

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه ی
علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ۹۰
تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۶۲-۱۴۱

مهدی طالب علم^۱
سید مسلم سیدالحسینی^{۲*}
عمیدالاسلام ثقه الاسلامی^۳
مریم دانشور^۴

الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" با بکارگیری معادلات ساختاری

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

چکیده

با گسترش شهرنشینی و افزایش تعداد شهرهای بزرگ به ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، تمرکز جمعیت و افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی منجر به پذیرش نقش‌ها و عملکردهای متنوعی برای شهرها شده است. تهدید زلزله به‌عنوان یکی از مشکلات اصلی شهرهای این کشورها، به‌ویژه در مناطق شهری، با روندی رو به افزایش مواجه است. در سال‌های اخیر، رویکرد تاب‌آوری به‌جای آسیب‌پذیری اهمیت بیشتری یافته است. هدف از تاب‌آوری، کاهش آسیب‌پذیری جوامع و تقویت توانایی‌های آن‌ها در مقابله با خطرات ناشی از سوانح طبیعی است. تحلیل رابطه بین تاب‌آوری و کاهش اثرات زلزله اهمیت بالایی دارد و تأکید اصلی آن بر تقویت تاب‌آوری است. این پژوهش با هدف تحلیل عوامل مؤثر بر تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیررسمی در برابر مخاطرات طبیعی مانند زلزله در محله شهید معقول، بر کاهش خطرپذیری بلندمدت و ارتباط آن با توسعه تمرکز دارد. ابعاد زیرساختی و کالبدی تاب‌آوری در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهایی برای دستیابی به اهداف آن ارائه می‌شود. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Smart_PLS جهت ارزیابی و

^۱ دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران

^۲ گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران

^۳ گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران

^۴ گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران

مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد با کاهش توانایی نهادی، شاخص‌های تاب‌آوری کالبدی به‌طور قابل‌توجهی تغییر می‌کنند.

کلمات کلیدی: سکونتگاه غیررسمی، تاب‌آوری کالبدی، آسیب‌پذیری، شهرنشینی

مقدمه

گسترش فیزیکی نابسامان و بی‌رویه‌ی شهرها یکی از مشکلات شهر و شهرنشینی جهان سوم در دوران معاصر می‌باشد؛ به طوری که طی فرآیندی مداوم محدوده‌های فیزیکی و فضاهای کالبدی شهر در جهات عمودی و افقی به لحاظ کمی و کیفی رشد می‌یابد و اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد به ترکیبی نامتناسب از فضاهای شهری مشکل‌زا خواهد انجامید (Charlton and Klug, 2017). لذا یکی از علل شکل‌گیری این روند و همچنین یکی از مهمترین پیامدهای آن حاشیه‌نشینی شهری است که سکونتگاه‌های غیررسمی یا محلات فرو دست شهری، یکی از چالش‌های اساسی در نظام مدیریت و برنامه‌ریزی شهری ایران محسوب می‌شود که خاستگاه و علل گسترش آن را می‌توان در مولفه‌های مختلفی از سطوح کلان، میانه و خرد در رابطه با شرایط اقتصادی، سیاسی، مدیریتی، قانون‌گذاری، جمعیتی، تبیین و تحلیل کرد که در چارچوب نظریات مختلفی مورد بحث و بررسی و کالبد شکافی علمی قرار گرفته است (Jones, 2017). در طی سال‌های گذشته جهان شاهد برخی از مخاطرات پیش‌بینی نشده بوده است اگرچه برخی از ابزارهای پیش‌بینی‌کننده به کار گرفته شده‌اند اما واقعیت این است که مخاطرات آتی را نمی‌توان بر اساس شواهد پیش‌بینی نمود و همچنین نمی‌توان به راحتی حالت اندازه و مکان این مخاطرات را از پیش بیان کرد (Georgiadu and Loggia, 2017). وقوع بلایای طبیعی به ویژه زلزله در محیط‌های شهری اثرات مخربی دارد و انسان نیز به طور فزاینده‌ای از اثرات زیان‌بار این بلایا رنج می‌برد. بنابراین شناخت و برنامه‌ریزی صحیح قبل از وقوع حادثه می‌تواند اثرات مخرب این حوادث را کاهش دهد. زلزله عواقبی دارد که در اغلب موارد از تاثیر آنی و فوری آن فراتر رفته و فرآیند توسعه اقتصادی را سال‌ها به تاخیر می‌اندازد؛ بنابراین یکی از جنبه‌های مهم و قابل توجه در برنامه‌ریزی توسعه، تاکید و توجه به آسیب‌پذیری کشور و مهم‌تر از همه آسیب‌پذیری شهرها در مقابل مخاطرات طبیعی بالاحص زلزله است. ساخت طبیعی کشور ما، زلزله را به عنوان یک از مخرب‌ترین و تهدیدکننده‌ترین عوامل انهدام حیات انسان بدیل نموده است و بررسی‌های تاریخ‌نشان می‌دهد که هر از چند گاه نقاط یا مناطق وسیع از کشورمان توسط این بلای طبیعی منهدم شده و آسیب‌های جانی و مالی بسیار برجای مانده است. از سوی دیگر عدم بکارگیری صحیح تکنیک‌های مقابله با زلزله در شهرها و روستاها، کشور را در خطر آسیب‌پذیری شدید قرار داده است. بر اساس آمارهای تهیه شده پتانسیل زلزله‌خیزی شهرهای ایران با توجه به فاصله آنها از گسل‌ها به شرح زیر است: حدود ۱۶/۶ درصد از شهرهای ایران بر روی خط گسل و یا در امتداد آن واقع شده و به جز یک یا دو مورد اکثر آنها زلزله‌های بیش از ۶ ریشتر را تجربه کرده‌اند. تقریباً ۶۸ درصد از شهرهای کشور در حریم یک تا ۳۰ کیلومتری گسل‌ها قرار داشته و این به آن معنا است که این گروه از شهرها به علاوه گروه قبلی از نظر پهنه‌بندی خطر نسبی در پهنه با شتاب‌های بالا واقع‌اند (Zareh and Mohammadi, 2023) در این میان شهرها به عنوان متمرکزترین سکونتگاه‌های انسانی اهمیت ویژه‌ای می‌یابند چراکه به علت دارا بودن حجم بالای سرمایه‌گذاری و مکان‌گزینی بسیاری از تاسیسات و لوازم اقتصادی و

اجتماعی جامعه، خسارات بیشتری را در مواجهه با زلزله متحمل می‌شوند. امروزه آسیب پذیری شهرها در همه جا، از زیرساخت‌ها و ساختمان‌ها تا تأسیسات و خدمات شهری در زندگی انسان محسوس است؛ بنابراین به دنبال رشد مداوم جمعیت شهرنشین و همچنین افزایش مخاطرات طبیعی، تقویت تاب آوری شهرها امری ضروری بوده و می‌بایست به منظور کاهش آسیب پذیری به عنوان بخشی مهم در طرح‌های توسعه شهری لحاظ گردد؛ یکی از راه‌های کاهش ریسک و آسیب پذیری در سکونتگاه‌های انسانی توجه به رویکرد تاب آوری می‌باشد. تاب آوری شهری به عنوان مهارت یک جامعه برای پیشگیری و پرداختن به هرگونه مسئله اجتماعی و زیست محیطی عمده از مخاطرات طبیعی و تأثیرات تغییر اقلیم گرفته تا فقر تعریف می‌شود. یک شهر زمانی به عنوان یک شهر تاب آور توصیف می‌شود که با ساخت پاسخ‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی جدید قادر به ایستادگی طولانی مدت در برابر تنش‌های محیط زیست و گذشت زمان باشد، لذا تاب آوری شهری بنا بر ماهیت اصلی خود؛ یعنی جذب اختلال و هضم آن قبل از تخریب عمده، می‌تواند در برنامه ریزی شهری هم به شکل یک هدف دیده شود و هم یک ابزار برای رسیدن به شهری مقاوم تر، مطلوب تر و با کیفیت زندگی بیشتر. نکته مهمی که باید مدنظر قرار گیرد این است که تاب آوری کالبدی بسیار پیچیده تر از صرفاً بازسازی است. هنگامی که تاب آوری مدنظر ماست می‌دانیم شهرهای تاب آور چیزی بیش از مجموع ساختمان‌های تاب آور هستند. بزرگراه‌های شکسته قابل اصلاح هستند، ساختمان‌ها ترمیم شده و بلندتر از گذشته بازسازی می‌شوند، سیستم‌های ارتباطی به هم وصل میشوند اما تاب آوری کالبدی به صورت شبکه‌های به هم پیوسته عناصر کالبدی یک شهر معنا می‌یابد. این امر ضرورت توجه به مفهوم تاب آوری در شهرها را به روشنی بیان می‌کند. یکی از این سکونتگاه‌های حاشیه نشین، شهید معقول در منطقه شش شهر مشهد می‌باشد. این مجموعه با مساحت ۶۴.۲ هکتار به دلیل استقرار تعداد زیادی از شهروندان درون خود و به دلیل عدم برخورداری مناسب از خدمات شهری، وضعیت نامطلوب و کیفیت پایین زندگی، یکی از چالش‌انگیزترین محلات به لحاظ تاب آوری شهری می‌باشد. از این رو ضرورت و اهمیت موضوع تاب آوری سکونتگاه غیررسمی در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) بیشتر از پیش خود را نمایان می‌کند. برای بررسی تاب آوری سکونت گاههای غیر رسمی سه سناریو مطرح گردیدیه و جهت بررسی سناریو ها از تکنیک FCM استفاده شده است.

پیشینه پژوهش

در مورد تاب آوری سکونت گاه های غیر رسمی در برابر زلزله مطالعات زیادی صورت گرفته است که در زیر تعدادی از آنها مورد بررسی قرار گرفته اند.

(Hernandez and Martin(2022)، در مقاله ای به بررسی تاب آوری شهری در زمینه سکونتگاه‌های غیررسمی و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر زلزله پرداخته اند. نویسندگان بر اهمیت تاب آوری شهری تمرکز دارند و تحلیل می‌کنند که چگونه سکونتگاه‌های غیررسمی می‌توانند بهبود یابند تا در برابر زلزله‌ها مقاوم‌تر شوند. همچنین نویسندگان به ارزیابی چالش‌های خاصی که سکونتگاه‌های غیررسمی در مواجهه با زلزله‌ها با آن‌ها روبرو هستند، ارزیابی نموده و به بررسی روش‌های بهبود تاب آوری در این زمینه پرداخته اند.

Khan and Ahmad(2020)، در پژوهشی به مرور ابزارهای ارزیابی تاب‌آوری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی پرداخته اند و ابزارهای مختلفی که برای ارزیابی تاب‌آوری زلزله استفاده می‌شوند، تحلیل و مقایسه نموده اند تا مزایا و محدودیت‌های هر یک را مشخص کنند. در کل هدف این تحقیق ارائه یک نمای کلی از ابزارهای موجود و پیشنهادات برای بهبود دقت و قابلیت‌های این ابزارها در ارزیابی تاب‌آوری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی است. Miller and Morphy(2022)، استراتژی‌های مختلف برای بهبود تاب‌آوری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی بررسی کرده اند. نویسندگان به تحلیل انواع استراتژی‌های مدیریتی، طراحی، و برنامه‌ریزی که می‌توانند تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیررسمی را در برابر زلزله‌ها افزایش دهند، پرداخته و مطالعات موردی از مناطق مختلف را بررسی نموده اند.

Nakamura and Shimizu (2023)، رویکردهای مختلف کاهش ریسک زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی را بررسی و مقایسه نموده، و از یک رویکرد مقایسه‌ای برای تحلیل روش‌های مختلف کاهش ریسک زلزله استفاده کرده اند. همچنین اثربخشی این روش‌ها در زمینه‌های مختلف را بررسی کردند.

O'Conner and Collins(2020)، در مقاله ای به نوآوری‌های طراحی و سیاست‌گذاری برای بهبود تاب‌آوری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی پرداخته اند و ایده‌های نوآورانه در زمینه طراحی شهری و زیرساخت‌ها، و همچنین سیاست‌های جدید که می‌توانند به تقویت تاب‌آوری در سکونتگاه‌های غیررسمی کمک کنند، بررسی نموده اند.

Park and Kim(2021)، آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیررسمی در زمینه زلزله‌ها را بررسی نموده و تأثیرات زلزله‌های اخیر بر سکونتگاه‌های غیررسمی و نقاط قوت و ضعف این سکونتگاه‌ها را مشخص کرده اند و در آخر در مورد بهبود تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری در سکونتگاه‌های غیررسمی بینش‌هایی را ارائه نموده اند. Qiao and Li(2022)، رویکردهای مبتنی بر جامعه برای افزایش تاب‌آوری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی را بررسی کرده اند و روش‌های مختلفی که شامل مشارکت جامعه محلی در برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات کاهش ریسک است، تحلیل نموده اند.

Berhanu et al(2022) هفت اصل اساسی سیستم تاب‌آوری را پیشنهاد کرده اند که عبارتند از: نیرومند، افزونه، مدبر، منعطف، انعکاس دهنده، ترکیب شده و مشمول. تحت حوزه‌ی تشابهات و رویکردهای غالباً ناشناخته‌ی اصول تاب‌آوری، بر چهار اصل اساسی متمرکز می‌باشد که عبارتند از: (۱) مقاومت، (۲) قابل اطمینان بودن، (۳) افزونگی و (۴) پاسخ یا ترمیم.

Smith et al(2020)، بر اساس یک بررسی بیان نموده اند که در یک تراز، تاب‌آوری شهری (بومی) به توانایی فیزیکی برای به عقب جهیدن از موانع خاص اشاره دارد. Sargolzaee and Hadiyani(2017)، به این اشاره کرده اند که به منظور تاب‌آور شدن شهرها، جاده‌ها و سایر سیستم‌های زیرساختی آن‌ها باید طوری طراحی شده باشند تا تحت شرایط مخاطره‌آمیز شدید به عملکرد خود ادامه دهند.

Li and Zhang (2021)، در مقاله ای به تحلیل فضایی آسیب‌پذیری زلزله در مناطق شهری غیررسمی پرداخته اند و از تکنیک‌های تحلیل فضایی و داده‌های جغرافیایی برای بررسی نحوه توزیع آسیب‌پذیری زلزله در سکونتگاه‌های غیررسمی استفاده کرده و الگوهای جغرافیایی آسیب‌پذیری را شناسایی نموده اند.

(Asghari Zamani and Zadvali Khajeh, 2022) تاب‌آوری بومی را به عنوان چارچوبی تفسیری که توسط رهبران محلی و ملی پیشنهاد شده و شکل گرفته و توسط شهروندان در رخداد فاجعه پذیرفته شده است، تعریف نموده اند. با توجه به مطالب بالا سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر زلزله در زمینه های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته اند اما الگوی تاب‌آوری را ارائه نکرده اند، لذا در تحقیق حاضر به بررسی الگوهای مختلف پرداخته می شود.

روش پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و با رویکرد توصیفی-تحلیلی و با استفاده از روش مدلسازی معادلات ساختاری (SEM) انجام شده است. جامعه آماری تحقیق، ساکنان و متخصصان مرتبط با محله شهید معقول مشهد می‌باشد. داده‌های مورد نیاز از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی (پرسشنامه) گردآوری شده‌اند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌های پژوهش از نرم‌افزار Smart-PLS استفاده شده است. این نرم‌افزار به دلیل توانایی در مدل‌سازی روابط پیچیده بین متغیرهای مکنون و مشاهده شده، انتخاب گردید. مراحل تحلیل شامل ارزیابی مدل اندازه‌گیری (بررسی پایایی و روایی) و ارزیابی مدل ساختاری (آزمون سناریو ها) بوده است.

در این پژوهش از مدلسازی معادلات ساختاری (SEM) و به کمک نرم‌افزار Smart-PLS استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از الگوریتم بوت‌استرپ جهت بررسی معناداری ضرایب مسیر) مقدار (t-value و برازش مدل استفاده گردیده است. معیارهای ارزیابی شامل بارهای بیرونی (outer loadings) برای سنجش کیفیت شاخص‌ها، وزن‌های بیرونی (outer weights) برای تعیین سهم هر متغیر، و شاخص CV-Red برای سنجش کیفیت کلی مدل می‌باشد (Arefi, 2018). داده‌ها همچنین با نرم‌افزارهای SPSS و Microsoft Office مدیریت و تحلیل شده‌اند. پس از مشخص شدن کمیت الگوی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله، براساس نوع وماهیت داده‌ها آزمون مناسب آماری استفاده شده است. و بر این اساس، اقدامات مدیریتی انجام شده در طی این سالها می‌تواند بطور موثری مورد مقایسه قرار گیرد.

بحث

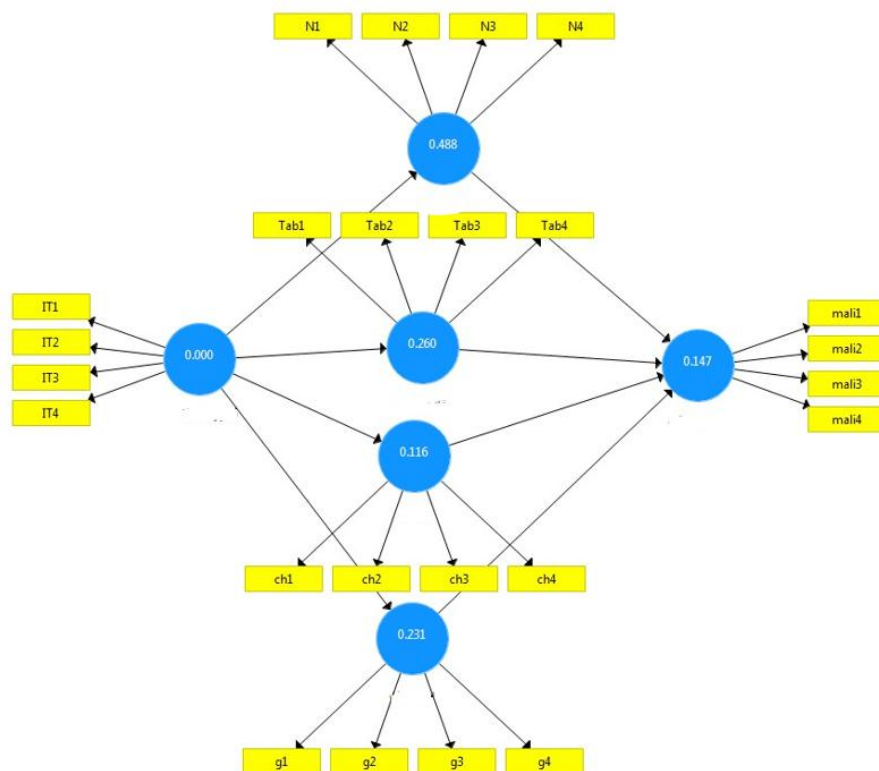
در این بخش با استفاده از الگوریتم بوت‌استرپ به محاسبه آماره T پرداخته شد. در صورتی که مقدار آماره T از ۱/۹۶ بیشتر شود، نشان از صحت رابطه‌ی بین سازه‌ها و در نتیجه تایید سناریو های پژوهش در سطح اطمینان ۹۵٪ است (اعداد معناداری در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۹/۹٪ به ترتیب ۲/۵۸ و ۳/۲۷ می‌باشد).

ضرایب مسیر

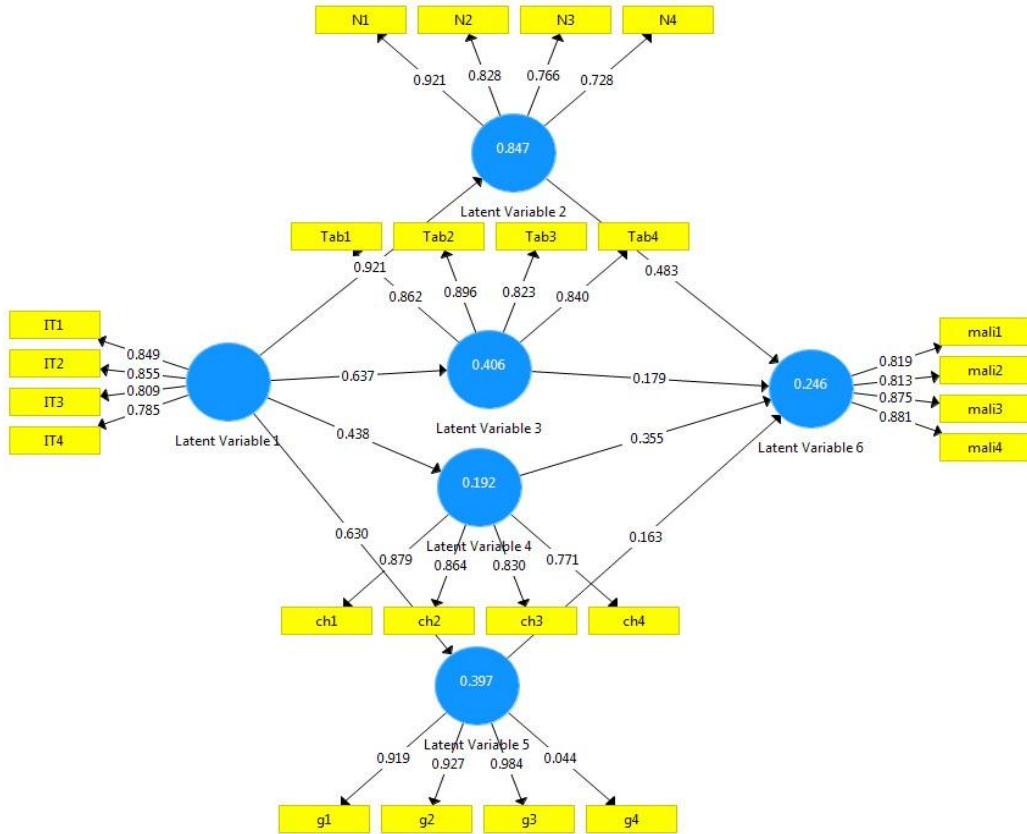
برای محاسبه ضرایب مسیر بین سازه‌ها باید از الگوریتم PLS استفاده نمود. ضرایب استاندارد شده بین متغیر مستقل و وابسته نشان می‌دهد که متغیر مستقل این میزان درصد از تغییرات متغیر وابسته را تبیین می‌کند. ضرایب مسیر اگر بالای ۰/۶ باشد بدین معناست که ارتباطی قوی میان دو متغیر وجود دارد؛ اگر بین ۰/۳ تا ۰/۶ باشد، ارتباط متوسط و اگر زیر ۰/۳ باشد، ارتباط ضعیفی وجود دارد. برای تحلیل عوامل موثر بر تاب‌آوری سکونتگاه

های غیر رسمی در بابر مخاطرات ناشی از زلزله سه سناریو مطرح شده است که در زیر به ترتیب مورد بررسی قرار گرفته اند.

آزمون سناریوی اول: تأثیر مؤلفه ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه‌های غیررسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله معنادار است.

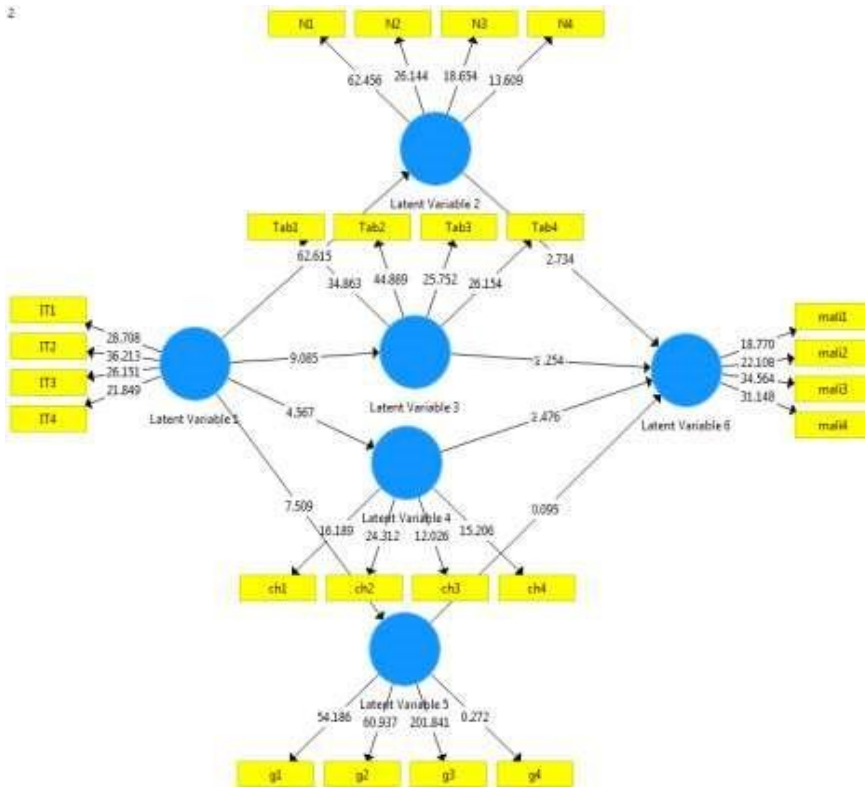


شکل ۱: ارزیابی اعتبار مدل تأثیر ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه‌های غیر رسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۲: ضرائب مسیر تاثیر ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی

سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۳: آماره t-value تاثیر ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی

سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

جدول ۱- ضریب مسیر و آماره t تاثیر ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی روی چهار رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

نتیجه آزمون	آماره T	ضریب مسیر	به	از
تایید	۶۸/۲۰۹	۰/۹۱۹	سرمایه اجتماعی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی
تایید	۹/۸۵۹	۰/۶۴۰	مولفه های توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی
تایید	۴/۸۱۲	۰/۴۳۸	مولفه های بستر قانونی لازم	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی

مقدار ضریب مسیر در اثر غیر مستقیم از ضرب دو اثر مستقیم تشکیل دهنده آن حاصل می شود. جدول (۲) ضرب ضریب مسیر دو مسیر تاثیر ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی روی سه رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله را نشان می دهد.

جدول ۲- نتایج سناریوی اول

نتیجه آزمون	ضریب مسیر	وابسته	مستقل
تایید	۰/۴۴۳	سرمایه اجتماعی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی
تایید	۰/۱۱۴	توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی
تایید	۰/۱۵۵	مولفه های بستر قانونی لازم	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی

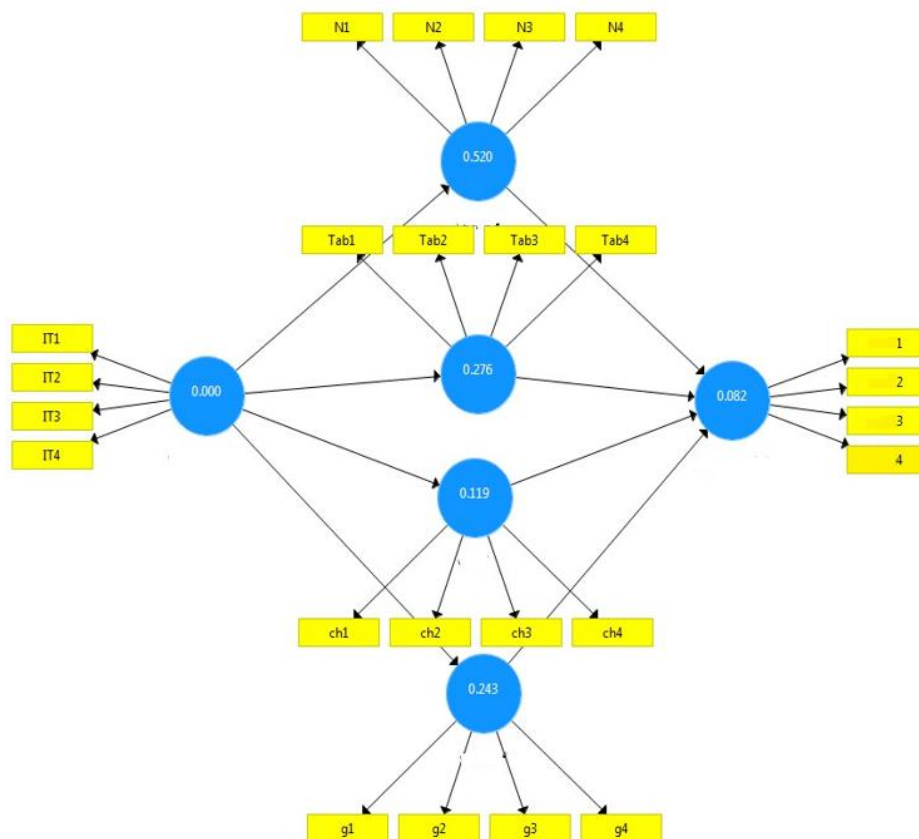
نتایج آزمون سناریوی اول

با توجه به جدول (۱) به این نتیجه می رسیم که ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی بر رویکرد های چهارگانه عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله با اطمینان ۹۵٪ تاثیر مستقیم و معنی داری دارد، زیرا عدد آماره t متغیرها بیشتر از ۱/۹۶ است.

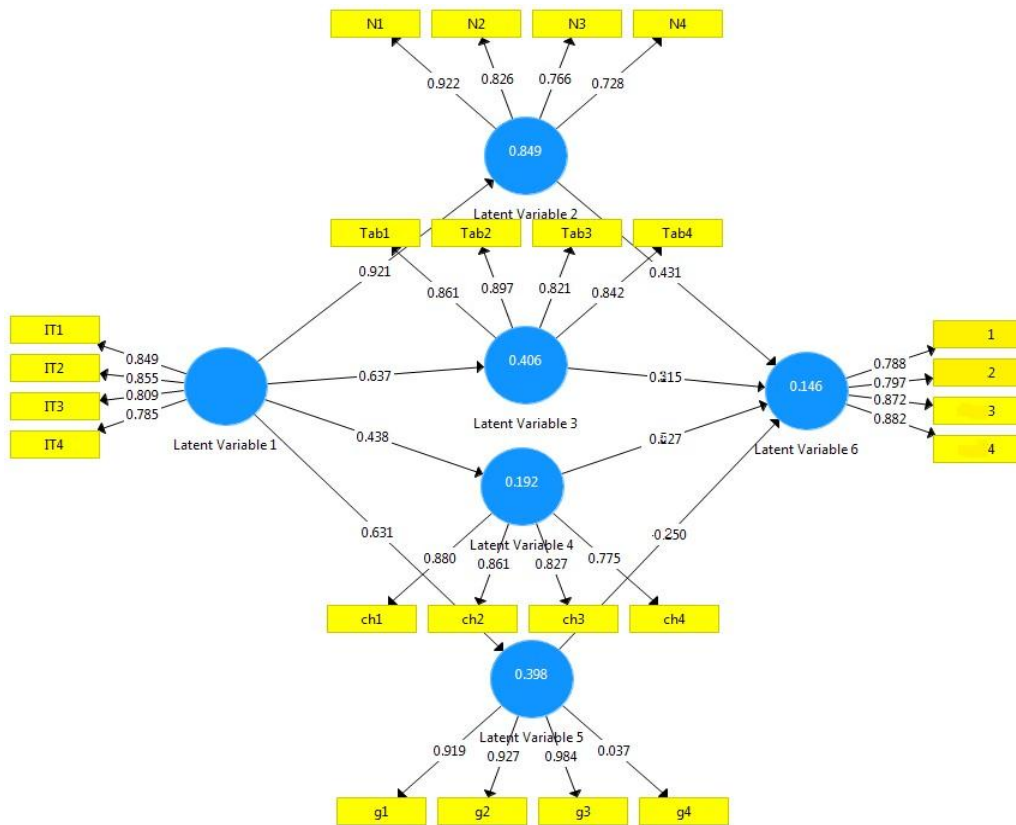
همچنین با توجه به شکل (۲) مربوط به ارزیابی اعتبار، اعداد مربوط به متغیرهای نامشهود شاخص CV-Red هستند که باید بزرگتر از صفر باشند. اعداد مثبت نشانگر کیفیت مناسب مدل هستند. همانطور که در این نمودار مشاهده شده است همه اعداد مثبت هستند، بنابراین مدل از کیفیت مناسب برخوردار است.

سناریوی دوم

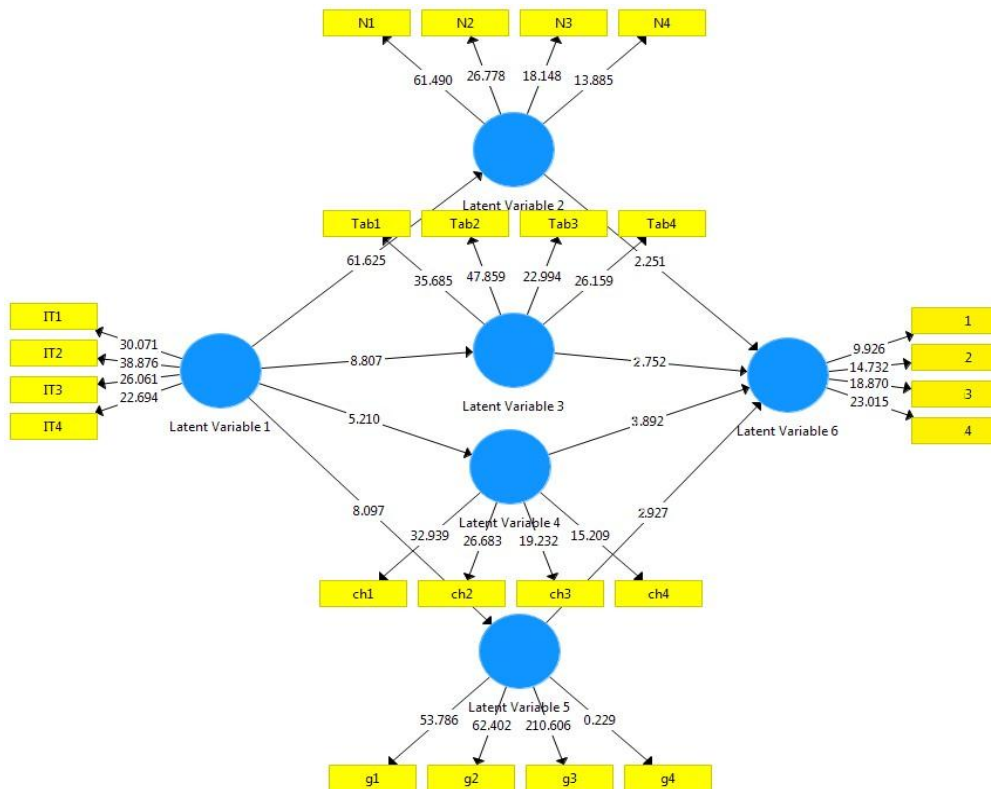
تأثیر مؤلفه سرمایه اجتماعی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله معنادار است.



شکل ۴: ارزیابی اعتبار مدل تأثیر سرمایه اجتماعی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب‌آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۵: ضرائب مسیر تاثیر سرمایه اجتماعی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۶: آماره t-value تاثیر سرمایه اجتماعی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

جدول ۳- ضریب مسیر و آماره t تاثیر سرمایه اجتماعی روی چهار رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

از	به	ضریب مسیر	آماره T	نتیجه آزمون
سرمایه اجتماعی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی	۰/۹۱۹	۶۸/۲۰۹	تایید
سرمایه اجتماعی	مؤلفه های توانایی نهادی (دولتی- عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	۰/۶۴۰	۹/۸۵۹	تایید
سرمایه اجتماعی	مؤلفه های بستر قانونی لازم	۰/۴۳۸	۴/۸۱۲	تایید

مقدار ضریب مسیر بطور غیر مستقیم از ضرب دو اثر مستقیم تشکیل دهنده آن حاصل می شود. جدول (۴) ضرب ضریب مسیر دو مسیر تاثیر سرمایه اجتماعی روی چهار رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله را نشان می دهد.

جدول ۴- نتایج سناریوی دوم

مستقل	وابسته	ضریب مسیر	نتیجه آزمون
سرمایه اجتماعی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی	۰/۳۹۶	تایید
سرمایه اجتماعی	مؤلفه های توانایی نهادی (دولتی- عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	۰/۲۰۲	تایید
سرمایه اجتماعی	مؤلفه های بستر قانونی لازم	۰/۴	تایید

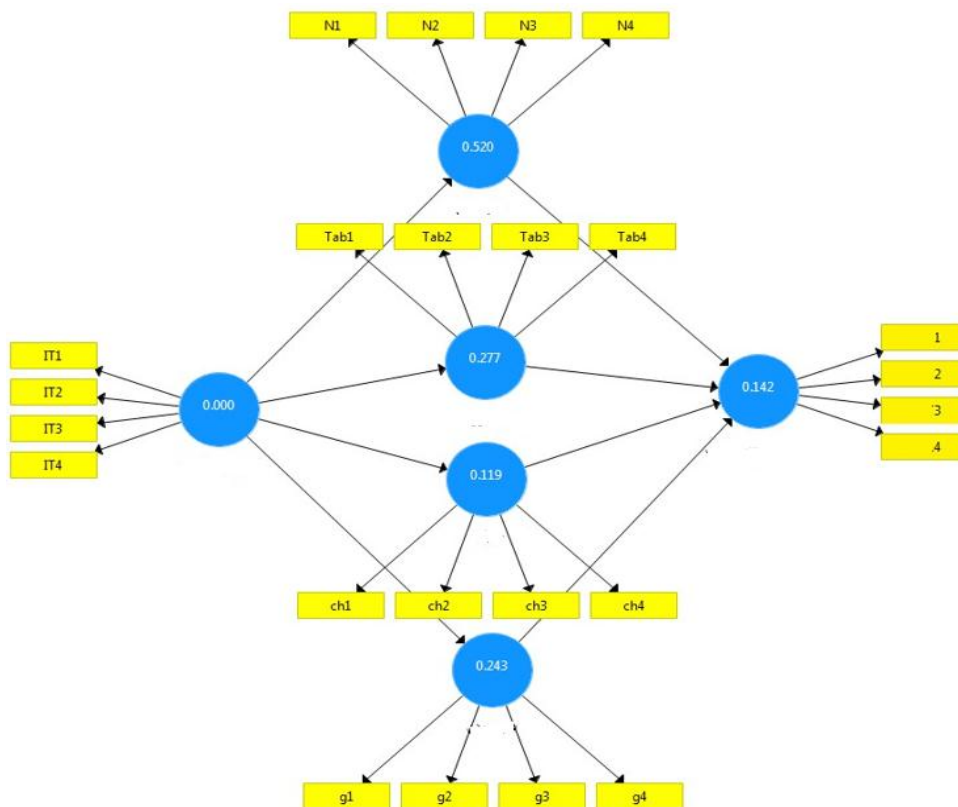
نتایج آزمون سناریو دوم

با توجه به جدول (۳) به این نتیجه می رسیم که سرمایه اجتماعی بر رویکرد های عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله با اطمینان ۹۵٪ تاثیر مستقیم و معنی داری دارد، زیرا عدد آماره t متغیرها بیشتر از ۱/۹۶ است.

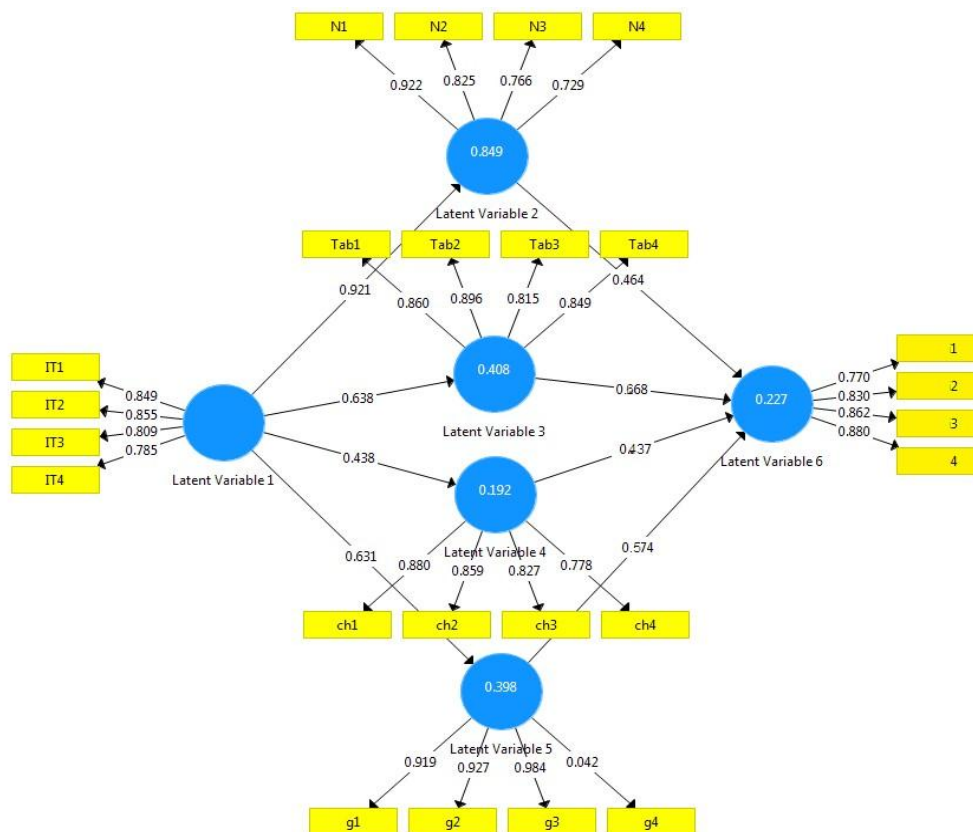
همچنین با توجه به شکل (۵) مربوط به ارزیابی اعتبار مدل، اعداد مربوط به متغیرهای نامشهود شاخص CV-Red هستند که باید بزرگتر از صفر باشند. اعداد مثبت نشانگر کیفیت مناسب مدل هستند. همانطور که مشاهده شده است همه اعداد مثبت هستند، بنابراین مدل از کیفیت مناسب برخوردار است.

سناریوی سوم

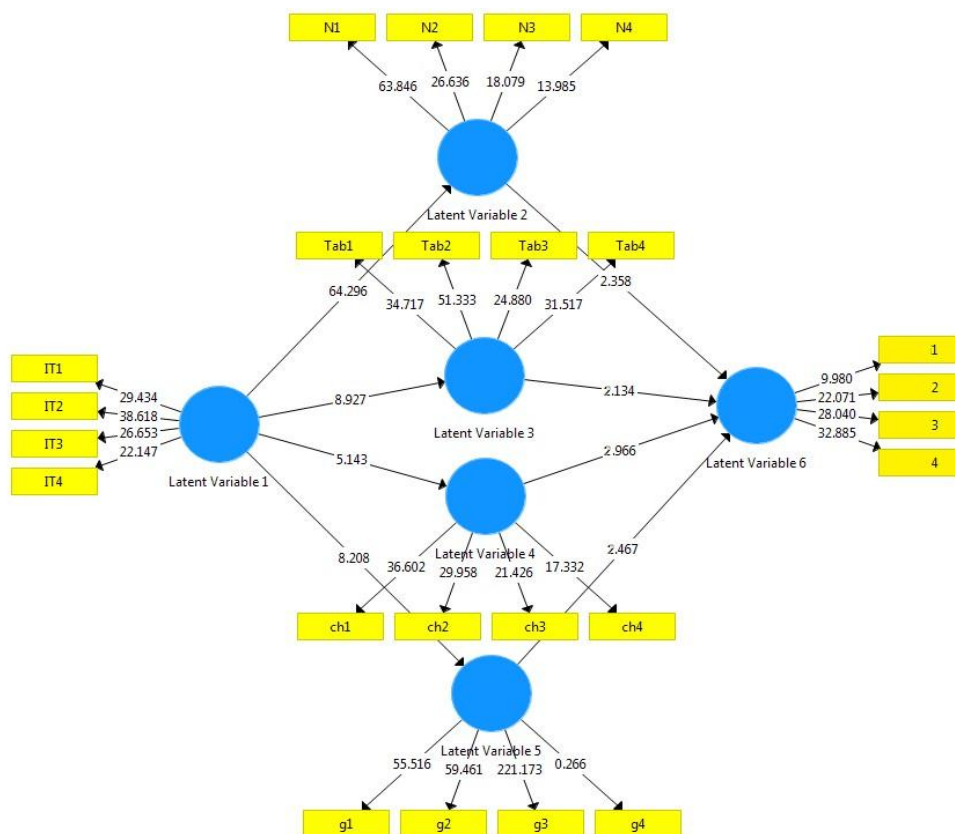
تأثیر مؤلفه عوامل توانایی نهادی (دولتی-عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله معنادار است.



شکل ۷: ارزیابی اعتبار مدل تاثیر عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۸: ضرائب مسیر تاثیر عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله



شکل ۹: آماره t-value تاثیر عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی بر عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

جدول ۵- ضریب مسیر و آماره t تاثیر عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی روی چهار رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله

از	به	ضریب مسیر	آماره T	نتیجه آزمون
عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	عوامل اقتصادی	۰/۹۱۹	۶۸/۲۰۹	تایید
عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی	۰/۶۴۰	۹/۸۵۹	تایید
عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی	مولفه های بستر قانونی لازم	۰/۴۳۸	۴/۸۱۲	تایید

مقدار ضریب مسیر بطور غیر مستقیم از ضرب دو اثر مستقیم تشکیل دهنده آن حاصل می شود. جداول (۴-۵) ضرب ضریب مسیر دو مسیر تاثیر عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی روی چهار رویکرد عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله را نشان می دهد.

جدول ۶- نتایج سناریوی سوم

نتیجه آزمون	ضریب مسیر	وابسته	مستقل
تایید	۰/۴۲۶	سرمایه اجتماعی	عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی
تایید	۰/۴۲۸	ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی	عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی
تایید	۰/۱۹۱	مولفه های بستر قانونی لازم	عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی

نتایج سناریوی سوم

با توجه به جدول (۵) به این نتیجه می رسیم که عوامل توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی بر رویکرد های چهارگانه عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله با اطمینان ۹۵٪ تاثیر مستقیم و معنی داری دارد، زیرا عدد آماره t متغیرها بیشتر از $1/96$ است همچنین با توجه به شکل (۸) مربوط به ارزیابی اعتبار مدل، اعداد، مربوط به متغیرهای نامشهود شاخص CV-Red هستند که باید بزرگتر از صفر باشند. اعداد مثبت نشانگر کیفیت مناسب مدل هستند. همانطور که مشاهده شده است همه اعداد مثبت هستند، بنابراین مدل از کیفیت مناسب برخوردار است.

آزمون تعدیل گری رویکردهای عوامل ایجاد و الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله در اینجا با استفاده از نرم افزار *warp pls* که از خانواده نرم افزارهای *pls* است به بررسی نقش تعدیل گری پرداخته شد. به دلیل آن که روش و نتایج حاصل از نرم افزار *warp pls* در بررسی روایی و پایایی و به طور کلی بررسی برازش مدل با نرم افزار *smart pls* یکی است، لذا تنها به بررسی نقش تعدیل گری پرداخته شده است. در نرم افزار *Warp PLS* بر خلاف *Smart PLS*، برازش مدل را به طور کلی محاسبه کرده که با توجه به خروجی نرم افزار این مقدار برابر است با:

$$(GoF) = 0/498, \text{ small } \geq 0/1, \text{ medium } \geq 0/25, \text{ large } \geq 0/36$$

با توجه به اینکه مقدار این شاخص $0/498$ بدست آمده بنابراین مدل تحقیق حاضر از برازش مناسبی برخوردار است. همچنین جهت سنجش برازش مدل سه شاخص دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت: ضرائب متوسط مسیر (APC)، ضریب تعیین تعدیل شده (ARS) و متوسط عوامل تورم واریانس (AVIF). بر طبق فرضیات تناسب مدل ارائه شده توسط کوک (۲۰۱۹) که در قالب جدول شماره (۱۱) نمایش داده شده است، مدل مفهومی تحقیق حاضر از تناسب خوبی برخوردار است.

جدول ۹- شاخص های برازش مدل تعدیل گری

مقدار بدست آمده	مقدار قابل قبول
APC = 0.149 , P=0.011	Good if $p < 0.05$
ARS = 0.344, P < 0.001	Good if $p < 0.05$
AVIF = 2.291	Good if AVIF < 5 Ideally ≤ 3.3

نتیجه گیری

از نتایج برازندگی مدل و تعیین مولفه های ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی در حالت استاندارد، معنی داری و برآوردی است می توان نتیجه گرفت: مولفه های یکپارچگی، انعطاف پذیری، هم راستایی و مدیریت به خوبی تبیین کننده ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی در مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" می باشند. یافته های این قسمت با نتایج O'Connor & Collins (2020) و Park & Kim (2021) همراستا می باشد.

از نتایج برازندگی مدل و تعیین مولفه های متغیر سرمایه اجتماعی در حالت استاندارد، معنی داری است می توان نتیجه گرفت: مولفه های انعطاف در هزینه، انعطاف در اجرا، قابلیت انطباق و بازگشت (بهبود) تبیین کننده متغیر سرمایه اجتماعی در مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" می باشند. یافته های این قسمت با نتایج Nakamura & Shimizu (2023) و Georgiadou & Loggia (2021) همراستا می باشد.

از نتایج برازندگی مدل و تعیین مولفه های متغیر توانایی نهادی (دولتی-عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" در حالت استاندارد، معنی داری و برآوردی است می توان نتیجه گرفت مولفه های برنامه ریزی، بهبود مستمر، ارتباط متقابل و منابع انسانی به خوبی تبیین کننده متغیر توانایی نهادی (دولتی-عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی در مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" می باشند. یافته های این قسمت با نتایج Berhanu et al (2022) و Membele et al (2022) همراستا می باشد.

از نتایج برازندگی مدل و تعیین مولفه های متغیر مولفه های بستر قانونی لازم در حالت استاندارد، معنی داری و برآوردی است می توان نتیجه گرفت: مولفه های میزان گستردگی، بهبود مستمر، ارتباط متقابل و منابع انسانی تبیین کننده متغیر مولفه های بستر قانونی لازم در مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" می باشند. یافته های این قسمت با نتایج Li & Zhang (2021) و Georgiadou & Loggia (2017) همراستا می باشد.

این پژوهش، طی سه مرحله انجام شد به طوری که در مرحله اول از تکنیک FCM برای به دست آوردن ماتریس نهایی موفقیت استفاده شد و در مرحله دوم ماتریس نهایی موفقیت وارد نرم افزار FCMapper شده و با توجه به نتایج این نرم افزار به بررسی سه سناریو پرداخته شده و در مرحله نهایی با استفاده از نرم افزار متلب نمودار نقشه شناختی فازی رسم شده است.

نتایج حاصل از به کارگیری نرم افزار FCMapper در قسمت بررسی سناریوها نشان می دهد که:

✓ در سناریوی اول اگر شاخص سرمایه اجتماعی صفر شود، شاخص ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی و توانایی نهادی (دولتی-عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی در جهت مثبت و شاخص بستر قانونی لازم و ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی در جهت منفی به طور قابل توجهی تغییر می کنند. در واقع نتایج حاصل از این سناریو نشان می دهد که عدم کنترل پرورش افتخار سازمانی منجر به گزارش بیش از حد مشکلات و مسائل جدید برای انطباق با مشکلات پیچیده و جدید می شود و از طرفی منجر به کاهش بیش از حد شاخص بستر قانونی لازم و در

✓ نهایت باعث کاهش شاخص ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی در مقابل مشکلات منطقه مورد نظر می شود.

✓ در سناریوی دوم وقتی که شاخص توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی صفر می شود، شاخص سرمایه اجتماعی در جهت مثبت و سایر عوامل در جهت منفی به طور قابل توجهی تغییر می کنند. نتایج حاصل از این سناریو نشان می دهد عدم انطباق و شاخص توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی در مقابل مشکلات منطقه منجر به کاهش بیش از حد شاخص ظرفیت پذیرش ساکنان سکونتگاه های غیر رسمی و بستر قانونی لازم در مقابل مخرب های الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" می شود.

✓ در سناریوی سوم شاخص انعطاف پذیری صفر می شود و شاخص سرمایه اجتماعی یک در نظر گرفته می شود. نتایج حاصل از سناریوی سوم نشان می دهد که با صفر شدن شاخص توانایی نهادی (دولتی - عمومی) مداخله در بافت های اسکان غیررسمی و ثابت ماندن شاخص سرمایه اجتماعی، سایر عوامل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" در جهت منفی به مقدار زیادی تغییر می کنند. با توجه به نتایج حاصل از این سه سناریو، میزان با اهمیت بودن عامل اقتصادی و شدت تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این عامل نسبت به سایر عوامل در مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" قابل مشاهده است.

در الگوریتم پیشنهادی می توان از مزایای زیر برای تحقیق نام برد:

این مدل دارای نظام بندی مناسب بوده و دارای مراحل مشخص و تعریف شده و ورودی های معلوم می باشد این مشخصه کارفرما، پیمانکاران و نهادهای زیربنا را از حالت سردرگمی برای اجرای آن خارج کرده و این اطمینان را می دهد که خروجی مناسبی پس از اجرای کار وجود دارد.

مدل پیشنهادی منجر به رتبه بندی معنادار گزینه ها می شود لذا نهادهای زیربنا این فرصت را می یابد تا با توجه به درجه اهمیت و اولویت بندی، گزینه های اولی تر را برای پروژه های اجرایی انتخاب نماید.

به منظور بهبود کاربرد الگوریتم پیشنهادی، رعایت موارد زیر پیشنهاد می شود:

در مرحله تشکیل تیم تصمیم گیرنده باید کلیه افراد کلیدی و آشنا به عوامل اثرگذار بر مدل الگوی تاب آوری کالبدی سکونتگاه غیررسمی در برابر زلزله "مورد پژوهی محله شهید معقول شهر مشهد" شناسایی شده و به عنوان اعضای تیم تعالی (تصمیم گیری) در نظر گرفته شوند. طبیعی است که این افراد باید از قدرت تحلیل قابل قبولی برخوردار باشند. معمولاً مدیران ارشد و روسای بخش ها و سرپرستان کاندیدای اصلی این تیم خواهند بود. انتخاب افراد غیر کلیدی موجب خواهد شد تا این الگوریتم از ابتدا به صورت غلط اجرا گردد.

References

- Arefi, M. (2018). Informal settlements and urban management in Iran. In *Learning from informal settlements in Iran* (pp. 23–37). Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69799-9_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69799-9_2)
- Asghari Zamani, A., & Zadvali Khajeh, S. (2022). Model of empowerment of informal settlements based on the approach of participation and facilitation: Case study, Tabriz metropolis. *Geographical Planning of Space*, 12(1), 135–150. <https://doi.org/10.30488/gps.2020.207771.3133>
- Berhanu, G., Woldemikael, S. M., & Beyene, E. G. (2022). The interrelationships of sustainable livelihood capital assets deprivations and asset-based social policy interventions: The case of Addis Ababa informal settlement areas, Ethiopia. *Research in Globalization*, 4, 100081. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2022.100081>
- Charlton, S., & Klug, N. (2017). Pressures on practice: How ‘RDP housing’ and other factors have shaped informal settlement upgrading in eThekweni municipality. In *Upgrading informal settlements in South Africa: Pursuing a partnership-based approach* (p. 56). UCT Press. ISBN: 9781775820833
- Georgiadou, M. C., & Loggia, C. (2017). Project management and skills enhancement in informal settlements upgrading in Durban, South Africa. *AMPS Proceedings Series*, 10, 596–603. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:73631141>
- Hernandez, J., & Martin, A. (2024). Urban resilience in the context of informal settlements and earthquake vulnerability. *Urban Studies*, 61 (6), 1120–1137. <https://doi.org/10.1177/00420980211000000>
- Jones, P. (2017). Formalizing the informal: Understanding the position of informal settlements and slums in sustainable urbanization policies and strategies in Bandung, Indonesia. *Sustainability*, 9 (8), 1436. <https://doi.org/10.3390/su9081436>
- Khan, N., & Ahmad, S. (2020). Evaluating earthquake resilience in informal settlements: A review of assessment tools. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 49 (10), 1582–1600. <https://doi.org/10.1002/eqe.3282>
- Li, T., & Zhang, Y. (2021). Spatial analysis of earthquake vulnerability in informal urban areas. *Journal of Geographical Systems*, 23 (3), 417–433. <https://doi.org/10.1007/s10109-020-00340-4>
- Miller, L., & Murphy, T. (2022). Strategies for enhancing seismic resilience in informal settlements. *International Journal of Urban and Regional Research*, 46 (2), 271–288. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.13025>
- Membele, G. M., Naidu, M., & Mutanga, O. (2022). Using local and indigenous knowledge in selecting indicators for mapping flood vulnerability in informal settlement contexts. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102836. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102836>
- Nakamura, T., & Shimizu, Y. (2023). Comparative analysis of earthquake risk reduction strategies in informal urban settlements. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 85, 103456. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103456>

- O'Connor, R., & Collins, B. (2020). Design and policy innovations for improving seismic resilience in informal settlements. *Journal of Infrastructure Systems*, 26 (4), 04020043. [https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000564](https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29IS.1943-555X.0000564)
- Park, C., & Kim, S. (2021). Seismic vulnerability and resilience of informal settlements: Insights from recent earthquake events. *Natural Hazards*, 107 (2), 1347–1363. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04611-3
- Qiao, L., & Li, X. (2022). Community-based approaches to enhancing earthquake resilience in informal settlements. *Journal of Environmental Management*, 299, 113446. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113446
- Sargolzaee Javan, T., & Hadyani, Z. (2017). Investigating the feasibility of empowering the informal settlements quarters by increasing the social capital (Case study: Shir-Abad Quarter of Zahedan). *Social Welfare Quarterly*, 16 (63), 185–214.
- Shayan, S., Zare, G., & Haqpanah, Y. (2013). Seismicity of Iran and school resilience. *Journal of Geography Education Development*, 3,* 19–25. https://lib.isfahan.ir/dL/search/default.aspx?Term=29969&Field=0&DTC=113
- Smith, H., Coupé, F., Garcia-Ferrari, S., Rivera, H., & Castro Mera, W. E. (2020). Toward negotiated mitigation of landslide risks in informal settlements: Reflections from a pilot experience in Medellín, Colombia. *Ecology and Society*, 25 (1), 19. https://doi.org/10.5751/ES-11337-250119
- Zare, K., & Mohammadi, A. (2023). Analysis and evaluation of structural resilience of informal settlements against earthquakes. *Urban Planning and Management Journal*, 22 (2), 95–112

A Structural Equation Modeling Approach to the Physical Resilience Pattern of Informal Settlements against Earthquakes: A Case Study of Shahid Ma'ghoul Neighborhood in Mashhad

Mahdi Taleb-Elm – Ph.D. Candidate,

Department of Urban Planning, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran
Seyed Moslem Seyed-al-Hosseini*⁵

Department of Urban Planning, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran
* Amid-ol-Eslam Seqat-ol-Eslami

Department of Urban Planning, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran
Maryam Daneshvar

Department of Urban Planning, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

Abstract

With the expansion of urbanization and the increase in the number of large cities, especially in developing countries such as Iran, the concentration of population and the increase of environmental and economic burdens have led to the acceptance of diverse roles and functions for cities. The threat of earthquake as one of the main problems of cities in these countries, especially in urban areas, is facing an increasing trend. In recent years, the approach of resilience instead of vulnerability has become more important. The purpose of resilience is to reduce the vulnerability of communities and strengthen their abilities to deal with risks caused by natural disasters. Analyzing the relationship between resilience and reducing the effects of earthquakes is very important, and its main emphasis is on strengthening resilience. This research aims to analyze the factors affecting the resilience of informal settlements against natural hazards such as earthquakes in the neighborhood of Shaheed Bosh, and focuses on reducing long-term vulnerability and its relationship with development. The infrastructural and physical dimensions of resilience are examined in this research and solutions are provided to achieve its goals. For data analysis, Smart_PLS software was used to evaluate and model structural equations. The results show that as the institutional capacity decreases, the physical resilience indices change significantly.

Key words: informal settlement, physical resilience, vulnerability, urbanization

Introduction

Unplanned and irregular physical expansion of cities is one of the major challenges of urbanization in the Third World in contemporary times. Over a continuous process, the physical boundaries and built-up spaces of a city expand both vertically and horizontally in terms of quantity and quality, and if this growth is rapid and unplanned, it leads to a disproportionate combination of problematic urban spaces (Charlton & Klug, 2017).

Cities, as the most concentrated human settlements, gain special importance because, due to the high volume of investment and the concentration of numerous economic and social facilities, they incur greater losses when faced with earthquakes.

One of the marginalized settlements in Mashhad is Shahid Ma'ghoul in District 6. Covering an area of 64.2 hectares, this neighborhood is home to a large number of residents and suffers from inadequate urban services and low quality of life, making it one of the most challenging neighborhoods in terms of urban resilience. Therefore, the necessity and importance of studying the resilience of informal settlements against natural hazards, particularly earthquakes, becomes increasingly evident.

Materials and Methods

This research is applied in nature and follows a descriptive-analytical approach, employing Structural Equation Modeling (SEM). The statistical population includes the residents and experts related to Shahid Ma'ghoul neighborhood in Mashhad. Data were collected through both library studies and fieldwork (questionnaires). Smart-PLS software was used to analyze the data and test the research hypotheses. This software was chosen due to its capability to model complex relationships between latent and observed variables. The analysis procedure included evaluating the measurement model (reliability and validity assessment) and the structural model (scenario testing). In this study, Structural Equation Modeling (SEM) was employed using Smart-PLS. For data analysis, the bootstrapping algorithm was applied to examine the significance of path coefficients (t-value) and model fit. Evaluation criteria included outer loadings to assess the quality of indicators, outer weights to determine the contribution of each variable, and the CV-Red index to measure overall model quality (Arefi, 2018). The data were also managed and analyzed using SPSS and Microsoft Office. After determining the quantitative pattern of physical resilience of the informal settlement against earthquakes, appropriate statistical tests were applied based on the type and nature of the data. Accordingly, management interventions carried out over the years can be effectively compared.

Discussion and results

In this section, the T-statistic was calculated using the bootstrapping algorithm. If the T-statistic exceeds 1.96, it indicates the validity of the relationship between constructs and, consequently, confirms the research scenarios at a 95% confidence level (the significance thresholds at 99% and 99.9% confidence levels are 2.58 and 3.27, respectively).

Path Coefficients To calculate the path coefficients between constructs, the PLS algorithm is used. Standardized coefficients between independent and dependent variables indicate the percentage of variance in the dependent variable explained by the independent variable. Path coefficients above 0.6 indicate a strong relationship between the two variables; coefficients between 0.3 and 0.6 indicate a moderate relationship, and coefficients below 0.3 indicate a weak relationship.

To analyze the factors affecting the resilience of informal settlements against earthquake-induced hazards, three research scenarios were proposed.

Conclusion

Based on the model fit results and the evaluation of the standardized components of the social capital variable, it can be concluded that the components of cost flexibility, implementation flexibility, adaptability, and recovery (resilience) explain the social capital variable in the physical

resilience pattern model of informal settlements against earthquakes: a case study of Shahid Ma'ghoul neighborhood in Mashhad Similarly, based on the model fit results and the evaluation of the standardized components of the necessary legal infrastructure variable, it can be concluded that the components of extent, continuous improvement, effective communication, and human resources explain the necessary legal infrastructure variable in the physical resilience pattern model of informal settlements against earthquakes: a case study of Shahid Ma'ghoul neighborhood in Mashhad This research was conducted in three stages. In the first stage, the FCM technique was used to obtain the final success matrix. In the second stage, the final success matrix was imported into FCMapper software, and based on its results, three scenarios were analyzed. In the final stage, the fuzzy cognitive map diagram was drawn using MATLAB software.