Archive of SID

فصلنامه علمی پژوهشی علوم و مهندسی زلزله
سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۲

ارائه مدل پایداری جوامع در زلزله

مصطفی شهریاری
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

مرتضی بسطامی (نویسنده مسئول)
دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، mbastami@iiees.ac.ir

چکیده
عملکرد جوامع در چگونگی بازگشت به شرایط تعادل مهم‌ترین بخش در وقوع یک رخداد است که یکی از شرایط اساسی جوامع پایدار می‌باشد. در این مقاله شاخص پایداری جوامع و کشورها در زلزله‌ها با در نظرگرفتن انواع پارامترهای دخیل ارائه خواهد شد. هدف نگاهی وسیع‌تر به عوامل و نیز نقش آنها در میزان مدل پایداری می‌باشد. این عوامل شامل فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی، توسعه‌یافتگی، مهندسی و مشخصات لرزه‌ای می‌باشد. با کمک روش رگرسیون‌گیری خطی چندگانه، ابتدا تأثیرگذاری هر یک از متغیرها بررسی شده که این موضوع بر اساس آزمون‌های آماری برای ارزیابی معنی‌داری 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 مدت‌زمان بازسازی ارائه داده است.

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

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به عملکرد کشورها و جوامع در سوانح طبیعی نظیر زلزله، میزان تأثیرات این سوانح در این جوامع است. میزان این تأثیرات را می‌توان با نرخ نفوذ آنها در ابعاد مختلف جامعه که به‌نوعی غالب جوانب آن را شامل می‌شود، ارزیابی کرد. اهمیت این مسئله هنگامی نمایان می‌شود که خسارات ناشی از یک زلزله با شدت یکسان اما در مناطق مختلف مد نظر قرار گیرد. به‌عبارت‌دیگر اگر تبعات زلزله‌ای با شدت یکسان در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد با پاسخ‌های 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 بزرگا، محتوای فرکانسی، شتاب بیشینه‌ی زمین، ساختگاه و همچنین متغیرهایی که بر رفتار سازه‌ها تأثیر می‌گذارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ اما این پارامترها به‌تنهایی نمی‌توانند پیامدهای یک زلزله را ارائه نمایند. تلفات و خسارات ناشی از زلزله نه‌تنها بر اهمیت آن تأثیرگذار است، بلکه تا حدی پارامترهای مربوط به بزرگی آن را به‌نوعی تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. زلزله خسارت‌های متنوعی می‌تواند به دنبال داشته باشد که می‌توان آنها را در سه گروه خلاصه کرد: انسانی، اجتماعی و اقتصادی. در این راستا مفاهیمی همچون تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری و پایداری ارائه شده‌اند. در این مقاله از مفهوم پایداری برای ارزیابی جوامع در برخورد با سوانح استفاده می‌شود.

۱-۲ پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۷۳ هولینگ[1] و دیگر دانشمندان محیط‌زیست، همچنین پرینگز[2] در سال ۲۰۰۱ و دیگر اقتصاددانان زیست‌محیطی مفهوم گسترده‌تری از پایداری به‌عنوان ظرفیت

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌ترتیب 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 به‌طورکلی 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 به‌تدریج 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 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 پوشپالال [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 سیاست ارضی 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 دلیما 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 به‌آرامی 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

www.SID.ir

Arc SID

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 نه‌تنها در مقابل اختلال عکس‌العمل بهتری نشان می‌دهند بلکه سرعت پیشرفت آنان بعد از رخداد افزایش قابل‌توجهی 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 هرکدام از این عوامل به همراه عوامل دیگر یکجا دیده شود و مجموعه آن مورد بررسی قرار گیرد و به‌تبع 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 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 به‌ترتیب ملاحظات 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 به‌کار گرفته شده است رگرسیون خطی چندگانه[۵] (MLR) می‌باشد. MLR فرض می‌کند که رابطه‌ای خطی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته وجود دارد و به‌صورت رابطه (۱) نمایش داده می‌شود.

$$\gamma=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+...+\beta_KX_K+\varepsilon \qquad (۱)$$

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 به‌کارگیری آن بر سه اصل از میزان مجموع مربعات استوار است.

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر سه‌گانه 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.

$$ss_T = \sum(y_i - \bar{y})^2 \qquad (۲)$$

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.

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

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

$$ss_E = \sum(y_i - \hat{y})^2 \qquad (۴)$$

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

$$ss_T = ss_R + ss_E \qquad (۵)$$

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].

$$R^2 = 1 - \frac{ss_E}{ss_T} = \frac{ss_R}{ss_T} \qquad (۶)$$

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 هنگامی‌که بزرگ‌تر از حد معنی‌داری ۹۵ درصد باشد، معنی‌داری کل معادله رگرسیون ثابت می‌شود.

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

که در آن n داده‌های متغیر وابسته و k تعداد متغیرهای مستقل مدل است. مقدار F هر مدل با مقدار بحرانی آن در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مقایسه می‌شود و درصورتی‌که $F > F_{crit}$ مدل در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار خواهد بود.

۲-۲- مدل رگرسیونی

در ابتدا متغیرهایی که نقش اکثر آنها در این زمینه شناخته شده است (مرور مطالعات قبلی) انتخاب و هرکدام در یک نگاه به‌عنوان متغیر وابسته یا پاسخ y_i و مابقی متغیرهای اثرگذار در آن به‌عنوان متغیرهای پیشگو یا مستقل ($x_1, x_2, x_3, ..., x_n$) در نظر گرفته شد. سپس با روش رگرسیونی چند متغیره، مورد تحلیل همبستگی قرار گرفت. ازآنجایی‌که نسبت بین متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته به‌منظور دستیابی به یک تحلیل صحیح آماری حائز اهمیت می‌باشد، به‌منظور 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).

$$y_i = f(x_1, x_2, x_3, ... x_n) \qquad (۸)$$

y_i: متغیر وابسته

x_i: متغیر مستقل

n: تعداد متغیرهایی که به‌عنوان 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. به‌عنوان‌مثال این مقدار برای متغیر اثربخشی دولت برابر ۰/۸۹۱ می‌باشد. به‌منظور دقت میزان پیش‌بینی از مجذور ضریب همبستگی چندگانه (R^2) استفاده خواهد شد که میزان تبیین واریانس و تغییرات متغیر وابسته توسط مجموعه

www.SID.ir

Arc SID

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 ۰/۷۹۳۲۳۷ یا به‌عبارت‌دیگر 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 به‌عنوان یک تحلیل معنی‌دار شناخته شده است. به دلیل آنکه این آزمون به روش گام‌به‌گام می‌باشد و پارامترها به‌ترتیب وارد تحلیل می‌شوند، معنی‌داری در همه تحلیل‌ها باید کنترل گردد و به‌عبارت‌دیگر باید بیان داشت که همه تحلیل‌ها برای معادله رگرسیون خطی چندگانه (که در اینجا به‌صورت معادله با یک متغیر وابسته و ۲۱ متغیر مستقل می‌باشد) معنی‌دار نخواهد بود. بدیهی است این آزمون به‌منظور 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 ۱/۵ الی ۲/۵ می‌باشد تعیین شده است که مدل عدد ۱/۹۹۵ 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 آماری 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 (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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): جدول خلاصه مدل.

مدل	تحلیل تعیین‌کننده	متغیر وابسته	ضریب همبستگی چندگانه R	مجذور 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 تعیین‌کننده		مجموع مربعات	درجات آزادی مدل dF	فیشر F	معنی‌داری Sig
۱	۱۳	رگرسیون	۴۹۹۸۸/۰۵۶	۱۳	۲۹۵۰۷/۰۵۹	۰/۰۰۰
		باقیمانده	۱۳۰۲۹/۷۵۳	۹۹۹۸۶	–	–
		کل	۶۳۰۱۷/۸۰۸	۹۹۹۹۹	–	–

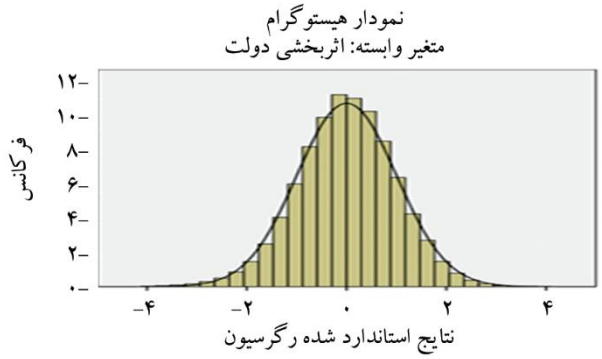
dF : تعداد اطلاعاتی که می‌توانند مستقل از یکدیگر تغییر کنند.

www.SID.ir

Arc SID

با توجه به جدول تحلیل واریانس (۳) و رابطه (۷) به‌ترتیب، F_{crit}=۲۹۵۰۷/۰۵۹ و F=۲۹۵۰۷/۰۶۴ می‌باشد، بنابراین $F>F_{crit}$ است، پس مدل در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار و مقدار F در سطح خطای کوچک‌تر از ۵ درصد قرار دارد. ازآنجایی‌که در تحلیل رگرسیون، مقیاس متغیرهای مستقل از واحدهای متفاوتی تشکیل یافته، بنابراین به‌راحتی نمی‌توان 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 می‌کند تا سهم نسبی هر متغیر مستقل در تبیین تغییرات متغیر وابسته را تعیین نماییم. به‌عبارت‌دیگر امکان مقایسه اثرات نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در مقیاس‌های مختلف فراهم خواهد شد. هر چه مقدار ضریب β یک متغیر بزرگ‌تر باشد، نقش آن در پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته بیشتر است. در جدول (۴) این ضریب با عدد ۰/۶۲۶ شروع شده است. ستون آخر این جدول نیز اهمیت معنی‌داری رابطه بین متغیر مستقل و وابسته را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید رابطه در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است.

اختلاف بین مشاهده و مقادیر پیش‌بینی شده مدل را باقیمانده می‌نامند. باقیمانده یک محصول، مقدار مشاهده شده عبارت خطا برای آن محصول است. برای بررسی فرض نرمال بودن عبارت خطا از نمودار P-P [۸] که به نمودار هیستوگرام معروف است استفاده می‌شود. 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.

جدول (۴): جدول ضرایب بتا (β).

معنی‌داری Sig	t	ضرایب استاندارد شده (بتا)	ضرایب استاندارد نشده		تحلیل تعیین کننده		مدل
		Beta	خطای استاندارد	B			
۰/۰۰۰	-۱۷۲/۰۳۲	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	-۱/۹۸۹	ثابت	۱۳	۱
۰/۰۰۰	۱۶۸/۹۲۱	۰/۶۲۶	۰/۰۰۰۱۵۸۵۰۵	۰/۰۲۶۷۷۴۸۴۱	ICP		
۰/۰۰۰	-۸۰/۹۸۷	-۰/۱۵۸	۰/۰۰۰۰۲۱۲۲۳۴	۰/۰۱۷۱۸۶۳۳۵	ICP		
۰/۰۰۰	-۱۱۴/۷۵۳	-۰/۲۳۴	۰/۰۰۰۱۹۱۸۲۵	۰/۰۲۲۰۱۲۵۱۹	HB		
۰/۰۰۰	۹۹/۳۷۲	۰/۲۴۱	۰/۰۰۱۵۱۹۸۳۶	۰/۱۵۱۰۲۹۳۹	R&D		
۰/۰۰۰	-۵۳/۰۱۴	-۰/۱۰۱	۱/۵۱۲۹۴ E -۱۶	-۸/۰۲۰۷۷ E -۱۵	GDP		
۰/۰۰۰	۲۸/۸۹۰	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰۲۱۲۸۷۳	۰/۰۰۶۱۴۹۹۷۷	GGR		
۰/۰۰۰	۶۱/۷۴۱	۰/۱۱۲	۳/۷۶۵۴۱ E -۵	۰/۰۰۲۳۲۴۸۰۱	TB		
۰/۰۰۰	۴۱/۶۷۱	۰/۰۸۰	۴/۳۹۳۷ E -۵	۰/۰۰۱۸۳۰۹۰۹	MOB		
۰/۰۰۰	۴۷/۸۸۶	۰/۱۰۲	۹/۴۱۰۹۴ E -۵	۰/۰۰۴۵۰۶۵۴۵	GINI		
۰/۰۰۰	۴۰/۶۹۸	۰/۱۲۸	۰/۰۲۱۰۰۱۸۴۶	۰/۸۵۴۷۲۵۱۵۶	HDI		
۰/۰۰۰	۳۶/۰۵۶	۰/۰۶۹	۲/۳۲۹۰۳ E -۵	۰/۰۰۰۸۳۹۷۴۸	ROD		
۰/۰۰۰	-۳۱/۶۸۲	-۰/۰۶۹	۰/۰۰۱۴۰۵۷۶۴	۰/۰۴۴۵۳۷۶۴۵	VA		
۰/۰۰۰	-۲۷/۶۸۷	-۰/۰۵۶	۴/۳۲۱۶۷ E -۱۶	-۱/۱۹۷ E -۱۴	IP		

www.SID.ir

Archive of SID

در جدول (۵) به‌ترتیب، 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- 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.

۳-۱- شدت اثر متغیر

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

$$\alpha_j^i = |\beta_i| * R_j^2 \qquad (۹)$$

که در آن i متغیر مستقل، j متغیر وابسته، β اثرگذاری 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 به‌خصوص (اعم از تأثیر مثبت یا منفی) را در حالت کلی با توجه به تأثیرگذاری بر روی همه متغیرهای موجود نشان داد. این پارامتر در رابطه (۱۰) نشان داده شده است:

$$Q^i = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j^i \qquad (۱۰)$$

که j متغیر مستقل، i متغیر وابسته و n تعداد متغیرهای وابسته می‌باشد.

طبق این رابطه سهم اثرگذاری 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. به‌بیان‌دیگر می‌توان مهم‌ترین شاخصی که بخش‌های گوناگون را متأثر از خود قرار داده است متناسب با رابطه (۱۱) دانست:

$$I \propto MAX\{Q_i\} \qquad (۱۱)$$

به این ترتیب از بین ۲۲ متغیر و ۱۷ زلزله مورد بررسی، متغیری که به‌نوعی تمام متغیرهای موجود را تحت‌الشعاع قرار داده است، شاخص شفافیت یا به‌عبارت‌دیگر شاخص فساد (CPI) می‌باشد. البته این نتیجه‌گیری بر اساس داده‌های این مطالعه است و برای

www.SID.ir

Arc SID

داده‌های متفاوت، این نتیجه‌گیری می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان‌مثال، 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. به‌عنوان‌مثال 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

ازآنجایی‌که 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 به‌صورت یک معادله خطی نوشته شود، به آن معادله رگرسیونی خطی و در غیر 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:

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

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

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

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

$$Q^{GE} = (;_{CPI}^{GE} + ;_{RUR}^{GE} + ;_{GDP}^{GE} + ;_{GINI}^{GE} + ;_{LL}^{GE} + ;_{UNE}^{GE} + ;_{HD}^{GE} + ;_{ICP}^{GE} + ;_{MOB}^{GE} + ;_{D}^{GE})$$

$$Q^{GE} = 3.0835$$

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

جدول (۶): خلاصه مدل.

تحلیل تعیین‌کننده	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								
GE	CPI	۰/۴۲۵۳	HB	-	GGR	-	ROD	-
	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

www.SID.ir

Archive of SID

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

۳-۳- ضریب ناپایداری اجتماعی (φ)

هر جامعه‌ای با وجود داشتن یک سری از شرایط به‌خصوص حاکم بر آن، می‌تواند متحمل پیامدهای حاصل از زلزله شود. وضعیت پایداری هر جامعه در یک زلزله، بدون شک تحت‌الشعاع متغیرهایی است که بیشترین سهم اثربخشی را به خود اختصاص داده‌اند. پایداری جوامع تحت این متغیرهای مؤثر قابل بررسی است. اثرگذارترین پارامتر در مسئله پایداری که نقش مؤثرتری نسبت به دیگر متغیرها دارد، y^i می‌نامیم که خود تابعی از متغیرهای مستقل است. ضریب ناپایداری اجتماعی (φ) یک مقدار مثبت است که به‌عنوان میزان ناپایداری جامعه تعریف می‌شود که از بین متغیرهای مستقل بر اساس مؤثرترین پارامتر، محاسبه خواهد شد. این متغیرها شامل شاخص تولید (GDP) و شاخص فقر (GINI) می‌باشد.

به دلیل آنکه هرکدام از این شاخص‌ها بیانگر جنبه‌های مختلف وضعیت فعلی حاکم بر جامعه اعم از شرایط اقتصادی و اجتماعی (قبل و بعد از زلزله) هستند، لذا پایداری جامعه نیز تابع این شاخص‌ها می‌باشد. به‌عنوان‌مثال جدول (۸) این شاخص‌ها را برای کشور ایتالیا در طول چند سال نشان می‌دهد. تأثیر این شاخص‌ها بر روی پایداری جوامع یکسان نیست. به‌عنوان‌مثال شاخص تولید (GDP)، هر اندازه در یک کشور بیشتر باشد مطلوب‌تر و شاخص فقر (GINI)، هر اندازه در یک کشور پایین‌تر باشد آن کشور از موقعیت بهتری برخوردار است. متغیری که با افزایش آن میزان ناپایداری کمتر شود را متغیر مثبت[10] (PV) و متغیری که با افزایش آن میزان ناپایداری بیشتر می‌شود را متغیر منفی[11] (NV) می‌نامیم.

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 می‌دانیم حداقل یک مقدار مثبت وجود دارد که نماینده بیشترین ناهنجاری است. طبق رابطه (۱۲):

$$\varphi = \left| y^{i(PV)} - y^{i(NV)} \right| \qquad (۱۲)$$

به کمک رگرسیون چند متغیره مشخص می‌شود پارامتری که تمام متغیرهای دیگر را تحت‌الشعاع قرار داده است خود تابع چه پارامترهایی بوده و چگونه منشأ اثر واقع شده است. همان‌طور که در قسمت‌های قبل بیان شد، بیشترین سهم اثربخشی مربوط به شاخص شفافیت (CPI) می‌باشد که خود در مرحله اول بیشتر تابع شاخص توسعه‌یافتگی 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).

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

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

www.SID.ir

جدول (۹): بررسی ناپایداری اجتماعی برای زلزله لاکوییلا 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 (استانداردشده).

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	

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 به‌صورت نرمال تعیین و محاسبات صورت گرفته است (جدول ۱۰).

$$\frac{\chi - \bar{X}}{\sigma} \propto \frac{\chi - min}{max - min} \qquad (۱۳)$$

که در آن σ انحراف معیار، $\bar{X}$ میانگین داده‌ها و x داده می‌باشد.

به‌عنوان‌مثال زلزله لاکوییلا 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 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):

$$T = Ln\left(\frac{t.\Delta}{\varphi}\right) \qquad (۱۴)$$

Δ: تلفات و خسارات ناشی از زلزله

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

t: مدت‌زمان بازسازی زلزله

۳-۵- پایداری

تردیدی نیست که امکان شناخت وابسته به وجود تضاد است. مباحث علمی نیز از این قاعده مستثنا نمی‌باشند و به‌عبارت‌دیگر یکی از راه‌های شناخت یک مسئله درک عدم آن است. بدین‌ترتیب 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.

$$S = \frac{1}{T} \qquad (۱۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌نوعی 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:

$$\left|T_{\max} = T_{mean} + T_{SD}\right| \quad (۱۶)$$

$$\left|T_{\min} = T_{mean} - T_{SD}\right| \quad (۱۷)$$

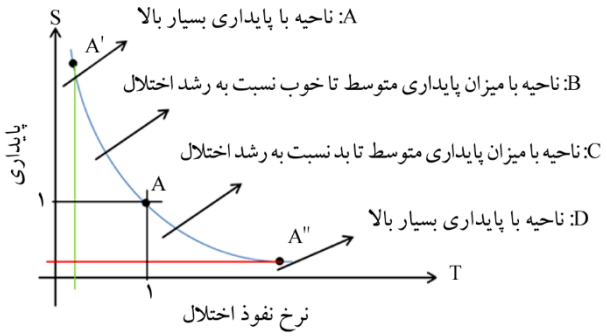
به این ترتیب:

ناحیه A $\{0 < T < (T_{min} = A')\}$

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

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

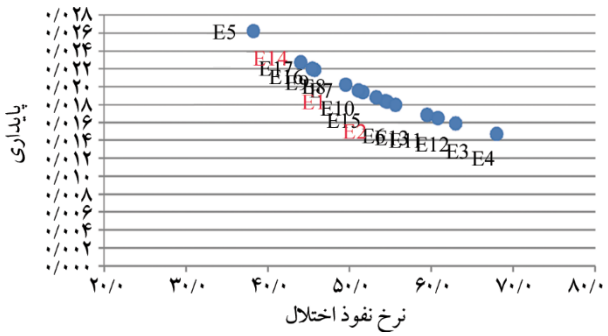
ناحیه D $\{(T_{mean} = A'') < T\}$



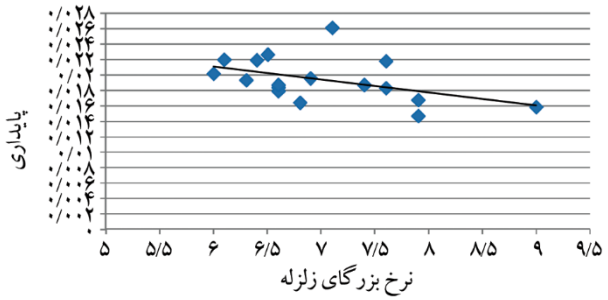
شکل (۲): نمودار مدل پایداری.

در جدول (۱۱) اطلاعات چند کشور جهان نشان داده شده است. این نتایج مبنی بر شاخص فساد مورد بررسی قرار گرفته است که به‌عنوان مؤثرترین شاخص از میان دیگر شاخص‌ها در سطح جهانی تعیین شده است. بر اساس رابطه معرفی شده به هرکدام از زلزله‌ها یک ناحیه (درجه) اختصاص پیدا کرده است. همچنین در شکل‌های (۳) و (۴) به‌ترتیب، 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 به‌منظور 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.

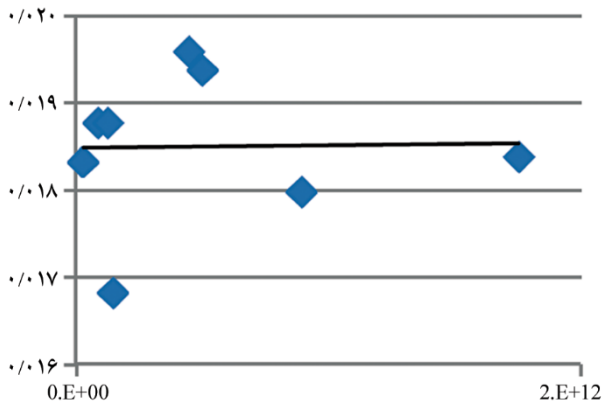
شکل‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب ارتباط شاخص پایداری با اشتراک تلفن همراه و درآمد عمومی دولت را نشان می‌دهد که ارتباط مستقیم را دارا می‌باشند.

www.SID.ir

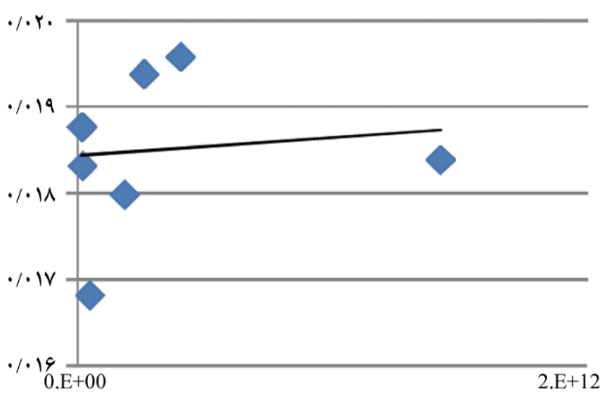
Arc SID

جدول (۱۱): جدول شدت اختلال کشورهای جهان.

تلفات جانی (زخمی و کشته)	خسارات ساختمانی	خسارات اقتصادی (میلیون دلار)	زمان بازسازی	بزرگا	درجه پایداری	کد زلزله	نام زلزله	تاریخ
۱۲۹۵	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰	۸/۵	۶/۳	B	E_1	لاکوییلا- ایتالیا	۲۰۰۹/۰۴/۰۶
۳۲۲۳	۶۰۰۰	۲۸۰۰۰	۵	۶/۶	C	E_2	هنشو- ژاپن	۲۰۰۴/۱۰/۲۳
۲۰۸۶۶	۳۳۲۳۹۵	۳۰۹۰۰۰	۵/۵	۹	D	E_3	هنشو- ژاپن	۲۰۰۷/۰۷/۱۶
۴۶۱۷۶۴	۲۶۳۶۰۰۰۰	۸۶۰۰۰	۳	۷/۹	D	E_4	سیچوان- چین	۲۰۰۸/۰۵/۱۲
۱۶۲	۳۲۸	۵۵	۸	۷/۱	A	E_5	پاپوآ- اندونزی	۲۰۰۴/۱۱/۲۶
۱۵۵۰۰۰	۳۲۳۳۵	۵۲۰۰	۶	۷/۶	C	E_6	کشمیر- پاکستان	۲۰۰۵/۱۰/۰۸
۲۸۸	۱۴۲۱۷	۲۲۳۰۰	۳	۶/۹	B	E_7	سیکیم- هند	۲۰۱۱/۰۹/۱۸
۱۷۴۳	۵۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳	۶	B	E_8	آتن- یونان	۱۹۹۹/۰۹/۰۷
۲۳۳۱	۱۸۱۶۶۵	۱۰	۲	۷/۶	B	E_9	سوماترا- اندونزی	۱۹۹۹/۱۱/۱۶
۶۷۰۰۰	۳۶۰۰۰	۵۰۰۰	۳	۷/۴	C	E_{10}	مارمارا- ترکیه	۲۰۰۱/۰۱/۲۶
۱۸۰۰۰۰	۱۱۹۲۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰	۷/۹	D	E_{11}	گجرات- هند	۱۹۹۵/۰۱/۱۷
۶۴۷۶	۲۵۰۰۰۰	۸۷۰۰۰	۱۰	۶/۸	D	E_{12}	کوبه- ژاپن	۲۰۱۳/۰۴/۲۰
۱۲۰۲۰	۱۱۹۵۰۰	۱۵۰۰	۳	۶/۶	C	E_{13}	لوچان- چین	۲۰۰۲/۰۶/۲۲
۱۵۶۱	۵۰۰۰	۹۱	۶	۶/۵	A	E_{14}	آوج- ایران	۲۰۰۳/۱۲/۲۶
۶۱۰۰۰	۴۸۰۰۰	۱۳۰۰	۱۰	۶/۶	C	E_{15}	بم- ایران	۲۰۰۵/۰۲/۲۲
۲۳۲۳	۸۰۰۰	۸۰	۷	۶/۴	B	E_{16}	زرند- ایران	۲۰۰۶/۰۳/۳۱
۱۵۱۶	۱۵۰۰۰	۱۹۰	۲	۶/۱	B	E_{17}	سیلاخور- ایران	۲۰۰۴/۱۰/۲۳



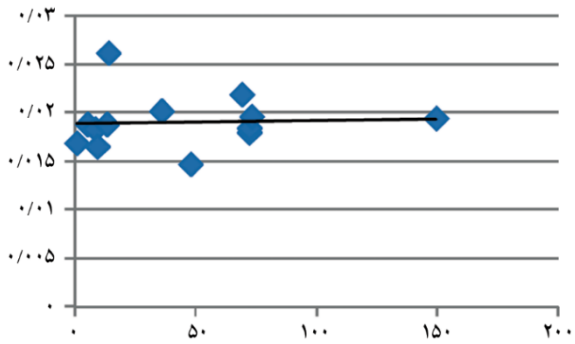
شکل (۵): ارتباط شاخص پایداری و متغیر تولیدات صنعتی.



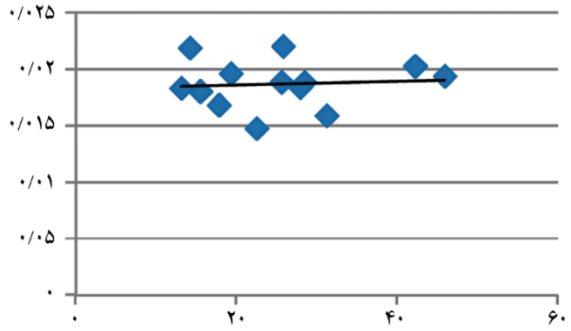
شکل (۶): ارتباط شاخص پایداری و متغیر ظرفیت بازار.

www.SID.ir

Archive of SID

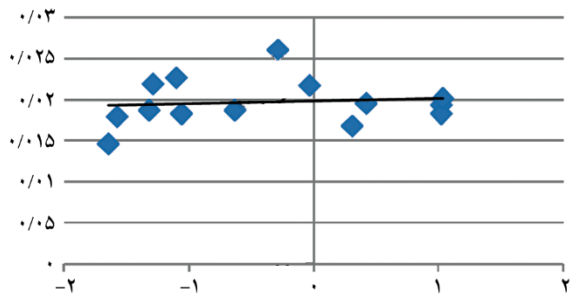


شکل (۷): ارتباط پایداری و فن‌آوری ارتباطات.

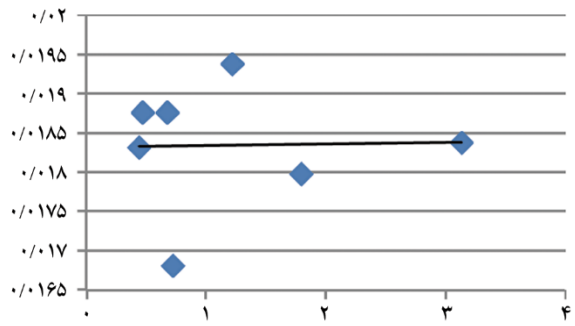


شکل (۸): ارتباط پایداری و درآمد عمومی دولت.

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

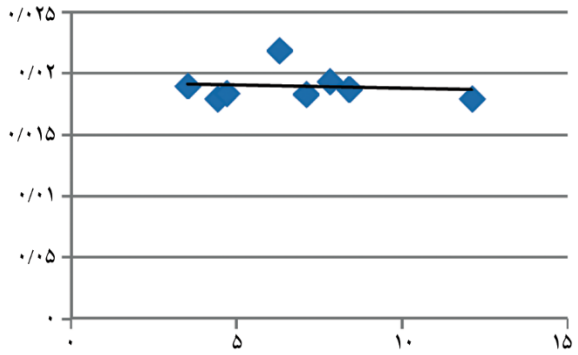


شکل (۹): ارتباط شاخص پایداری و متغیر پاسخگویی.

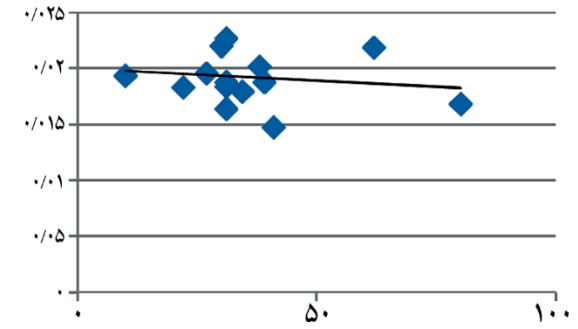


شکل (۱۰): ارتباط شاخص پایداری و متغیر تحقیق و توسعه.

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.

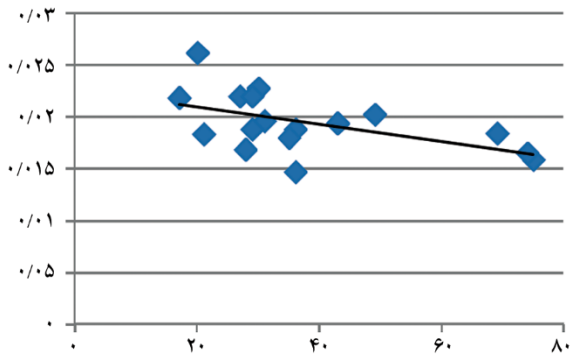


شکل (۱۱): ارتباط شاخص پایداری و متغیر نرخ بیکاری.



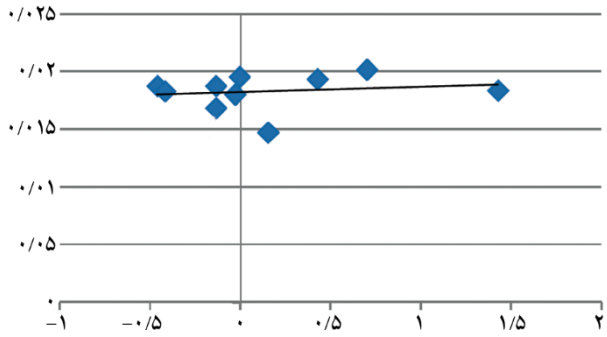
شکل (۱۲): ارتباط شاخص پایداری و متغیر زمان شروع ساخت.

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.



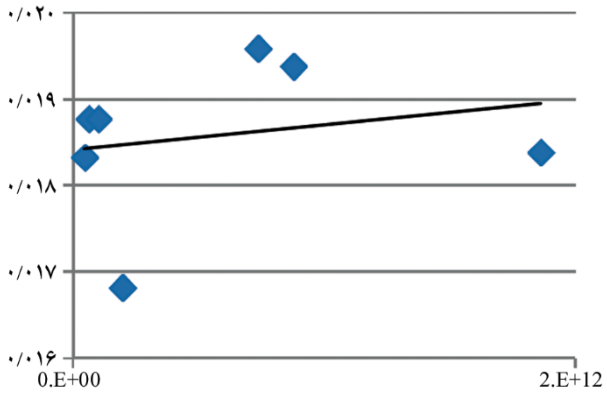
شکل (۱۳): ارتباط شاخص پایداری و متغیر فساد.

www.SID.ir

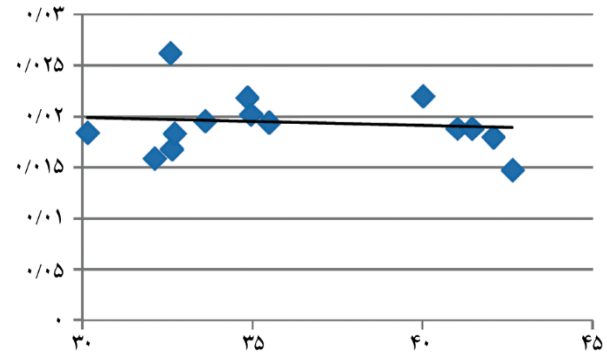


شکل (۱۴): ارتباط شاخص پایداری و متغیر اثربخشی دولت.

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.

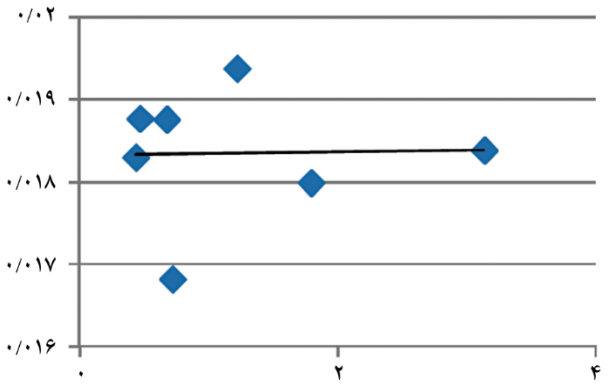


شکل (۱۵): ارتباط شاخص پایداری و تولید ناخالص داخلی.

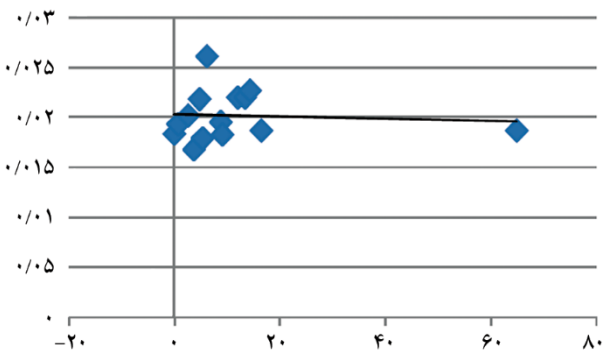


شکل (۱۶): ارتباط شاخص پایداری و ضریب فقر.

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



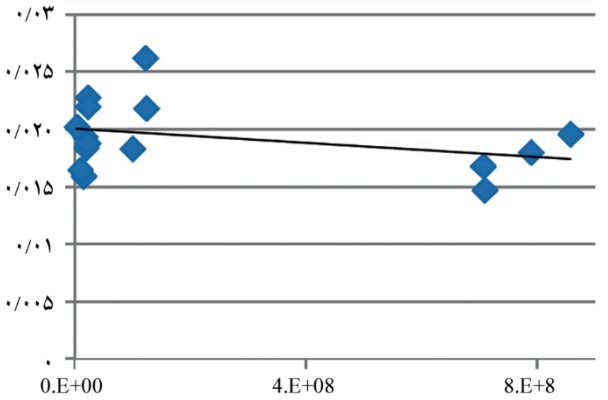
شکل (۱۷): ارتباط شاخص پایداری و متغیر توسعه‌یافتگی.



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.

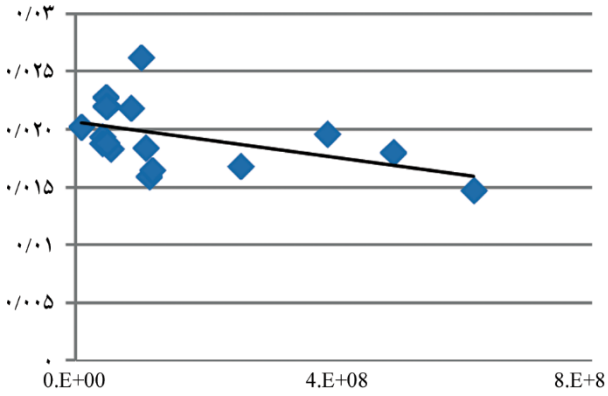
شکل‌های (۲۱) و (۲۲) نیز ارتباط مستقیم شاخص پایداری با نسبت تعداد تخت‌های بیمارستانی و نسبت تراکم جاده را نشان می‌دهد.



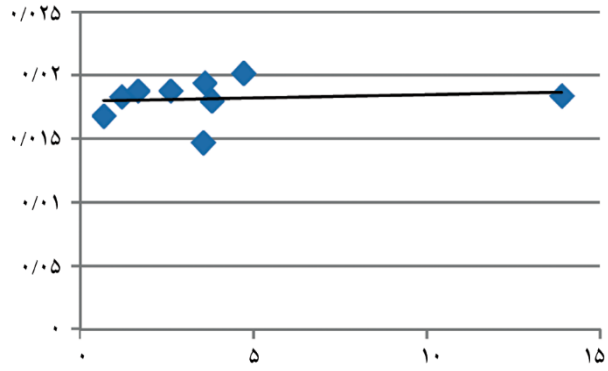
شکل (۱۹): ارتباط شاخص پایداری و جمعیت روستایی.

www.SID.ir

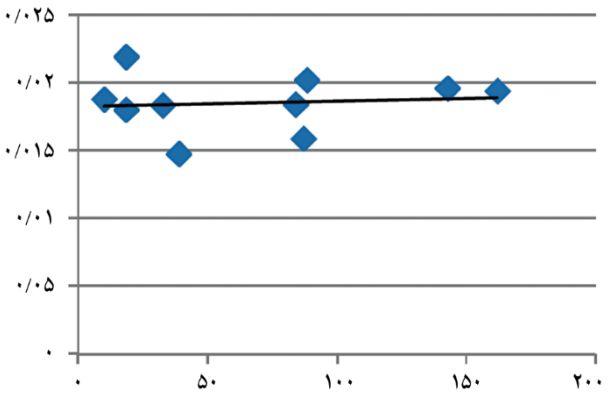
Archive of SID



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

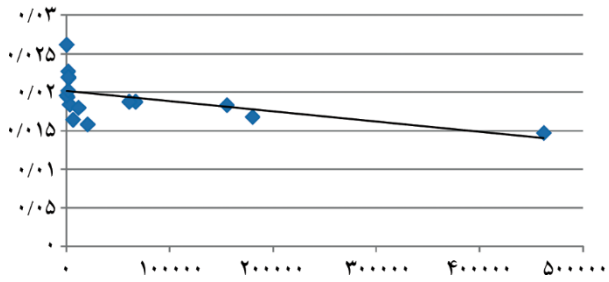


شکل (۲۱): ارتباط شاخص پایداری و تعداد تخت بیمارستانی.

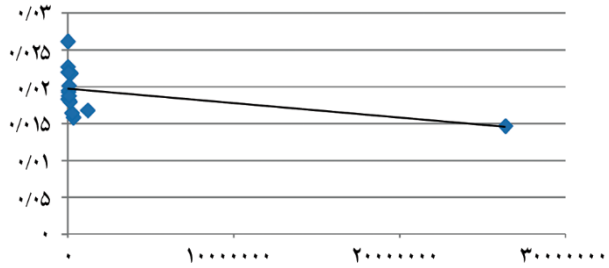


شکل (۲۲): ارتباط شاخص پایداری و نسبت تراکم جاده.

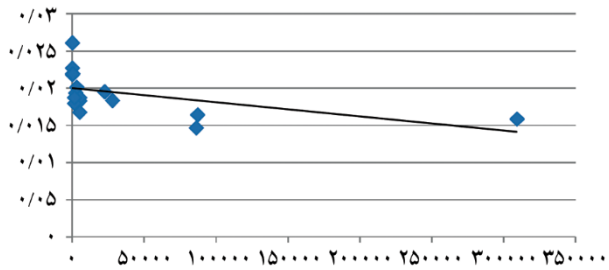
همچنین ارتباط هرکدام از پارامترهای تلفات جانی، خسارات ساختمانی و خسارات اقتصادی به‌ترتیب در شکل‌های (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) نشان داده شده است. ارتباط معکوسی بین شاخص پایداری با هر سه نوع از خسارات نمایان است. به‌عبارت‌دیگر افزایش خسارات حاکی از کاهش شاخص پایداری می‌باشد.



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.

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 لاکوییلا در کشور ایتالیا به‌ترتیب ۱۲۹۵، ۱۵۰۰۰ و ۲۵۰۰ می‌باشد و در مقابل آن برای زلزله آوج در کشور ایران به‌ترتیب 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 لاکوییلا در ایتالیا می‌باشد، به دلیل مدت‌زمان بازسازی کمتر در زلزله آوج ایران نسبت به زلزله لاکوییلا در ایتالیا، شاخص پایداری بالاتری به زلزله آوج ایران اختصاص پیدا کرده است. اما فقط نمی‌توان

www.SID.ir

Arc SID

مدت‌زمان بازسازی کمتر را دلیلی بر پایدار بودن لحاظ کرد. در زلزله ایتالیا (E_1) و زلزله هانشو ژاپن (E_2)، با وجود اینکه مدت‌زمان 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)، به‌طورکلی می‌توان بیان داشت که میزان پایداری از نظر حساسیت‌سنجی نسبت به متغیرها متفاوت است. این میزان با پارامتر بزرگای زلزله بیشترین حساسیت را دارا بوده و به‌نوعی به‌شدت 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 نظرگرفتن انواع پارامترهای دخیل ارائه شد. هدف نگاهی وسیع‌تر به عوامل و نیز نقش آنها در شاخص پایداری می‌باشد. این متغیرها شامل فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی، توسعه‌یافتگی، 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 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. به‌عبارت‌دیگر مجموع این پارامترها در یک تعریف جامع، پایداری را نمایان می‌سازد.

۶- قدردانی

در پایان از زحمات جناب مهندس علی جعفری‌فرد که ما را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند صمیمانه تشکر می‌نماییم.

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. Cimilaro, 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

www.SID.ir

Archive of SID

territorial planning: the experience of Province of Potenza. *Procedia Economics and Finance*, **18**, 528-523.

8. Saunders, W. and Becker, J. (2015) A discussion of resilience and sustainability: Land use planning recovery from the Canterbury earthquake sequence New Zealand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **14**, 73-81.
9. D'Lima, M. and Medda, F. (2015) A new measure of resilience: An application to the London Underground. *Transportation Research*, **81**, 35–46.
10. Sharifi, A. (2016) A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*, **69**, 629-647.
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. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **218**, 85-94.
12. Comes, T. (2016) Designing for networked community resilience. *Procedia Engineering*, **159**, 6-11.
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. *Procedia Environmental Sciences*, **36**, 122-129.
14. Bastami, M. and Jafarifard, A. (2015) *Economic Losses Estimation of Lifeline Systems by Case Study of Iran Recent Earthquakes*. Technical Report, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

واژه‌نامه

۱- هولینگ	Holling
۲- پرینگز	Perrings
۳- انعطاف‌پذیری	Flexibility
۴- گام‌به‌گام	Step-Wise
۵- رگرسیون خطی چندگانه	Multiple Linear Regression
۶- آزمون تحلیل واریانس	Analysis of Variance
۷- خلاصه مدل	Model Summary
۸- P-P نمودار	Prob Plan
۹- اثربخشی دولت	Government Effectiveness (GE)
۱۰- متغیر مثبت	Positive Variable (PV)
۱۱- متغیرمنفی	Negative Variable (NV)
۱۲- نرخ نفوذ	Transudation
۱۳- پایداری	Stability

www.SID.ir

Arc SID

Providing a Model for Stability of Communities in Earthquake

Mostafa Shahriari[1*] and Morteza Bastami [2]

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 threats 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

www.SID.ir

Archive of SID

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.

www.SID.ir