

چکیده

عملکرد جوامع در چگونگی بازگشت به شرایط تعادل مهم ترین بخش در وقوع یک رخداد است که یکی از شرایط اساسی جوامع پایدار می باشد. در این مقاله شاخص پایداری جوامع و کشورها در زلزله ها با در نظر گرفتن انواع پارامترهای دخیل ارائه خواهد شد. هدف نگاهی وسیع تر به عوامل و نیز نقش آنها در میزان مدل پایداری می باشد. این عوامل شامل فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی، توسعه یافتگی، مهندسی و مشخصات لرزه ای می باشد. با کمک روش رگرسیون گیری خطی چند گانه، ابتدا تأثیر گذاری هر یک از متغیرها بررسی شده که این موضوع بر اساس آزمون های آماری برای ارزیابی معنی داری انجام شده است. در ادامه متغیرهای مستقل مربوطه مشخص و با توجه به روابط ارائه شده، شاخص ناپایداری اجتماعی کشورها، تعیین خواهد شد. در گام بعد نرخ نفوذ اختلال که نسبتی از زمان بازسازی خسارات زلزله به ضریب ناپایداری است، مشخص خواهد شد. این پژوهش ضمن مؤثر دانستن شاخص فساد، شاخص پایداری را متأثر از سه پارامتر، ضریب ناپایداری اجتماعی موجود، میزان تلفات و خسارات زلزله و مدت زمان بازسازی ارائه داده است.

واژگان کلیدی: شاخص پایداری، نرخ تلفات و خسارات زلزله، شاخص شفافیت، شاخص جینی.

ارائه مدل پایداری جوامع در زلزله

مصطفی شهریاری

دانش آموخته کارشناسی ارشد زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد قزوین،
دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

مرتضی بسطامی (نویسنده مسئول)

دانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله،
تهران، ایران، mbastami@iiees.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از مهم ترین مسائل مربوط به عملکرد کشورها و جوامع در سوانح طبیعی نظیر زلزله، میزان تأثیرات این سوانح در این جوامع است. میزان این تأثیرات را می توان با نرخ نفوذ آنها در ابعاد مختلف جامعه که به نوعی غالب جوانب آن را شامل می شود، ارزیابی کرد. اهمیت این مسئله هنگامی نمایان می شود که خسارات ناشی از یک زلزله با شدت یکسان اما در مناطق مختلف مد نظر قرار گیرد. به عبارت دیگر اگر تبعات زلزله ای با شدت یکسان در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد با پاسخ های متنوع و قابل تأمل روبرو خواهد شد.

همواره در بیان شدت تأثیرات یک زلزله، بزرگای آن به همراه تلفات ناشی از آن، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. میزان خطر زلزله در نگاه اول تابع مشخصات آن نظیر بزرگای، محتوای فرکانسی، شتاب پیشینه ی زمین، ساختگاه و همچنین متغیرهایی که بر رفتار سازه ها تأثیر می گذارند، مورد بررسی قرار

۱-۲ پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۷۳ هولینگک^۱ و دیگر دانشمندان محیط زیست، همچنین پرینگز^۲ در سال ۲۰۰۱ و دیگر اقتصاددانان زیست محیطی مفهوم گسترده تری از پایداری به عنوان ظرفیت

مورد بررسی قرار

که درک آن با بسط یک مدل تحلیلی بر اساس یک زنجیره جامعه‌شناختی تسهیل می‌یابد. نیروپاما و همکاران [۵]، اختلال در تأسیسات برقی و قطع آن و نیز آتش‌سوزی‌هایی که پس از حادثه اتفاق می‌افتند را مهم‌ترین عواملی می‌دانند که در انعطاف‌پذیری یک جامعه نقش ایفا می‌کنند. دانار و پوشالال [۶]، انعطاف‌پذیری را با بررسی بر روی سونامی اقیانوس هند مورد مطالعه قرار دادند. آنها توجه به پارامترهای مهم از جمله فرهنگی، اقتصادی و سیاست‌های اجتماعی مربوط به اسکان موقت را در طول برنامه‌ریزی مورد اشاره قرار دادند. آتولیکو [۷]، انعطاف‌پذیری را فرایندی می‌داند که توسط دیگر اقدامات سیاست‌ارزی در سیستم‌های محیط‌زیست طبیعی دنبال می‌شود. او اجرای پروتکل‌های خاص توسط شهرداری‌ها را اقدامی در جهت انعطاف‌پذیری جامعه می‌داند. همچنین ساندرز و بکر [۸]، وابستگی بین انعطاف‌پذیری و پایداری را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها انعطاف‌پذیری یک جامعه را معادل پایداری آن جامعه که توسط الزامات قانونی ایجاد شده است، می‌دانند. همچنین دلیمو و مدا [۹]، تاب‌آوری را با استفاده از یک مدل تصادفی به چگونگی برگشت به حالت تعادل در روند یک اختلال در خط مترو مورد بررسی قرار دادند. آنها به نقش سرعت در برگشت‌پذیری اشاره کرده‌اند و با یک تعریف جدید از تاب‌آوری که بر پایه ویرایش مدل‌های قبلی انجام گرفته است چهارچوب جدیدی برای رفتار سیستم انعطاف‌پذیر ارائه دادند. آنها سرعت برگشت به تعادل پس از یک اختلال را تاب‌آوری دانسته‌اند. استدلال آنها بر این است که آیا یک سیستم با سرعت به حالت تعادل بازگشت دارد یا به آرامی و کندی از شوک عبور خواهد کرد. تعیین نرخ میزان بهبودی و در نتیجه ارائه یک اقدام برای انعطاف‌پذیری، مدلی است تصادفی که مبنی بر توزیع گاوسی ارائه شد [۹]. شریفی [۱۰]، به ابزار تشخیص تاب‌آوری اشاره کرد و برای انتخاب آن نیز شش معیار را مورد بررسی قرار داد. تیتایا [۱۱]، مقاومت در زلزله را صرفاً اثرپذیر از بخش مقررات ساخت‌وساز و به‌نوعی آیین‌نامه‌ها می‌داند که باید در

برای جذب ضربه و حوادث ارائه دادند. این ظرفیت با عبارات دیگری از جمله ثبات، مقاومت، آسیب‌ناپذیری، زمان بازگشت در مواقع مختلف و انعطاف‌پذیری آمیخته گردیده است. برونو و همکاران، به تعریف چهار پارامتر تأثیرگذار در تاب‌آوری پرداخته‌اند که به ترتیب عبارتند از پارامتر مقاومت سیستم در برابر عامل خرابی، میزان سرعت سیستم در بازیابی به حالت تعادل، توانایی در تأمین منابع و پارامتری که بیان‌کننده درجه نامعینی سیستم است. بر اساس این تعاریف رابطه‌ای با در نظر گرفتن زمان وقوع رخداد و زمان اتمام ترمیم ارائه شد که عملکرد سیستم را بر حسب مساحت بیان می‌دارد و با این فرض که سیستم قبل از وقوع عامل مخرب در تراز صددرصد عملکرد خود قرار دارد، درجه نامعینی با میزان تاب‌آوری رابطه عکس خواهد داشت [۱]. سیمیلارو و همکاران [۲] با بیان توابع زیان و بازیابی به اندازه‌گیری مقدار انعطاف‌پذیری^۳ پرداختند. انعطاف‌پذیری همان‌طور که در این مقاله اشاره شده است توانایی بازیابی برای حفظ عملکرد سیستم با حداقل اختلال توصیف شده است. در واقع تابع زیان می‌تواند به‌عنوان تابعی از شدت زلزله و زمان بازیابی بیان شود. بر این اساس سه نوع تابع بازیابی ارائه شده است که ساده‌ترین شکل آن یک تابع بازیابی خطی است که به‌طور کلی در زمانی که اطلاعات مربوط به پاسخ جامعه وجود ندارد، استفاده می‌شود. تابع بازیابی‌نمایی در جایی استفاده می‌شود که پاسخ جامعه به یک رویداد فوق‌العاده بسیار سریع است ولی بعد از آن شتاب بهبودی کاهش می‌یابد. تابع بازیابی مثلثاتی در جایی استفاده می‌شود که پاسخ جامعه به یک رویداد شدید در ابتدا آهسته و به تدریج افزایشی خواهد شد. هلناگل و فوجیتا [۳] با مطالعه فاجعه فوکوشیما، انعطاف‌پذیری را تابع چهار نوع توانایی پاسخ‌گویی، نظارت، یادگیری و پیش‌بینی در نظر گرفتند. آنها نیروگاه اتمی تحت شرایط خاص را در توانایی پاسخ‌گویی بسیار مهم ارزیابی کردند. لوسینی [۴]، انعطاف‌پذیری در یک فاجعه را توانایی مقابله و پاسخ در شرایط نامطلوب دانسته و به نقش فرهنگ و جایگزینی آن اشاره کرد

دانستن اینکه تغییر این متغیرهای مستقل چگونه باعث تغییر در متغیرهای پاسخ می‌شوند، منجر به تشکیل تابعی خواهد شد که می‌توان با آن به میزان ارتباط و تأثیر متغیرها بر یکدیگر دست پیدا کرد. آزمون‌های صحت‌سنجی تحلیل‌های آماری، ضرایب رگرسیونی استاندارد شده که برای تعیین سهم نسبی هر متغیر مستقل در تبیین تغییرات متغیر وابسته کمک می‌نمایند، اثربخشی این پارامترها و به‌عبارت‌دیگر درصد وزنی آنها در جامعه را تعیین خواهند کرد. ذکر این نکته لازم است که رگرسیون چندگانه خود دارای دو روش، هم‌زمان و گام‌به‌گام^۴ می‌باشد. در روش هم‌زمان، تمام متغیرهای موجود مستقیماً و بدون ترتیب خاصی وارد عمل می‌شوند. در روش گام‌به‌گام که مورد استفاده این پژوهش قرار گرفته است، متغیرهای مستقل به ترتیب ملاحظاتی آماری، تک‌تک وارد معادله می‌شوند و اگر نقش معنی‌داری در معادله نداشته باشند از آن خارج می‌شوند.

۲-۱- رگرسیون خطی چندگانه

یکی از روش‌هایی که در ساخت مدل‌های خطی به کار گرفته شده است رگرسیون خطی چندگانه^۵ (MLR) می‌باشد. MLR فرض می‌کند که رابطه‌ای خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته وجود دارد و به صورت رابطه (۱) نمایش داده می‌شود.

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_K X_K + \varepsilon \quad (1)$$

که در آن $\{X_1 \dots X_n\}$ متغیرهای مستقل، β_0 ثابت معادله، β_1 تا β_K ضرایب متناظر با متغیرهای مستقل و γ متغیر وابسته می‌باشد. مقادیر β_0 الی β_K به‌وسیله به حداقل رساندن جمع مربعات باقی‌مانده‌ها مشخص و در نهایت بهترین پیش‌بینی تعیین خواهد شد [۱۴].

آزمون تحلیل واریانس^۶ ANOVA یک روش آماری بسیار متداول در بررسی معنی‌داری و سطح کیفی مدل رگرسیون خطی محاسبه شده می‌باشد که به کارگیری آن بر سه اصل از میزان مجموع مربعات استوار است.

تعداد کثیری از ساختمان‌های عمومی و نیز معابد مورد توجه قرار گیرد. کومز [۱۲]، شبکه‌ای پیچیده از زیرساخت‌های حیاتی آسیب‌پذیر را مورد اشاره قرار داده و تغییر در برنامه‌ریزی بلندمدت را در بهبود مقاومت جامعه لازم دانسته است. شاوو و همکاران [۱۳]، تاب‌آوری را مرتبط با قابلیت سرمایه‌گذاری برای ساخت‌وساز و نیز میزان جمعیت منطقه دانسته‌اند. وجود منابع محدود از قبیل (انسانی، مالی، سیاسی و ...) در شهرهای کوچک از چالش‌های پیش رو شناخته شده است. آنان بیان می‌دارند که شهرهای بزرگ به دلیل وجود منابع مذکور نه تنها در مقابل اختلال عکس‌العمل بهتری نشان می‌دهند بلکه سرعت پیشرفت آنان بعد از رخداد افزایش قابل توجهی دارد.

موارد فوق بخشی از دیدگاه‌های محققان در زمینه پیامدهای زلزله در جامعه و نحوه مواجهه با آن به‌منظور به حداقل رساندن آثار به‌جای گذاشته را بیان می‌دارد. در این نظرات بیشتر به جنبه‌های خاصی از عوامل مؤثر اشاره شده است. اینکه هر کدام از این عوامل به همراه عوامل دیگر یکجا دیده شود و مجموعه آن مورد بررسی قرار گیرد و به تبع آن نقش هر یک از پارامترها مشخص گردد، هدفی است که این پژوهش به‌منظور دستیابی به یک معنی دقیق‌تر و در عین حال نسبتاً جامع از پایداری جوامع در زلزله به خود اختصاص داده است.

۲- روش تحقیق

این پژوهش، ضمن انتخاب زلزله‌های با بزرگای بالای ۶ ریشتر ابتدا مجموعه‌ای از انواع پارامترهایی که به‌طور بدیهی در قبل، حین و بعد از یک رخداد سهمی خواهند داشت از جمله تلفات انسانی، خسارات ساختمانی، خسارات اقتصادی و نیز انواع شاخص‌های مؤثر در موقعیت یک کشور، مانند شاخص توسعه‌یافتگی، میزان تورم و تولید ناخالص داخلی در بخش اقتصاد، شاخص فقر، بیکاری و نیز تحقیق و توسعه در بخش اجتماعی که بیان‌کننده‌ی موقعیت آن کشور می‌باشد را مورد مطالعه قرار داده است. با تحلیل آماری به روی تک‌تک پارامترها، همبستگی و ارتباط آنها با دیگر عوامل شناسایی شده و سرانجام با

معنی داری ۹۵ درصد مقایسه می‌شود و در صورتی که $F > F_{crit}$ مدل در سطح ۹۵ درصد معنی دار خواهد بود.

۲-۲- مدل رگرسیونی

در ابتدا متغیرهایی که نقش اکثر آنها در این زمینه شناخته شده است (مرور مطالعات قبلی) انتخاب و هر کدام در یک نگاه به عنوان متغیر وابسته یا پاسخ y_i و مابقی متغیرهای اثرگذار در آن به عنوان متغیرهای پیشگو یا مستقل $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ در نظر گرفته شد. سپس با روش رگرسیونی چند متغیره، مورد تحلیل همبستگی قرار گرفت. از آنجایی که نسبت بین متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته به منظور دستیابی به یک تحلیل صحیح آماری حائز اهمیت می‌باشد، به منظور پرهیز از تعدد متغیرها، پارامترهایی که به یک خانواده مربوط هستند در یک مجموعه در نظر گرفته شده‌اند (مانند پارامتر تلفات انسانی که مجموع تعداد مجروحین و کشته‌ها و نیز خسارات ساختمانی که مجموعه‌ای از ساختمان‌های آسیب‌دیده و ویران شده است).

$$y_i = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (۸)$$

y_i : متغیر وابسته

x_i : متغیر مستقل

n : تعداد متغیرهایی که به عنوان متغیر مستقل انتخاب خواهند شد.

در جدول (۱) متغیرهای مورد تحقیق به همراه نام اختصاری آنها نشان داده شده است.

جدول (۲) (جدول خلاصه مدل^۷) ضرایب همبستگی چندگانه را نشان می‌دهد. این ضرایب در بازه بین ۰ و ۱ تعریف می‌شود. عدد ۱ نشان از همبستگی قوی بین متغیر مستقل و وابسته و عدد ۰ نشان از ضعف این همبستگی دارد. به عنوان مثال این مقدار برای متغیر اثربخشی دولت برابر ۰/۸۹۱ می‌باشد. به منظور دقت میزان پیش‌بینی از مجذور ضریب همبستگی چندگانه (R^2) استفاده خواهد شد که میزان تبیین واریانس و تغییرات متغیر وابسته توسط مجموعه

مقادیر سه گانه مهم عبارتند از SS_T مجموع مربعات کل، SS_E مجموع مربعات باقی‌مانده و SS_R مجموع مربعات رگرسیونی. مجموع مربعات کل اختلاف بین مقدار مشاهدات واقعی \bar{y}_i و متوسط \bar{y} است.

$$SS_T = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (۲)$$

مجموع مربعات کل $(y_i - \bar{y})^2$ شامل رگرسیون و اثر خطاهای آن است که تمایزی بین آنها قائل نمی‌شود. مجموع مربعات ناشی از رگرسیون SS_R اختلاف مجموع مربعات مقادیر پیش‌بینی شده \hat{y}_i و مقدار متوسط \bar{y} می‌باشد.

$$SS_R = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (۳)$$

در نهایت، مجموع مربعات خطا (SS_E) اختلاف بین مجموع مربعات واقعی y_i و پیش‌بینی شده \hat{y}_i می‌باشد.

$$SS_E = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (۴)$$

واضح است که مجموع SS_R و SS_E برابر است با SS_T :

$$SS_T = SS_R + SS_E \quad (۵)$$

می‌توان برای یافتن بهترین زیر مجموعه k از بین متغیرهای مدل x_i ، از مجذور ضریب همبستگی R^2 و مجموع مربعات خطا SS_E استفاده کرد. وقتی R^2 بزرگ باشد، SS_E به سمت کوچک شدن میل می‌کند [۱۴].

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} = \frac{SS_R}{SS_T} \quad (۶)$$

که در آن R^2 مجذور ضریب همبستگی بین y و \hat{y} است.

معیار سطح معنی‌داری مدل رگرسیون توسط مقدار F (آزمون فیشر) تعیین می‌شود و تنها هنگامی که بزرگ‌تر از حد معنی‌داری ۹۵ درصد باشد، معنی‌داری کل معادله رگرسیون ثابت می‌شود.

$$F = \frac{(n-k-1)R^2}{k(1-R^2)} \quad (۷)$$

که در آن n داده‌های متغیر وابسته و k تعداد متغیرهای مستقل مدل است. مقدار F هر مدل با مقدار بحرانی آن در سطح

جدول (۱): متغیرهای مورد پژوهش.

نام متغیر	نام اختصاری	نام متغیر
Magnitude	MAG	بزرگا
Depth	D	عمق
Economic Losses	EL	خسارات اقتصادی
Life Losses	LL	تلفات انسانی
Industrial Production	IP	تولیدات صنعتی
Market Capitalization	MAR	ظرفیت بازار
Mobile Cellular Subscriptions	MOB	اشتراک تلفن همراه
General Government Revenue	GGR	درآمد عمومی دولت
Voice and Accountability	VA	پاسخ‌گویی و حس مسئولیت‌پذیری
Research and Development Expenditure	R&D	تحقیق و توسعه
Unemployment	UNE	بیکاری
Time Required to Start a Business	TB	زمان شروع برای کسب‌وکار
Building Damaged or Destroyed	BD	خسارات ساختمانی
Corruption Perception Index	CPI	شاخص شفافیت
Government Effectiveness	GE	اثربخشی دولت
Gross Domestic Product	GDP	تولید ناخالص داخلی
Gini Index	GINI	ضریب فقر
Human Development Index	HDI	شاخص توسعه‌یافتگی
Consumer Prices Inflation	ICP	میزان تورم
Rural Population	RUR	جمعیت روستایی
Urban Population	URB	جمعیت شهری
Hospital Beds	HB	تعداد تخت‌های بیمارستانی
Road Density	ROD	تراکم جاده

متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد. این مقدار در اولین مدل که متغیر وابسته آن به پارامتر اثربخشی دولت اختصاص دارد، در یک تحلیل معنی‌دار به همراه بیشترین پارامتر، یعنی تحلیل سیزدهم، برابر $0/793237$ یا به عبارت دیگر ۷۹ درصد می‌باشد. تحلیل تعیین‌کننده همان‌طور که از نام آن پیداست مربوط به آن دسته از تحلیل‌های آماری می‌باشد که آزمون فیشر در آنها جواب داده و به عنوان یک تحلیل معنی‌دار شناخته شده است. به دلیل آنکه این آزمون به روش گام‌به‌گام می‌باشد و پارامترها به ترتیب وارد تحلیل می‌شوند، معنی‌داری در همه تحلیل‌ها باید کنترل گردد و به عبارت دیگر باید بیان داشت که همه تحلیل‌ها برای معادله رگرسیون خطی چندگانه (که در اینجا به صورت معادله با یک متغیر وابسته و ۲۱ متغیر مستقل می‌باشد) معنی‌دار نخواهد بود. بدیهی است این آزمون به منظور کنترل معنی‌داری از آخرین تحلیل به دلیل داشتن بیشترین متغیرهای مستقل شروع می‌شود. چنانچه سطح معنی‌داری جواب ندهد آن تحلیل حذف خواهد شد و در نهایت اولین تحلیل معنی‌دار به نام تحلیل تعیین‌کننده شناخته خواهد شد. همچنین عدم وجود هم‌خطی در مدل توسط آماره دوربین واتسون که عددی بین $1/5$ الی $2/5$ می‌باشد تعیین شده است که مدل عدد $1/995$ را نشان می‌دهد و می‌توان گفت وجود هم‌خطی منتفی می‌باشد (هم‌خطی بین دو متغیر عبارت است از تحت تأثیر قرار داشتن دو متغیر با یک متغیر سوم که باعث عدم وجود استقلال در اثرپذیری بین دو متغیر می‌شود).

بر اساس جدول (۳) (جدول تحلیل واریانس)، مقدار F (آزمون فیشر) به بررسی مناسب بودن یا نبودن مدل رگرسیونی می‌پردازد. مقدار F معیاری از سطح معنی‌داری مدل رگرسیون است و تنها هنگامی که بزرگ‌تر از حد ۹۵ درصد باشد، معنی‌داری کل معادله رگرسیون ثابت می‌شود. به همین منظور در صورتی که $F > F_{crit}$ باشد، مدل در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد که در قسمت (Sig) نشان داده شده است.

جدول (۲): جدول خلاصه مدل.

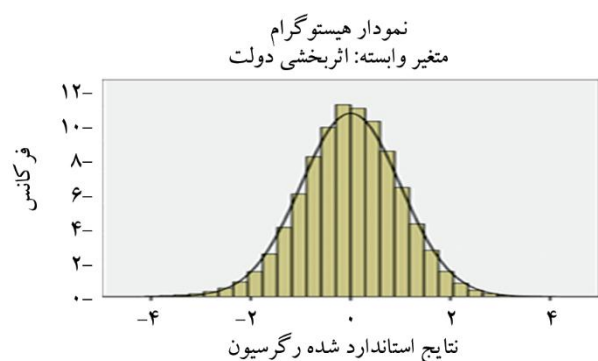
مدل	تحلیل تعیین کننده	متغیر وابسته	ضریب همبستگی چندگانه R	مجدور ضریب همبستگی چندگانه R ²	تغییرات R ²	دوربین واتسون
۱	۱۳	GE	۰/۸۹۱	۰/۷۹۳	۰/۰۰۲	۱/۹۹۵
۲	۶	RUR	۰/۵۴۱	۰/۲۹۲	۰/۰۰۳	۲/۰۰۳
۳	۱۲	CPI	۰/۹۳۶	۰/۸۷۷	۰/۰۰۱	۲/۰۰۱
۴	۸	GDP	۰/۶۸۶	۰/۴۷	۰/۰۰۳	۲/۰۰۰
۵	۹	GINI	۰/۷۴۹	۰/۵۶۱	۰/۰۱۵	۲/۰۰۱
۶	۱۱	HDI	۰/۸۹۱	۰/۷۹۴	۰/۰۰۳	۲/۰۰۱
۷	۹	HB	۰/۷۴۹	۰/۵۶۲	۰/۰۰۳	۲/۰۰۲
۸	۳	LL	۰/۲۰۷	۰/۰۴۳	۰/۰۰۵	۲/۰۰۱
۹	۶	MAG	۰/۵۵	۰/۳۰۲	۰/۰۴۸	۲/۰۱۸
۱۰	۱	EL	۰/۱۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۲/۰۰۰
۱۱	۱۲	R&D	۰/۸۴	۰/۷۰۶	۰/۰۰۱	۲/۰۱۰
۱۲	۸	UNE	۰/۷۰۶	۰/۴۹۹	۰/۰۰۶	۱/۹۹۲
۱۳	۱۱	GGR	۰/۷۶۱	۰/۵۷۹	۰/۰۰۳	۱/۹۹۲
۱۴	۱	HD	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۲/۰۰۱
۱۵	۹	IP	۰/۷۱۴	۰/۵۱	۰/۰۰۴	۱/۹۹۴
۱۶	۸	ICP	۰/۷۵	۰/۵۶۲	۰/۰۰۳	۲/۰۰۹
۱۷	۶	MAR	۰/۴۵۶	۰/۲۰۸	۰/۰۰۳	۲/۰۰۲
۱۸	۱۰	MOB	۰/۶۷۲	۰/۴۵۲	۰/۰۰۳	۲/۰۰۱
۱۹	۱۰	ROD	۰/۶۷۳	۰/۴۵۳	۰/۰۰۳	۲/۰۰۴
۲۰	۹	TB	۰/۶۴۱	۰/۴۱	۰/۰۰۳	۱/۹۹۱
۲۱	۸	URB	۰/۷۱۷	۰/۵۱۴	۰/۰۰۲	۲/۰۰۴
۲۲	۸	VA	۰/۷۴۳	۰/۵۵۲	۰/۰۰۹	۲/۰۰۰

جدول (۳): جدول تحلیل واریانس.

مدل	تحلیل تعیین کننده	مجموع مربعات	درجات آزادی مدل dF	فیشر F	معنی داری Sig
۱	رگرسیون	۴۹۹۸۸/۰۵۶	۱۳	۲۹۵۰۷/۰۵۹	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۱۳۰۲۹/۷۵۳	۹۹۹۸۶	-	-
	کل	۶۳۰۱۷/۸۰۸	۹۹۹۹۹	-	-

dF: تعداد اطلاعاتی که می‌تواند مستقل از یکدیگر تغییر کنند.

اختلاف بین مشاهده و مقادیر پیش بینی شده مدل را باقیمانده می نامند. باقیمانده یک محصول، مقدار مشاهده شده عبارت خطا برای آن محصول است. برای بررسی فرض نرمال بودن عبارت خطا از نمودار $P-P$ که به نمودار هیستوگرام معروف است استفاده می شود. شکل (۱)، هیستوگرام متغیر اثربخشی دولت^۹ (GE) است که این نمودار باید از منحنی نرمال تبعیت کند.



شکل (۱): نمودار توزیع نرمال باقیمانده استاندارد شده مدل GE.

با توجه به جدول تحلیل واریانس (۳) و رابطه (۷) به ترتیب، $F=29507/064$ و $F_{crit}=29507/059$ می باشد، بنابراین $F > F_{crit}$ است، پس مدل در سطح ۹۵ درصد معنی دار و مقدار F در سطح خطای کوچک تر از ۵ درصد قرار دارد. از آنجایی که در تحلیل رگرسیون، مقیاس متغیرهای مستقل از واحدهای متفاوتی تشکیل یافته، بنابراین به راحتی نمی توان به مقایسه سهم هر متغیر مستقل در تبیین تغییرات یا واریانس متغیر وابسته پرداخت. به همین دلیل، ضرایب رگرسیونی استاندارد شده، بتا (β) به ما کمک می کند تا سهم نسبی هر متغیر مستقل در تبیین تغییرات متغیر وابسته را تعیین نماییم. به عبارت دیگر امکان مقایسه اثرات نسبی مقادیر پیش بینی شده در مقیاس های مختلف فراهم خواهد شد. هر چه مقدار ضریب β یک متغیر بزرگ تر باشد، نقش آن در پیش بینی تغییرات متغیر وابسته بیشتر است. در جدول (۴) این ضریب با عدد $0/626$ شروع شده است. ستون آخر این جدول نیز اهمیت معنی داری رابطه بین متغیر مستقل و وابسته را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می کنید رابطه در سطح $0/01$ معنی دار است.

جدول (۴): جدول ضرایب بتا (β).

مدل	تحلیل تعیین کننده		ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده (بتا)	t	معنی داری Sig
			B	خطای استاندارد	Beta		
۱	۱۳	ثابت	-۱/۹۸۹	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	-۱۷۲/۰۳۲	۰/۰۰۰
		ICP	۰/۰۲۶۷۷۴۸۴۱	۰/۰۰۰۱۵۸۵۰۵	۰/۶۲۶	۱۶۸/۹۲۱	۰/۰۰۰
		ICP	۰/۰۱۷۱۸۶۳۳۵	۰/۰۰۰۰۲۱۲۳۳۴	-۰/۱۵۸	-۸۰/۹۸۷	۰/۰۰۰
		HB	۰/۰۲۲۰۱۲۵۱۹	۰/۰۰۰۱۹۱۸۲۵	-۰/۲۳۴	-۱۱۴/۷۵۳	۰/۰۰۰
		R&D	۰/۱۵۱۰۲۹۳۹	۰/۰۰۱۵۱۹۸۳۶	۰/۲۴۱	۹۹/۳۷۲	۰/۰۰۰
		GDP	-۸/۰۲۰۷۷ E-۱۵	۱/۵۱۲۹۴ E-۱۶	-۰/۱۰۱	-۵۳/۰۱۴	۰/۰۰۰
		GGR	۰/۰۰۶۱۴۹۹۷۷	۰/۰۰۰۲۱۲۸۷۳	۰/۰۶۲	۲۸/۸۹۰	۰/۰۰۰
		TB	۰/۰۰۲۳۲۴۸۰۱	۳/۷۶۵۴۱ E-۵	۰/۱۱۲	۶۱/۷۴۱	۰/۰۰۰
		MOB	۰/۰۰۱۸۳۰۹۰۹	۴/۳۹۳۷ E-۵	۰/۰۸۰	۴۱/۶۷۱	۰/۰۰۰
		GINI	۰/۰۰۴۵۰۶۵۴۵	۹/۴۱۰۹۴ E-۵	۰/۱۰۲	۴۷/۸۸۶	۰/۰۰۰
		HDI	۰/۸۵۴۷۲۵۱۵۶	۰/۰۲۱۰۰۱۸۴۶	۰/۱۲۸	۴۰/۶۹۸	۰/۰۰۰
		ROD	۰/۰۰۰۸۳۹۷۴۸	۲/۳۲۹۰۳ E-۵	۰/۰۶۹	۳۶/۰۵۶	۰/۰۰۰
		VA	۰/۰۴۴۵۳۷۶۴۵	۰/۰۰۱۴۰۵۷۶۴	-۰/۰۶۹	-۳۱/۶۸۲	۰/۰۰۰
IP	-۱/۱۹۷ E-۱۴	۴/۳۲۱۶۷ E-۱۶	-۰/۰۵۶	-۲۷/۶۸۷	۰/۰۰۰		

۳-۱- شدت اثر متغیر

به منظور تعیین دقیق اثر گذاری متغیرها در تابع پایداری جوامع، مؤلفه‌ای به نام شدت اثر متغیر تعریف شده است که برابر است با حاصل ضرب میزان اثر گذاری آن متغیر (β) در مجذور ضریب همبستگی (R^2). این مفهوم در رابطه (۹) بیان شده است:

$$\alpha_j^i = |\beta_i| * R_j^2 \quad (9)$$

که در آن i متغیر مستقل، j متغیر وابسته، β اثر گذاری متغیر (اعم از تأثیر مثبت یا منفی) و R^2 مجذور ضریب همبستگی که بیانگر دقت پیش‌بینی برآورد شده رگرسیونی است.

به این ترتیب یک متغیر مستقل بر حسب میزان تأثیر خود بر روی یک متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت که مقادیر مختلفی را با توجه به این حضور، به خود اختصاص می‌دهد. می‌توان برای ارزیابی اشتراک تأثیر یک متغیر روی سایر متغیرهای مستقل، سهم تأثیر آن متغیر به خصوص (اعم از تأثیر مثبت یا منفی) را در حالت کلی با توجه به تأثیر گذاری بر روی همه متغیرهای موجود نشان داد. این پارامتر در رابطه (۱۰) نشان داده شده است:

$$Q^i = \sum_{j=1}^n \alpha_j^i \quad (10)$$

که i متغیر مستقل، j متغیر وابسته و n تعداد متغیرهای وابسته می‌باشد. طبق این رابطه سهم اثر گذاری یک متغیر مستقل در کل متغیرهای وابسته به دست آمده است. واضح است یک متغیر مستقل در صورت حضور حداکثری در کل متغیرهای موجود، سهم بسزایی را ایفا می‌کند که اغلب متغیرها متأثر از آن هستند. به بیان دیگر می‌توان مهم‌ترین شاخصی که بخش‌های گوناگون را متأثر از خود قرار داده است متناسب با رابطه (۱۱) دانست:

$$I \propto \text{MAX}\{Q_i\} \quad (11)$$

به این ترتیب از بین ۲۲ متغیر و ۱۷ زلزله مورد بررسی، تغییری که به نوعی تمام متغیرهای موجود را تحت الشعاع قرار داده است، شاخص شفافیت یا به عبارت دیگر شاخص فساد (CPI) می‌باشد. البته این نتیجه‌گیری بر اساس داده‌های این مطالعه است و برای

در جدول (۵) به ترتیب، ضرایب همبستگی چندگانه و ضرایب تأثیر برای ۲۲ متغیر (مورد مطالعه در سطح جهان) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نشان داده شده است.

جدول (۵): جدول خلاصه مدل رگرسیونی.

متغیر وابسته	میزان پیش‌بینی	متغیر مستقل	بتا (β)
CPI	۰/۸۷۷	HDI _s	۰/۳۴۱
RUR	۰/۲۹۲	URB _s	۰/۵۸۵
GE	۰/۷۹۳	CPI _s	۰/۶۲۳
GDP	۰/۴۷	IP _s	۰/۴۴۷
GINI	۰/۵۶۱	GE _s	۰/۳۶
HDI	۰/۷۹۴	CPI _s	۰/۶۹۱
HB	۰/۵۶۲	GE _s	-۰/۰۵
LL	۰/۰۴۳	URB _s	۰/۲۵۶
MAG	۰/۳۰۲	CPI _s	۰/۴۹۷
EL	۰/۰۱۲	IP _s	۰/۱۰۸
R&D	۰/۷۰۶	CPI _s	۰/۳۶۳
UNE	۰/۴۹۹	ICP _s	۰/۴۴۱
GGR	۰/۵۷۹	HDI _s	۰/۶۲
BD	۰/۰۱۱	URB _s	۰/۱۰۵
IP	۰/۵۱	GDP _s	۰/۴۱۸
ICP	۰/۵۶۲	UNE _s	۰/۳۷۱
MAR	۰/۲۰۸	GDP _s	۰/۲۸۳
MOB	۰/۴۵۲	CPI _s	۰/۴۵۳
ROD	۰/۴۵۳	GGR _s	۰/۳۵۲
TB	۰/۴۱	CPI _s	۰/۶۸۲
URB	۰/۵۱۴	RUR _s	۰/۳۹۵
VA	۰/۵۵۲	CPI _s	۰/۶۵۸

۳-۲- ارائه رابطه پایداری جوامع

برای ارائه رابطه پایداری، ابتدا لازم است چند مفهوم دیگر تعریف شود. این مفاهیم عبارتند از: شدت اثر متغیر، ضریب ناپایداری اجتماعی و نرخ نفوذ اختلال که در ادامه تشریح خواهد شد.

این صورت به آن معادله رگرسیون غیرخطی گویند. این معادله برای متغیر وابسته (CPI) عبارت است از:

$$CPI = \{-0.463ICP_s + 0.454GE_s + 0.339UNE_s + 0.203HB_s + 0.171D_s - 0.153MOB_s\} * 1.176606 + 28.269373] \pm 0.295380$$

بنابراین:

$$\alpha_{CPI}^{GE} = |\beta_{GE}| \cdot R^2_{CPI}$$

$$\alpha_{CPI}^{GE} = 0.454 * 0.937 = 0.425398$$

حال سهم شدت اثر متغیر مستقل اثربخشی دولت در مجموع پارامترهای وابسته برابر است با:

$$Q^i = \sum_{j=1}^n \alpha_j^i$$

$$Q^{GE} = (\alpha_{CPI}^{GE} + \alpha_{RUR}^{GE} + \alpha_{GDP}^{GE} + \alpha_{GINI}^{GE} + \alpha_{LL}^{GE} + \alpha_{UNE}^{GE} + \alpha_{HD}^{GE} + \alpha_{ICP}^{GE} + \alpha_{MOB}^{GE} + \alpha_D^{GE})$$

$$Q^{GE} = 3.0835$$

به عنوان نمونه سهم شدت اثر متغیر مستقل GE در همه متغیرهای وابسته در جدول (۷) نشان داده شده است.

داده‌های متفاوت، این نتیجه‌گیری می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال، این متغیر برای زلزله‌های رخ داده در ایران، به شاخص فقر اختصاص پیدا کرده است.

با توجه به داده‌های تحلیل، ابتدا شدت اثر هر متغیر مستقل، با توجه به متغیر وابسته مربوط به خود محاسبه می‌شود. به عنوان مثال شدت اثر پارامتر اثرگذاری دولت در مدلی که متغیر وابسته آن اختصاص به شاخص شفافیت دارد در جدول (۶) نشان داده شده است.

۳-۲- مدل رگرسیونی

از آنجایی که می‌توان رابطه بین متغیرها را به صورت‌های گوناگون بیان کرد، مجموعه‌ای از روش‌ها وجود دارد که می‌توان از آنها برای تعریف یک معادله ریاضی معنی‌دار بین متغیرها استفاده کرد تا به کمک آنها مقادیر اثرات متقابل آنها را بیان کرد. چنین معادله‌ای ممکن است از نوع خطی یا غیرخطی باشد. به عبارتی، متغیرها می‌توانند با هم رابطه مستقیم و یا غیر مستقیم داشته باشند. به معادله‌ای که ارتباط بین یک متغیر وابسته و یک یا چندین متغیر مستقل را بیان می‌کند، معادله رگرسیون می‌گویند. اگر الگوی همبستگی بین دو متغیر به صورت یک معادله خطی نوشته شود، به آن معادله رگرسیونی خطی و در غیر

جدول (۶): خلاصه مدل.

تحلیل تعیین کننده	متغیر وابسته	ضریب همبستگی چندگانه R	ضریب همبستگی چندگانه R ²	تغییرات R ²	دوربین واتسون
۶	CPI	۰/۹۶۸	۰/۹۳۷	۰/۰۱۱	۱/۹۶۴

جدول (۷): سهم شدت اثر متغیر GE.

وابسته / مستقل	CPI	۰/۴۲۵۳	HB	-	GGR	-	ROD	-
GE	RUR	۰/۲۳۱۵	LL	۰/۰۴۷۸	HD	۰/۳۰۷۲	TB	-
	GE	-	MAG	-	IP	-	URB	-
	GDP	۰/۳۵۱۱	EL	-	ICP	۰/۴۴۰۸	VA	-
	GINI	۰/۳۱۰۳	R&D	-	MAR	-	D	۰/۴۷۰۶
	HDI	-	UNE	۰/۲۲۷۹	MOB	۰/۲۷۰۵	Q ⁱ	۳/۰۸۳۵

مطلوب تر و شاخص فقر (GINI)، هر اندازه در یک کشور پایین تر باشد آن کشور از موقعیت بهتری برخوردار است. متغیری که با افزایش آن میزان ناپایداری کمتر شود را متغیر مثبت^{۱۰} (PV) و متغیری که با افزایش آن میزان ناپایداری بیشتر می شود را متغیر منفی^{۱۱} (NV) می نامیم.

واضح است چنانچه یک متغیر از نوع (PV) هر چه کمتر باشد بر میزان ناپایداری اثر مثبت و متغیری از نوع (NV) هر اندازه بیشتر باشد نیز اثر افزایشی بر ناپایداری خواهد داشت. شاخص ناپایداری، اندازه بین این دو متغیر خواهد بود و می دانیم حداقل یک مقدار مثبت وجود دارد که نماینده بیشترین ناهنجاری است. طبق رابطه (۱۲):

$$\varphi = |y^{i(PV)} - y^{i(NV)}| \quad (12)$$

به کمک رگرسیون چند متغیره مشخص می شود پارامتری که تمام متغیرهای دیگر را تحت الشعاع قرار داده است خود تابع چه پارامترهایی بوده و چگونه منشأ اثر واقع شده است. همان طور که در قسمت های قبل بیان شد، بیشترین سهم اثربخشی مربوط به شاخص شفافیت (CPI) می باشد که خود در مرحله اول بیشتر تابع شاخص توسعه یافتگی بوده و رابطه مستقیمی را با آن داراست (جدول ۵). ناپایداری اجتماعی یک جامعه در هر سال بر اساس مقایسه بین این عوامل در همان سال وقوع رخداد صورت گرفته است و به این ترتیب شرایط جامعه در حین هر رخداد مشخص شده است (جدول ۹).

در نهایت متغیر جینی یا ضریب فقر برای کشور ایران به عنوان اثرگذارترین پارامتر بر روی دیگر شاخص ها به دست آمده است.

۳-۳- ضریب ناپایداری اجتماعی (φ)

هر جامعه ای با وجود داشتن یک سری از شرایط به خصوص حاکم بر آن، می تواند متحمل پیامدهای حاصل از زلزله شود. وضعیت پایداری هر جامعه در یک زلزله، بدون شک تحت الشعاع متغیرهایی است که بیشترین سهم اثربخشی را به خود اختصاص داده اند. پایداری جوامع تحت این متغیرهای مؤثر قابل بررسی است. اثرگذارترین پارامتر در مسئله پایداری که نقش مؤثرتری نسبت به دیگر متغیرها دارد،^{۱۲} می نامیم که خود تابعی از متغیرهای مستقل است. ضریب ناپایداری اجتماعی (φ) یک مقدار مثبت است که به عنوان میزان ناپایداری جامعه تعریف می شود که از بین متغیرهای مستقل بر اساس مؤثرترین پارامتر، محاسبه خواهد شد. این متغیرها شامل شاخص تولید (GDP) و شاخص فقر (GINI) می باشد.

به دلیل آنکه هر کدام از این شاخص ها بیانگر جنبه های مختلف وضعیت فعلی حاکم بر جامعه اعم از شرایط اقتصادی و اجتماعی (قبل و بعد از زلزله) هستند، لذا پایداری جامعه نیز تابع این شاخص ها می باشد. به عنوان مثال جدول (۸) این شاخص ها را برای کشور ایتالیا در طول چند سال نشان می دهد. تأثیر این شاخص ها بر روی پایداری جوامع یکسان نیست. به عنوان مثال شاخص تولید (GDP)، هر اندازه در یک کشور بیشتر باشد

جدول (۸): نوسانات سالیانه شاخص ها (UNDP-Word Bank).

R&D	UNEMPLOYMENT	GDP(E+12)	GE	HDI	GINI	ایتالیا
۱/۱۳	۶	۲/۲	-	۰/۸۶	۳۵/۸۹	سال ۲۰۰۷
۱/۱۶	۶	۲/۳	۰/۳	۰/۸۶	۳۵/۴۵	سال ۲۰۰۸
۱/۲۲	۷	۲/۱	۰/۴۲	۰/۸۶	۳۵/۴۸	سال ۲۰۰۹
۱/۲۲	۸	۲/۱	۰/۴۴	۰/۸۶	۳۵/۵۲	سال ۲۰۱۰
۱/۲۰	۸	۲/۲	۰/۳۷	۰/۸۷	۳۵/۷	سال ۲۰۱۱

جدول (۹): بررسی ناپایداری اجتماعی برای زلزله لاکویلا ایتالیا.

سال وقوع زلزله	HDI +	GE +	VA +	GDP +	GINI -	TB -	HB +	R&D +	MOB +	ICP -
۲۰۰۹/۰۴/۰۶	۰/۹۶	۰/۴۲	۱	۱۲E+۲/۱	۳۵/۴۸	۱۰	۳/۵۹	۱/۲	۱۴۹/۵	۰/۷۵

 جدول (۱۰): محاسبه ϕ (استاندارد شده).

سال وقوع زلزله	HDI +	GE +	VA +	GDP +	GINI -	TB -	HB +	R&D +	MOB +	ICP -	ϕ
۲۰۰۹/۰۴/۰۶	۱۳E-۱/۹	۰	۱۳E-۲/۷	۱	۱۱E-۱/۶	۱۲E-۴/۳	۱۲E-۱	۱۳E-۳/۶	۱۱E-۶/۸	۱۳E-۱/۴	۱۱E-۱/۶
۲۰۰۹/۰۴/۰۶	۰/۹۶	۰/۴۲	۱	۲/۱E+۱۲	۳۵/۴۸	۱۰	۳/۵۹	۱/۲	۱۴۹/۵	۰/۷۵	

اختلال در هر زلزله را تعیین کرد. واضح است که هر اندازه شرایط برای اختلال فراهم باشد به همان اندازه مقابله با آن نیازمند تمهیداتی است که صرفاً مختص اقدامات بعد از رخداد نمی‌شود. اگر نسبت زمان بازسازی اختلال (t) در میزان تلفات و خسارات (Δ)، به میزان ضریب ناپایداری اجتماعی (ϕ) سنجیده شود می‌توان به نرخ نفوذ^{۱۲} اختلال دست پیدا کرد. مطابق رابطه (۱۴):

$$T = \ln\left(\frac{t \cdot \Delta}{\phi}\right) \quad (14)$$

Δ : تلفات و خسارات ناشی از زلزله

ϕ : میزان ناپایداری اجتماعی کشور در سال بر اساس شاخص‌های مؤثر

t : مدت زمان بازسازی زلزله

۳-۵- پایداری

تردیدی نیست که امکان شناخت وابسته به وجود تضاد است. مباحث علمی نیز از این قاعده مستثنا نمی‌باشند و به عبارت دیگر یکی از راه‌های شناخت یک مسئله درک عدم آن است. بدین ترتیب مسئله اختلال‌پذیری جامعه در برابر یک رخداد با همه ابعادش، با مسئله پایداری^{۱۳} در برابر اختلال با توجه به روابط بیان شده در قسمت‌های قبل، در رابطه (۱۵) نشان داده شده است.

$$S = \frac{I}{T} \quad (15)$$

لازم به ذکر است چون شاخص‌های مورد مطالعه از یک جنس نیستند، بنابراین با استفاده از روش استانداردسازی مربوط به تحلیل شبکه‌های عصبی مصنوعی یا تحلیل پوششی داده‌ها (رابطه ۱۳) که برابر با تفاضل داده با میانگین داده‌ها تقسیم بر انحراف معیار، یا معادل آن، تفاضل هر داده با مقدار مینیمم داده‌ها تقسیم بر تفاضل میان ماکزیمم و مینیمم داده‌ها می‌باشد به صورت نرمال تعیین و محاسبات صورت گرفته است (جدول ۱۰).

$$\frac{\chi - \bar{X}}{\sigma} \propto \frac{\chi - \min}{\max - \min} \quad (13)$$

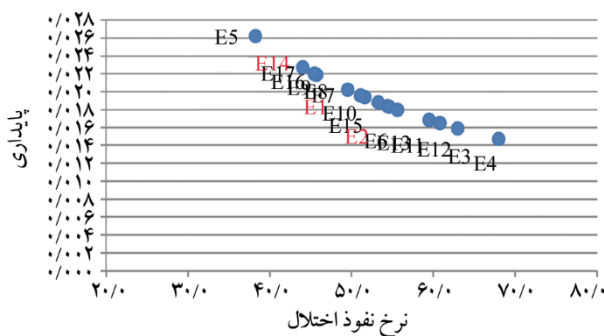
که در آن σ انحراف معیار، \bar{X} میانگین داده‌ها و x داده می‌باشد. به‌عنوان مثال زلزله لاکویلا در ایتالیا (۲۰۰۹) در شرایطی به وقوع پیوست که موقعیت ایتالیا در آن سال با توجه به جدول (۹) بیان شده است. همان‌طور که نشان داده شده است شاخص فقر بزرگ‌ترین متغیر منفی و شاخص اثربخشی دولت کمترین متغیر مثبت را در این منطقه به خود اختصاص داده است.

۳-۴- نرخ نفوذ اختلال

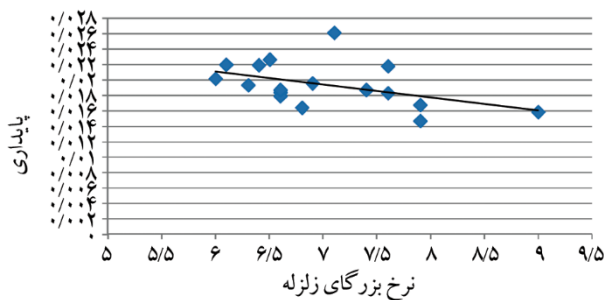
بازه‌های زمانی که بعد از رویداد زلزله برای ترمیم خرابی‌ها و رسیدن به موقعیت اولیه صرف می‌شوند به نام زمان بازسازی مشخص شده‌اند. با توجه به میزان ضریب ناپایداری اجتماعی (ϕ) مربوطه و نیز زمان بازسازی اختصاص یافته (Δ) همراه با میزان تلفات جانی، خسارات ساختمانی و اقتصادی هر یک از زلزله‌ها که با دلتا نشان داده شده است (t)، می‌توان آهنگ نفوذ

هر کدام از زلزله‌ها یک ناحیه (درجه) اختصاص پیدا کرده است. همچنین در شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب، منحنی پایداری زلزله‌ها و نیز ارتباط این مهم با بزرگای زلزله نشان داده شده است. ضمناً ارتباط شاخص پایداری با تمام ۲۲ پارامتر مورد مطالعه در شکل‌های (۴) الی (۲۵) نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که به منظور پرهیز از خطای حاصل از اختلاف فاحش شرایط آماری کشورها، از بین ۲۲ پارامتر، در هفت پارامتر، یک کشور الی حداکثر سه کشور حذف گردیده‌اند و مابقی نمودارها بر این اساس تهیه شده است که حداقل یک زلزله از هر کشور موجود باشد.



شکل (۳): مدل پایداری کشورهای جهان با نرخ نفوذ اختلال.



شکل (۴): نمودار میزان پایداری و میزان بزرگای زلزله‌ها.

همچنین ارتباط بین شاخص پایداری و شاخص تولیدات صنعتی و ظرفیت بازار در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است که ارتباط مستقیم بین آنها نمایان است.

شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب ارتباط شاخص پایداری با اشتراک تلفن همراه و درآمد عمومی دولت را نشان می‌دهد که ارتباط مستقیم را دارا می‌باشند.

در شکل (۲)، نقطه A موقعیتی است که میزان پایداری در برابر آن تقریباً از سهم یکسانی برخوردار است. هر چه نقطه A به نقطه A' نزدیک‌تر شود آن جامعه از پایداری مطلوبی برخوردار است و هر چه نقطه A به نقطه A'' نزدیک‌تر شود میزان پایداری روند کاهشی خواهد داشت و به نوعی سیستم مهار اختلال در آن کشور دارای اوضاع مناسبی نیست. این نواحی توسط تعیین میانگین و انحراف معیار مقادیر T (و بر حسب آن S) با استفاده از روش تعیین دامنه در توزیع نرمال عبارتند از:

$$|T_{\max} = T_{\text{mean}} + T_{SD}| \quad (16)$$

$$|T_{\min} = T_{\text{mean}} - T_{SD}| \quad (17)$$

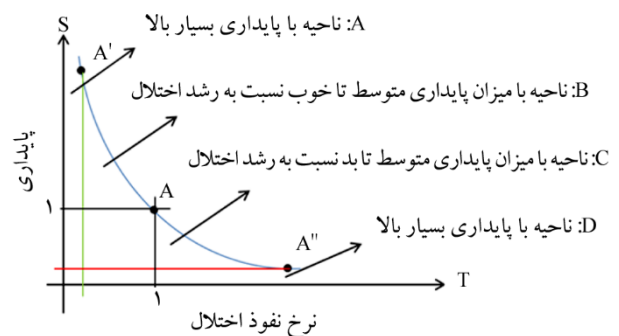
به این ترتیب:

$$\{0 < T < (T_{\min} = A')\} \quad \text{ناحیه A}$$

$$\{(T_{\min} = A') < T < (T_{\text{mean}} = A)\} \quad \text{ناحیه B}$$

$$\{(T_{\text{mean}} = A) < T < (T_{\max} = A'')\} \quad \text{ناحیه C}$$

$$\{(T_{\text{mean}} = A'') < T\} \quad \text{ناحیه D}$$

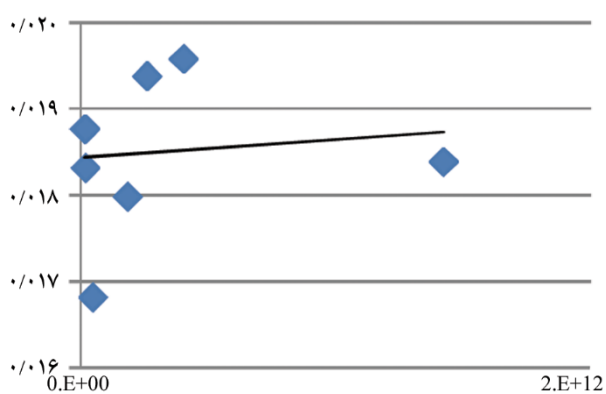


شکل (۲): نمودار مدل پایداری.

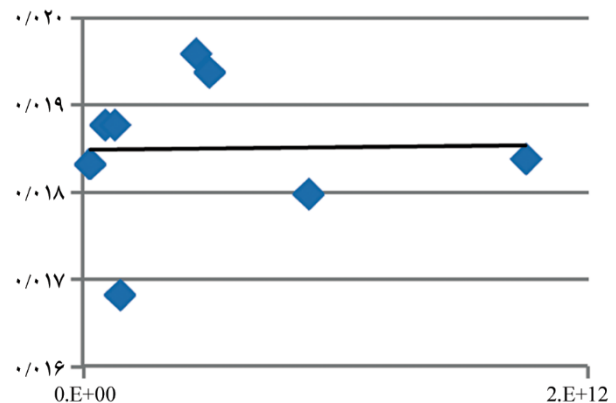
در جدول (۱۱) اطلاعات چند کشور جهان نشان داده شده است. این نتایج مبنی بر شاخص فساد مورد بررسی قرار گرفته است که به عنوان مؤثرترین شاخص از میان دیگر شاخص‌ها در سطح جهانی تعیین شده است. بر اساس رابطه معرفی شده به

جدول (۱۱): جدول شدت اختلال کشورهای جهان.

تاریخ	نام زلزله	کد زلزله	درجه پایداری	بزرگا	زمان بازسازی	خسارات اقتصادی (میلیون دلار)	خسارات ساختمانی	تلفات جانی (زخمی و کشته)
۲۰۰۹/۰۴/۰۶	لاکویلا- ایتالیا	E ₁	B	۶/۳	۸/۵	۲۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۲۹۵
۲۰۰۴/۱۰/۲۳	هنشو- ژاپن	E ₂	C	۶/۶	۵	۲۸۰۰۰	۶۰۰۰	۳۲۲۳
۲۰۰۷/۰۷/۱۶	هنشو- ژاپن	E ₃	D	۹	۵/۵	۳۰۹۰۰۰	۳۳۲۳۹۵	۲۰۸۶۶
۲۰۰۸/۰۵/۱۲	سیچوان- چین	E ₄	D	۷/۹	۳	۸۶۰۰۰	۲۶۳۶۰۰۰	۴۶۱۷۶۴
۲۰۰۴/۱۱/۲۶	پاپوآ- اندونزی	E ₅	A	۷/۱	۸	۵۵	۳۲۸	۱۶۲
۲۰۰۵/۱۰/۰۸	کشمیر- پاکستان	E ₆	C	۷/۶	۶	۵۲۰۰	۳۲۳۳۵	۱۵۵۰۰۰
۲۰۱۱/۰۹/۱۸	سیکیم- هند	E ₇	B	۶/۹	۳	۲۲۳۰۰	۱۴۲۱۷	۲۸۸
۱۹۹۹/۰۹/۰۷	آتن- یونان	E ₈	B	۶	۳	۳۰۰۰	۵۳۰۰۰	۱۷۴۳
۱۹۹۹/۱۱/۱۶	سوماترا- اندونزی	E ₉	B	۷/۶	۲	۱۰	۱۸۱۶۶۵	۲۳۳۱
۲۰۰۱/۰۱/۲۶	مارمارا- ترکیه	E ₁₀	C	۷/۴	۳	۵۰۰۰	۳۶۰۰۰	۶۷۰۰۰
۱۹۹۵/۰۱/۱۷	گجرات- هند	E ₁₁	D	۷/۹	۱۰	۵۰۰۰	۱۱۹۲۰۰۰	۱۸۰۰۰۰
۲۰۱۳/۰۴/۲۰	کوبه- ژاپن	E ₁₂	D	۶/۸	۱۰	۸۷۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۶۴۷۶
۲۰۰۲/۰۶/۲۲	لوچان- چین	E ₁₃	C	۶/۶	۳	۱۵۰۰	۱۱۹۵۰۰	۱۲۰۲۰
۲۰۰۳/۱۲/۲۶	آوج- ایران	E ₁₄	A	۶/۵	۶	۹۱	۵۰۰۰	۱۵۶۱
۲۰۰۵/۰۲/۲۲	بم- ایران	E ₁₅	C	۶/۶	۱۰	۱۳۰۰	۴۸۰۰۰	۶۱۰۰۰
۲۰۰۶/۰۳/۳۱	زرنند- ایران	E ₁₆	B	۶/۴	۷	۸۰	۸۰۰۰	۲۳۲۳
۲۰۰۴/۱۰/۲۳	سیلاخور- ایران	E ₁₇	B	۶/۱	۲	۱۹۰	۱۵۰۰۰	۱۵۱۶

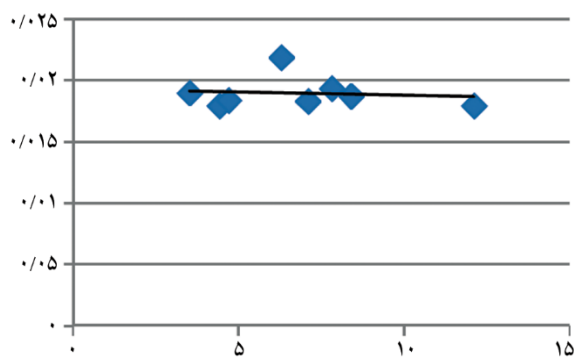


شکل (۶): ارتباط شاخص پایداری و متغیر ظرفیت بازار.

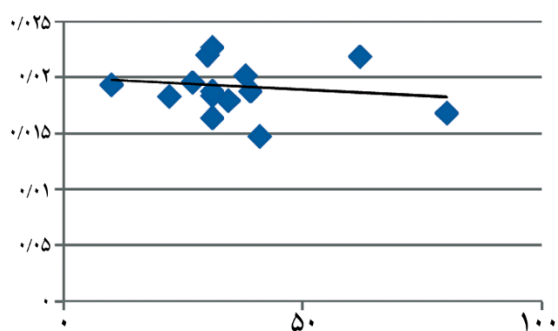


شکل (۵): ارتباط شاخص پایداری و متغیر تولیدات صنعتی.

شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نیز ارتباط شاخص پایداری با نرخ بیکاری و زمان شروع برای ساخت‌وساز که یک رابطه معکوس را دارا شده‌اند نشان می‌دهد.

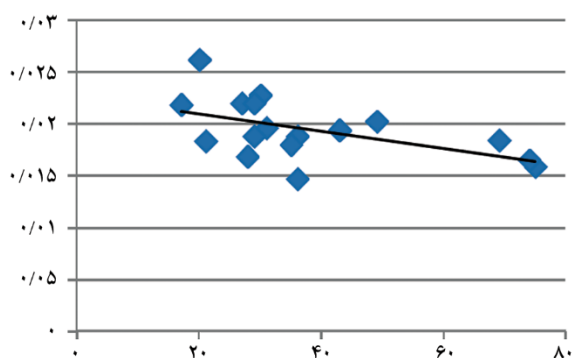


شکل (۱۱): ارتباط شاخص پایداری و متغیر نرخ بیکاری.

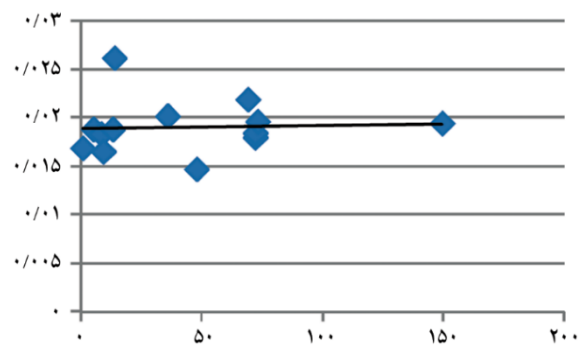


شکل (۱۲): ارتباط شاخص پایداری و متغیر زمان شروع ساخت.

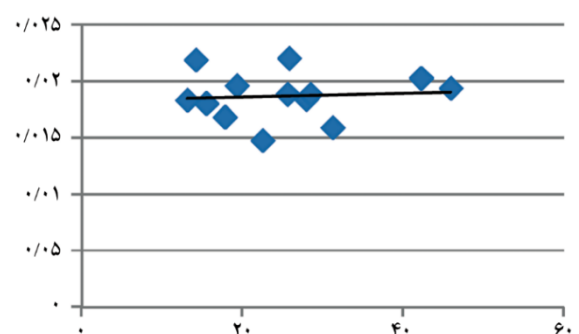
شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نیز ارتباط شاخص پایداری با شاخص فساد و اثربخشی دولت زمان را نشان می‌دهد. پایداری با شاخص فساد رابطه‌ای عکس و با اثربخشی دولت رابطه مستقیم را دارا شده است.



شکل (۱۳): ارتباط شاخص پایداری و متغیر فساد.

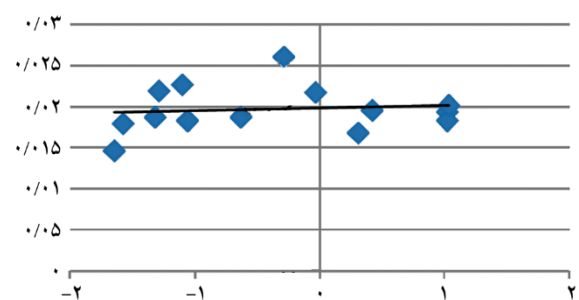


شکل (۷): ارتباط پایداری و فن آوری ارتباطات.

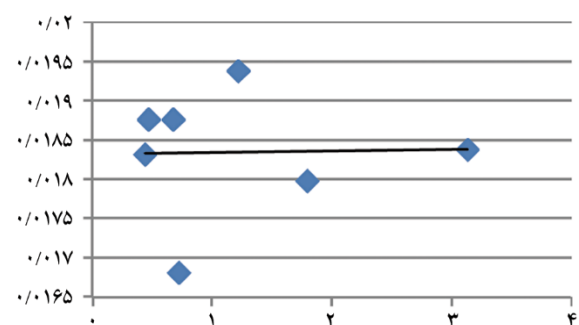


شکل (۸): ارتباط پایداری و درآمد عمومی دولت.

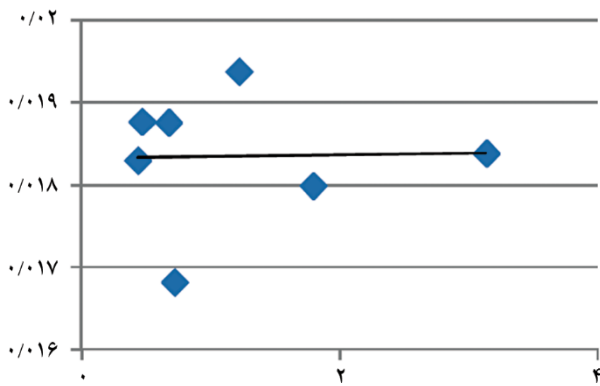
شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب ارتباط شاخص پایداری با شاخص پاسخ‌گویی و تحقیق و توسعه را نشان می‌دهد. ارتباط مستقیم بین آنها نیز نمایان است.



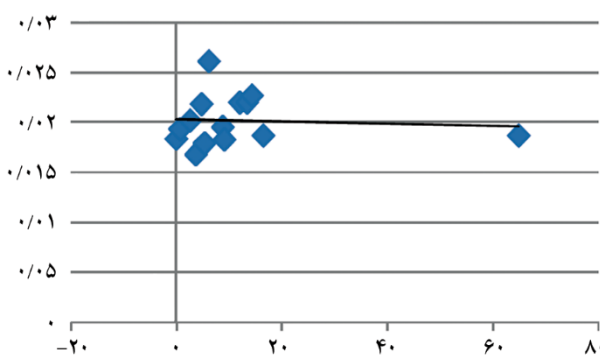
شکل (۹): ارتباط شاخص پایداری و متغیر پاسخگویی.



شکل (۱۰): ارتباط شاخص پایداری و متغیر تحقیق و توسعه.



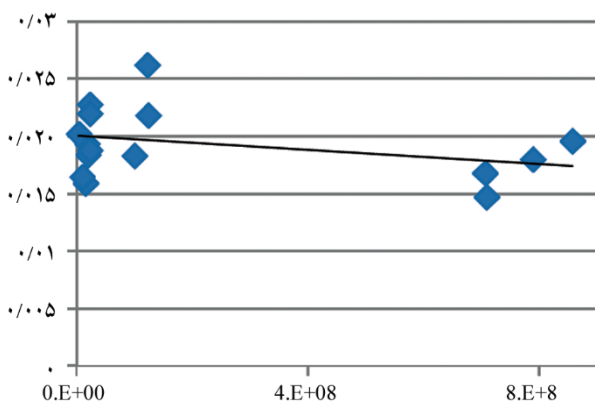
شکل (۱۷): ارتباط شاخص پایداری و متغیر توسعه یافتگی.



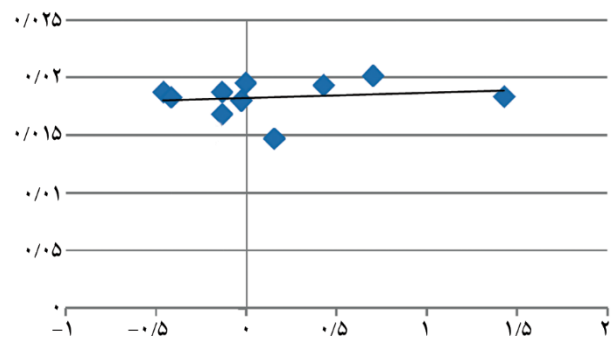
شکل (۱۸): ارتباط شاخص پایداری و میزان تورم.

شکل‌های (۱۹) و (۲۰) نیز ارتباط شاخص پایداری با جمعیت روستایی و شهری را نشان می‌دهد که رابطه‌ای معکوس را دارا می‌باشد.

شکل‌های (۲۱) و (۲۲) نیز ارتباط مستقیم شاخص پایداری با نسبت تعداد تخت‌های بیمارستانی و نسبت تراکم جاده را نشان می‌دهد.

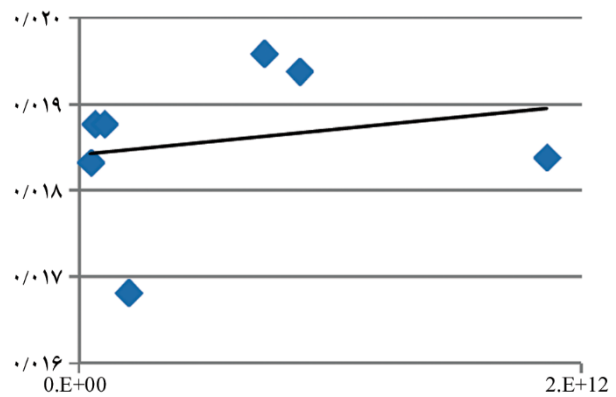


شکل (۱۹): ارتباط شاخص پایداری و جمعیت روستایی.

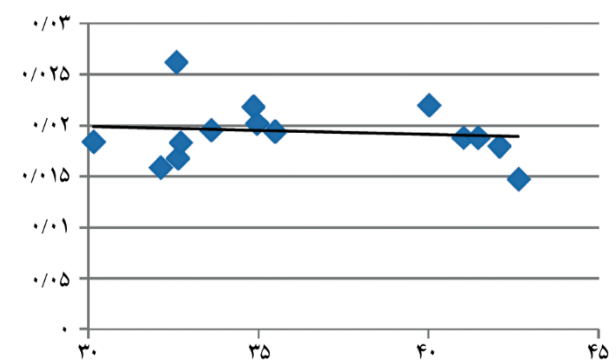


شکل (۱۴): ارتباط شاخص پایداری و متغیر اثربخشی دولت.

شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نیز ارتباط شاخص پایداری با نسبت تولید ناخالص داخلی که رابطه مستقیم و نیز ضریب فقر که رابطه‌ای معکوس را دارا می‌باشد نشان می‌دهد.

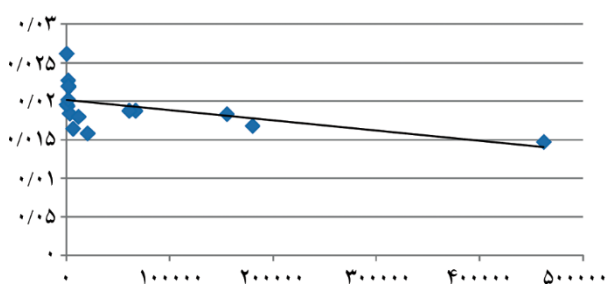


شکل (۱۵): ارتباط شاخص پایداری و تولید ناخالص داخلی.

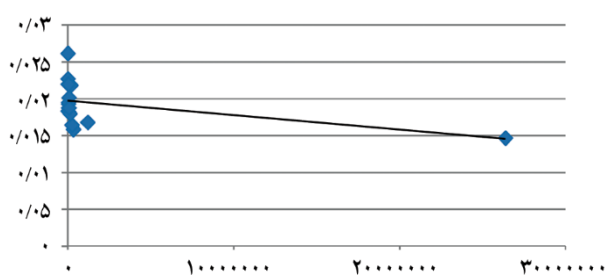


شکل (۱۶): ارتباط شاخص پایداری و ضریب فقر.

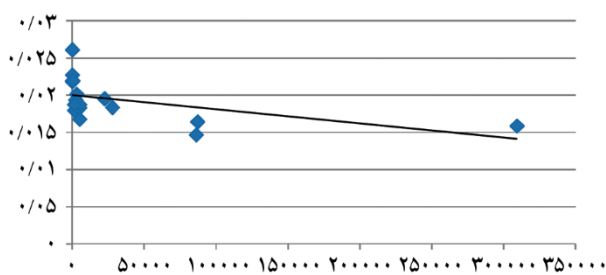
شکل‌های (۱۷) و (۱۸) نیز ارتباط شاخص پایداری با توسعه یافتگی که رابطه‌ای مستقیم و نیز میزان تورم که رابطه‌ای معکوس دارد را نشان می‌دهد.



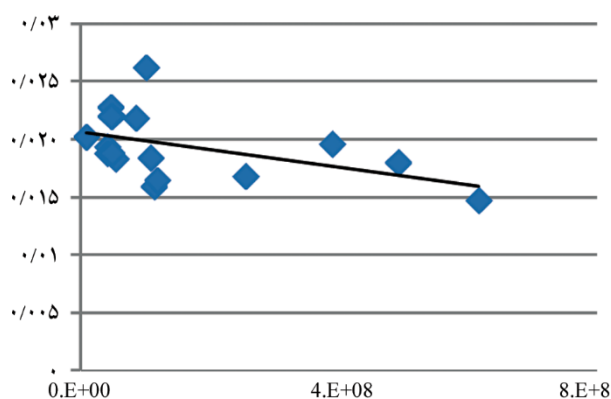
شکل (۲۳): ارتباط شاخص پایداری و میزان تلفات جانی.



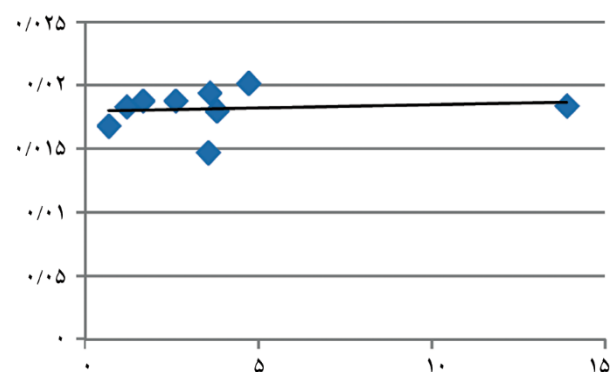
شکل (۲۴): ارتباط شاخص پایداری و خسارات ساختمانی.



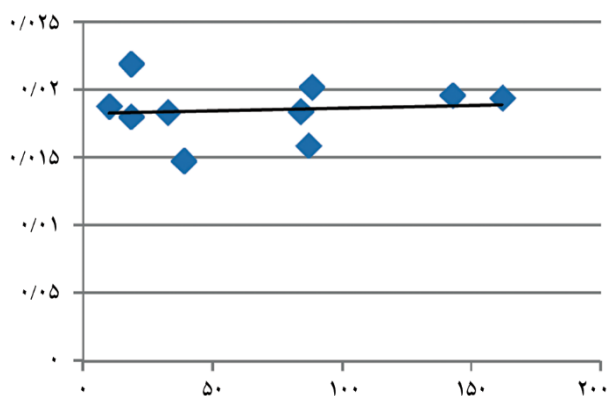
شکل (۲۵): ارتباط شاخص پایداری و خسارات اقتصادی.



شکل (۲۰): ارتباط شاخص پایداری و جمعیت شهری.



شکل (۲۱): ارتباط شاخص پایداری و تعداد تخت بیمارستانی.



شکل (۲۲): ارتباط شاخص پایداری و نسبت تراکم جاده.

۴- بحث

همان‌طور که ملاحظه شد، تلفات جانی بر حسب نفرات و نیز خسارات ساختمانی بر حسب واحد و نیز خسارات اقتصادی بر حسب دلار برای زلزله لاکویلا در کشور ایتالیا به ترتیب ۱۲۹۵، ۱۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ می‌باشد و در مقابل آن برای زلزله آوج در کشور ایران به ترتیب ۱۵۶۱، ۵۰۰۰ و ۹۱ حاصل شده است. هر دو زلزله تقریباً با بزرگای یکسان رخ داده‌اند اما با وجود اینکه تلفات جانی زلزله آوج در ایران بیشتر از زلزله لاکویلا در ایتالیا می‌باشد، به دلیل مدت زمان بازسازی کمتر در زلزله آوج ایران نسبت به زلزله لاکویلا در ایتالیا، شاخص پایداری بالاتری به زلزله آوج ایران اختصاص پیدا کرده است. اما فقط نمی‌توان

همچنین ارتباط هر کدام از پارامترهای تلفات جانی، خسارات ساختمانی و خسارات اقتصادی به ترتیب در شکل‌های (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) نشان داده شده است. ارتباط معکوسی بین شاخص پایداری با هر سه نوع از خسارات نمایان است. به عبارت دیگر افزایش خسارات حاکی از کاهش شاخص پایداری می‌باشد.

است که پایداری در هر رخداد با توجه به شرایط خود آن رخداد باید سنجیده شود. میزان تلفات و خسارات بدون توجه به موقعیت کشور قبل از رخداد، همچنین مورد نظر قرار دادن زمان بازسازی بدون توجه به شدت رخداد، معنی محصلی از میزان پایداری نخواهد داشت. به عبارت دیگر مجموع این پارامترها در یک تعریف جامع، پایداری را نمایان می‌سازد.

۶- قدردانی

در پایان از زحمات جناب مهندس علی جعفری فرد که ما را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

مراجع

1. Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Lee, G.C., O'Rourke, T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W.A., and Von Winterfeldt, D. (2003) A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, EERI, **19**(4), 733-752.
2. Cimilano, G.P., Reinhorn, A.M., and Bruneau, M. (2006) Quantification of seismic resilience. *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, **8**(1094), 1-10.
3. Hollnagel, E. and Fujita, Y. (2012) The Fukushima disaster – systemic failures as the lack of resilience. *Nuclear Engineering and Technology*, **45**(1), 13-20.
4. Lucini, B. (2014) Multicultural approaches to disaster and cultural resilience-How to consider them to improve disaster management and prevention: the Italian case of two earthquakes. *Procedia Economics and Finance*, **18**, 151-156.
5. Nirupama, N., Adhikari, I., and Sheybani, A. (2014) Natural hazards in Ontario, Canada: an analysis for resilience building. *Procedia Economics and Finance*, **18**, 55-61.
6. Danar, O. and Pushpalal, D. (2014) Building community resilience: Conceptual framework and its application in post tsunami resettlement. *Procedia Economics and Finance*, **18**, 489-496.
7. Attolico, A. (2014) Building resilience through

مدت زمان بازسازی کمتر را دلیلی بر پایدار بودن لحاظ کرد. در زلزله ایتالیا (E_1) و زلزله هانشو ژاپن (E_2)، با وجود اینکه مدت زمان بازسازی و تعداد خسارات ساختمانی زلزله هانشو ژاپن کمتر از زلزله ایتالیا می‌باشد، این زلزله ایتالیا است که به دلیل تلفات جانی کمتر و نیز میزان خسارات اقتصادی کمتر، از پایداری بالاتری برخوردار شده است. همچنین با توجه به شکل‌های (۴) تا (۲۵)، به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که میزان پایداری از نظر حساسیت سنجی نسبت به متغیرها متفاوت است. این میزان با پارامتر بزرگای زلزله بیشترین حساسیت را دارا بوده و به نوعی به شدت تحت تأثیر آن قرار دارد. سه پارامتر شاخص فساد، تلفات جانی و خسارات اقتصادی نیز حساسیت بسیار زیادی را با آن دارا می‌باشند. به همین ترتیب به‌طور نسبی حساسیت زیاد متوجه پارامترهای جمعیت، خسارات ساختمانی و تولید ناخالص داخلی شده است. مابقی پارامترها حساسیت کمتری را با میزان پایداری نشان داده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله شاخص پایداری جوامع و کشورها در زلزله‌ها با در نظر گرفتن انواع پارامترهای دخیل ارائه شد. هدف نگاهی وسیع‌تر به عوامل و نیز نقش آنها در شاخص پایداری می‌باشد. این متغیرها شامل فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی، توسعه یافتگی، مهندسی و مشخصات لرزه‌ای می‌باشد. وجود توأمان و تأثیر متقابل این شاخص‌ها نسبت به هم منجر به ارائه نظرات مختلفی در مورد پایداری شده است. این پژوهش از یک دید کلی‌تری به این مسئله نگاه کرده است. سازگاری موجود در این مسئله، پیوند عمیقی با تک‌تک متغیرها به همراه تأثیر متقابل آنها نسبت به هم دارد. نتایج نشان می‌دهند که پایداری تابع متغیرهای متعددی است که با بررسی صرفاً یک پارامتر نمی‌توان حکم به شناخت آن داد. در رابطه ارائه شده سعی بر این شده است که متغیرهایی که در پایداری به ایفای نقش می‌پردازند در نظر گرفته شوند. شاید وجود برخی نتایج متأثر از عدم صحت در مقدار برخی شاخص‌ها اتفاق افتاده باشد اما با این حال این موضوع روشن

Analysis of Variance	۶- آزمون تحلیل واریانس	territorial planning: the experience of Province of Potenza. <i>Procedia Economics and Finance</i> , 18 , 528-523.
Model Summary	۷- خلاصه مدل	
Prob Plan	۸- P-P نمودار	8. Saunders, W. and Becker, J. (2015) A discussion of resilience and sustainability: Land use planning recovery from the Canterbury earthquake sequence New Zealand. <i>International Journal of Disaster Risk Reduction</i> , 14 , 73-81.
Government Effectiveness (GE)	۹- اثربخشی دولت	9. D'Lima, M. and Medda, F. (2015) A new measure of resilience: An application to the London Underground. <i>Transportation Research</i> , 81 , 35-46.
Positive Variable (PV)	۱۰- متغیر مثبت	10. Sharifi, A. (2016) A critical review of selected tools for assessing community resilience. <i>Ecological Indicators</i> , 69 , 629-647.
Negative Variable (NV)	۱۱- متغیر منفی	11. Titaya, S. (2016) Analyze on effect and building regulation in northern Thailand's earthquake, May 2014 Chiangmai's residents risk perception and response to earthquake. <i>Procedia - Social and Behavioral Sciences</i> , 218 , 85-94.
Transudation	۱۲- نرخ نفوذ	12. Comes, T. (2016) Designing for networked community resilience. <i>Procedia Engineering</i> , 159 , 6-11.
Stability	۱۳- پایداری	13. Shaoa, Y., Sodab, O., and Xua, J. (2016) Capital Building for Urban Resilience: the Case of Reconstruction Planning of Kesennuma City, Miyagi Prefecture, Japan. <i>Procedia Environmental Sciences</i> , 36 , 122-129.
		14. Bastami, M. and Jafarifard, A. (2015) <i>Economic Losses Estimation of Lifeline Systems by Case Study of Iran Recent Earthquakes</i> . Technical Report, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

واژه‌نامه

Holling	۱- هولینگ
Perrings	۲- پرینگز
Flexibility	۳- انعطاف پذیری
Step-Wise	۴- گام به گام
Multiple Linear Regression	۵- رگرسیون خطی چندگانه

Providing a Model for Stability of Communities in Earthquake

Mostafa Shahriari^{1*} and Morteza Bastami²

1. M.Sc. Graduate of Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
2. Associate Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran,
* Corresponding Author, email: mbastami@iiees.ac.ir

Earthquake is one of the most destructive natural events that threatens human society and cause the loss of lives and assets. In the past decades, extensive efforts have been conducted to reduce the damages caused by the earthquake and various technical papers, guidelines and codes are published trying to achieve this goal. Observations indicate the formative influence of these efforts and reduction in losses. However, despite these progresses, the main problem is why there are significant differences in performance of communities in the face of the earthquakes. This issue is properly mentioned by Ambraseys (2010) that compares death toll caused by two different earthquakes with the same magnitude in New Zealand (3/9/2010) and Haiti (12/1/2010). Considering the Corruption Perceptions Index (CPI) and the number of deaths resulting from the earthquake (DRE) for shallow earthquakes occurred during the period 1980-2009 of $6.8 < M < 7.9$. Ambraseys concluded that “the hypothesis that there is an effect of corruption on the number of people killed by earthquakes is valid” (Ambraseys, 2010).

This point of view to the earthquake damages should be extended and the effect of various socio-economic indicators that can represent the attitude of the societies to earthquake should be examined on the amount of earthquake losses. Some of these socio-economic indicators are listed below:

- Corruption Perceptions Index (CIP)
- Gross Domestic Product (GDP)
- Urban to Rural Population Ratio
- Human Development Index (HDI)
- GINI Index
- Rate of Literacy
- Research and Development Expenditure
- Number of Hospital Beds per Capita
- Unemployment
- Inflation Consumer Prices
- Mobile Cellular Subscriptions
- Government Effectiveness
- Industrial Production
- Road Density
- Government Revenue
- Time required to start a business
- Voice and Accountability

The main step to gain the above-mentioned purpose is to define a new model in the society level, which makes it possible to compare the performance of various communities. The proposed comparative model makes it possible to investigate the effect of various socio-economic indicators on the stability of community and the amount of losses due

to the earthquake in an appropriate manner.

In order for the proposed model to become comparative, various modification factors are defined based on the intensity measure of the earthquake, population affected by the earthquake and the time of occurrence of the earthquake throughout the day. Finally, the proposed model is implemented on the earthquakes worldwide during 1995 to 2013.

Keywords: Stability, Community, Earthquake, Socio-Economic Indicators.