)* در مقاله « ارزیابی آسیب-پذیری زیرساخت‌های حمل و نقلی هوایی در برابر تهدیدات تروریستی» به بررسی احتمال رخداد تهدیدات در فرودگاه و به ویژه پایانه‌های مسافربری پرداخته و جهت کاهش خسارات و اثرات حمله تروریستی، راهکارهایی را ارائه داده است.

کاملی‌فر و همکاران *(Kamelifar, Rustaei, Ahadnejad, & Kamelifar, 2013)* در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی بافت‌های رسمی و غیررسمی شهری با رویکرد مدیریت بحران» میزان آسیب‌پذیری احتمالی معابر منطقه یک شهرداری تبریز، پس از زلزله را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را ارائه داده‌اند. معیارهای مورد بررسی پژوهش، تراکم، گنجایش راه و ویژگی بناهای جداره معابر بوده است. هر یک از معیارها چندین زیرمعیار را در برگرفته و با استفاده از مدل *Delphi* وزن‌دهی شده‌اند. لایه‌های اطلاعاتی مربوطه با استفاده از *GIS* تولید و همپوشانی شده‌اند. نتایج بیانگر این نکته است آسیب‌پذیری معابری که درون بافت برنامه‌ریزی شده شهری قرار دارند، در سطح متوسطه بوده و در حدود ۶۱ درصد در سطح بسیار کم می‌باشند. در حالی که این میزان در ۹۶ درصد از معابر سکونتگاه‌های غیر رسمی بسیار زیاد می‌باشد. واکر و همکاران *(Walker, et al., 2014)* نیز، در مقاله « ارزیابی چندمعیاره آسیب‌پذیری در مقابل زلزله در شهر ویکتوریای کلمبیا» از همین روش استفاده کرده و پس از معرفی معیارهای آسیب‌پذیری، با استفاده از مدل *AHP* *(Analytical Hierarchy Process)* و نرم‌افزار *GIS*، به پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر پرداخته است.

میریام و شولمن *(Miriam & Shulman, 2008)* در مقاله‌ای با عنوان « برآورد آسیب‌پذیری تخلیه شهری سیستم‌های حمل و نقل با استفاده از *GIS*» اقدام به برآورد میزان آسیب‌پذیری تخلیه در شرایط نیاز به تخلیه اضطراری بر اساس نوع معبر و جمعیت تحت پوشش با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی برای برآورد اقدامات پیچیده کرده اند. نتیجه آنکه در نظرگیری راهکارهای تخلیه اضطراری برای محلات با تعداد محدودی از خروجی ضروری است. زوریخ *(Zurich, 2011)* نیز، در مطالعه‌ای با راهنمایی اراث (*Erath*)، برای دریافت درجه دکتری تحت عنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری برای زیرساخت شبکه ارتباطی» با استفاده از روابط ریاضی، به بررسی پیامدهای تخریب یک معبر، برآورد یک مدل آماری برای آن و ارزیابی سناریوهای مختلف تخریب پرداخته تا اقدامات پیشگرانه را اولویت‌بندی کند.

بالیجپالی و اپنگ *(Balijepalli & Oppong, 2014)* در مقاله‌ای تحت عنوان «اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی با توجه به وسعت سرویس اتصالات معابر حیاتی در مناطق شهری» به این نکته اشاره داشته‌اند که تاکنون در پژوهش‌های مختلف، معیارهای متفاوتی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی ارائه شده اما هیچ یک به ویژگی‌ها و تعداد اتصالات معابر دقت نکرده‌اند. این مقاله با با اضافه کردن این معیار و با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی ترافیک شبکه همراه با نرم‌افزار *GIS* به ارزیابی شبکه ارتباطی نیویورک پرداخته است. در صورتی که مالتینتی *(Maltinti, Melis, & Annunziata, 2012)* پیشتر در مقاله «روشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه های ارتباطی» به این نکته اشاره و از روشی مشابه استفاده کرده بودند. اما، اراث و همکاران *(Erath, Birdsall, Axhausen, & Hajdin, 2014)* در مقاله «متدلوژی ارزیابی آسیب‌پذیری برای شبکه ارتباطی سوئیس» به شیوه-ای دیگر، بر اساس احتمال تغییرات حالت سفر در صورت تخریب معبر و با استفاده از مدل‌سازی، مدلی جهت برآورد میزان آسیب‌پذیری ارائه داده‌اند.

بر اساس آنچه که در مبانی نظری و پیشینه پژوهش گفته شد، معیارهای مورد نظر پژوهش و روش پژوهش مشخص می‌شود. معیارهای استخراج شده که امکان بررسی داشته و اطلاعات مورد نیاز آنها موجود است، بدین شرح می‌باشد: همپیوندی، حجم ترافیکی عبوری *(Walker, et al., 2014)*، فاصله تا معبر اصلی *(Miriam & Shulman, ۲۰۰۸)*، قوس معبر *(Maltinti, Melis, & Annunziata, ۲۰۱۲)*، محصوریت معبر، همجواری با کاربری خطرآفرین *(Jenelius, Petersen, & Mattsson, 2006)* و کیفیت

جداره معبر *(Kamelifar, Rustaei, Ahadnejad, & Kamelifar, 2013)*. از آنجا که این پژوهش نه تنها به دنبال ارزیابی آسیب‌پذیری بلکه نمایش ملموس آن به صورت نقشه، برای نشان دادن معابر آسیب‌پذیر است، مانند برخی از مقالات معرفی شده، ابتدا معیارها وزن‌دهی شده و سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به آنها برای تولید نقشه، تولید می‌شود.

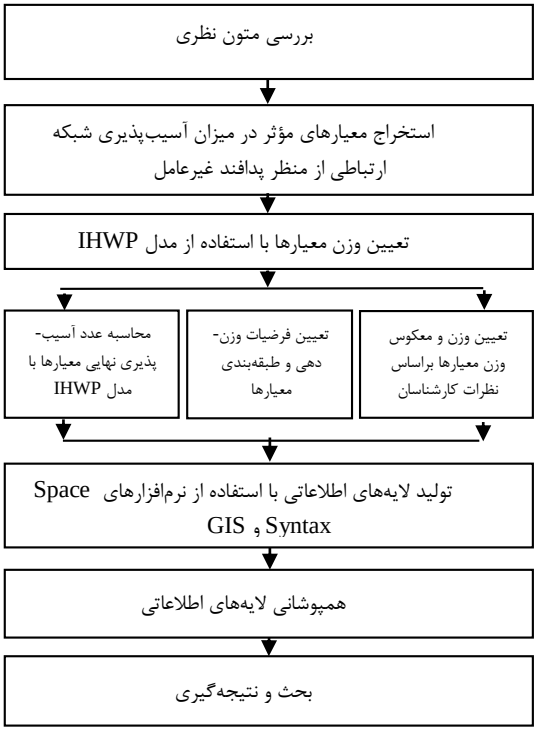
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش‌شناسی

پژوهش حاضر، بر اساس هدف از نوع مطالعات کاربردی است. به دلیل بررسی وضع موجود و تحلیل آن برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی، بر اساس روش بررسی، از نوع پژوهش تحلیلی – توصیفی است. بر مبنای نحوه کنترل، از نوع مطالعات مورد پژوهی از دسته تحقیقات غیرآزمایشی توصیفی است؛ زیرا به بررسی موضع پژوهش در یک نمونه مطالعاتی (شهر جدید صدرا) می‌پردازد.

در این پژوهش جهت جمع‌آوری داده، از دو روش استفاده می‌شود: ۱- مطالعه کتابخانه‌ای و اسنادی: جهت بررسی متون نظری مرتبط با موضوع پژوهش و آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی در قالبی تحلیلی- توصیفی که به استخراج معیارهای مورد نیاز جهت ارزیابی می‌انجامد.۲- نظرخواهی از کارشناسان: نظر کارشناسان در تعیین وزن معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جهت تحلیل اطلاعات، از مدل‌ها و نرم‌افزارها استفاده می‌شود. از آنجا که تمامی معیارها اهمیت یکسانی در میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی ندارند، بایستی با استفاده از مدل وزن‌دهی شوند. ویژگی این مدل باید به گونه‌ای باشد که بر خلاف مدل *AHP*، امتیازات نه بر اساس کارایی معیار بلکه بر اساس میزان نقشی که در آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی دارند اعمال شوند. بدین منظور از مدل *IHWP* استفاده می‌شود. جهت مشخص شدن میزان همپوشانی فضایی معابر از نرم افزار *Space Syntax* و برای ایجاد لایه-های اطلاعاتی و نمایش نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار *GIS* بهره گرفته می‌شود. جهت همپوشانی لایه‌ها و ایجاد نقشه نهایی آسیب‌پذیری، از ابزار *Calculator Raster* برای جمع لایه‌های اطلاعاتی، در محیط *ArcGIS* استفاده می‌شود. در **شکل ۱** مراحل پژوهش مشاهده می‌شود.



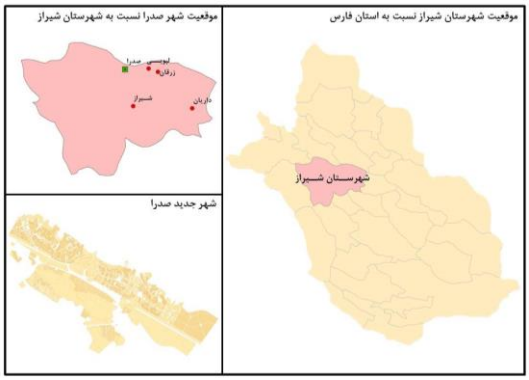
شکل ۱- مراحل پژوهش (نگارندگان)

۲-۲- معرفی محدوده مورد مطالعه

شهر جدید صدرا در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شیراز قرار دارد. با توجه به جمعیت مازاد پیش‌بینی شده برای شهر شیراز تا سال ۱۳۹۰ اولین هدف خاص شهر جدید صدرا اسکان سرریز جمعیت ناحیه شهری شیراز است. در حال حاضر در شهر جدید صدرا تعداد ۱۱۴۱۹ خانوار در شهر صدرا ساکن می‌باشند که با بعد خانوار ۳/۵ جمعیتی در حدود ۳۹۹۷۹ نفر را در بر می‌گیرد *(Statistical Center of Iran, 2011)*. طرح جامع این شهر در سال ۱۳۷۴ و طرح تفصیلی آن در سال ۱۳۷۹ به تصویب رسید. الگوی شهر به صورت خطی- مداری است. الگوی تقسیمات شهری شهر جدید صدرا با توجه به فرم کالبدی ارضی و محدودیت های توسعه به ترتیبی که خدمات با عملکرد در سطح محله-ناحیه و خدمات عمده در محور مجهز شهری مکان‌گزینی شود، شکل گرفته است. شهر صدرا به هشت ناحیه تقسیم و هر ناحیه چهار تا شش محله را شامل می‌شود و یک هسته

مرکزی در قالب محور مجهز شهری که خدمات عمده شهری در طول شهر را تأمین می‌کند. بر این مبنا شبکه‌بندی شهر نیز طراحی شده است. همچنین، مجموعه باغشهرها در غالب حوزه های با تراکم ویژه در حاشیه شهر منظور شده است *(New Towns Development Corporation, 2005)*.

آماده‌سازی این شهر به سه بخش فاز یک، دو و سه تقسیم می‌شود. فاز یک شهر صدرا تا حدود زیادی ساخته شده و به بهره‌برداری رسیده است اما فاز دو به طور عمده ساخته نشده و تنها بخش‌هایی از آن در حال ساخت است. اجرای فاز سه هنوز از سوی مسئولان تصمیم‌گیری نشده است. پهنه اداری در مرکز شهر و پهنه صنعتی در جنوب شهر قرار گرفته است. درحال حاضر پروژه های عمده مسکن مهر در این شهر در حال اجراست که بخشی از آن به بهره-برداری رسیده و مابقی درحال ساخت است. **نقشه ۱** نشان-دهنده موقعیت شهر جدید صدرا است.

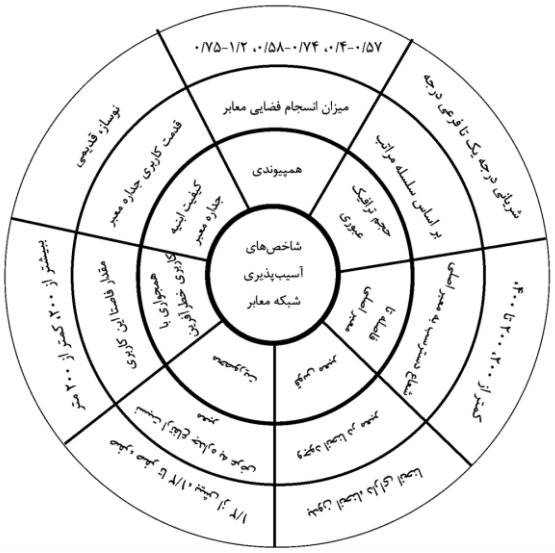


نقشه ۱- موقعیت شهر جدید صدرا (نگارندگان)

۳- تحلیل

۳-۱- محاسبه وزن معیارها با استفاده از مدل IHWP

جهت بررسی مسأله پیش روی پژوهش، ابتدا بایستی معیار-های انتخاب شده برای تحلیل پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر بحران، مشخص گردد. به منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه بر اساس مبانی نظری، پیشینه پژوهش و اطلاعات موجود، هفت معیار انتخاب می‌شود. این معیارها در **شکل ۲** معرفی شده‌اند.



شکل ۲- معیارهای آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی (نگارندگان)

مرحله دوم از تحلیل اطلاعات، ارائه راهبرد تحلیل سلسله مراتبی معکوس*(IHWP)* می‌باشد. تفاوت این مدل با مدل *AHP* در آن است که در مدل *IHWP* اختلاف وزن های محاسبه شده از حاصل جمع ماکزیمم و مینیمم وزن‌ها محاسبه شده و به جای وزن اصلی متغیرها، در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با معکوس کردن وزن‌ها، عدد نهایی، آسیب‌پذیری معبر را نشان می‌دهد در صورتی که در مدل *AHP*، عدد نهایی میزان کارایی را نشان می‌دهد.

جهت استفاده از این مدل، با توجه به میانگین نظرات ۱۰ کارشناس شهرسازی و حمل و نقل از بین اساتید و کارشناسان شهرداری شهر جدید صدرا، معیارهای انتخابی بر اساس میزان اهمیت هر یک از آنها در آسیب‌پذیری یک مکان، وزن‌دهی می‌شوند. سپس معکوس وزن هر لایه، به عنوان وزن آن در مدل *IHWP* در نظر گرفته می‌شود. پس از آن برای هفت معیار پژوهش، فرضیه‌هایی مورد بررسی قرار گرفته و هر معیار در دسته‌هایی طبقه‌بندی می‌شود؛ به عنوان مثال: فرض اصلی در معیار درجه محصوریت، بر این اساس استوار است که امکان مانور در ساختمان‌های کم ارتفاع با عرض معبر بیشتر، وجود دارد. به عبارتی دیگر، آسیب‌پذیری در نواحی با درجه محصوریت کمتر، نسبت به ساختمان‌های با درجه محصوریت بالا، کمتر است. بر اساس

فروض، به هر طبقه از هر معیار عددی به عنوان عدد آسیب-پذیری نسبت داده می‌شود. در این مدل، جهت اعمال معکوس وزن در عدد آسیب‌پذیری هر طبقه، از روابط ریاضی زیر استفاده می‌شود.

$$X = \frac{D}{N} \quad (۱)$$

$$J = D - (N - i)X \quad (۲)$$

در این پژوهش، فروض و طبقات هر معیار به شرح زیر تعریف شده و بر اساس آنها، عدد آسیب‌پذیری اولیه در نظر گرفته می‌شود.

همپیوندی: عموماً فضاهای پرتردد از درجه همپیوندی بالاتری نسبت به دیگر فضاها برخوردارند و بافت-های مسأله‌دار و فرسوده شهری، از درجه همپیوندی پایین-تری در مقایسه با بافت‌های متداول شهری برخوردارند. با توجه به این نکته که هرچه میزان همپیوندی بیشتر باشد، میزان پایداری بیشتر و در نتیجه میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی کمتر می‌شود، در اینجا اقدام به طبقه‌بندی میزان هم‌پیوندی شبکه ارتباطی شهر صدرا شده و معابر بر اساس میزان همپیوندی، در سه دسته از ۰٫۴ تا ۱٫۲ قرار می‌گیرند.

حجم ترافیک عبوری: با توجه با این نکته که هرچه حجم ترافیک عبوری از معابر، بیشتر باشد، پایداری کمتر و میزان آسیب‌پذیری بیشتر است، اقدام به طبقه‌بندی معابر به ۵ دسته شریانی درجه یک، شریانی اصلی، شریانی فرعی، فرعی درجه یک و فرعی درجه دو شده و معابر از نظر میزان آسیب‌پذیری براساس حجم ترافیک عبوری از ۱ تا ۵ امتیازدهی می‌شوند.

فاصله تا معبر اصلی: هرچه دسترسی سریع‌تر صورت پذیرد، میزان آسیب‌پذیری کاهش یافته و به همین دلیل، کارایی آن افزایش می یابد. معابر بر اساس فاصله از معابر اصلی به سه دسته بیشتر از ۴۰۰ متر فاصله، بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر فاصله و کمتر از ۲۰۰ متر فاصله طبقه‌بندی شده و بر اساس میزان آسیب‌پذیری از ۱ تا ۴ امتیازدهی می‌شوند.

قوس معبر: هرچه راه‌های مورد نظر در بافت مستقیم‌تر باشند، راحت‌تر و سریع‌تر می‌توان به مدیریت پس از بحران پرداخت و در نتیجه، آسیب‌پذیری آنها کمتر خواهد بود. بنابراین معابر به دو دسته بدون انحنا (مستقیم) و دارای انحنا (قوس) تقسیم می‌شوند.

محصوریت معبر: با بالا رفتن درجه محصوریت (ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معبر)، احتمال بسته شدن معابر افزایش می‌یابد. هر چه میزان محصوریت معبر بیشتر باشد، آسیب‌پذیری آن نیز بیشتر است. بنابراین معابر بر اساس میزان محصوریت به سه دسته، محصوریت صفر، محصوریت بین صفر و ۱٫۲، محصوریت بیشتر از ۱٫۲ تقسیم شده و بر اساس میزان آسیب‌پذیری از ۰ تا ۳ امتیازدهی می‌شوند.

همجواری با کاربری خطر آفرین: عدم سازگاری کاربری‌ها، می‌تواند منشأ حوادث ثانویه در جداره و در نهایت موجب انسداد معبر گردد. همچنین معابر همجوار با کاربری-های خطرآفرین نظیر پمپ بنزین و پمپ گاز دارای پایداری کمتر و آسیب‌پذیری بیشتر درحین وقوع بحران هستند. با توجه به این نکته، معابر به دو دسته با فاصله بیشتر از ۲۰۰ متر و کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی شده و از نظر آسیب-پذیری ۱ و ۲ امتیازدهی می‌شوند.

کیفیت جداره معابر: احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل بحران‌های طبیعی و انسان-ساخت، نسبت به ساختمان‌های مخروبه و مرمتی بیشتر است. هرچه کیفیت جداره معبر بیشتر باشد، میزان آسیب-پذیری آن کمتر است. بنابراین کیفیت جداره معابر به دو دسته باکیفیت (نوساز) و بدون کیفیت (قدیمی) تقسیم شده و بر اساس میزان آسیب‌پذیری، از ۱ تا ۲ امتیازدهی می-شوند.

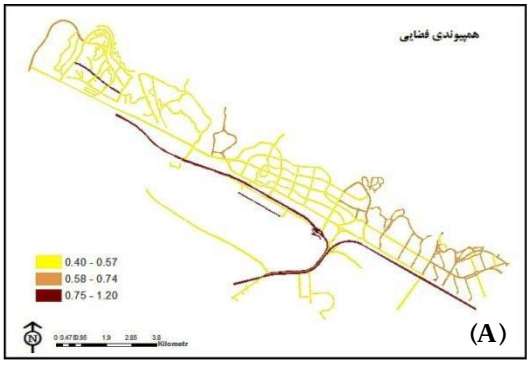
در **جدول ۱**، خلاصه موارد بیان شده ارائه گردیده و عدد آسیب‌پذیری نهایی هر طبقه از هر معیار با استفاده از مدل *IHWP* مشخص گردیده است.

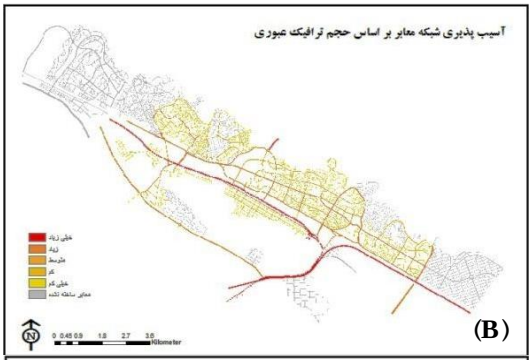
جدول ۱- عدد آسیب‌پذیری نهایی هر معیار با استفاده از مدل IHWP (نگارندگان)

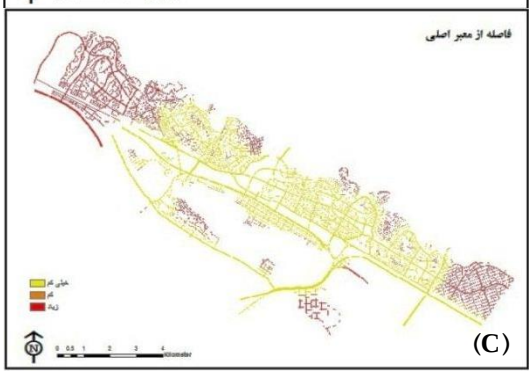
معیار	وزن	معکوس وزن	فرض وزن‌دهی	طبقه‌بندی‌معیار	عدد آسیب-پذیری اولیه	عدد آسیب-پذیری نهایی
همپیوندی	۸	۱	همپیوندی بیشتر، پایداری بیشتر و آسیب-پذیری کمتر	۰٫۰-۴٫۵۷	۳	۱
				۰٫۰-۵۸٫۷۴	۲	۰٫۶۶
				۰٫۱-۷۵٫۲	۱	۰٫۳۳
حجم ترافیک عبوری (بر اساس سلسله مراتب دسترسی)	۷	۲	حجم ترافیک عبوری بیشتر، پایداری کمتر و آسیب‌پذیری بیشتر	شریانی درجه یک	۵	۲
				شریانی اصلی	۴	۱٫۶
				شریانی فرعی	۳	۱٫۲
				فرعی درجه یک	۲	۰٫۸
				فرعی درجه دو	۱	۰٫۴
فاصله تا معبر اصلی	۶	۳	فاصله تا معبر اصلی بیشتر، پایداری کمتر و آسیب‌پذیری بیشتر	بیشتر از ۴۰۰ متر	۴	۴
				بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر	۲	۲
				کمتر از ۲۰۰ متر	۱	۱
قوس معبر	۱	۸	معبر داری انحنا، پایداری کمتر و آسیب-پذیری بیشتر	بدون انحنا	۱	۴
				دارای انحنا	۲	۸
محصوریت معبر	۵	۴	محصوریت بیشتر، پایداری کمتر و آسیب-پذیری بیشتر	محصوریت صفر	۰	۰
				بین صفر تا ۱٫۲	۱	۱٫۳۳
				بیشتر از ۱٫۲	۳	۴
همجواری با کاربری خطرآفرین	۴	۵	معبر همجوار با کاربری خطر آفرین، پایداری کمتر و آسیب‌پذیری بیشتر	بیشتر از ۲۰۰ متر	۱	۲٫۵
				کمتر از ۲۰۰ متر	۲	۵
کیفیت جداره معبر	۲	۷	کیفیت جداره معبر بیشتر، پایداری بیشتر و آسیب‌پذیری کمتر	با کیفیت (نوساز)	۱	۳٫۵
				بدون کیفیت (قدیمی)	۲	۷

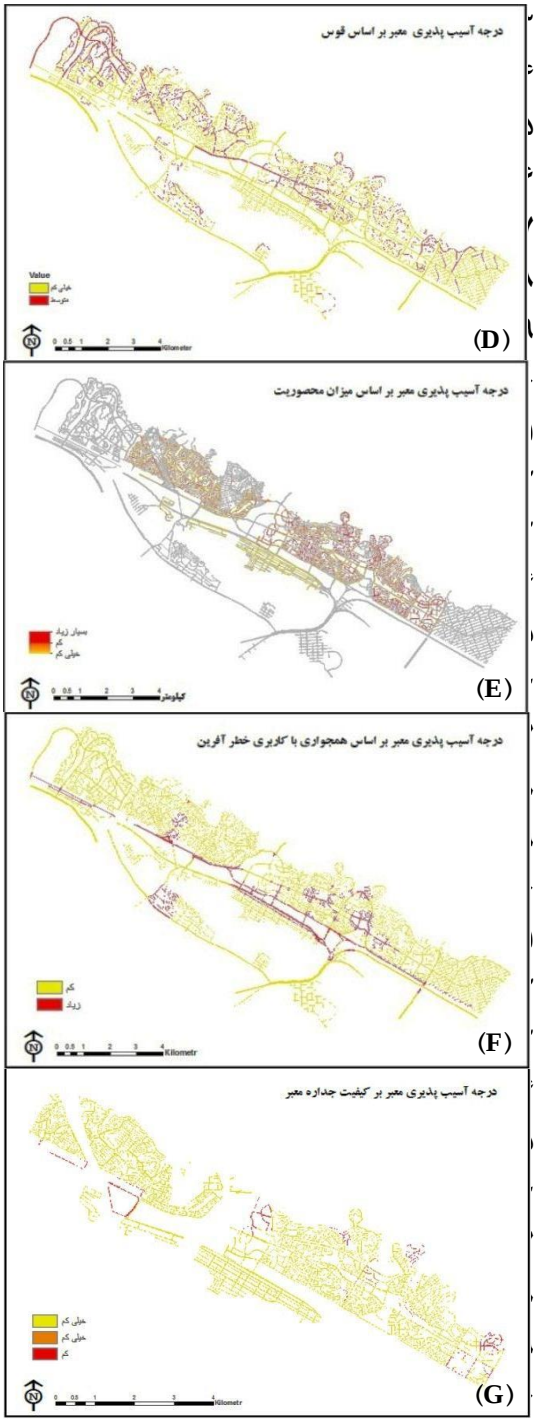
۲-۳- ایجاد لایه های اطلاعاتی

لایه اطلاعاتی مربوط به هر یک از معیارها بایستی تولید شود. بدین ترتیب که در محیط ArcGIS معابر شهر جدید صدرا، بر اساس طبقه‌بندی که برای هریک از معیارها تعریف شده، دسته‌بندی شده، نقشه مربوطه تولید و سپس برای هر طبقه، مقدار کیفی آن از نظر میزان آسیب‌پذیری مشخص می‌شود. برای محاسبه مقدار همپوشانی فضایی هر معبر از نرم‌افزار Space Syntax استفاده می‌شود. **نقشه ۲** نشان-دهنده لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر معیار است.





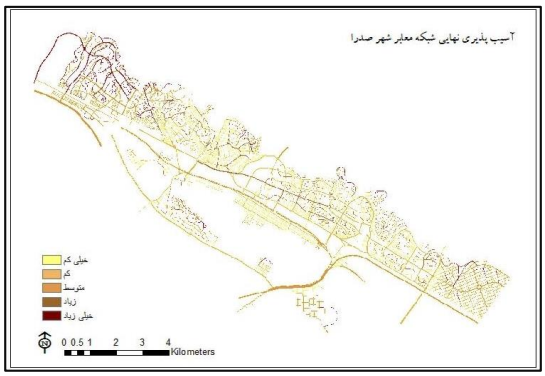




نقشه ۲- آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی بر اساس: A) حجم ترافیک عبوری B) حجم ترافیک عبوری C) فاصله تا معبر اصلی D) قوس معبر E) محصوریت معبر F) همجواری با کاربری خطرآفرین G) کیفیت جداره معبر (نگارندگان)

۳-۳۱- همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله هر لایه، به نقشه رستر تبدیل می‌شود. جهت مشخص شدن میزان آسیب‌پذیری کلی و همپوشانی نقشه ها، با استفاده از ابزار *Calculator Raster* لایه‌های اطلاعاتی، با یکدیگر جمع می‌شوند. سپس، نقشه نهایی در پنج طبقه متمایز شامل (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) از نظر آسیب‌پذیری تهیه می‌شود. **نقشه ۳** آسیب‌پذیری نهایی معابر شهر جدید صدرا را نشان می‌دهد.



نقشه ۳- آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی شهر صدرا (نگارندگان)

۴- نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی می توان بیان کرد، چنانچه شبکه‌های ارتباطی محلی که در زمان حمله دشمن، عملیات امدادرسانی به وسیله آنها صورت می‌گیرد، نقش خود را به خوبی ایفا کنند، آمار تلفات و خسارت‌های جانی و اقتصادی در شهرها کاهش خواهد یافت.

بررسی شبکه ارتباطی شهر صدرا، نشانگر این است که: ۱- ۸۷ درصد از معابر، از میزان همپیوندی و انسجام قابل قبولی برخوردار نبوده که این امر، میزان آسیب‌پذیری آنها را حین حمله دشمن، افزایش می‌دهد. ۲- ۷۴ درصد از معابر موجود، از نوع فرعی درجه ۱ و درجه ۲ هستند که با توجه به حجم عبوری، میزان آسیب‌پذیری آنها در حین حمله دشمن، پایین است. ۳- ۶۳ درصد از شبکه ارتباطی شهر صدرا، در نزدیکی معابر اصلی قرار گرفته‌اند و ۷۶ درصد، میزان محصوریت پایینی دارند. این امر، میزان آسیب‌پذیری آنها را کاهش داده و امدادرسانی به آنها را در شرایط حمله

دشمن، امکان‌پذیر می‌نماید ۴- بخش قابل توجه‌ای از معابر (۳۸ درصد)، دارای قوس و انحنا می‌باشند که این امر، آسیب‌پذیری آنها را افزایش می‌دهد. ۵- از نظر کاربری‌های خطرآفرین نیز، ۸۳ درصد از معابر درمحدوده ایمن، قرار دارند. برای معابر در مجاورت کاربری‌های خطرآفرین، باید تمهیدات ویژه در زمان حمله دشمن، در نظر گرفته شود. ۶- از نظر کیفیت، ۷۸ درصد از معابر دارای جداره نوساز بوده و در نتیجه از میزان آسیب‌پذیری پایین در زمان حمله دشمن برخودار هستند. ۷- بر اساس نقشه نهایی حاصل از میزان آسیب‌پذیری معابر شهر صدرا، محور شریانی دورن شهری صدرا که محل مکان‌گزینی کاربری‌های مهم با عملکرد شهری و فراشهری می‌باشد، در سطح آسیب‌پذیری زیاد نسبت به سایر معابر شهر قرار دارد. این موضوع به دلیل همپیوندی پایین این معبر و همجواری آن با کاربری‌های خطرآفرین همچون تأسیسات شهری است. ضمن آنکه تمرکز کاربری‌های جمعیت‌پذیر در راستای این محور، موجب افزایش جذابیت حمله و افزایش ترافیک عبوری از این معبر شده، در نتیجه آسیب‌پذیری آن در سطح زیاد قرار گرفته است.

راهکار برون رفت از شرایط کنونی و کاهش آسیب-پذیری معابر شهری از منظر پدافند غیرعامل را می‌توان تشکیل کارگروه تهدیدات در ارتباط با بافت و معابر شهر جدید صدرا، ارائه تسهیلات و تشویق ساکنین جهت افزایش کیفیت ابنیه در پهنه‌های قدیمی و بناهای با کیفیت پایین در سطح شهر، بازطراحی بخش‌های ساخته نشده در طرح فرادست جهت اصلاح هندسه معابر، مکان‌گزینی کاربری‌های خطرآفرین و تأسیسات شهری به دور از معابر، پیش‌بینی راه‌های مختلف جهت تخلیه اضطراری و دسترسی به مناطق امن، ارائه ضوابط برای ساخت و سازهای جدید جهت انطباق طبقات ساختمانی با عرض معبر همجوار در راستای کنترل درجه محصوریت، تداوم رعایت سلسله مراتب دسترسی در ساخت معابر جدید شهر جدید صدرا و توزیع مناسب کاربری‌های جمعیت‌پذیر در سطح شهر دانست.

باید اذعان داشت، عدم وجود اطلاعات طبقه‌بندی شده در ارتباط با سایر معیارهایی که می‌توان برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی در نظر گرفت، محدودیت پیش روی پژوهش حاضر بوده که موجب می‌شود دقت تحلیل کاهش یابد. در صورتی که اطلاعات کافی در دسترس باشد، در پژوهش‌های بعدی امکان توسعه معیارها و دستیابی به نتایج دقیق‌تر وجود دارد.

معیارها و روش این پژوهش می‌تواند برای ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی سایر شهرها در زمان حمله دشمن و یا وقوع حوادث طبیعی همچون زلزله نیز، مورد استفاده قرار گیرد. نتایج می‌تواند برای رفع نواقص فعلی در ارتباط با شبکه ارتباطی شهر جدید صدرا، کاهش آسیب-پذیری و افزایش تاب‌آوری آن در مقابل حملات احتمالی دشمن مورد کاربرد مدیران و مسئولان اجرایی این شهر قرار گیرد.

۵- سیاهه‌ی نمادها

نمادهای روابط ریاضی معرفی شده در متن، در **جدول ۲** تشریح شده‌اند.

جدول ۲- سیاهه‌ی نمادها (نگارندگان)

نماد	شرح
X	امتیاز اولیه هر معیار
D	معکوس وزن هر معیار
N	تعداد طبقات هر معیار
J	عدد آسیب‌پذیری نهایی هر طبقه از هر معیار
i	عدد آسیب‌پذیری اولیه هر طبقه از هر معیار

۶- مراجع

Balijepalli, C., & Oppong, O. (2014). Measuring Vulnerability of Road Network Considering the Extent of Serviceability of Critical Road Links in Urban Areas. *Journal of Transport Geography, 39*, 145-155.

Bell, M., Kanturska, U., Schmöcker, J., & Fonzone, A. (2008). Attacker-Defender Models And Road Network Vulnerability. *Philosophical Transactions of The Royal Society, 366*, ۱۸۹۳-۱۹۰۶.

Cafiso, S. (2010). *Assessment of Seismic Risk and Reliability of Road Network, Modelling, Simulation and Identification.* (A. Mohamed, Ed.)

Caiado, G., Oliveira, C., Amaral Ferreira, M., & Sá, F. (2012). *Assessing Urban Road Network Seismic Vulnerability: An Integrated Approach.* Indian Institute of Technology Kanpur University. LISBOA.

Chen, B., William, H. K., Sumalee, A., Li, Q., & Li, Z. (2012). Vulnerability Analysis for Large-Scale and Congested Road Networks With Demand Uncertainty. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46*(3), 501-516.

Cioaca, C. (2013). Critical Aviation Infrastructures Vulnerability Assessment to Terrorist Threats. *Review of the Air Force Academy, 23*(1), 73-80.

Dettlaff, W. (2014). Space Syntax Analysis – Methodology of Understanding the Space. *PhD Interdisciplinary Journal*, 283-291.

Emo, B., Holscher, C., Wiener, J., & Dalton, R. (2012). *Wayfinding And Spatial Configuration: Evidence From Street Corners, Eighth International Space Syntax Symposium.*

Erath, A., Birdsall, J., Axhausen, K., & Hajdin, R. (2014). Vulnerability Assessment Methodology for Swiss Road Network, Transportation Research Record. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2137*, 1-17.

Fekete, A. (2012). Spatial Disaster Vulnerability And Risk Assessments: Challenges in Their Quality And Acceptance. *Natural Hazards, 61*(3), 1161-1178.

Fischer, H., scharnberger, C., & Geiger, C. (1992). Reducing seismic vulnerability in low to moderate risk areas. *Disaster Prevention and Management: An International Journal, 5*(4), 5-۱۸.

Ford, A., Barr, S., Dawson, R., & James, P. (2015). Transport Accessibility Analysis Using GIS: Assessing Sustainable Transport in London. *International Journal of Geo-Information, 4*(1), ۱۲۴-۱۴۹.

Hillier, B. (1999). The Common Language of Space: A Way of Looking at the Social, Economic and Environmental Functioning of Cities on a Common Basis. *Journal of Environmental Science, 11*(3), 344-349.

Hong-ying, Y., & Li-qun, X. (2010). Vulnerability Assessment of Transportation Road Networks. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 10*(3), 7-13.

Huang, Z. (2003). *Data Integration for Urban Transport Planning.* Urban and Regional Planning and Geo-Information Management, Int. Institute for Geo Information Science and Earth Observation (ITC), Netherlands.

Husdal, J. (2005). The Vulnerability of Road Networks in a Cost-Benefit Perspective. *Transportation Research Board Annual Meeting (TRB 2005)*, (pp. 9-13). Washington DC, USA.

Husdal, J. (2006). Transport Network Vulnerability: Which Terminology and Metrics Should We Use? *NECTAR Cluster 1 Semina*, (pp. 1-9). Norway.

Jenelius, E., & Mattsson, L. (2012). Road Network Vulnerability Analysis of Area-Covering Disruptions: A Grid-Based Approach With Case Study. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(5), 746-760.

Jenelius, E., Petersen, T., & Mattsson, L. (2006). Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 40*(7), 537-560.

Kamelifar, M. R., Rustaei, S., Ahadnejad, M., & Kamelifar, Z. (2013). The Assessment of Road Network Vulnerability in Formal and Informal (slum) Urban Tissues to Earthquake Hazards With Crisis Management Approach (Case study: Zone 1 Tabriz). *Journal of Civil Engineering and Urbanism, 3*(6), 380-385.

Lacina, B. (2006). Explaining the Severity of Civil Wars. *Journal of Conflict Resolution, 50*(2), ۲۷۶-۲۸۹.

Liangfeng, Z., Guirong, Z., Kunlong, Y., & Liang, Z. (2002). Risk Analysis System of Geo Hazard Based on GIS Technique. *Journal of Geographical Sciences, 12*(3), 371-376.

Lupin, Y., & Dalin, Q. (2012). Vulnerability Analysis of Road Networks. *Journal of Transportation System Engineering and Information Technology, 12*(1), 105-110.

Maltinti, F., Melis, D., & Annunziata, F. (2012). Methodology for Vulnerability Assessment of a Road Network. In *ICSDC 2011* (pp. 686-693).

Miriam, H., & Shulman, L. (2008). *Estimating Evacuation Vulnerability of Urban Transportation Systems Using GIS.* A thesis submitted to the Department of Geography In conformity with the requirements for the degree of Master of Arts, Queen's University, Geography , Canada.

Moughtin, C. (2003). *Urban Design, Street and Square.* Amsterdam; Boston: Architectural Press.

New Towns Development Corporation. (2005). *International Conference of New Town.*

Schuchmann, G. (2010). Road Network Vulnerability–Evaluation of Measures in Ranking Damages and Developments. *Civil Engineering, 54*(1), 61-65.

Sohn, J. (2006). Evaluating the Significance of Highway Network Links under the Flood Damage: An Accessibility Approach. *Transportation Research Part A, 40*(6), 491-506.

Statistical Center of Iran. (2011). *Statistical Yearbook of the Country.*

Taylor, M., Sekhar, S., & D'Este, G. (2006). Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks. *Networks and Spatial Economics, 6*(3), ۲۶۷-۲۹۱.

Walker, B., Taylor-Noonan, C., Tabbernor, A., McKinnon, T., Bal, H., Bradley, D., et al. (2014). A Multi-Criteria Evaluation Model of Earthquake Vulnerability in Victoria, British Columbia. *Natural Hazards, 74*(2), 1209–1222.

Wang, Y., Feng, Y., Li, W., Fulcher, W., & Zhang, L. (2014). Road Network Vulnerability Analysis Based on Improved Ant Colony Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering,* ۲۰۱۴, ۱-۹.

Zurich, E. (2011). *Vulnerability Assessment of Road Transportation Infrastructure.* Tesis for the degree of Doctor of Sciences, Dipl. Bauing. ETH.