



تحلیلی بر تاب‌آوری زیرساخت شریانی برق در کلان‌شهر مشهد

داود عباسی گوجانی^۱؛ احمد خادم الحسینی^{۲*}؛ مهدی مدیری^۳؛ حمید صابری^۴؛ امیر گندمکار^۵

۱- دانشجوی دکترا، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲ و ۵- دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

چکیده

واژگان کلیدی

تاب‌آوری مفهومی راهبردی برای افزایش تحمل‌پذیری دارایی‌های شهری می‌باشد که در این بین زیرساخت‌های شریانی انرژی از جمله برق در این زمینه حساسیت و ضرورت دو‌چندانی دارد. چرا که هرگونه ایجاد شوک و تهدید بیرونی برای آن می‌تواند زندگی در شهرها را با توجه به ماهیت امروزی شهرنشینی و شهرگرایی با اختلال جدی مواجه سازد. در این راستا در پژوهش حاضر با رویکرد کاربردی و روش‌شناسی توصیفی-تحلیلی تلاش شده است تا به هدف آن که تحلیل تاب‌آوری زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد می‌باشد، پرداخته شود. با توجه به نامشخص بودن شاخص‌های تبیینی و عدم پهنه‌بندی مناطق پرخطر در این فرآیند برای گردآوری شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری از روش دلفی به صورت هدفمند و برای تحلیل فضایی این مسأله از نرم‌افزار Arc GIS 10,3 و همچنین مدل تاپسیس فازی استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اولاً شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی برق به صورت الگوی تراکم مصرف شبکه، الگوی طراحی شبکه و همچنین الگوی قرارگیری در بافت شبکه می‌باشد و ثانیاً پهنه شمالی و شرقی شهر با توجه به تحلیل فازی و تحلیل فضایی آن در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10,3 نشان‌دهنده آسیب‌پذیری و متعاقباً تاب‌آوری پایین تری نسبت به سایر پهنه‌های شهر برای زیرساخت شریانی برق می‌باشد.

تاب‌آوری
زیرساخت شریانی
زیرساخت برق
کلان‌شهر مشهد
روش دلفی
FTOPSIS

*مقاله حاضر مستخرج از رساله دکترا با موضوع "ارائه مدل تاب‌آوری زیرساخت‌های شریانی از منظر پدافند غیرعامل در کلان‌شهر مشهد" می‌باشد.

*۲ آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.khademolhoseiny@yahoo.com

۱- مقدمه

شهرها پیچیده ترین سیستم های اجتماعی می باشند که نیازمند پویا ترین رویکردها برای توسعه و تعالی خود می باشند (Meerow et al., 2016: 39). این مکان ها علیرغم شتاب در نوآوری و تلاش برای توسعه با چالش های زیربنایی و روبنایی متعددی نیز مواجه هستند. این آسیب ها می تواند در فرآیند توسعه پذیری شهری به صورت مختلفی شهرها را با تهدید و بحران مواجه سازد (Berke & Campanella, 2006: 193). آسیب های یاد شده در دو بخش انسانی و طبیعی می تواند قابلیت زندگی در شهرها را با بحران مواجه ساخته و شرایط زیست را در این مکان ها مختل سازد (فرزاد بهتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۴). تهدیدهایی که متوجه زیرساخت ها هستند می تواند در قالب حملات تروریستی (فیزیکی یا سایبری)، بلاهای طبیعی، اختلالات فناوری، سوانح و حوادث و ... دسته بندی شوند. به عنوان مثال سیستم ارتباط مخابراتی، اینترنت و تعداد فزاینده اکسترانت، زیرساخت های بسیاری را پشتیبانی می کند که از جمله می توان به خدمات اضطراری، شبکه های مالی، سامانه های فرماندهی و کنترل نظامی، خطوط نفت و گاز، حمل و نقل و سامانه های آموزشی اشاره کرد (Hellstrom, 2007). بنابراین در این راستا داشتن نگرش های نو و مواجهه شونده در برابر تهدیدات و ارائه تمهیدات راهبردی امری ضروری می باشد. آن چه امروزه به عنوان مفهومی دربرگیرنده و برنامه ریزی شده برای مواجهه پذیری شهرها و ساختارهای شهری در برابر تهدیدات انسانی و طبیعی مطرح می شود مقوله تاب آوری می باشد (Gonzales & Ajmani, 2017: 128). به اعتقاد محققان امروزه جهت مواجهه با تهدیدات و آسیب های ناشی آن در شهرها دو نوع استراتژی وجود دارد. استراتژی های پیش بینی کننده و استراتژی های

مربوط به تاب آوری (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۰؛ فرزاد فرتاش و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۵).

عدم توازن در پایداری زیرساخت های شریانی در مناطق شهری کلان‌شهر مشهد، نبود مطالعات مدون و راهبردی مورد نظر برای ارزیابی تاب آوری در حوزه های مختلف اقتصادی، اجتماعی؛ نبود نهادهای تصمیم گیر در این راستا با توجه به عملکرد نامناسب آن در بروز بحران‌ها ضرورت مطالعه حاضر را مورد تأیید قرار می دهد. بنابراین پیگیری و ضرورت شناسی موضوع مقاله از دو جنبه اهمیت خود را نشان می دهد (موضوعی و موضوعی). در پژوهش حاضر کلان‌شهر مشهد به عنوان بستر مورد نظر انتخاب شده است. این کلان شهر علاوه بر موقعیت ژئواستراتژیک و ژئوپلیتیکی آن و شرایط ماهوی اهمیت آن برای ارزیابی مقوله تاب آوری از یک طرف و کمبودها، نواقص و ضعف های موجود در فرآیند برخورداری از ظرفیت تحمل پذیری مؤلفه های تاب آوری آن در مواقع بحرانی مانند آن چه در شرایط بحران های طبیعی و تهدیدات انسانی احتمالی مشاهده می شود، پیگیری مفهومی و عملیاتی رویکرد تاب آوری به عنوان یکی از راهکارهای استراتژیک دفاع غیر عامل شهری در حساس ترین داری های آن یعنی زیرساخت های شریانی انرژی به خصوص در حوزه برق در این کلان شهر را ضروری جلوه می سازد. چرا که این زیرساخت در صورت وجود هر گونه اختلال می تواند سایر زیرساخت های شهری از جمله آب و گاز و عملکرد نهاد های مدیریتی و انتظامی را با مشکل مواجه نماید. بنابراین پیگیری مبحث تاب آوری و تهیه شاخص ها و ارزیابی آنها می تواند چشم انداز روشنی از نقاط قوت و ضعف تحلیل فضایی این زیرساخت از منظر تاب آوری را در کلانشهر مشهد نمایان سازد.

بنابراین دو سؤال اصلی پژوهش حاضر این است که:

نخست: شاخص ها و استانداردهای تبیین کننده تاب آوری در زیرساخت برق کدامند؟

^۱ - Livability

^۲ - Resilience

نظامی، تروریستی و به عبارتی دیگر تهدیدات نرم و سخت که در حوزه تهدیدات انسانی قرار می‌گیرد و تهدیدات طبیعی از جمله سیل، زلزله، خشکسالی و نوسانات شدید آب و هوایی، لغزش و رانش زمین، آتشفشان‌ها و طوفان‌ها و سایر تهدیدات از جمله تهدیدات طبیعی می‌باشد که نیازمند عملکرد خاصی از جانب سیستم هدف در قالب تاب‌آوری آن در برابر این حوادث می‌باشد (Yamagata & Maruyama, 2016: 5-6).

۲- روش‌شناسی

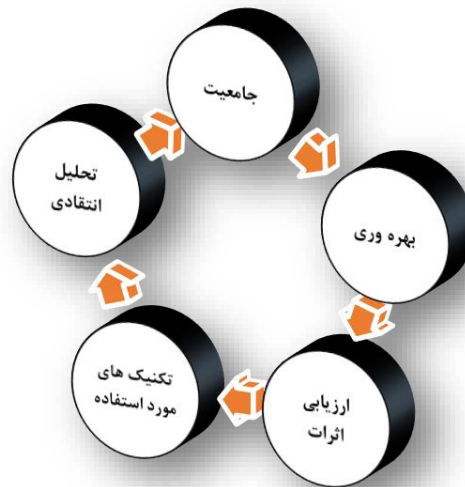
پژوهش حاضر به لحاظ هدف شناسی، کاربردی-توسعه‌ای و به لحاظ روش شناسی به صورت توصیفی-تحلیلی می‌باشد. برای گردآوری داده‌های توصیفی پژوهش (آن چه که در بخش کلیات، چهارچوب نظری و پیشینه مطالعاتی پژوهش آمد) از روش اسنادی به صورت مراجعه به اسناد علمی و پژوهشی کتابخانه‌ای یا آرشیو مجلات علمی - پژوهشی داخلی و خارجی استفاده شده است. برای گردآوری اطلاعات تحلیلی پژوهش با توجه به ماهیت پژوهش از روش پیمایشی به صورت ابزار پرسشنامه و همچنین میدانی استفاده گردیده است. علت این مسأله داشتن ماهیت کیفی پیشران‌ها و سنجش‌های عملیاتی پژوهش در بخش تدوین شاخص‌های عملیاتی برای وزن‌دهی و تحلیل لایه‌ها با استفاده از نظرات کارشناسی از یک سو و تأمین لایه‌های اطلاعاتی مربوط به تحلیل فضایی تاب‌آوری زیرساخت‌های شریانی برق در کلان‌شهر مشهد از سوی دیگر بوده است.

برای این منظور یعنی تدوین شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد از دیدگاه ۳۰ نفر از اساتید و کارشناسان مربوط به موضوع پژوهش در حوزه شهرسازی، برنامه‌ریزی شهری، مهندسی برق و پدافند غیرعامل به روش دلفی و نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شد تا از طریق اجماع و اشباع نظری به تدوین شاخص‌ها و استانداردهای تاب‌آوری در زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد پرداخته شود. برای تحلیل داده‌ها نیز از مدل تاپسیس فازی و همچنین نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد.

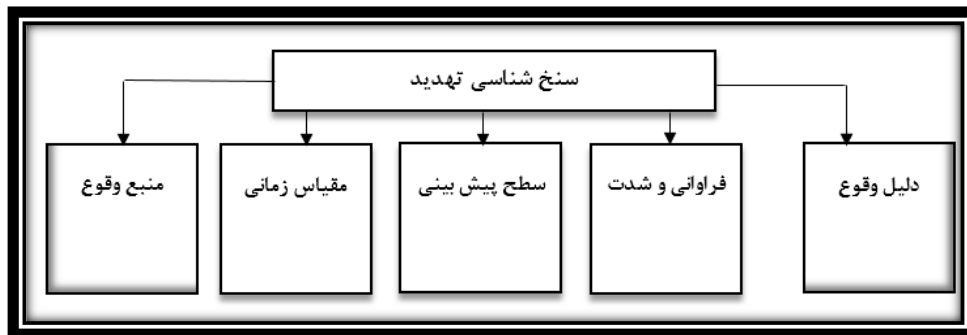
دوم: پهنه‌های فضایی آسیب‌پذیر و ناتاب‌آور برای زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد چگونه است؟
هدف اصلی مقاله، تحلیل فضایی پهنه‌های تاب‌آور از منظر دفاع غیرعامل برای زیرساخت‌های شریانی برق در کلان‌شهر مشهد می‌باشد.

۱- مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

تاب‌آوری ظرفیت مانایی و تحمل‌پذیری را در برابر خطرات و سوانح در نظر دارد. این فرایند در چهارچوبی خاص برای تحلیل کارکرد سیستم‌ها در برابر حوادث و بلایا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا بتوان تاب‌آوری را در راستای آن برای آن نظام یا سیستم در نظر گرفت. نکته مهم بعدی کارکرد این چهارچوب در سطح یا مقیاس مکانی-فضایی خاص آن می‌باشد. که می‌تواند از سطح محلی یعنی شهری و روستایی تا سطح ملی متغیر باشد (Cimellaro, 2016: 20). مرکز آمادگی در برابر سانحه آسیا، به علت طبیعت اجتماعی پویای جوامع و رویه افزایش و ایجاد تاب‌آوری درونی و ما بین جوامع، توجه به مفهوم تاب‌آوری به عنوان یک محصول نهایی کافی نیست و این مقوله باید به صورت یک فرآیند در نظر گرفته شود (Cuter et al., 2008: 599). بنابراین در ساختارشناسی و چهارچوب شناسی تاب‌آوری باید انعطاف و تغییرات پویا را همواره در نظر گرفت. پنج عامل اصلی در فرایند چهارچوب عملکردی تاب‌آوری: جامعیت (به معنای همه شمولی نه قطعیت)؛ سودمند بودن یا بهره‌وری، ارزیابی اثرات، تکنیک‌های مورد استفاده و تحلیل انتقادی در راستای بهبود هر چه بهتر شرایط موجود در راستای پایداری می‌باشد (Cimellaro, 2016: 20). مقوله مهم دیگر در بحث ارزیابی کارکرد تاب‌آوری شناخت نوع شوک یا تهدید، نظام هدف و نوع بازایی یا پوشش می‌باشند. نوع شوک یا تهدید می‌تواند طبیعی یا انسانی باشد. حملات



شکل ۱: مفاهیم کلیدی در تحلیل چهارچوب عملکردی تاب آوری
منبع: Cimellaro, 2016: 21



شکل ۲: سنخ شناسی تهدید در سیستم های تاب آور
منبع: Yamagata & Maruyama, 2016: 5-6

برنامه ریزی پیشگیرانه و درجه سازگاری مورد تحلیل و ارزیابی قرار می گیرد. تأثیرات فیزیکی و زمان بازیابی، تأثیرات اقتصادی و زمان بازیابی و تأثیرات اجتماعی و زمان های بازیابی در بخش تحلیل اثرات مورد ارزیابی و بررسی قرار می گیرد. تکنیک ها و فنون تحلیل، تکنولوژی کاربردی برای ارتقاء ساختارها، و نوآوری و یادگیری کاربردی ابزارهای نو در مرحله

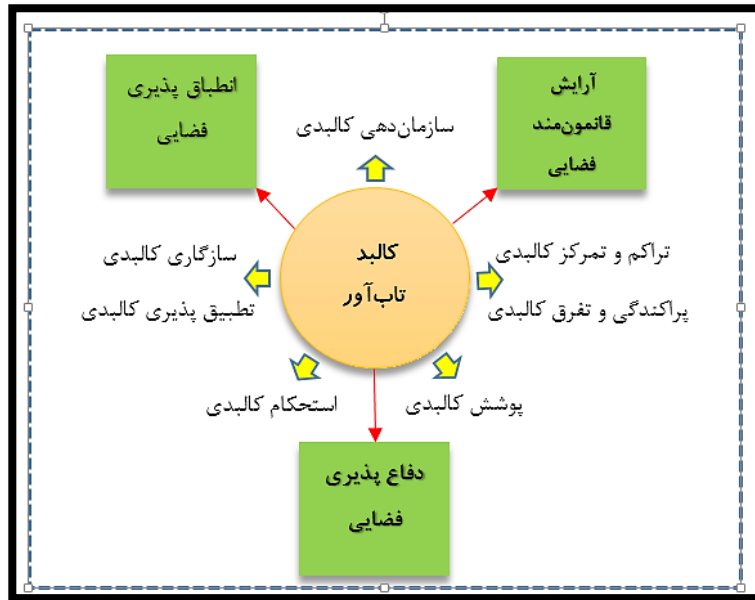
مطابق شکل ۲۱، در فرایند ارزیابی چهارچوب کارکردی تاب آوری، جامعیت و همه شمولی به ارزیابی اندازه جامعه، سنخ شناسی تهدیدات، فرایند بازیابی زمان در مقیاس های مختلف و وابستگی متقابل اجزای کارکردی سیستم در برابر حوادث و بلایا می پردازد. بهره وری یا سودمندی به توانمندی به کارگیری و یادگیری کاربران یا سیستم، ارزش آن در فرایند

قرار می‌دهد. کالبد شهرها بیان کننده نوع سازمان فضایی شهرها نیز می‌باشد که با جمع نمودن عملکردهای انسانی سازمان کلان به نام شهرها را پدید می‌آورد. در این فرایند بسیاری از محققان کالبد شهری را به بخش‌های طبیعی؛ انسانی و زیرساختی و یا به صورت دیگر به دو بخش زیربنایی و روبنایی تقسیم می‌کنند (فرزاد فرتاش و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۶).

توجه به نوع مکان یابی، فرایند همجواری؛ سازگاری؛ انطباق محیطی؛ آرایش فضایی مبتنی بر تراکم و تمرکز به خصوص برای کاربری‌های اراضی که نقش حیاتی و حساس دارند بسیار مهم می‌باشد. در این فرایند همچنین به نوع ساخت با استحکام سازه‌ها متناسب با آیین نامه‌ها و اصول مبتنی بر دفاع غیر عامل و رویکرد راهبردی تاب‌آوری برای اهمیت مواجهه آن‌ها با بلاها و حوادث در جهت بازیابی و انعطاف-پذیری مجدد در کوتاه‌ترین زمان ممکن تأکید شده است (رضایی، ۱۳۸۹: ۴۶).

تکنیک‌ها و فنون مورد استفاده مورد ارزیابی قرار می‌گردد. در فرایند تحلیل انتقادی که از آن به عنوان شایستگی علمی و یادگیری نیز یاد می‌شود میزان بهره‌مندی از دانش برای تشخیص نواقص و ناکارآمدی‌ها و پیشنهاد چهارچوب‌های سازنده و نو مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گردد (Cimellaro, 2016: 21).

در بسیاری از منابع از کالبد شهری به عنوان مهم‌ترین دارایی این سیستم کلان نام برده است. چرا که بدون کالبد و منابع فیزیکی نمی‌توان ظرفیت و کارکردی هم برای شهرها قائل بود. در واقع ساخت و پرداخت کالبد و فیزیک شهرها به عنوان یکی از مهم‌ترین سیاست‌های برنامه ریزان و طراحان شهری است. در این فرایند با توجه به چالش‌ها و آسیب‌های متعددی که شهرها با آن می‌توانند چه به صورت طبیعی و چه به صورت انسانی دست به گریبان باشد لزوم تاب‌آور نمودن کالبد شهرها را به لحاظ ساخت و طراحی و پشتیبانی از آن‌ها مورد تأکید



شکل ۳: ویژگی‌های تاب‌آوری دارایی‌های کالبدی

منبع: استنباط از رضایی، ۱۳۸۹؛ Yamagata & Maruyama, 2016

باشد. (Ouyang et al., 2012: 23).

مطالعه پیشینه موضوعی پژوهش به طور مشخص در مواردی مانند: حامد گوهری پور (۱۳۹۱)؛ سلمانی مقدم (۱۳۹۳)؛ ضرغامی و همکاران (۱۳۹۵)؛ پرتوی و همکاران (۱۳۹۵)؛ حاتمی نژاد و همکاران (۱۳۹۶)؛ امیری و همکاران (۱۳۹۶)؛ ابوطالب مولویان و همکاران (۱۳۹۷)؛ مرو و همکاران (۲۰۱۶)؛ گراشما و کومار (۲۰۱۶)؛ پاتل و گلاسون (۲۰۱۷)؛ اسپانس و واترهوت (۲۰۱۷) و آجیبید (۲۰۱۷)؛ نشان می‌دهد که تاب آوری شهری به عنوان بنیانی نو در راستای تحقق بخشی به برنامه ریزی استراتژیک در حوزه ارزیابی، تحلیل، کنترل و مدیریت بحران ها و چالش های ناشی از بلایای انسانی و طبیعی می‌باشد که استراتژی های برنامه ریزی شده پیش-گیرانه را با هدف ظرفیت مانایی زیرساخت ها و منابع توسعه در شهرها در نظر دارد. این رویکرد با بهره گیری از مؤلفه ها و پیشران های تبیین کننده سعی در ارتقای شرایط کنونی منابع و امکانات توسعه در عرصه های توسعه فضایی شهرها برای مواجهه با آسیب ها و بلایا دارد.

۳- بحث اصلی

همانطور که گفته شد؛ جامعه آماری پژوهش حاضر متشکل از مدیران و کارشناسان حوزه برق و اساتید دانشگاه در راستای موضوع مورد مطالعه انتخاب گردید که برای سنجش، ارزیابی و رتبه بندی شاخص ها از آن ها استفاده شد و با توجه به ماهیت پژوهش و نبود شاخص های تبیین کننده تاب آوری در زیرساخت شریانی برق، به روش دلفی اقدام به تدوین این شاخص ها و استانداردهای تبیین کننده گردید تا بتوان به تحلیل تاب آوری در زیرساخت شریانی برق اقدام نمود.

در جدول (۱) شاخص ها و استاندارد های تبیین کننده تاب آوری استخراج شده از پرسشنامه آمده است.

مطابق شکل (۳)، انطباق پذیری کالبدی در ابتدا در سازگار کالبد انسان محور با ویژگی های طبیعی بستر می تواند تعریف گردد. این فرایند می تواند در آرایش قانون مند فضایی شکل نظام مند به خود بگیرد. آرایش منظم و قانون مند فضایی کاربرهای شهری اعم از حیاتی و حساس و مهم در شهرها بحث اساسی در تاب آوری شهرها به خصوص تاب آوری کالبدی است. تراکم و تمرکز فضایی از یک سو و پراکنش و تفرق فضایی برای پرهیز از آسیب های درون شبکه ای در کالبد شهری در این راستا می تواند تعریف گردد (Mauriz et al., 2017: 2). دفاع-پذیری فضایی در شهرها که مبتنی بر کالبد آن باشد علاوه بر استحکام ساخت و ساز که از اصول اولیه دفاع پذیری است می-تواند به عملکرد پوشش یابی و پوشش پذیری فضاها و کالبد شهری از یک سو، اختفا و استتار کالبدی به خصوص تک بناهای حساس در شهرها تعریف گردد. این مقوله بر امنیت فضایی و در نتیجه امنیت کالبدی بسیار تأثیرگذار خواهد بود (Cozens & Hillier, 2012: 302).

در این بین، پر واضح است که زیرساخت ها به خصوص زیرساخت های شریانی تا چه میزان در حیات، رونق و پویایی شهرها تأثیر دارند. در حقیقت جوامع مدرن به طور فزاینده ای وابسته به زیرساخت های شریانی برای ارائه خدمات ضروری هستند که از رونق اقتصادی و کیفیت زندگی در این جوامع حمایت می کنند. امروزه این زیرساخت ها به عنوان یک شبکه به هم پیوسته عمل کرده و دارای طراحی های هوشمندانه ای نیز می باشند. بنابراین تاب آور نمودن زیرساخت های شریانی و افزودن ثبات و توانمندی و بازیابی سریع بعد از اختلال می تواند گره گشای بسیاری از بحران ها و تهدیدات انسانی و طبیعی پیش روی آن ها باشد. با توجه به شبکه ای عمل کردن زیرساخت های شریانی شناخت زمان اختلال اولیه و کاهش زمان بازیابی و به خصوص پایش اثرات و حذف ناکارآمدی ها در ادامه حیات این زیرساخت ها برای تاب آوری بسیار مهم می

جدول ۱- شاخص ها و استانداردهای تبیین کننده تاب آوری دارایی های زیرساخت برق

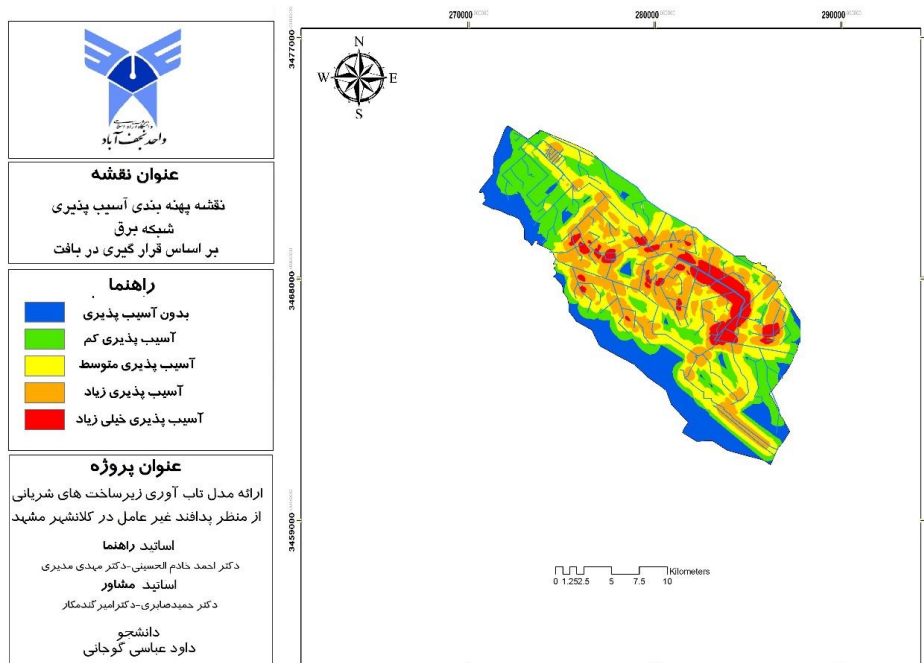
شاخص	معیار اندازه گیری (استاندارد)	میزان ارزش ارائه شده	درصد کسب شده در اجماع اولیه	درصد کسب شده در اجماع نهایی
قرار گیری در بافت	بافت کاملاً نوساز(قدمت تا ۵ سال)	۵	۹۱٪	۱۰۰٪
	بافت نوساز(۵ تا ۱۰ سال)	۴	۸۹٪	۹۶٪
	بافت نیمه فرسوده(۱۰ تا ۲۰ سال)	۳	۸۶٪	۹۳٪
	بافت فرسوده(۲۰ تا ۳۰ سال)	۲	۹۱٪	۱۰۰٪
	بافت کاملاً فرسوده(بیش از ۳۰ سال)	۱	۹۴٪	۱۰۰٪
الگوی طراحی شبکه	طراحی پهن و گشاده با گره قوی	۵	۷۹٪	۹۷٪
	طراحی شطرنجی با فاصله گره	۴	۸۱٪	۹۸٪
	طراحی نیمه شطرنجی	۳	۷۵٪	۹۱٪
	طراحی شعاعی	۲	۷۹٪	۹۴٪
	طراحی ارگانیک یا فاقد طرح هندسی منظم	۱	۸۷٪	۹۶٪
میزان تراکم مصرف	جمعیت تا پوشش تا ۱۰ هزار نفر	۵	۸۸٪	۹۷٪
	جمعیت تحت پوشش از ۱۰ تا ۲۵ هزار	۴	۸۳٪	۹۷٪
	جمعیت تحت پوشش از ۲۵ تا ۵۰ هزار	۳	۹۱٪	۱۰۰٪
	جمعیت تحت پوشش ۵۰ تا ۷۵ هزار	۲	۹۱٪	۱۰۰٪
	جمعیت تحت پوشش ۷۵ تا ۱۰۰ هزار و بیشتر	۱	۸۹٪	۹۸٪

در این فرایند ابتدا به تشریح پهنه بندی تاب آوری شهری دارایی زیرساختی برق بر اساس شاخص قرارگیری در بافت اقدام شده است.

با توجه به شاخص ها و استانداردهای تدوین شده، در ادامه به پهنه بندی تاب آوری شهر بر اساس دارایی زیرساختی شبکه ای برق بر اساس شاخص های استاندارد و تبیین کننده تاب آوری یعنی قرار گیری در بافت، الگوی طراحی شبکه و تراکم مصرف شبکه پرداخته شده است.

بازخوانی و تحلیل و طبقه بندی قرار گرفته است. در ادامه نقشه های تولید شده تشریح شده است.

در این فرایند اطلاعات یاد شده در قالب لایه ها و داده های اطلاعاتی زمین مرجع شده در محیط نرم افزار GIS مورد

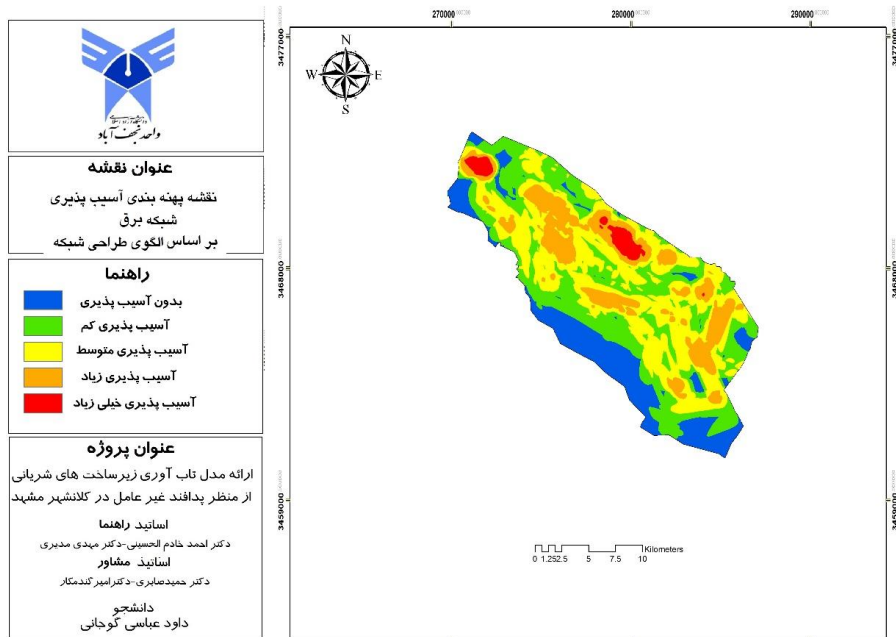


نقشه ۱- نقشه تاب آوری زیرساخت برق بر اساس شاخص قرارگیری در بافت شبکه

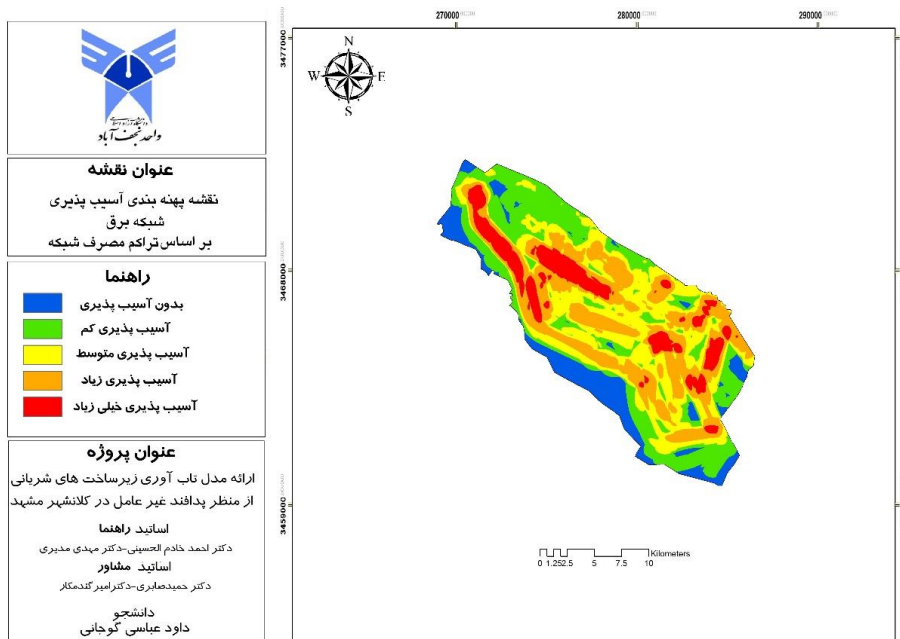
شاخص الگوی طراحی شبکه نشان می دهد که برای دارایی زیرساختی برق، به غیر از بخش های شمال شهر و قسمت هایی از شرق شهر بقیه بخش های شهر دارای تاب آوری نسبتاً مناسبی می باشد. علت این مسأله در موقعیت های با تاب آوری ضعیف طراحی غیر منظم و ارگانیک یا شعاعی برای شبکه برق رسانی می باشد که این بخش ها را با تاب آوری ضعیفی نشان داده است.

نقشه (۱)، نشان می دهد که بر اساس شاخص قرار گیری در بافت سراسر بخش های شرقی بافت و بخش های مرکزی بافت در شهر مشهد دارای تاب آوری خیلی ضعیفی در این شاخص برای شبکه برق می باشد.

در ادامه در نقشه (۲)، پهنه بندی تاب آوری شهری برای دارایی زیرساختی برق بر اساس شاخص الگوی طراحی شبکه تشریح شده است. نقشه پهنه بندی تاب آوری شهری بر اساس



نقشه ۲- نقشه تاب آوری زیرساخت برق بر اساس شاخص الگوی طراحی شبکه



نقشه ۳- نقشه تاب آوری زیرساخت برق بر اساس شاخص تراکم مصرف شبکه

زیرساخت های شریانی برق، به پهنه‌بندی نهایی تاب آوری شهری برای دارایی های زیرساختی برق در کلانشهر مشهد اقدام شده است. در این راستا با استفاده از مدل شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) تلاش شد تا برای تولید نقشه نهایی برای هر کدام از دارایی‌های زیرساختی به وزن گذاری نهایی برای شاخص های استاندارد پرداخته شود. نتایج این مرحله در جدول (۲) تشریح شده است.

در نقشه (۳)، پهنه بندی تاب آوری شهری برای دارایی زیرساختی برق بر اساس شاخص تراکم مصرف شبکه ذکر شده است. بر اساس شاخص تراکم مصرف، پهنه بندی تاب آوری شهری برای دارایی زیرساختی برق، مناطقی را که دارای پوشش جمعیتی ۷۵ تا ۱۰۰ هزار و بیشتر می باشند در پهنه های با تاب آوری خیلی ضعیف قرار داده است. در بخش های شرقی شهر و نوار شمال غربی دارای تراکم مصرف بالا به علت جمعیت و یا کاربری های پر مصرف شناسایی شده اند. در ادامه متناسب با شاخص‌های ارائه شده برای تبیین تاب آوری

جدول ۲: وزن نهایی شاخص های تبیین کننده تاب آوری در زیرساخت شریانی برق

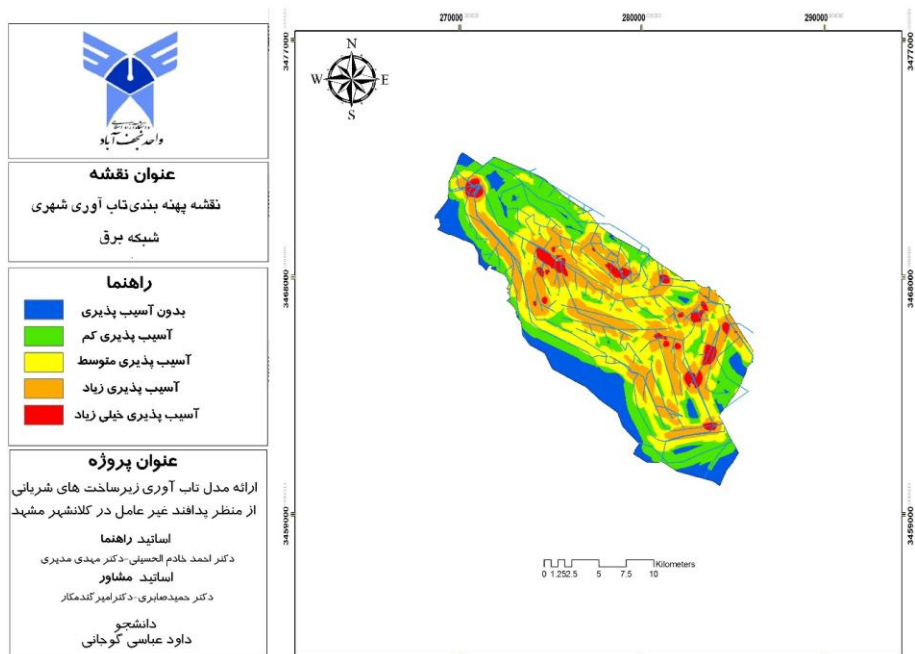
منبع: یافته های تحلیلی پژوهش

Rank	CC_i	S^-	S^+	شاخص تبیین کننده	زیرساخت شریانی
3	0.510	2.091	2.009	قرارگیری در بافت	زیرساخت شریانی برق
1	0.551	3.014	2.456	الگوی طراحی شبکه	
2	0.526	3.119	2.801	تراکم مصرف	

(S^+ : فاصله از ایده آل مثبت - S^- : فاصله از ایده آل منفی - CC_i : شاخص شباهت)

با این نتایج و تلفیق وزن‌های به دست آمده برای شاخص‌های پژوهش در قالب بسته تحلیل فضایی نرم افزار Arc GIS 10.3 اقدام به ارائه نقشه های نهایی تحلیل فضایی پهنه‌های تاب-آوری برای این زیر ساخت در کلانشهر مشهد گردید که نتایج آن در نقشه ذیل تشریح شده است.

مطابق با جدول (۲)، بر اساس مدل شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)، متناسب با یافته‌های پژوهش و بر اساس نظر کارشناسان در زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد، شاخص تبیین کننده الگوی طراحی شبکه رتبه اول را به خود اختصاص داده و تراکم مصرف در رتبه دوم و قرار گیری در بافت حائز رتبه سوم شده است.



نقشه ۴- نقشه نهایی پهنه بندی تاب آوری زیرساخت شریانی برق در کلان شهر مشهد

آنچه از نقشه نهایی پهنه بندی تاب آوری شهری بر اساس دارایی زیرساختی برق در گستره فضایی کلان شهر مشهد مشاهده می شود در بخش های شرقی و شمالی شهر کلان شهر مشهد در وضعیت ضعیف و در موقعیت نامناسبی می باشد.

علت اصلی این مسأله در درجه نخست به عدم طراحی مناسب شبکه در بخش های یاد شده و از سوی دیگر تراکم بالای مصرف و همچنین قرار گیری در بافته های ناکارآمد می باشد.

۴- نتیجه‌گیری

بر واضح است که ظرفیت تحمل‌پذیری و پایداری شرایط در برابر حوادث، تهدیدات و چالش‌ها در تاب‌آوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این شرایط می‌تواند در قالب مؤلفه‌های متعددی چون اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی، کالبدی، فرهنگی و زیست محیطی در وجهه کلان آن تصور گردد. تاب‌آوری رویکردی استراتژیک برای حفاظت و ارتقای مقاومت و تحمل‌پذیری دارایی‌های یک سیستم به خصوص دارایی‌های زیرساختی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در حقیقت، هر کدام از این زیرساخت‌های شریانی به خصوص دارایی‌های زیرساختی برق به نوعی هدایت‌کننده جریان فعالیت‌ها، کنش و واکنش‌های جوامع شهری می‌باشند که تصور آسیب و نقصان در فرایند عملکردی هرکدام از این شریان‌های توسعه می‌تواند به تصور بحران عمیق در شهرها منتهی گردد. عمده این زیرساخت‌ها در راستای تبیین مفهومی تاب‌آوری آن‌ها با تهدیدات طبیعی مانند سیل و زلزله و تهدیدات انسانی مانند جنگ یا تهدیدات سایبری مواجه می‌باشد. در این راستا، در این مطالعه تلاش شد تا به تحلیل تاب‌آوری زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد پرداخته شود. بنابراین مهم‌ترین مسأله گردآوری شاخص‌های تبیین‌کننده تاب‌آوری در زیرساخت شریانی برق در کلانشهر مشهد بود که در این زمینه از دیدگاه کارشناسان و متخصصان مرتبط با موضوع استفاده شد و نتایج حاصل از دلفی هدفمند در این مرحله، به سوالات پاسخ داده شد؛ نخست، مشخص شد که سه شاخص اصلی یعنی قرارگیری در بافت شبکه با ۹۲ درصد اجماع نهایی، الگوی طراحی شبکه با ۰/۹۳ اجماع نهایی و تراکم مصرف شبکه

با ۸۹ درصد اجماع نهایی با استانداردهای تشکیل‌دهنده آن‌ها مورد شناسایی قرار گرفت که الگوهای مهمی برای شناسایی تاب‌آوری پهنه‌ای این زیرساخت در کلانشهر مشهد بود. در این فرایند بعد از شناسایی پیشران‌ها، اولویت‌سنجی آنها نشان داد که الگوی طراحی شبکه دارای اولویت اصلی در شناسایی پهنه‌های ناتاب‌آور در کلانشهر مشهد می‌باشد. این مقوله نشان می‌دهد که تا چه اندازه طراحی دفاع‌پذیر و مانایی شبکه زیرساختی برق در تاب‌آوری آن مهم می‌باشد. دوم، نتایج پژوهش نشان داد بخش‌های شمالی و بخش‌های شرقی شهر مشهد در این زمینه ناتاب‌آور می‌باشند. از سوی دیگر قرارگیری در بافت شبکه با شناسایی پهنه‌های فرسوده از پهنه‌های نوساز در شناسایی قدمت شبکه و آسیب‌پذیری و متعاقباً تاب‌آوری ضعیف آن بسیار مهم هست که در این فرایند پهنه‌های ناتاب‌آور شهری مورد شناسایی قرار گرفت. تراکم مصرف شبکه نیز نشان داد که هر چه میزان تراکم مصرف جمعیت بالاتر باشد تاب‌آوری زیرساخت برق کاهش می‌یابد که در این مورد بخش‌های جنوبی و شمالی شهر دارای وضعیت ناتاب‌آوری در بودند. به هر حال این نتایج نشان می‌دهد که در کلانشهر مشهد برای تاب‌آوری زیرساخت شریانی برق سه مؤلفه؛ قرارگیری در بافت شبکه، الگوی طراحی شبکه و تراکم مصرف شبکه می‌تواند بسیار حائز اهمیت بوده و کلیدی باشد. این فرایند می‌تواند به برنامه‌ریزی صحیح در راستای افزایش مانایی و تحمل‌پذیری شبکه برق رسانی کلانشهر مشهد در برابر تهدیدات و شوک‌های وارد شده بر آن باشد.

۴. روش های خودکفایی و یا کاهش وابستگی به شبکه ی برق شهر در زیرساخت های اصلی(مراکز ثقل)
۵. تدوین برنامه ی عملکرد حوزه ی برق (پرسنل- تجهیزات) در مواقع بروز بحران
۶. بررسی نقش سرمایه گذاری در بخش انرژی های نو و تجدید پذیر در کاهش آسیب پذیری های ناشی از وابستگی به شبکه ی تامین برق موجود و روش های توسعه ی آن

۵- راهکارها

۱. تدوین طرح ایجاد منابع پایدار تامین برق در شهر با توجه به وسعت عرصه ی موجود
۲. ارزیابی ایمن سازی و پایداری پست ها و خطوط انتقال برق
۳. برنامه ریزی جهت بکارگیری و تقویت فن آوری روز در جهت پایش، کنترل و حفاظت فیزیکی تأسیسات نیروگاهی و مرکز دیسپاچینگ (کنترل و توزیع)

۶- منابع

۱. امیری، محمدجواد؛ سپهرزاد، بهناز؛ معرب، یاسر و اسماعیل صالحی؛ (۱۳۹۶). ارزیابی تاب‌آوری ساختاری- طبیعی کاربری اراضی شهرها (نمونه موردی: منطقه ۱ تهران)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره ۱، صص ۱۳۷-۱۴۸.
۲. پرتوی، پروین؛ بهزادفر، مصطفی و زهرا شیرانی؛ (۱۳۹۵). طراحی شهری و تاب‌آوری اجتماعی (بررسی موردی: محله جلفا اصفهان)، نشریه نامه معماری و شهرسازی، شماره ۱۷، صص ۹۹-۱۱۶.
۳. پریور، پرستو؛ فریادی، شهرزاد؛ یآوری، احمدرضا؛ صالحی، اسماعیل؛ هراتی، پگاه؛ (۱۳۹۲). بسط راهبردهای پایداری اکولوژیک برای افزایش تاب‌آوری محیط زیست شهری (نمونه موردی: مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران)، فصلنامه محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۶۵، صص ۱۳۲-۱۲۳.
۴. حاتمی‌نژاد، حسین؛ فرهادی‌خواه، حسین؛ آروین، محمود و نگار رحیم‌پور؛ (۱۳۹۶). بررسی ابعاد موثر بر تاب‌آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری تفسیری (نمونه موردی: شهر اهواز)، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، سال هفتم، شماره ۱، ص ۲.
۵. داداش‌پور، هاشم و مرضیه عادل؛ (۱۳۹۴). سنجش ظرفیت‌های تاب‌آوری در مجموعه‌ی شهری قزوین، دوفصلنامه علمی- پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۸، صص: ۸۴-۷۳.
۶. رضایی، محمد رضا؛ رفیعیان، مجتبی؛ حسینی، سیدمصطفی؛ (۱۳۹۶). ارزیابی طیف تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی (نمونه موردی شهر ایلام)، فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، دوره ۴، پیاپی ۵، صص ۹-۲۰.
۷. رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی و حسینی، سید مصطفی؛ (۱۳۹۳). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله های شهر تهران)، پژوهش های جغرافیای انسانی، شماره ۴، صص ۶۰۳-۶۰۳.
۸. صالحی، اسماعیل؛ اقبابایی، محمد تقی؛ سرمدی، هاجر؛ فرزاد بهتاش، محمد رضا؛ (۱۳۹۰). بررسی میزان تاب‌آوری محیطی با استفاده از مدل شبکه‌علیت، فصلنامه محیط‌شناسی، شماره ۵۹، صص ۹۹-۱۱۲.
۹. ضرغامی سعید و دیگران؛ (۱۳۹۵). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری محله‌های شهری در برابر زلزله، مطالعه موردی بخش مرکزی شهر زنجان، فصلنامه جغرافیای اجتماعی شهر، شماره ۲۱، صص ۳۰-۱۷.
۱۰. فردوسی، سجاد و شکری فیروزجاه، پری؛ (۱۳۹۳). بررسی میزان تاب‌آوری شبکه معابر شهری، مطالعه موردی شهر دامغان، فصلنامه پدافند غیر عامل، شماره ۳، صص ۵۱-۶۲.
۱۱. فرزاد بهتاش، محمد رضا؛ کی‌نژاد، محمد علی؛ پیربایبی، محمد تقی و اصغری، علی؛ (۱۳۹۲). ارزیابی و تحلیل مؤلفه‌های تاب‌آوری کلان‌شهر تبریز، نشریه هنرهای زیبا، دوره ۱۸، شماره ۳، صص ۳۳-۴۲.
۱۲. عباسی‌گوجانی، داود؛ (۱۳۹۸). ارائه مدل تاب‌آوری زیرساخت‌های شریانی از منظر پدافند غیر عامل در کلان‌شهر مشهد، رساله مقطع دکتری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد اصفهان.

13. Ajibade, I., (2017). **Can a future city enhance urban resilience and sustainability? A political ecology analysis of Eko Atlantic city, Nigeria.** *International Journal of Disaster Risk Reduction.* Vol, 26, pp:85-92.
14. Berke, Ph., and Campanella, T., (2006). **Planning for Postdisaster Resiliency.** *The annal of the American Academy of Political and Social Science.* vol,604, pp: 192-207.
15. Callaghan, G & Colton, J., (2008). **Building sustainable & resilient communities: a balancing of community capital.** *Environment, Development and Sustainability.* Vol, 10, pp: 931–942.
16. Chaffin B. C, and Scown M., (2018). **Social-ecological resilience and geomorphic systems.** *Geomorphology,* Volume 305, pp: 221-230.
17. Dhar, T., & Khirfan, L., (2017). **A multi-scale and multi-dimensional framework for enhancing the resilience of urban form to climate change.** *Urban Climate.* Vol, 19, pp: 72-91.
18. Francis, M., & Whitworth, R., (2016). **Lifeline infrastructure and the UN disaster resilience scorecard.** *Lowland Technology International,* Vol.18, pp: 165-172.
19. Gonzales, P., and Ajami, N., (2017). **An Integrative Regional Resilience Framework for the Changing Urban Water Paradigm.** *Sustainable Cities and Society,* Vol. 30, pp: 128-138.
20. Greeshma P., and Kumar, K., (2016). **Disaster Resilience in Vulnerable cities through Neighborhood Development: A case of Chennai.** *Procedia Technology,* Vol, 24, pp: 1827 – 1834.
21. Gunderson, L. H., (2003). **Adaptive Dancing.** *In Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change,* Cambridge: Cambridge University Press.
22. Meerow, S., Newell, J., and Stults, M., (2016). **Defining urban resilience: A review.** *Landscape and Urban Planning.* Vol, 147,pp: 38-49.
23. Oliva,S, and Lazzeretti, L., (2018).**Measuring the economic resilience of natural disasters: An analysis of major earthquakes in Japan.** *City, Culture and Society.* Volume 15, pp: 53-59.
24. Patel, R. and Gleason, K., (2017). **The association between social cohesion and community resilience in two urban slums of Port au Prince, Haiti.** *International Journal of Disaster Risk Reduction.* Vol,27,pp: 161-167.
25. Schlör, H., Venghaus, S., and Hake, F., (2017). **The FEW-Nexus city index – Measuring urban resilience.** *Applied Energy.* Vol. 210, pp: 382-392.
26. Spaans, M., & Waterhout, B., (2017). **Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme.** *Cities.* Vol,61, pp:109-116.
27. Zhang, X., and Li, H., (2018) **Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know?** *Cities,* Volume 72, pp: 141-148.