

برآورد خسارت‌های مالی و جانی یک زلزله نسبتاً شدید در تهران و تأثیر آن بر سطح تولید و رشد اقتصادی

دکتر محمد نوفرستی*
رادینه موسوی**

چکیده

در این مقاله تأثیر خسارت‌های مالی و تلفات جانی یک زلزله نسبتاً شدید در تهران بر سطح تولید و رشد اقتصادی کشور بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که اگر در سال ۸۹ زلزله‌ای فرضی با قدرت ۵/۵ در مقیاس ریشتر در تهران اتفاق می‌افتاد، شاهد انهدام سرمایه‌ای در حدود ۹۸۹۴۷۰ میلیارد ریال و از بین رفتن ۴۱۶ هزار نفر از جمعیت شهر تهران در صورت وقوع زلزله در روز و ۵۴۱ هزار نفر در صورت وقوع در شب می‌بودیم. همچنین در خصوص تأثیر زلزله فوق بر سطح تولید و نرخ رشد اقتصادی باید ابراز داشت که سطح تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت سال ۷۶ پس از وقوع زلزله در سال ۸۹ تا حدود ۲۷۴۰۰ میلیارد ریال کاهش می‌یافت. مبنای این امر ۵/۵ درصد کاهش در تولید نسبت به موقعیتی است که زلزله‌ای اتفاق نمی‌افتاد.

طبقه‌بندی JEL: Q47 و Q40

کلیدواژه‌ها: زلزله، انهدام سرمایه، تلفات جانی، تولید، رشد اقتصادی و همگامی

۱. مقدمه

شهر تهران به دلیل موقعیت جغرافیایی لرزه خیزی و زمین ساختی، وجود گسل‌های فعال متعدد در اطراف آن و نیز وقوع زلزله‌های مخرب تاریخی در محدوده آن، محتمل است

که در آینده‌ای نزدیک با خطر وقوع زمین لرزه‌ای نسبتاً بزرگ مواجه باشد. در این بین، وجود معضلات و مشکلات زیر ساختی شهر تهران همچون رشد ناهماهنگ و غیر اصولی شهر، ساخت و ساز در حریم گسل‌ها و مناطق مستعد ناپایداری‌های زمین شناختی، طراحی و اجرای ساختمان‌ها و تأسیسات حیاتی نامناسب با شدت لرزه‌خیزی در تهران، نبود توانمندی‌های عملیاتی کافی برای مدیریت بحران در مرحله پاسخ و مقابله با تبعات زلزله، وجود بافت‌های آسیب‌پذیر و فرسوده متعدد و پراکنده در سطح شهر سبب خواهد شد که در صورت وقوع زلزله‌ای شدید، صدمات جانی و مالی جبران‌ناپذیری نه تنها بر پیکره اقتصادی شهر، بلکه بر کشور وارد شود.

با توجه به ویژگی‌های خاص اقتصادی - اجتماعی شهر تهران و از آن جمله تمرکز حدود ۱۵٪ جمعیت کشور (۲۵٪ جمعیت شهرنشین کشور)، ۲۵٪ تولید ناخالص داخلی (GDP)، ۳۱٪ صنایع، ۳۳٪ تولید صنعتی کشور، ۶۰٪ تولید ماشین‌آلات صنعتی، ۴۱٪ صنعت ساختمان کشور، ۳۰٪ تولید مواد غذایی (۱۵٪ مواد پروتئینی و لبنیاتی) و ۳۹٪ دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی^۱، دور از انتظار نخواهد بود که در صورت وقوع زلزله‌ای نسبتاً شدید، علاوه بر اثرات جبران‌ناپذیر اجتماعی آن، باید شاهد تخریب سرمایه‌های فیزیکی و نیز از بین رفتن تعداد زیادی از نیروی انسانی در جامعه باشیم. این امر سبب کاهش چشمگیر در سطح تولید و رشد اقتصادی نه تنها در شهر و استان تهران بلکه در سطح کلان کشور خواهد شد؛ لذا بررسی این نکته که سطح تولید ناخالص داخلی و در نتیجه رشد اقتصادی کشور در صورت وقوع چنین پدیده‌ای چقدر خواهد بود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آگاهی از ابعاد خسارات ناشی از زلزله کمک خواهد کرد تا با برنامه‌ریزی‌های کارآمد پیش از وقوع زلزله، از خسارات ناشی از انهدام فیزیکی و تلفات انسانی و تبعات منفی بعد از آن، با رفع موانع و مشکلات موجود در شهر، به اندازه چشمگیری کاست.

۲. پیشینه تحقیق

در خصوص خسارات اقتصادی ناشی از زلزله و تأثیر آن بر سطح تولید و رشد اقتصادی،

۱. آمارنامه استان تهران (۱۳۸۷)، مرکز آمار ایران

بررسی‌های زیادی انجام نشده است؛ اما می‌توان به تعداد محدودی از بررسی‌های داخلی و خارجی اشاره کرد که به محاسبه هزینه‌های اقتصادی ناشی از زلزله پرداخته‌اند. از جمله مهم‌ترین این بررسی‌ها می‌توان به مطالعه شادی طلب (۱۳۷۰) اشاره کرد که به بررسی آسیب پذیری ابعاد اجتماعی - اقتصادی زلزله در شهر تهران پرداخته و نشان داده که در صورت وقوع زلزله به بزرگی ۷ در مقیاس ریشتر، حداقل ۲۷۴ هزار واحد مسکونی تخریب می‌شود و تلفات انسانی ناشی از آن در خوشبینانه‌ترین حالت حداقل ۳۷۵ هزار نفر خواهد بود و هزینه بازسازی بخش مسکن پس از وقوع زلزله را ۹۸۶۱ میلیارد ریال برآورد کرده است. افزون بر این، ارزش تلفات انسانی این حادثه معادل ۲۱۴ هزار میلیارد ریال تخمین زده شده است. موسوی و آشتیانی (۱۳۸۲) و موسوی (۱۳۸۰) به محاسبه خسارات مالی و تلفات انسانی زلزله‌ای به بزرگی ۵/۵ ریشتر برای تمامی شهرها و استان‌های کشور بر اساس میزان خطر لرزه‌پذیری هر یک از استان‌ها پرداخته‌اند و میزان خسارت‌های وارده بر ساختمان‌ها و نیروی کار را در کل کشور و سپس اثرات آن را بر کاهش رشد اقتصادی کشور محاسبه کرده‌اند. نتایج حاصل از تحقیقات فوق گویای آن است که رشد اقتصادی کشور در چنین حالتی به اندازه ۱/۲ درصد کاهش می‌یابد. پارسی‌زاده (۱۳۷۸) نیز در یک پژوهش به بررسی اثرات اجتماعی و اقتصادی زلزله ۷/۴ در مقیاس ریشتری سال ۱۹۹۹ در شمال غربی ترکیه پرداخته است. براساس نتایج مطالعه فوق، در زلزله مذکور ۲۵۹۵۱۵ واحد مسکونی و ۳۸۷۴۵ واحد اداری خسارت دیدند و ۱۶۹۵۳ نفر کشته و نزدیک به ۶۰۰ هزار نفر بی‌خانمان شدند. خسارات مالی و تلفات انسانی زلزله مذکور در حدود ۱۶ میلیارد دلار (معادل ۷٪ تولید ناخالص داخلی ترکیه) برآورد شده است.

آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA) (۲۰۰۰) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی اثر وقوع یک زلزله احتمالی در تهران پرداخته و به این نتیجه رسیده است که ۳۸۳ هزار نفر طی این زلزله از بین خواهند رفت، در عین حال، کل خسارات ناشی از زلزله اعم از هزینه‌های واکنش اضطراری و بازسازی برابر با ۱۹۲۶۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است. سدا کنداک (۲۰۰۴) به بررسی تأثیر یک زلزله ۷/۷ ریشتری در استامبول پرداخته است. نتایج حاکی از آن است که کل خسارت وارده بر اثر این زلزله برابر ۲۹/۸۷ میلیارد دلار برآورد شده است که میزان ۲۰/۰۷ میلیارد دلار آن به دلیل تخریب واحدهای مسکونی خواهد بود.

کاوالو، پاول، بسرا (۲۰۱۰) تأثیر زلزله دوازدهم ژانویه ۲۰۱۰ هایتی را با استفاده از نمونه‌ای ۲۰۰۰ تایی از حوادث طبیعی که در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۸ به وقوع پیوسته و نیز هزینه‌های پولی ناشی از زلزله مذکور را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق فوق‌گویی خسارت ۸/۱ میلیارد دلاری و مرگ بیش از ۲۵۰ هزار نفری مردم در هایتی است.

۳. متدولوژی تحقیق

در این مقاله، ابتدا با اتکا بر نتایج برخی از پژوهش‌های انجام شده از جمله ناطق الهی (۱۳۷۶)، موسوی (۱۳۸۰)، موسوی و غفوری آشتیانی (۱۳۸۲) که در خصوص آسیب‌پذیری ساختمان‌ها از نظر تیپ بندی سازه‌ای (فولادی، بتنی، آجری)، میزان تخریب ساختمان‌ها در صورت وقوع یک زلزله فرضی ۵/۵ ریشتری در شهر تهران محاسبه می‌شود. سپس با توجه به تلفات انسانی ناشی از زلزله؛ بر اساس زمان وقوع، در شب یا روز، مقدار کاهش نیروی کار شاغل برآورد می‌شود. سرانجام اثرات کاهش در نهاده‌های تولید بر سطح و نرخ رشد تولید ناخالص داخلی با استفاده از روش اقتصادسنجی سری‌های زمانی و تکنیک‌های همجمعی محاسبه می‌شود.

۴. برآورد خسارات مالی و تلفات انسانی ناشی از زلزله

عمده‌ترین روش تعیین خسارت‌های مالی ناشی از وقوع یک زلزله روشی است که خسارت‌ها را به کمک ضرایب آسیب‌پذیری ساختمان‌ها اعم از فلزی، بتنی و آجری تعیین می‌کند. این روش ابتدا توسط ناطق الهی (۱۳۷۶) برای تیپ‌های مختلف سازه‌ای ساختمان‌های کشور به کار گرفته شد و سپس توسط موسوی (۱۳۸۰) و موسوی و غفوری آشتیانی (۱۳۸۲) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی‌های مختلف زلزله‌ای در سراسر کشور توسعه یافت. این دو محقق با توجه به زلزله‌های روی داده صد ساله اخیر در نقاط مختلف کشور به پهنه‌بندی مناطق شهری کشور پرداختند. در این دسته‌بندی، تهران را به دلیل موقعیت جغرافیایی و وجود گسل‌های مختلف، در بخش پرخطرترین نقاط زلزله‌خیز کشور قرار دادند و با در نظر گرفتن مرکزیت شهری به عنوان کانون اصلی زلزله و نیز با در نظر گرفتن اثر میرایی قدرت زلزله در فواصل ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۸۰

کیلومتری از کانون زلزله، متوسط ضرایب آسیب‌پذیری ساختمان‌های فلزی، بتنی و آجری برای مناطق پر خطر لرزه‌ای را در جدول ۱ ارائه کردند:

جدول ۱. متوسط ضرایب آسیب‌پذیری ساختمان‌ها

نوع سازه	بتنی	آجری	فولادی
ضرایب آسیب‌پذیری	٪۲۰	٪۳۳	٪۲۰

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تقریباً ۲۰ درصد ساختمان‌های بتنی و فولادی و بیش از ۳۰ درصد ساختمان‌های آجری در مناطق پر خطر و آسیب‌پذیر لرزه خیز کشور همانند تهران، بر اثر زلزله‌ای به بزرگی ۵/۵ ریشتر تخریب خواهند شد. در تحقیق حاضر، با استفاده از ضرایب آسیب‌پذیری لرزه‌ای مندرج در جدول ۱، به برآورد هزینه‌های ناشی از یک زلزله فرضی در سال ۸۹ با قدرت ۵/۵ ریشتر در شهر تهران می‌پردازیم.

با توجه به وجود ۲۱۸۲۵۷۵ واحد ساختمانی در سطح شهر تهران که دارای ۲۵۷۱۲۲ واحد بتنی، ۱۰۰۸۲۰۱ واحد آجری و ۹۱۷۲۵۲ واحد فولادی است، می‌توان تعداد ساختمان‌های تخریب شده در سطح شهر تهران را با در نظر گرفتن ضرایب آسیب‌پذیری هر یک از سازه‌ها، بر اثر یک زلزله به بزرگی ۵/۵ ریشتر به دست آورد. نتایج حاکی از آن است که در اثر وقوع زلزله فوق جمعاً ۵۶۷۵۸۰ واحد ساختمانی شامل ۵۱۴۲۴ واحد بتنی، ۳۳۲۷۰۶ واحد آجری و ۱۸۳۴۵۰ واحد فولادی تخریب می‌شود. برای محاسبه ارزش ریالی خسارت وارد شده و کاهش در انباشت سرمایه کشور باید مساحت ساختمان‌های آسیب دیده را در ارزش هر متر مربع واحد ساختمانی در تهران ضرب کرد. از آنجا که تعداد ۵۶۷۵۸۰ واحد ساختمانی در صورت وقوع این زلزله آسیب خواهند دید و هر واحد مسکونی به‌طور متوسط ۹۳/۴۲ متر مربع وسعت دارد و قیمت هر متر مربع آن به‌طور متوسط ۱۸۶۶۱ هزار ریال در سال ۸۹ است، شاهد از بین رفتن ۹۸۹۴۷۰/۱ میلیارد ریال از انباشت سرمایه به قیمت جاری می‌بودیم که معادل ۲۳۸۶۸۷/۴ میلیارد ریال به قیمت‌های ثابت سال ۷۶ است.

در خصوص تلفات انسانی ناشی از زلزله باید گفت که هر چند میزان تلفات انسانی

ناشی از زلزله به عوامل متعددی از جمله شدت زمین لرزه، نوع سازه (یا میزان مقاومت سازه در برابر زلزله) بستگی دارد، اما تأثیر زمان وقوع زلزله از اهمیت ویژه‌ای در تلفات انسانی برخوردار است. با توجه به تراکم بیشتر جمعیت در واحدهای مسکونی هنگام شب، عدم هوشیاری و عکس‌العمل به موقع افراد هنگام خواب نسبت به زلزله موجب می‌شود تا تلفات انسانی بیشتری در شب نسبت به روز اتفاق بیفتد. از این رو، معمولاً میزان تلفات انسانی زلزله در شب ۳۰ درصد بیشتر از روز است. در جدول ۲ طبق مطالعات موسوی (۱۳۸۰) و موسوی و غفوری آشتیانی (۱۳۸۲) ضریب تلفات انسانی در ساختمان‌های تخریب شده براساس تیپ بندی سازه‌ها در مناطق پر خطری همچون تهران ارائه شده است:

جدول ۲. ضریب تلفات انسانی در ساختمان‌های تخریب شده

نوع سازه	بتنی	آجری	فولادی
ضریب تلفات انسانی در ساختمان‌های آسیب دیده	٪۱۶/۷	٪۲۵	٪۱۶/۷

جدول ۲ نشان می‌دهد که اگر ساختمانی آجری ویران شود، به طور متوسط ۲۵٪ از ساکنان آن واحد از بین خواهند رفت. در این میان با ویران شدن ۵۱۴۲۴ واحد ساختمان بتنی، ۳۳۲۷۰۶ واحد ساختمان آجری و ۱۸۳۴۵۰ واحد ساختمان فولادی و نیز با در نظر گرفتن سرانه جمعیت ۳/۴ نفری هر واحد ساختمانی، انتظار بر این است که بر اثر وقوع زلزله فرضی ۵/۵ ریشتری سال ۸۹ تعداد ۴۱۶۱۶۲ نفر در معرض خطر مرگ قرار می‌گرفتند. این میزان در شب ۳۰٪ نسبت به روز افزایش می‌یافت و به ۵۴۱۰۱۱ نفر می‌رسید.

با در دست داشتن نسبت شاغلان از کل جمعیت، می‌توان تعداد تلفات نیروی کار را در اثر وقوع زلزله ۵/۵ ریشتری در تهران محاسبه کرد و سپس با کم کردن تلفات جمعیت شاغل از کل نیروی کار موجود در سال ۸۹، اثر زلزله را بر نیروی کار به عنوان دیگر نهاد تولید نشان داد. از آنجا که به طور متوسط حدود ۳۰ درصد از جمعیت تهران جزء نیروی کار شاغل به‌شمار می‌آیند^۱، در نتیجه تلفات انسانی ۴۱۶۱۶۲ و ۵۴۱۰۱۱ نفری ناشی از

۱. مرکز آمار ایران - سالنامه آماری کشور

زلزله روز و شب، به ترتیب ۱۲۴۸۴۹ و ۱۶۲۳۰۴ نفر از نیروی کار کشور در زلزله فرضی تهران در روز و شب کم می‌شدند.

۵. برآورد تابع تولید

تابع تولید که رابطه بین میزان به کارگیری نهاده‌ها و سطح تولید محصول را نشان می‌دهد، مبین حداکثر تولید ممکن با توجه به فناوری موجود و نهاده‌های داده شده است. با در نظر گرفتن دو عامل نیروی کار و سرمایه به عنوان نهاده‌های تولید و با فرض امکان الگوسازی فرایند زیرساختی تولید به کمک تابع تولید کاب - داگلاس (که به طور وسیعی در کارهای تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد)، تابع تولید کل کشور به صورت زیر تصریح شده است.

$$Q = AK^\alpha L^\beta \quad (1)$$

در این تابع، Q مقدار محصول، A سطح فناوری، K انباشت سرمایه و L نیروی کار است، α و β نیز کشش‌های تولیدی سرمایه و نیروی کار هستند. تأثیر نهاده‌های به خدمت گرفته شده بر سطح تولید بستگی به کشش‌های تولیدی هر یک از نهاده‌ها دارد، به عبارت دیگر، اگر ضرایب α و β (یا همان کشش‌های تولیدی سرمایه و نیروی کار) بزرگ باشند به این معنی خواهد بود که با سطح مشخصی از نهاده‌ها، محصول بیشتری تولید خواهد شد. به کمک کشش‌های تولیدی نهاده‌ها می‌توان بازده نسبت به مقیاس تولید را نیز مشخص نمود.

برای تعیین اثرات بلند مدت و کوتاه مدت تغییر نهاده‌های سرمایه و نیروی کار بر سطح تولید، توابع تولید بلند مدت و کوتاه مدت به صورت زیر تصریح شده‌اند.

تابع تولید بلند مدت:

$$Q^L = f(K, L) \quad (2)$$

تابع پویایی‌های تولید در کوتاه مدت:

$$\Delta Q^S = f[\Delta K, \Delta L, (Q^S - Q^L)] \quad (3)$$

که در آنها $Q^L =$ تولید کل در بلند مدت، $Q^S =$ تولید کل در کوتاه مدت، K انباشت سرمایه، L نیروی کار و $Q^S - Q^L =$ عدم تعادل تولید در بلند مدت است. نماد Δ نیز گویای تفاضل مرتبه اول متغیرهاست.

به منظور خطی کردن رابطه (۱) و برآورد معادلهٔ مربوط به تابع تولید کاب-داگلاس بلند مدت، تابع مذکور بر حسب لگاریتم متغیرها به گونه زیر تصریح شده است:

$$QL^L = \alpha_1 LL + \alpha_2 KL + \varepsilon \quad (۴)$$

در این تابع، QL لگاریتم تولید ناخالص داخلی به قیمت عوامل، LL لگاریتم اشتغال، KL لگاریتم انباشت سرمایه و ε گویای جزء خطای رگرسیون است.

آمارهای مورد استفاده در برآورد ضرایب این تابع تولید، دوره زمانی سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۶ را دربرمی‌گیرد و داده‌های مربوط به تولید ناخالص داخلی و انباشت سرمایه به قیمت‌های ثابت سال ۷۶ است. آمارهای مربوط به اشتغال از اطلاعات ارائه شده توسط مرکز آمار ایران گرفته شده است. آمار سال‌های ۸۷ تا ۸۹ که برای شبیه‌سازی الگو مورد نیاز است، با در نظر گرفتن روند گذشته متغیرها در سال‌های قبل و استفاده از روش خود رگرسیونی میانگین متحرک^۱ (ARMA) سری‌های زمانی ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. الگوی ARMA مورد استفاده در ضمیمهٔ مقاله گزارش شده است.

از آنجا که مسئله پایایی یا ناپایایی یک متغیر سری زمانی، پیامدهای مهمی را هم از جنبهٔ سیاست‌گذاری‌های اقتصادی و هم از نظر روش برآورد ضرایب معادلات در پی دارد (نوفرستی ۱۳۸۹)، لازم است ابتدا مرتبهٔ جمع هر یک از متغیرهای سری زمانی به روش دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) مورد آزمون قرار گیرد (Dickey & Fuller, 1979). وقتی متغیرهای دخیل در یک معادله، جمعی از مرتبهٔ یک یعنی ناپایا و دارای ریشهٔ واحد باشند، در صورت تشکیل یک رابطهٔ همجمعی، جملهٔ پسماند آن معادله، جمعی از مرتبهٔ صفر (I(0)) خواهد بود. لذا جملهٔ پسماند، که به منزلهٔ خطای عدم تعادل بلند مدت تلقی می‌شود، می‌تواند در یک الگوی تصحیح خطای پویای کوتاه مدت وارد شود بدون اینکه رگرسیون کاذبی بروز کند.

پس از اطمینان از مرتبهٔ جمع متغیرها، ضرایب معادلهٔ تصریح شده به روش OLS برآورد خواهد شد. انگل و گرینجر (۱۹۸۷) نشان داده‌اند که استفاده از روش OLS منجر به برآورد فوق سازگار ضرایب رابطهٔ همجمعی می‌شود. چنین نتیجه‌ای به این مفهوم است که مسائل خطای اندازه‌گیری، تورش همزمانی و اشکالات برونزایی تا حدی قابل اغماض

1. Auto Regressive Moving Average Model

است. پس از برآورد ضرایب معادلات، وجود ریشه واحد در جمله پسماند معادله به روش انگل و گرینجر آزمون می‌شود تا نسبت به همجمعی متغیرهای معادله اطمینان حاصل شود. در نهایت، الگوی تصحیح خطا که نشان دهنده پویایی‌های کوتاه مدت است، با استفاده از جملات پسماند بلند مدت، تصریح و برآورد خواهد شد.

پیش از برآورد ضرایب رابطه تولید با استفاده از آمار سری زمانی، لازم است متغیرهای الگو از نظر پایایی بررسی و آزمون شوند. نتایج حاصل از آزمون پایایی متغیرهای فوق با استفاده از روش ADF در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون پایایی متغیرها با استفاده از روش ADF

نام متغیر	حالت تابع T, C	آماره آزمون	کمیت بحرانی %۵	تفاضل مرتبه اول	حالت تابع T, C	آماره آزمون	کمیت بحرانی %۵	نتیجه آزمون
QL	T C	-۲/۱۹	-۳/۵۴	ΔQL	T C	-۴/۹۷	-۳/۵۵	QL ~I(2)
LL	T C	-۱/۶	-۳/۵۴	ΔLL	O C	-۴/۲۴	-۲/۹۵	LL ~I(1)
KL	T C	-۲/۷۶	-۳/۵۴	ΔKL	T C	-۵/۲۹	-۳/۵۵	KL ~I(2)

* C به مفهوم عرض از مبدا و T به مفهوم روند است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود متغیرهای QL و KL جمعی از مرتبه دوم و بقیه از مرتبه اول هستند.

۱.۵ برآورد ضرایب تابع تولید بلندمدت

ضرایب مربوط به تابع تولید بلندمدت که با استفاده از آمار سری زمانی سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۹ به روش OLS برآورد شده است. به صورت زیر است:

$$QL^L = -0.069 + 0.91*LL + 0.279*KLL + 0.408*DB57$$

$$t = (-0.11) \quad (7.25) \quad (2.48) \quad (9.75)$$

$$R^2 = 0.959 \quad \text{Durbin-Watson} = 1.637$$

DB57 یک متغیر مجازی است که کمیت آن برای سال‌های پیش از ۵۷ برابر یک و

پس از آن صفر است.

همان گونه که مشاهده می شود تابع تولید بلند مدت از قدرت توضیح دهندگی بسیار خوبی برخوردار است. کلیه ضرایب مربوط به متغیرها از نظر آماری معنی دار و از نظر علامتی موافق انتظارند. برای اطمینان از کاذب نبودن رابطه برآورد شده، لازم است همجمعی بین متغیرهای تابع تولید بلند مدت به روش انگل و گرینجر تعمیم یافته و آزمون شود. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول ۴. نتایج آزمون انگل و گرینجر

نام متغیر	حالت تابع	آماره آزمون	کمیت بحرانی ۵٪	نتیجه آزمون
ERRORQL	O, O	-۳/۹	-۲/۹۵	ERRORQL ~ I(0)

نتایج حاصل از آزمون ADF بر جمله پسماند رگرسیون تابع تولید گویای عدم وجود ریشه واحد در ERRORQL است. در نتیجه می توان چنین نتیجه گیری کرد که بین متغیرهای تابع تولید بلند مدت یک رابطه همجمعی برقرار است. بنابراین رگرسیون برآورد شده یک رگرسیون کاذب نیست.

۲.۵ برآورد تابع تولید کوتاه مدت

همجمعی بین متغیرهای تابع تولید بلند مدت این امکان را فراهم می آورد تا تابع تولید کوتاه مدت را به کمک الگوی تصحیح خطا که در بردارنده تفاضل مرتبه اول متغیرهای تابع تولید و خطای تعادل با وقفه ((ERRORQL(-1)) است نمایش دهیم. نتایج حاصل از برآورد این الگو در زیر ارائه شده است:

$$\Delta QL^S = -0.033 + 0.36*\Delta QL(-1) + 0.386*\Delta KL + 1.22*\Delta LL$$

$$t = \quad (-1.77) \quad (2.83) \quad (1.89) \quad (1.99)$$

$$+ 0.11*\Delta(DB57) - 0.664*ERRORQL(-1)$$

$$(2.25) \quad (-4.95)$$

$$R^2 = 0.65$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1.629$$

همان طور که ملاحظه می شود کلیه ضرایب از نظر آماری معنی دار و از نظر علامتی موافق انتظار هستند. ضریب جمله خطای عدم تعادل حدود ۰/۶۶- است و نشان می دهد که

تعدیل در فرآیند تولید نسبتاً به سرعت صورت می‌گیرد. به منظور بررسی صحت برآورد ضرایب الگو، آزمون همبستگی جملات خطا (آزمون بروش - گادفری)، آزمون واریانس ناهمسانی (آزمون بروش - پاگان - گادفری)، آزمون تصریح درست تابع (آزمون رمزی) و آزمون نرمال بودن جملات خطا (آزمون جارک - برا) به انجام رسیده است. نتایج حاصل از آزمون‌های مذکور و مقادیر احتمال این آماره‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.^۱

جدول ۵. نتایج آزمون‌ها

نام آزمون	آماره آزمون	احتمال	نتیجه آزمون
آزمون همبستگی پیاپی جملات خطا (آزمون بروش - گادفری)	۱.۰۶۴	۰.۳۵۹	همبستگی پیاپی جملات خطا در مدل وجود ندارد
آزمون واریانس ناهمسانی (آزمون بروش - پاگان - گادفری)	۱.۴۲۰	۰.۲۴۷	واریانس ناهمسانی در مدل وجود ندارد
آزمون تصریح درست تابع (آزمون رمزی)	۰.۰۳۷	۰.۸۴۷	مدل درست تصحیح شده و هیچ متغیر حذف شده‌ای در مدل وجود ندارد
آزمون نرمال بودن جملات خطا (آزمون جارک - برا)	۴.۹۶	۰.۰۸۳	جملات خطا دارای توزیع نرمال است

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، فرضیات صفر برای تمامی آزمون‌های به کار گرفته شده در سطح احتمال ۵ درصد رد می‌شود، در نتیجه ضرایب برآورد شده تابع پویایی‌های کوتاه مدت الگو از اعتبار لازم برخوردار است.

۶. ارزیابی تأثیر زلزله بر تولید و رشد اقتصادی

برای مشاهده آثار وقوع یک زلزله نسبتاً شدید بر متغیرهایی همچون تولید و نرخ رشد اقتصادی، از شبیه‌سازی پویای الگو استفاده شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از شبیه‌سازی پویای الگو به پیش‌بینی تولید ناخالص داخلی و نرخ رشد اقتصادی برای سال‌های ۱۳۸۹-۹۵ می‌پردازیم. سپس با در نظر گرفتن وقوع یک زلزله فرضی به اندازه ۵/۵

۱. نتایج و خروجی‌های رایانه‌ای آزمون‌های فوق به طور کامل در پیوست مقاله آمده است.

درجه ریشتر در سال ۱۳۸۹ و تعدیل نهاده‌های تولید با توجه به خسارات وارد شده، مجدداً تولید ناخالص داخلی و نرخ رشد اقتصادی را به کمک الگوی تصحیح خطا و رابطه تعادلی بلند مدت به صورت پویا شبیه‌سازی می‌کنیم. انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده GDP و نرخ رشد آن از روند مبنا مبین اثر زلزله بر سطح تولید و نرخ رشد اقتصادی است. با توجه به این فرض که الگوی تدوین شده نشان دهنده ساختار واقعی تولید و نرخ رشد اقتصادی ایران است، شبیه‌سازی‌های انجام شده روشن خواهد ساخت که چگونه اقتصاد ایران به وقوع یک زلزله نسبتاً شدید در تهران واکنش نشان خواهد داد.^۱

برای فراهم آوردن امکان شبیه‌سازی متغیرهای درونزای الگو ابتدا باید متغیرهای برونزای الگو که همان حجم سرمایه و تعداد نیروی کار است را برای طول دوره پیش‌بینی تولید کرد. بدین منظور داده‌های مربوط به متغیرهای انباشت سرمایه و تعداد نیروی کار شاغل با استفاده از روش پیش‌بینی به کمک الگوهای سری زمانی ARMA تولید شده است. داده‌های تولید شده برای متغیرهای برونزای الگو در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۶. داده‌های تولید شده برای متغیرهای برونزای الگو

سال	K	L
۱۳۸۹	۱۹۹۹۶۳۶.۹۵	۲۳۳۶۳.۵۸
۱۳۹۰	۲۰۸۷۸۲۴.۹۸	۲۴۰۹۴.۰۶
۱۳۹۱	۲۱۷۹۹۰۲.۲۸	۲۴۸۴۷.۳۸
۱۳۹۲	۲۲۷۶۰۴۰.۳۸	۲۵۶۲۴.۲۶
۱۳۹۳	۲۳۷۶۴۱۸.۳۷	۲۶۴۲۵.۴۲
۱۳۹۴	۲۴۸۱۲۲۳.۲۲	۲۷۲۵۱.۶۴
۱۳۹۵	۲۵۹۰۶۵۰.۱۹	۲۸۱۰۳.۶۸

پس از تولید داده‌های مرتبط با متغیرهای برونزای الگو، از این داده‌ها استفاده شده تا به کمک شبیه‌سازی پویای الگو، متغیرهای درونزا تا سال ۱۳۹۵ تحت عنوان روند

۱. از آنجا که نمی‌توان دلیل خاصی برای بروز شکست ساختاری و تغییر ضرایب تابع تولید متصور بود، تابع تولید برآورد شده برای دوران پس از زلزله از اعتبار لازم برخوردار است.

مبنا (Baseline) ایجاد شوند. چنین تلقی شده است که اگر هیچگونه اتفاقی نمی‌افتاد و اقتصاد کماکان بر مبنای گذشته خود ادامه مسیر می‌داد، متغیرهای درونزای الگو (یعنی سطح تولید و نرخ رشد اقتصادی) دارای چنین مقادیری می‌بودند. پس از به دست آوردن روند مبنای حرکت متغیرهای درونزای الگو، اثر وقوع یک زلزله نسبتاً شدید در تهران به این شکل سنجیده شده که فرض شده است از سال ۱۳۸۹ به بعد، نهاده‌های تولید به اندازه تخریب در سرمایه و تلفات نیروی کار، در سال‌های آتی کاهش یابند.

جدول ۷. خسارات و تلفات در نهاده‌های تولید سرمایه و نیروی کار

کاهش در نهاده	حجم سرمایه (میلیارد ریال)	نیروی کار در روز (هزار نفر)	نیروی کار در شب (هزار نفر)
مقدار	۲۳۸۶۸۷.۴	۱۲۴.۸۴۹	۱۶۲.۳۰۴

سپس به کمک شبیه‌سازی پویا، مجدداً روند حرکت متغیرهای درونزای الگو پس از وقوع یک زلزله در تهران توسط الگو به تصویر کشیده شده است. هرگونه انحراف در روند حرکت متغیرهای درونزای الگو از روند مبنا به منزله اثری است که وقوع زلزله بر متغیرهای تولید و نرخ رشد اقتصادی داشته است.

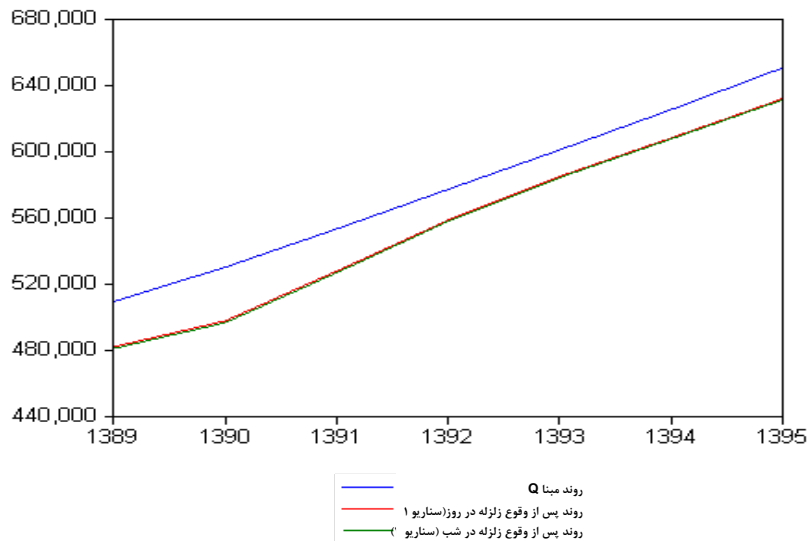
جدول ۸ مقادیر روند مبنا و مقادیر شبیه‌سازی شده تولید ناخالص داخلی پس از وقوع زلزله احتمالی در روز یا شب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، پس از زلزله مورد نظر در سال ۱۳۸۹، سطح تولید ناخالص داخلی کاهش می‌یابد. کمیت تولید ناخالص داخلی که در سال ۱۳۸۹ براساس روند مبنا برابر $۵۰۹۵۹۳/۸$ میلیارد ریال بوده است، وقتی زلزله در روز و یا شب رخ دهد به ترتیب به میزان $۴۸۲۱۹۴/۲$ و $۴۸۱۲۴۲/۷$ میلیارد ریال کاهش می‌یابد. این امر به مفهوم $۵/۴$ درصد کاهش تولید ناخالص داخلی به هنگام وقوع زلزله در روز و $۵/۶$ درصد در شب نسبت به روند مبناست.

جدول ۸. مقادیر تولید ناخالص داخلی پیش و پس از وقوع زلزله به قیمت‌های سال ۷۶

سال	روند مبنا	وقوع زلزله در روز	وقوع زلزله در شب
۱۳۸۸	۴۹۳۴۸۰/۱	۴۹۳۴۸۰/۱	۴۹۳۴۸۰/۱
۱۳۸۹	۵۰۹۵۹۳/۸	۴۸۲۱۹۴/۲	۴۸۱۲۴۲/۷
۱۳۹۰	۵۳۰۳۷۲/۹	۴۹۸۰۳۷/۶	۴۹۶۸۹۸/۱
۱۳۹۱	۵۵۳۶۱۰/۳	۵۲۸۰۵۸/۹	۵۲۷۱۲۴/۸
۱۳۹۲	۵۷۷۴۰۶	۵۵۸۸۸۰/۴	۵۵۸۱۷۲/۲
۱۳۹۳	۶۰۱۲۵۹/۲	۵۸۵۱۷۹/۵	۵۸۴۵۴۸/۳
۱۳۹۴	۶۲۵۵۷۹	۶۰۸۵۲۲/۳	۶۰۷۸۵۱
۱۳۹۵	۶۵۰۸۸۳/۱	۶۳۲۱۹۶/۸	۶۳۱۴۶۱/۳

شایان ذکر است که تولید پس از وقوع زلزله در سال‌های بعد نیز در سطح پایین تری از روند قرار می‌گیرد. و به حرکت خود ادامه می‌دهد. نمودار ۱ روند حرکت تولید ناخالص داخلی (Q) و انحراف آن را از روند مبنا نشان می‌دهد.

نمودار ۱. تولید ناخالص داخلی براساس روند مبنا و پس از وقوع زلزله در روز و شب



۷. نتیجه و پیشنهادها

در این مقاله تأثیر خسارت‌های مالی و تلفات انسانی ناشی از یک زلزله نسبتاً شدید در تهران بررسی و با توجه به تیپ بندی سازه‌ها اعم از بتنی، آجری و فولادی در شهر تهران و ضرایب آسیب پذیری ساختمان‌های مذکور، خسارت‌های مالی و کاهش انباشت سرمایه محاسبه شد. سپس با استفاده از نتایج برخی از تحقیقات انجام شده، میزان تلفات انسانی با توجه به سرانه جمعیت ۳/۴ نفری ساکن در هر واحد مسکونی محاسبه و تعداد نیروی کاری که در اثر وقوع زلزله مذکور - هم در شب و هم در روز - از بین می‌رفتند تعیین گردید. نتایج حاصل از برآوردهای فوق حاکی از تخریب ۵۶۷ هزار واحد ساختمانی است که معادل با ویران شدن ۱۸۶۶۱ هزار متر مربع واحد ساختمانی است. ارزش محاسبه شده در اثر تخریب‌های به وقوع پیوسته برابر ۹۸۹/۴ هزار میلیارد ریال خواهد بود و با توجه به قیمت‌های ثابت سال ۷۶، حجم واقعی سرمایه بیش از ۲۳۸ هزار میلیارد ریال کاهش را تجربه خواهد نمود.

از طرفی با توجه به ضرایب تلفات انسانی در ساختمان‌های آسیب دیده، میزان خسارات جانی، هم در شب و هم در روز، محاسبه شد. طبق محاسبات، در صورت وقوع زلزله ۵/۵ ریشتری در شب یا روز به ترتیب تعداد ۵۴۱ هزار و ۴۱۶ هزار نفر از شهروندان از بین می‌رفتند. با توجه به سهم تقریباً ۳۰ درصدی شاغلان از جمعیت کل، به ترتیب تعداد ۱۶۲ و ۱۲۴ هزار نفر شاغل در صورت وقوع زلزله در شب و یا در روز از میان می‌رفتند.

در نهایت کاهش در حجم سرمایه و تعداد نیروی کار در کل اقتصاد به دلیل زلزله را در تابع تولید کل اقتصاد لحاظ کرده و اثرات آن را بر سطح تولید و نرخ رشد اقتصادی با استفاده از معادلات بلند مدت و کوتاه مدت تابع تولید مورد ارزیابی قرار دادیم. نتایج حاصل در این خصوص حاکی از کاهش ۲۷۴۰۰ میلیارد ریال در سطح تولیدات ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت سال ۷۶ است. این کاهش معادل ۵/۵ درصد تنزل در سطح تولیدی است که در صورت عدم وقوع زلزله محقق می‌شد.

با توجه به حجم خسارات ناشی از وقوع زلزله احتمالی در تهران و تحمیل هزینه‌های هنگفت چنین امری بر اقتصاد کشور، اگر مسئولان و دولتمردان اقداماتی در خصوص ممنوعیت ساخت و ساز در پهنه‌های گسل و ناپایداری خاک، احداث مراکز محلی چند منظوره برای ارتقا و حفظ آمادگی مردم در برابر زلزله، جابه‌جا کردن ساختمان‌های مراکز حیاتی واقع در ساخت‌گاه‌های پرخطر، اصلاح دسترسی مراکز حیاتی، تنظیم عرض معابر با

بافت ساختمان‌ها و میزان تراکم، بهسازی شریان‌های حیاتی آب، فاضلاب، برق، گاز و ترابری درون شهری انجام دهند، برای کاهش تبعات ناشی از زلزله مناسب خواهد بود.

۸. پیوست

نتایج برآورد معادلات مربوط به پیش‌بینی متغیرهای برونزای مدل با استفاده از روش خود رگرسیونی میانگین متحرک (ARMA)

نتیجه برآورد معادله مربوط به پیش‌بینی انباشت سرمایه

Dependent Variable: K				
Method: Least Squares				
Date: 06/14/10 Time: 23:40				
Sample (adjusted): 1354 1386				
Included observations: 33 after adjustments				
Convergence achieved after 21 iterations				
MA Backcast: 1353				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	1.044102	0.007040	148.3190	0.0000
MA(1)	0.624945	0.140554	4.446298	0.0001
R-squared	0.993331	Mean dependent var	985014.5	
Adjusted R-squared	0.993116	S.D. dependent var	300504.0	
S.E. of regression	24932.74	Akaike info criterion	23.14444	
Sum squared resid	1.93E+10	Schwarz criterion	23.23514	
Log likelihood	-379.8633	Hannan-Quinn criter.	23.17496	
Durbin-Watson stat	1.142114			
Inverted AR Roots	1.04	Estimated AR process is nonstationary		
Inverted MA Roots	-.62			

نتیجه برآورد معادله مربوط به پیش‌بینی تعداد نیروی کار

Dependent Variable: L				
Method: Least Squares				
Date: 06/25/10 Time: 05:48				
Sample (adjusted): 1354 1385				
Included observations: 32 after adjustments				
Convergence achieved after 3 iterations				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	1.031266	0.002736	376.9124	0.0000
R-squared	0.996596	Mean dependent var	13272.55	
Adjusted R-squared	0.996596	S.D. dependent var	3526.754	
S.E. of regression	205.8848	Akaike info criterion	13.52326	
Sum squared resid	1314045.	Schwarz criterion	13.56907	
Log likelihood	-215.3722	Hannan-Quinn criter.	13.53844	
Durbin-Watson stat	1.786466			
Inverted AR Roots	1.03	Estimated AR process is nonstationary		

۹. منابع

- آمارنامه استان تهران (۱۳۸۷)، مرکز آمار ایران.
- پارسی زاده، فرخ (۱۳۷۸) «بررسی وضعیت اجتماعی-اقتصادی ترکیه قبل و پس از زلزله ۱۷ اوت ۱۹۹۹ ایزمیت»، پژوهشنامه زلزله، سال دوم، شماره چهارم.
- شادی طلب، ژاله (۱۳۷۰) بررسی آسیب پذیری شهر تهران در برابر زلزله: ابعاد اجتماعی-اقتصادی، طرح تحقیقاتی مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. مرکز آمار ایران. سالنامه آماری کشور.
- موسوی، رادینه (۱۳۸۰) برآورد کمیت انتظاری خسارت ناشی از زلزله و میزان تاثیر آن بر کاهش رشد اقتصادی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبایی.
- موسوی، رادینه و محسن غفوری آشتیانی (۱۳۸۲) برآورد کمیت انتظاری خسارت ناشی از زلزله و میزان تاثیر آن بر کاهش رشد اقتصادی، تهران، چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ناطق الهی، فریرز (۱۳۷۹)، مدیریت بحران زمین لرزه، ابرشهرها (با رویکردی به برنامه ریزی مدیریت بحران: زمین لرزه شهر تهران)، تهران، نشر پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- نوفروستی، محمد (۱۳۸۹) ریشه واحد و همجمعی در اقتصادسنجی، تهران، رسا، چاپ سوم.
- Breusch, T. S., and A. R. Pagan (1979). "A Simple Test for Heteroskedasticity and Random Coefficient Variation," *Econometrica*, 48, 1287-1294.
- Cavallo, Powell and Becerra.,(2010), " Estimating the Direct Economic Damages of the Earthquake in Haiti", *the Economic Journal*, no.120, F298-F312.
- Dicky, David & Fuller.Wayan A. (1979), "Distribution of the Estimates for Autoregressive time Series with a Unit Root." *Journal of American Statistics*, NO 74, June, P.427-431.
- Engle, R. F. and Granger, C. W. J.: (1987), "Co-integration and Error-correction: Representation, Estimation and Testing", *Econometrica* 55, 251-276.

Japan International Cooperation Agency (JICA),(2000) "The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran ", Main Report.

Kundak, S,(2004), *Economic Loss Estimation for Earthquake Hazard in Istambul*, 44th European Congress of the European Regional Science Association, Porto, Portugal.