مهندسی عمران شریف (بهار ۱۴۰۱)
دوره‌ی ۲ - ۳۸، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۹۹-۱۰۸، (پژوهشی)

Original Article

پیامدهای اجتماعی شکست زیرساخت‌ها محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری برای تحلیل تاب‌آوری جامعه در ایران

حامد کاشانی* **(استادیار)**
محمدامین عشقی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

در پژوهش حاضر، با استفاده از چارچوب ترجیح‌های آشکار شده، که یکی از روش‌های محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری هست، خسارت ناشی از مرگ‌ومیر افراد در اثر زمین‌لرزه در کشور ایران کمّی‌سازی شده است. نتایج پژوهش حاضر، در تحلیل تاب‌آوری لرزه‌یی جوامع کاربرد دارد و مبنایی برای سیاست‌گذاری‌های دقیق‌تر در حوزه‌ی مقاوم‌سازی و مسائل مرتبط با زمین‌لرزه خواهد بود. همچنین از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در محاسبه‌ی خسارت‌های اجتماعی در دیگر حوزه‌ها نیز بهره برد. بررسی ادبیات کتابخانه‌یی در حوزه‌ی تاب‌آوری لرزه‌یی جوامع، بیانگر کمبود مدل‌های مناسب برای محاسبه‌ی هزینه‌های اجتماعی ناشی از شکست زیرساخت‌هاست. در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده در موضوع تاب‌آوری لرزه‌یی در ایران، برای محاسبه‌ی هزینه‌های تحمیل شده به یک جامعه در اثر مرگ‌ومیر افراد در حوادث طبیعی، از ارزش زندگی آماری (VSL) تخمینی برای سایر کشورها و تبدیل نرخ برابری ارز استفاده شده است، که ممکن است به تخمین نامناسب خسارت‌های اجتماعی زلزله در ایران بی‌انجامد. برآورد نامناسب میزان خسارت‌های اجتماعی وارد شده به جامعه در اثر زمین‌لرزه می‌تواند منجر به شکست پروژه‌های مقاوم‌سازی و کاهش آسیب‌پذیری در برابر گزینه‌ی عدم انجام کار شود، که به نوبه‌ی خود پیامدهای اقتصادی، سیاسی و اجتماعی نامناسبی را برای جامعه در پی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: ارزش زندگی آماری، پیامدهای اجتماعی، تاب‌آوری، توابع هدانیک، یادگیری ماشین، ترجیح‌های آشکار شده، شکست زیرساخت‌ها، زیرساخت‌های متقابلاً وابسته.

hamed.kashani@sharif.edu
mohammad.nezami@student.sharif.edu

۱. مقدمه

زمین‌لرزه می‌تواند باعث آسیب به زیرساخت‌های جوامع شود و در عملکرد زیرساخت‌ها اختلال ایجاد کند و سبب وارد آمدن خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی متنوعی به جامعه شود. خسارت‌های اقتصادی ناشی از شکست زیرساخت‌ها به دو بخش تقسیم می‌شوند: مستقیم و غیرمستقیم. هزینه‌ی تعمیر ساختمان‌ها یا سایر زیرساخت‌های آسیب دیده، مانند زیرساخت برق، نمونه‌یی از خسارت‌های اقتصادی مستقیم است. هزینه‌ی اسکان موقت آوارگان و یا ضرر و زیان وارده به کسب‌وکارها به دلیل از دسترس خارج شدن زیرساخت برق و خاموشی‌های مداوم، نمونه‌هایی از خسارت‌های اقتصادی غیرمستقیم است. بنابراین، خسارت‌های اقتصادی غیرمستقیم عمدتاً ناشی از اختلال در عملکرد زیرساخت‌هایی است که به جامعه خدمت‌رسانی می‌کنند.[۱] علاوه‌بر خسارت‌های اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم، شکست زیرساخت‌ها نیز موجب ایجاد خسارت‌های اجتماعی می‌شود.[۲و۳] از جمله‌ی خسارت‌های اجتماعی ناشی از زمین‌لرزه می‌توان به مرگ و یا مجروحیت افراد اشاره کرد. علاوه‌بر خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی ذکر شده، زمین‌لرزه‌ها می‌توانند آثار ثانویه‌یی نظیر سونامی‌ها و همه‌گیری بیماری‌ها را نیز ایجاد کنند، که موجب تشدید خسارت‌های اشاره شده می‌شوند.[۲،۴و۵]

با توجه به خسارت‌ها و پیامدهای قابل توجه حوادثی مانند زمین‌لرزه، در سال‌های اخیر موضوع تاب‌آوری زیرساخت‌ها مورد توجه پژوهش‌گران و سیاست‌گذاران قرارگرفته است. تاب‌آوری یک سیستم، توانایی آن سیستم برای بازگشت به حالت اولیه، پس از یک بحران است.[۶] تاب‌آوری در حوزه‌ی زیرساخت‌ها، به معنای توانایی زیرساخت برای پیش‌بینی، جذب و سازگار شدن با خطرها و بحران‌ها و همچنین بازگشت به شرایط اولیه و اصلی خود و یا شرایط مناسب با توجه به وضع موجود است.[۷و۸]

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۷/۲۴، اصلاحیه ۱۴۰۰/۹/۱۷، پذیرش ۱۴۰۰/۹/۲۱.
DOI:10.24200/J30.2021.59096.3025

تجربه‌های جوامع در مواجهه با حوادث گوناگون طبیعی و انسان ساخت، ضرورت ارزیابی و کمّی‌سازی تاب‌آوری زیرساخت‌ها را تبیین می‌کنند.[۹] به این منظور، نیاز به یک شاخص جامع و کامل است، که بدون قضاوت شخصی شاخص‌های عملکردی و پیامدهای مختلف، از جمله: خرابی، تلفات جانی و مسکن موقت، سرویس‌دهی زیرساخت‌ها و اختلال در کسب‌وکار را در قالب یک شاخص ترکیب کند و ارائه دهد. رویکرد رایج در ادبیات فنی (مانند: چیملارو[۱] و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۶)،[۱۰و۱۱] وورجین[۲] و همکاران (۲۰۱۰)،[۱۲]) تخمین شاخص‌های عملکردی زیرساخت‌های مختلف در شرایط پس از زمین‌لرزه و سپس جمع زدن شاخص‌ها با یکدیگر بر اساس اوزانی است که بر اساس تجربه و قضاوت‌های شخصی تعیین شده‌اند. رویکرد نوین‌تر کمّی‌سازی تاب‌آوری مبتنی بر مبنای محاسبه‌ی خسارت‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی است.[۲] پیش‌نیاز استفاده از رویکرد اخیر، محاسبه‌ی دقیق خسارت‌های گوناگون است. پژوهش‌های متعددی،[۱۳-۲۰] برای تحلیل تاب‌آوری صورت گرفته است، که به جهت اختصار از تشریح آن‌ها صرف‌نظر شده است.

یکی از مزایای بیان همگی خسارت‌ها به‌صورت مالی، تبیین ابعاد گوناگون حادثه برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان با کمک معیار هزینه است، که درک آن به‌صورت نسبی برای افراد آسان است. درواقع می‌توان با استفاده از تحلیل هزینه ـ فایده، اجرا یا عدم اجرای سیاست‌هایی نظیر فرهنگ‌سازی در جامعه از راه‌های مختلفی، مانند فضای مجازی، مطبوعات و رادیو و تلویزیون، رفتارهایی نظیر مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و یا سیاست‌های تشویقی نظیر اعطای وام‌های کمک هزینه‌ی مقاوم‌سازی را توجیه کرد. کارکرد دیگر یکپارچه کردن خسارت‌ها این است که می‌توان از نتایج حاصل در مقایسه‌های هزینه ـ فایده برای مبادرت به کاهش آسیب‌پذیری استفاده کرد. به این معنا که با کمک مدل‌های مناسب می‌توان بررسی کرد که به ازاء هر ریال هزینه‌یی که بابت کاهش آسیب‌پذیری صرف می‌شود، چند ریال خسارت‌های ناشی از حوادث احتمالی آینده کاهش می‌یابد. در این راستا لازم است خسارت‌های کل، شامل تمامی هزینه‌های اقتصادی: مستقیم، غیرمستقیم و ثانویه و همچنین هزینه‌های اجتماعی محاسبه شوند. روش‌های تحلیل، خسارت‌های وارده‌ی اقتصادی مستقیم را با تعیین آسیب وارده به زیرساخت‌ها مشخص می‌کنند. هزینه‌های اقتصادی غیرمستقیم هم با توجه به میزان آسیب وارده به زیرساخت و در نتیجه میزان اختلال در عملکرد آن و نیز مدت زمان بازیابی زیرساخت آسیب دیده تخمین زده می‌شوند. هزینه‌های اجتماعی ناشی از مرگ و میر و جراحت افراد هم باید با کمک روش‌های مناسب، مانند روش پیشنهادی هزس[۳] و بر اساس نتایج تحلیل ریسک تخمین زده شوند.[۳]

۲. بیان مسئله

مدل‌های گوناگونی در مورد محاسبه‌ی خسارت‌های اجتماعی ارائه شده‌اند. به‌عنوان نمونه، سازمان مدیریت بحران فدرال ایالات متحده‌ی آمریکا[۴] در سال ۱۹۹۷، روشی برای محاسبه‌ی خسارت‌های اجتماعی، با عنوان هزس ارائه کرده است، که در آن، خسارت‌های اجتماعی ناشی از مرگ و مجروحیت افراد با استفاده از اطلاعات جمعیتی، ویژگی‌های خطر مانند شدت و زمان وقوع آن و همچنین وضعیت زیرساخت‌های جامعه تخمین زده می‌شوند.[۳] پژوهش‌های دیگری،[۲۱-۲۶] نیز در راستای تخمین تعداد مرگ‌ومیر و مجروحان صورت گرفته است، که در آن‌ها با استفاده از سه روش تجربی، نیمه‌تجربی و تحلیلی به محاسبه‌ی نرخ مرگ‌ومیر و مجروحیت پرداخته شده است. امینی و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۷] با استفاده از روش تجربی و بر اساس شواهد تاریخی موجود از زمین‌لرزه‌های ایران، چارچوبی را برای محاسبه‌ی ارتباط بیشینه‌ی شتاب زمین[۵] زمین‌لرزه‌ها (معیاری از شدت زلزله که با شدت خرابی‌ها و ریسک مرگ و جراحت ارتباط دارد) و نرخ مرگ‌ومیر در ایران ارائه کرده‌اند. ایشان با استفاده از داده‌های مربوط به بیشینه‌ی شتاب زمین تجربه شده در زمین‌لرزه‌های پیشین در ایران و همچنین اطلاعات مربوط به تعداد فوتی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های مذکور، تابعی برای تخمین تعداد فوتی‌ها بر مبنای بیشینه‌ی شتاب زمین ارائه داده‌اند.

یکی از چارچوب‌هایی که در محاسبه‌ی خسارت‌های ناشی از مرگ افراد و همچنین سیاست‌گذاری‌های مربوط به آن کاربرد زیادی دارد، چارچوب ارزش زندگی آماری (VSL)[۶] است. ارزش زندگی آماری (VSL) با توجه به ویژگی‌های جامعه و افراد و همچنین ویژگی‌های خطر بررسی شده، تعیین می‌شود.[۲۸] اقتصاددانان عموماً به ارزش مالی کاهش ریسک مرگ‌ومیر افراد، ارزش زندگی آماری (VSL) می‌گویند.[۲۹] برخی دیگر، ارزش زندگی آماری را معادل هزینه‌یی که یک جامعه، حاضر است برای جلوگیری از مرگ زودرس یک فرد نامشخص پرداخت کند، می‌دانند.[۲۸] در تعریفی دیگر، ارزش زندگی آماری را میزان خسارت وارده بر جامعه در اثر مرگ زودهنگام یک فرد تلقی کرده‌اند.[۳۰و۳۱]

روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری وجود دارد. مهم‌ترین روش‌های محاسبه‌ی معیار VSL، عبارت از روش‌های سرمایه‌ی انسانی،[۷] ترجیح‌های بیان شده[۸] و ترجیح‌های آشکار شده[۹] هستند.[۲۸و۲۹] ارزش زندگی آماری برای هر نفر متناسب با ویژگی‌هایش، نظیر: سن، درآمد، جنسیت و دیگر ویژگی‌های مرتبط با وی محاسبه می‌شود.[۳۲] ویژگی‌یی که بیشترین بررسی بر روی ارتباط آن با ارزش زندگی آماری صورت گرفته است، درآمد است. هم از لحاظ تئوری و هم تجربی، شواهدی مبتنی بر ارتباط مثبت VSL و درآمد وجود دارد. اما بررسی‌ها نشان می‌دهند که میزان تأثیر VSL و درآمد در یکدیگر، تابع شرایط و ویژگی‌های جامعه است. ممکن است میزان تأثیر آن در بین گروهی از جامعه با گروهی دیگر از همان جامعه متفاوت باشد. همچنین، ممکن است میزان تأثیر VSL و درآمد در جوامع یا کشورهای مختلف متفاوت باشد.[۳۳]

از چارچوب ارزش زندگی آماری در حوزه‌های مختلفی، مانند حوادث رانندگی و جاده‌یی،[۳۴،۲۸و۳۵] پزشکی[۳۶،۳۰-۳۸] و مشکلات زیست‌محیطی[۳۹و۴۰] و نیز در بررسی خطرهایی، همچون: سیلاب[۴۱] و حملات تروریستی،[۴۲] استفاده شده است. همچنین در زمینه‌ی کمّی‌سازی تاب‌آوری لرزه‌یی جوامع در پژوهش‌های پیشین،[۲، ۳۱و۴۳] از چارچوب ارزش زندگی آماری استفاده شده است.

مرور ادبیات فنی نشان می‌دهد که پژوهش‌هایی در زمینه‌ی محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری در کشورهایی نظیر ایالات متحده‌ی آمریکا و دیگر کشورهای با درآمد بالا انجام شده‌اند. از سوی دیگر، پژوهش‌های انجام شده در مورد محاسبه‌ی VSL، در کشورهایی با درآمد متوسط و پایین انگشت‌شمارند.[۴۴] بررسی‌ها نشان می‌دهند که در پژوهش‌های مرتبط با تاب‌آوری لرزه‌یی، که در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر انجام شده‌اند، معمولاً از ارزش زندگی آماری به دست آمده از دیگر حوزه‌ها و یا کشورهای توسعه‌یافته مانند ایالات متحده‌ی آمریکا استفاده شده‌است؛ که روش اخیر باعث ایجاد خطا در محاسبه‌ها و در نتیجه، پایین‌دست و یا بالادست برآورده شدن خسارت‌های اجتماعی ناشی از زمین‌لرزه می‌شود. شایان توجه است که برآورد نامناسب میزان خسارت‌های اجتماعی وارد شده به جامعه در اثر حوادثی مانند زمین‌لرزه، خصوصاً پایین‌دست برآورد کردن آن، می‌تواند سیاست‌گذاری صحیح برای کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها را به بیراهه کشاند. نتیجه‌ی این امر، کاهش سرمایه‌گذاری در اقدام‌های کاهش آسیب‌پذیری در برابر حوادث است. در صورت کاهش سرمایه‌گذاری در راهکارهای افزایش آمادگی و کاهش آسیب‌پذیری، وقوع

زمین‌لرزه می‌تواند پیامدهای اقتصادی، سیاسی و اجتماعی قابل توجهی برای جامعه در پی داشته باشد.

در پژوهش حاضر، با هدف رفع کاستی‌های اشاره شده در متن، به بررسی و محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به روش ترجیح‌های آشکار شده در حوزه‌ی ریسک لرزه‌یی با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط مرکز آمار ایران پرداخته شده است. ابتدا داده‌های مربوط به ۱۲۳۷۴ نفر از نیروهای کار ایران، شامل ویژگی‌هایی نظیر: جنسیت، درآمد و تحصیلات ایشان از مرکز آمار ایران دریافت شد. سپس داده‌های جمع‌آوری شده، پالایش و پردازش شدند. به‌عنوان نمونه، در صورتی که داده‌های مربوط به سن یا جنسیت فردی موجود نبود، اطلاعات وی به کلی حذف می‌شد. سپس در پژوهش حاضر، مدل‌های متنوع و متعدد رگرسیون خطی، که بیان‌گر رابطه‌ی مشخصات افراد و ریسک لرزه‌یی از یک‌سو و درآمد آن‌ها از سوی دیگر بوده است، ساخته و از آن‌ها برای محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری استفاده شده است. خروجی پژوهش حاضر، تأثیر به‌سزایی در دقت محاسبه‌ی خسارت‌های اجتماعی ناشی از شکست زیرساخت‌ها در اثر زمین‌لرزه خواهد داشت، که نتیجه‌ی آن افزایش دقت در تحلیل تاب‌آوری و سیاست‌گذاری‌های مربوط به این حوزه است.

همچنین در بخش سوم، به مرور ادبیات فنی موجود در حوزه‌ی ارزش زندگی آماری و در بخش چهارم، به تشریح فرآیند مدل‌سازی پرداخته شده است. بخش‌های پنجم و ششم نیز به‌ترتیب به تحلیل نتایج و جمع‌بندی مطالب اختصاص یافته‌اند.

۳. مرور ادبیات فنی

بسیاری از مردم، قیمت‌گذاری بر روی زندگی افراد را از لحاظ احساسی و اخلاقی غیرقابل قبول می‌دانند.[۲۸] اسکلینگ (۱۹۶۸)،[۱۰] این فرض که قیمت‌گذاری روی جان افراد اخلاقی نیست، را رد کرد و آن را یک قضاوت کاربردی و تصمیم‌گیری بین کاهش ریسک مرگ زودهنگام و خرید دیگر کالاها دانست. او VSL را نشانه‌یی از فدا کردن برخی لذت‌های زندگی برای کاهش ریسک مرگ دانست.[۴۵] برای مثال، فرض شود که دو محصول با میزان ایمنی متفاوت وجود دارند و دیگر ویژگی‌های آن‌ها کاملاً یکسان هستند. برخی افراد حاضر به پرداخت مبلغ بیشتری برای خرید کالای ایمن‌تر هستند، تا در نهایت کالای ایمن‌تری را خریداری کنند. به‌همین ترتیب، افراد دیگری با کمتر هزینه کردن و خرید کالای با ایمنی کمتر، ریسک بیشتری را به جان می‌خرند.[۲۸] جونز ـ لی[۱۱] تمایل مردم به پرداخت (WTP) [۱۲] برای کاهش ریسک مرگ و میر به قبول ریسک (WTA)،[۱۳] ایشان را ناشی از تمایل به بیشینه‌سازی بهره‌مندی مورد انتظار[۱۴] از درآمدشان دانست.[۴۶] تاکنون روش‌های متعددی برای محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری ارائه شده‌اند. قدیمی‌ترین روش‌ها، روش‌های موسوم به سرمایه‌ی انسانی هستند که پیش از معرفی روش تمایل به پرداخت، کاربرد فراوانی داشتند.[۲۹] دو زیرمجموعه‌ی اصلی روش‌های سرمایه‌ی انسانی، روش‌های درآمد در طول زندگی[۱۵] و هزینه‌ی توسعه و حفظ سرمایه‌ی انسانی[۱۶] هستند.[۲۸] پژوهش‌گران از روش درآمد در طول زندگی بیشتر از روش هزینه‌ی توسعه و حفظ سرمایه‌ی انسانی استفاده کرده‌اند.[۲۸] از دیدگاه روش‌های سرمایه‌ی انسانی، افراد بخشی از سرمایه‌های کشور هستند. افزایش مهارت و دانش افراد از طریق آموزش و تمرین، باعث افزایش تأثیر آن‌ها در روند تولید کشور و ایجاد ارزش افزوده‌ی اقتصادی در جامعه می‌شود. بنابراین در روش سرمایه‌ی انسانی، VSL به‌عنوان میانگین ارزش تولیدی افراد و سهم آن‌ها در رفاه مادی جامعه محاسبه می‌شود، که در اثر مرگ زودرس آن‌ها از بین می‌رود.[۲۸] در سال ۱۹۸۴، جرگنسون و فرامنی[۱۷] (۲۰۲۰)،[۴۷] با بررسی سرمایه‌های انسانی و غیرانسانی ایالات متحده‌ی آمریکا به توسعه‌ی مدلی برای محاسبه‌ی سرمایه‌ی انسانی پرداختند. پژوهش اخیر، یکی از اولین پژوهش‌های انجام شده در مورد روش سرمایه‌ی انسانی مرتبط با ارزش زندگی آماری بوده است. یکی دیگر از پژوهش‌های صورت‌گرفته در خصوص روش اخیر، توسط گو و وونگ[۱۸] (۲۰۱۰)،[۴۸] در کشور کانادا بوده است، که از روش توسعه داده شده‌ی جرگنسون و فرامنی،[۴۷] که همان روش درآمد در طول زندگی افراد بوده است، برای محاسبه‌ی سرمایه‌ی انسانی کشور کانادا بهره برده‌اند. ایشان افزایش جمعیت در سن کار را دلیل افزایش حجم سرمایه‌ی انسانی کانادا در بازه‌ی بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۷ دانستند. همچنین پیر شدن جمعیت را عامل کاهش رشد سرمایه‌ی انسانی به میزان ۰٫۶٪ در سال دانستند. امروزه، به دلایل مختلفی از جمله پایین‌دست برآورد کردن VSL، روش سرمایه‌ی انسانی کاربرد چندانی ندارد.[۲۸]

در سال‌های اخیر، به روش‌های ترجیح‌های بیان شده و ترجیح‌های آشکار شده، که مشتقاتی از روش تمایل به پرداخت هستند، توجه گسترده‌یی شده است. در روش ترجیح‌های آشکار شده، اطلاعات و داده‌ها از بررسی انتخاب افراد بین ثروت و ریسک به‌دست می‌آیند [۲۹].یکی از زیرمجموعه‌های بررسی ارزش زندگی آماری به روش ترجیح‌های آشکار شده، بررسی معاملات بین ریسک و درآمد[۱۹] است، که به بررسی ارتباط درآمد افراد و ریسک می‌پردازد.[۲۸] روش دیگر، یعنی ترجیح‌های بیان شده در زمانی که اطلاعات و دانش راجع به تصمیم افراد و انتخاب‌ها محدود است، کاربرد فراوانی دارد. روش ترجیح‌های بیان شده، انعطاف بیشتری نسبت به روش ترجیح‌های آشکار شده دارد و به تحلیل‌گران اجازه می‌دهد تا به جای بررسی رفتار واقعی افراد، انتخاب و تصمیم بیان شده‌ی آن‌ها را بررسی کنند. بدین منظور، اطلاعات مورد نیاز در حوزه‌های مختلف از طریق پرسش‌نامه و بررسی تصمیم‌های افراد تحت شرایط فرضی به‌دست می‌آیند.[۲۸و۴۹]

مهم‌ترین راهکار برای به دست آوردن ارزش زندگی آماری به‌روش ترجیح‌های بیان شده، روش ارزش‌گذاری مشروط[۲۰] است. در روش ارزش‌گذاری مشروط، افراد با در نظرگرفتن شرایطی فرضی، به سؤال‌هایی راجع به کاهش ریسک پاسخ می‌دهند و میزان تمایل به پرداخت خود برای کاهش ریسک را بیان می‌کنند. بیشترین میزان هزینه‌یی که یک فرد حاضر به پرداخت برای کاهش ریسک است، میزان تمایل به پرداخت آن فرد را مشخص می‌کند و با به دست آمدن تمایل به پرداخت افراد و محاسبه‌ی میانگین آن‌ها، به ارزش زندگی آماری دست می‌یابند.[۵۰و۵۱]

هر دو روش ترجیح‌های بیان شده و آشکار شده، مزایا و معایبی دارند. روش ترجیح‌های آشکار شده، تمرکز بیشتری بر روی مبادله بین درآمد و ریسک دارد. در روش اخیر، درک افراد از ریسک بسیار مؤثر و تأثیرگذار است و نقش مهمی را در محاسبه‌ی دقیق VSL ایفا می‌کند.[۲۸] یک خصوصیت مثبت روش ترجیح‌های بیان شده، مزیت طراحی سناریو در رابطه با موضوع مورد بررسی و پرسش درباره‌ی میزان تمایل به پرداخت افراد است. البته به دلیل فرضی بودن سناریوها و پرسش‌ها در روش ترجیح‌های آشکار شده، ممکن است افراد تحت بررسی، رفتاری متفاوت با رفتارشان در شرایط واقعی زندگی به نمایش بگذارند، که سبب دور شدن نظرات اظهار شده و نتایج از واقعیت و کاهش دقت محاسباتی شود. در مجموع استفاده از هرکدام از روش‌های ذکر شده، بستگی به داده‌های موجود، حوزه‌ی مورد بررسی و میزان درک ریسک افراد دارد.[۲۸]

در یکی از اولین مطالعه‌ها راجع به VSL در کشورهای در حال توسعه، همیت[۲۱] و همکاران (۱۹۹۷)،[۵۲] با استفاده از اطلاعات نیروی کار کشور تایوان و تشکیل تابع هدانیک[۲۲] مناسب، به بررسی معامله‌های ریسک و درآمد در کشور تایوان و در نتیجه، محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به روش ترجیح‌های آشکار شده پرداخته‌اند. توابع

هدانیک عموماً در محاسبه‌ی قیمت اجناس، خصوصاً قیمت مسکن، کاربرد دارند. با کمک توابع هدانیک و با استفاده از ویژگی‌هایی نظیر مساحت، سن و چشم‌انداز روی یک خانه، قیمت‌گذاری انجام می‌شود.[۵۳] جنکینز[۲۳] (۲۰۰۱)،[۵۴] با بررسی و مطالعه‌ی ارزش زندگی آماری با استفاده از داده‌های مربوط به استفاده یا عدم استفاده‌ی کودکان از کلاه ایمنی هنگام دوچرخه‌سواری بر اساس روش ترجیح‌های آشکار شده به سیاست‌گذاری‌های مرتبط با کودکان در کشور آمریکا کمک کرده است. آلبرینی[۲۴] و همکاران (۲۰۰۲)،[۵۵] در بررسی ارتباط سن و ارزش زندگی آماری در حوزه‌ی مشکلات زیست‌محیطی در کشور آمریکا دریافتند که جوانان عموماً نسبت به افراد با سنین بالاتر، دارای ارزش زندگی آماری بیشتر بوده و همچنین تمایل به پرداخت بیشتری داشته‌اند. بلومکوئیست[۲۵] (۲۰۰۴)،[۵۶] زمان صرف شده برای بستن کمربند ایمنی را متناسب با تمایل به پرداخت افراد در نظر گرفته و از این طریق به محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری در این زمینه پرداخته و دریافته است که پرداخت هزینه‌ی بیشتر برای خرید اجناس با ایمنی بالاتر، نشانه‌یی از تمایل افراد به پرداخت است. همیت و همکاران (۲۰۰۵)،[۳۳] نیز با طراحی و جمع‌آوری داده‌های پرسش‌نامه‌یی در شهر چنگدو[۲۶] در کشور چین به محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به روش ترجیح‌های بیان شده پرداخته‌اند. ایشان با استفاده از پرسش‌نامه‌هایی در مورد بیماری، تمایل به پرداخت افراد برای جلوگیری از مرگ به‌وسیله‌ی بیماری را بررسی کردند و ارزش زندگی آماری را به‌دست آوردند. همچنین ایشان در سال ۲۰۱۶،[۳۳] با کاربرد همان پرسش‌نامه در شهر چنگدو، به بررسی رابطه‌ی بین VSL از یک‌سو و درآمد و دیگر مشخصات شهروندان از سوی دیگر در بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ پرداخته‌اند. هانینگر[۲۷] و همکاران (۲۰۱۰)،[۵۷] به محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری در کودکان و بزرگسالان در زمینه‌ی بیماری‌هایی مانند سرطان پرداختند و تمایل به پرداخت والدین برای کاهش ریسک مرگ فرزندان‌شان را مطالعه کردند. همچنین به مقایسه‌ی تمایل به پرداخت افراد برای خود و دیگران در کودکان و بزرگسالان در کشور آمریکا پرداختند. رابینسون[۲۸] و همکاران (۲۰۱۰)،[۴۲] ارزش زندگی آماری مرتبط با حملات تروریستی را در کشور ایالات متحده‌ی آمریکا به دست آوردند و پیشنهاد کردند که از ارزش زندگی آماری محاسبه شده می‌توان برای بهبود سیاست‌های دولت در زمینه‌ی حملات تروریستی استفاده کرد. بوکارژوا[۲۹] و همکاران (۲۰۱۲)،[۴۱] نیز با استفاده از روش ترجیح‌های بیان شده و نیز داده‌های جمع‌آوری شده، با کمک پرسش‌نامه‌یی در بستر وب، ارزش زندگی آماری مرتبط با سیل در کشور هلند و میزان خسارت وارد بر جامعه در اثر جراحت افراد بر اثر سیلاب را محاسبه کردند. همچنین در پرسش‌نامه‌ی مذکور، با ایجاد دو حق انتخاب با ریسک‌ها و هزینه‌های مختلف برای افراد در زمینه‌ی انتخاب مسکن، تمایل به پرداخت افراد بررسی شده است. آلالویان[۳۰] و همکاران (۲۰۱۷)،[۵۸] ارزش زندگی آماری در کشور کویت را به روش ترجیح‌های بیان شده تخمین زده‌اند. پژوهش اخیر، که یکی از اولین پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی ارزش زندگی آماری در خاورمیانه بوده است، شباهت بسیار زیادی به پژوهش انجام شده در شهر چنگدو کشور چین داشته است. کراپر و شاهین[۳۱] (۲۰۰۹)،[۳۱] نیز در پژوهش مشترکی با بانک جهانی[۳۲] با بررسی میزان مرگ‌ومیر مناطق مختلف جهان در اثر وقایعی همچون زمین‌لرزه، بر اهمیت محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری در زمینه‌ی زمین‌لرزه و بحران‌های زیست‌محیطی تأکید کردند. ایشان همچنین ارزش زندگی آماری در کشورهای با درآمد بالا، متوسط و پایین را مقایسه کردند.

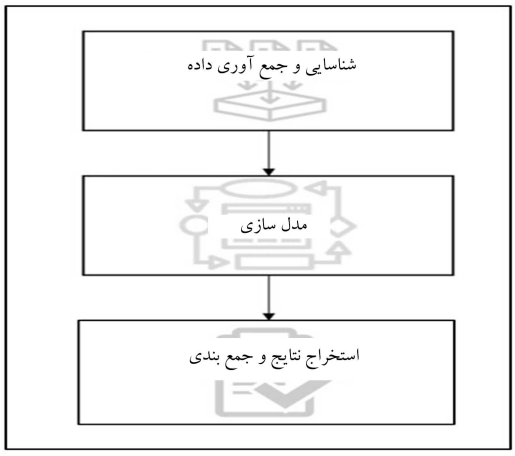
بررسی ادبیات فنی، نشان‌دهنده‌ی زمینه محور بودن و داده محور بودن چارچوب ارزش زندگی آماری است. با توجه به حوزه محور بودن ارزش زندگی آماری، لازم است معیار ارزش زندگی آماری برای تحلیل دقیق‌تر حوزه‌ی تاب‌آوری لرزه‌یی در کشور ایران محاسبه شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی برای محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به‌نحوی که نتایج آن قابل استفاده در تحلیل‌های تاب‌آوری لرزه‌یی در ایران باشد، صورت نگرفته است.

۴. روش‌شناسی پژوهش

در بخش روش‌شناسی، به تشریح مراحل مختلف انجام پژوهش حاضر (شکل ۱)، شامل: جمع‌آوری داده‌ها، پالایش و پردازش داده‌ها، مدل‌سازی، استخراج نتایج و جمع‌بندی مطالب پرداخته شده است.

۱.۴. شناسایی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز

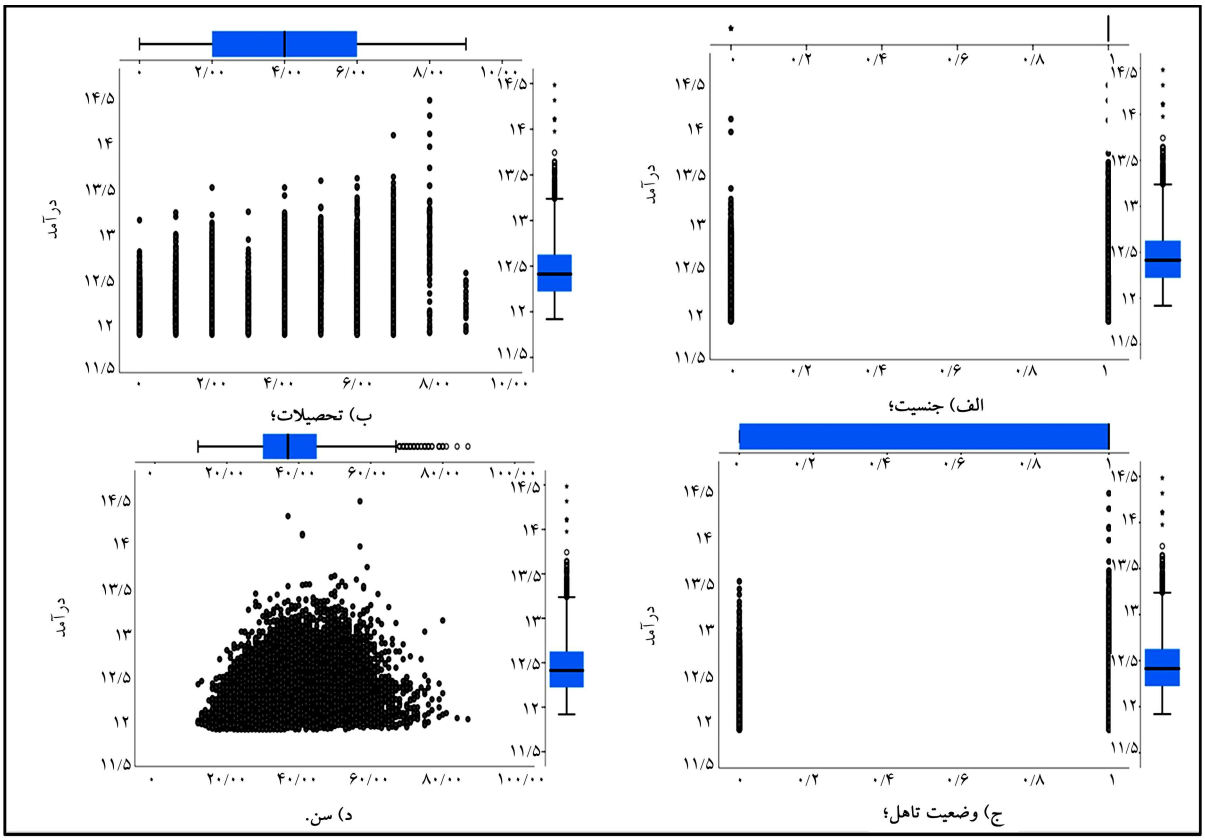
با بررسی ادبیات موضوع،[۵۹،۵۲،۲۸] مشخص شد که برای تشکیل تابع هدانیک به داده‌هایی در خصوص جنسیت، سن، تحصیلات و وضعیت تأهل افراد و نیز ریسک مرگ‌ومیر آن‌ها نیاز است. پس از شناسایی متغیرهایی که در تشکیل توابع هدانیک به کار رفته‌اند، داده‌های مربوط به هر متغیر از منابع مربوط جمع‌آوری شده است. بخش قابل توجهی از داده‌های استفاده شده در پژوهش حاضر از اطلاعات جمع‌آوری شده‌ی مرکز آمار ایران در خصوص نیروی کار کشور در سال ۱۳۹۸،[۶۰] استخراج شده است. به این منظور، پس از هماهنگی با مرکز آمار ایران و دریافت پایگاه داده‌یی حاوی اطلاعات ۱۲۳۷۴ نفر فرد شاغل در مشاغل گوناگون در استان‌های مختلف، خصوصیات ایشان نظیر جنسیت، سن، میزان تحصیلات، وضعیت تأهل و اطلاعات درآمدی هر فرد مشخص شده است. در جدول ۱، خلاصه‌یی از انواع داده‌های استفاده شده در پژوهش حاضر و نیز میانگین و انحراف معیار مقادیر داده‌ها ارائه



شکل ۱. مراحل پژوهش.

جدول ۱. اطلاعات آماری داده‌ها.

متغیر	میانگین	انحراف معیار
جنسیت	۰٫۸۵۰	۰٫۳۵۶
سن	۳۸٫۱۲۷	۱۰٫۷۳۳
تحصیلات	۳٫۶۶۳	۲٫۱۶۱
وضع تاهل	۰٫۷۴۴	۰٫۴۳۶
ریسک	۵٫۰۰۰	۶٫۷۰۶
درآمد	۲۶۱۸۵۸٫۰۰۰	۸۲۱۷۴٫۶۰۰



شکل ۲. نمودار ارتباط متغیرهای مختلف.

شده است. در پژوهش حاضر، جنسیت افراد به‌صورت متغیری دوتایی[۳۳] تعریف شده است؛ که بر اساس آن، عدد ۰ نمایانگر خانم‌ها و عدد ۱، مختص آقایان بوده است.

در شکل ۲ ـ الف، پراکندگی درآمد افراد بر اساس جنسیت مشاهده می‌شود. سطح تحصیلات افراد نمایانگر تعداد دوره‌های تحصیلی طی شده است.[۳۴] در شکل ۲ ـ ب، ارتباط تحصیلات و درآمد افراد مشاهده می‌شود، که مطابق آن، افراد با تحصیلات بالاتر، عموماً درآمد بیشتری نیز داشته‌اند.

در پژوهش حاضر، وضعیت تأهل افراد نیز به‌صورت متغیری دوتایی تعریف شده است. به این‌ترتیب، به افراد متأهل عدد ۱ و به افراد غیرمتأهل، عدد ۰ اختصاص داده شده است. همان‌طورکه در شکل ۲ ـ ج مشخص است، افراد متأهل نیز عموماً درآمد بیشتری نسبت به افراد غیرمتأهل داشته‌اند. همچنین ارتباط سن افراد و درآمد آن‌ها در شکل ۲ ـ د مشاهده می‌شود، که به‌صورت ساعتی و به واحد ریال ایران بیان شده است.

یادآوری می‌شود که ریسک سلامتی و ایمنی، پدیده‌یی زمینه‌محور است و از یک حوزه‌به حوزه‌ی دیگر دچار تغییر می‌شود. به‌همین دلیل و با هدف تعیین ارزش زندگی آماری افراد تحت ریسک زلزله، احتمال مرگ‌ومیر افراد در زلزله برای هر فرد، ابتدا با استفاده از پژوهش طاهریان و همکاران (۲۰۱۹)،[۶۱] که در قالب پروژه‌ی مدل زمین‌لرزه‌یی خاورمیانه (EMME)،[۳۵ ۶۲،۶۳] و با هدف طراحی نقشه‌های Risk Targeted کشور ایران صورت گرفته است، بازه‌ی PGA در شهر محل زندگی هر یک از افرادی که اطلاعات آن‌ها در پایگاه داده‌ی اشاره شده موجود بود، به دست آمده است. سپس، به هر یک از افراد، یک عدد که نمایانگر بیشینه‌ی شتاب زمینی است که در زلزله‌ی احتمالی تجربه خواهند کرد، با نمونه‌گیری از یک توزیع نرمال با

جدول ۲. اطلاعات آماری PGA بر اساس پروژه‌ی EMME (برگرفته از نوشتار طاهریان و همکاران (۲۰۱۹)،[۶۱].

پارامتر	PGA (بر اساس EMME۱۴)
بیشینه	۰٫۸۰
کمینه	۰٫۰۵
میانه	۰٫۲۷
انحراف معیار	۰٫۰۸
میانگین	۰٫۲۷
کواریانس	۳۱٫۰۰

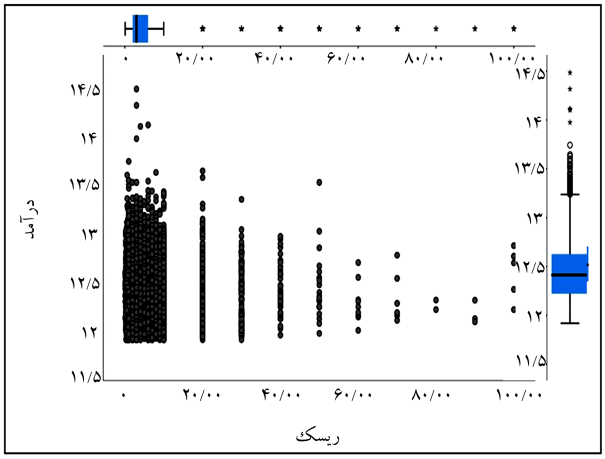
ویژگی‌های نمایش داده‌شده در جدول ۲ اختصاص داده شده است.

سپس، با استفاده از بیشینه‌ی شتاب‌های زمین به دست آمده و جای‌گذاری آن‌ها در تابع مرگ‌ومیر ارائه شده توسط امینی و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۷] میزان نرخ مرگ‌ومیر ناشی از زمین‌لرزه برای هر فرد محاسبه شده است.

با استفاده از رابطه‌ی ۱، که برگرفته از پژوهش امینی حسینی و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۷] است، ریسک مرگ‌ومیر در اثر زلزله برای هر فرد به‌منظور استفاده‌ی توابع هدانیک و محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به‌دست آمده است:

$$log\,(FR) = a + b \times PGA, PGA \geq ۱۰۰ cm/s^۲$$
$$a = -۴٫۵۲۱۰\,(-۵٫۰۵۲۰,\ -۳٫۹۹۰۰)$$
$$b = ۰٫۰۰۳۸\,(۰٫۰۰۲۸, ۰٫۰۰۴۷) \qquad (۱)$$

که در آن، PGA نشان‌دهنده‌ی بیشینه‌ی شتاب زمین است. a و b هم پارامترهای مدل



شکل ۳. نمودار ارتباط ریسک و درآمد.

هستند، که در پژوهش امینی حسینی و همکاران (۲۰۲۰)،[۲۷] با کمک مدل‌سازی رگرسیون بر روی داده‌های زلزله‌های پیشین در ایران به دست آمده‌اند.

در شکل ۳، پراکندگی درآمد بر مبنای ریسک مرگ‌ومیر افراد در اثر زلزله مشاهده می‌شود. ریسک مرگ‌ومیر افراد در اثر زلزله با کمک رابطه‌ی ۱ و متناسب با محل زندگی آن‌ها تعیین شده است.

۲.۴. مدل‌سازی

یکی از گام‌های اصلی در محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری به روش ترجیح‌های آشکار شده، بررسی روابط بین ریسک مرگ‌ومیر، درآمد و سایر ویژگی‌های افراد است. در بخش پیشین اشاره شد که یکی از روش‌های بیان ارتباط ذکر شده، استفاده از توابع هدانیک است. توابع هدانیک در برخی پژوهش‌های پیشین،[۵۹،۵۲] برای محاسبه‌ی رابطه‌ی ریسک شغل افراد و درآمد آن‌ها استفاده شده است. در پژوهش حاضر نیز از توابع هدانیک برای مدل‌سازی روابط بین درآمد از یک سو و ریسک مرگ‌ومیر در اثر زلزله و نیز سایر ویژگی‌های افراد، مانند سن، جنسیت و وضعیت تأهل از سوی دیگر استفاده شده است. در رابطه‌ی ۲، ساختار کلی تابع هدانیک ارائه شده است.

$$ln\ W_i = g\left(X_{Ii}, X_{Ji}\right) + u_i \qquad (۲)$$

که در آن، میزان درآمد افراد متغیر وابسته و متغیرهای سن، جنسیت و ریسک، متغیرهای مستقل هستند. همچنین در آن، X_{Ii} ویژگی‌های فردی شخص، X_{Ji} ریسک مرگ‌ومیر فرد و u_i خطای مدل است که از توزیع نرمال با میانگین ۱۱/۷۵۹ و انحراف معیار ۰/۰۱۳ پیروی می‌کند و $g()$ تابع هدانیک است.

ضرایب تابع هدانیک با کمک ابزار یادگیری‌ماشین[۳۶] و با تشکیل مدل رگرسیون خطی،[۳۷] به نحوی که لگاریتم طبیعی درآمد متغیروابسته و دیگر متغیرها، متغیر مستقل باشند، تعیین می‌شود. در پژوهش حاضر، با کمک روش‌های مختلف آماده‌سازی داده، نظیر نرمال‌سازی داده‌ها و لگاریتم‌گیری از آن‌ها و همچنین استفاده از الگوریتم‌های متعددی در زمینه‌ی یادگیری ماشین، مانند مدل انتخابی لاسو[۳۸] در نوشتار ژائو و یو[۳۹](۲۰۰۶)،[۶۴] دوازده مدل متنوع ساخته و نتایج آن در بخش بعد تشریح شده است.

جدول ۳. نتایج به دست آمده از مدل‌سازی.

متغیر	ضریب	انحراف معیار
جنسیت	۰/۱۲۳	۰/۰۰۶
سن	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰
تحصیلات	۰/۰۶۴	۰/۰۰۱
وضعیت تاهل	۰/۱۴۳	۰/۰۰۵
ریسک	۰/۰۱۸	۰/۰۰۲
ثابت	۱۱/۷۵۹	۰/۰۱۳

۵. نتایج

در جدول ۳، ضرایب مناسب‌ترین مدل ارائه شده است. این تذکر لازم است که در برخی پژوهش‌های پیشین در حوزه‌ی VSL،[۵۹،۵۲] از جمله پژوهش همیت و همکاران (۱۹۹۷)،[۵۲] در تایوان که پیشگام اجرای این روش در کشورهای در حال توسعه بوده است، میزان R^2 در رگرسیون‌خطی عددی نزدیک به ۰/۳ تا ۰/۵ است. به‌همین ترتیب، میزان R^2 مدل انتخاب شده در پژوهش حاضر نیز عدد ۰/۳۹ است، که در بازه‌ی اخیر قرار دارد. بر اساس نتایج به دست آمده و ارائه شده در جدول ۳، با توجه به ارتباط تحصیلات و درآمد، افراد با میزان تحصیلات بالاتر، درآمد بیشتری نسبت به افراد با سطح تحصیلات پایین‌تر دارند. همچنین سن افراد و متأهل بودن آن‌ها نیز تأثیر مثبتی در عایدی آن‌ها گذاشته است. این در حالی است که میزان تأثیرگذاری وضعیت تأهل بیشتر از تأثیر سن افراد در درآمد آن‌ها بوده است. در رابطه با متغیر جنسیت نیز می‌توان گفت مردان عموماً درآمد بیشتری نسبت به بانوان داشته‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده و همچنین شرایط موجود در جامعه و آمارهای ارگان‌های ذی‌ربط، روابط بین متغیرهای مختلف و درآمد منطقی بوده و نمود واقع‌بینانه‌یی از جامعه ارائه شده است.

ضریب بین ریسک و درآمد افراد نیز نشان‌دهنده‌ی میانگین تمایل افراد به پرداخت برای کاهش ریسک است. با استفاده از ضریب مذکور می‌توان به ارزش زندگی آماری جامعه دست یافت. بزرگی ضریب بین ریسک و درآمد با استفاده از مدل‌سازی به روش لاسو ۰/۰۱۸ تخمین زده شده است، که با استفاده از آن و همچنین با فرض ۲۰۰۰ ساعت کاری در سال،[۵۲] ۱۰۰۰۰ نفر برای محاسبه‌ی میزان ریسک و همچنین ۲۰۰۰۰۰ ریال به‌عنوان میانگین حقوق ساعتی افراد در کشور، ارزش زندگی آماری عددی برابر با ۷/۲۰۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان (هفتاد و دو میلیارد ریال) به دست آمده است.

به این ترتیب، در صورت فوت یک نفر بر اثر زمین‌لرزه، بیش از ۷ میلیارد تومان خسارت اقتصادی به جامعه وارد می‌شود. البته مبلغ اخیر بخشی از خسارت‌های زلزله است. فوت افراد پیامدهای دیگری نظیر اختلال اضطراب پس از حادثه (PTSD)[۴۰] برای اطرافیان فوت‌شدگان به دنبال دارد. درمان چنین اختلالی، هزینه‌هایی را به افراد و جامعه تحمیل می‌کند. این هزینه‌ها که در زمره‌ی خسارت‌های مالی غیرمستقیم فوت افراد قرار می‌گیرند، نیز باید تا حد ممکن در تحلیل هزینه ـ فایده‌ی سیاست‌ها و برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری لحاظ شوند.

بر اساس رابطه‌ی ۳، که توسط کراپر و شاهین (۲۰۰۹)،[۳۱] ارائه شده است، می‌توان ارزش زندگی آماری تقریبی یک کشور را از ارزش زندگی آماری کشوری دیگر به‌دست آورد. بررسی‌ها بر روی رابطه‌ی ۳، نشان‌دهنده‌ی نزدیک بودن نتایج پژوهش حاضر و اعداد به دست آمده از رابطه‌ی اخیر دارد. مشخصاً، این میزان در

جدول ۴. نتایج برخی پژوهش‌های پیشین در حوزه‌ی ارزش زندگی آماری در کشور ایران.

پژوهش	سال	ارزش زندگی آماری*	حوزه مورد بررسی
برایر و رحمتیان[۶۵]	۱۳۸۳	۷۰٫۰۰۰٫۰۰۰	مقایسه دیه و ارزش زندگی آماری
کریم‌زادگان و همکاران[۶۶]	۱۳۸۶	۳٫۲۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰	آلودگی هوا
بیات و همکاران[۶۷]	۱۳۹۷	۵٫۰۳۱٫۹۹۸٫۴۰۰	آلودگی هوا
نادری و همکاران[۶۸]	۱۳۹۸	۱۰٫۷۷۵٫۵۱۰	حمل و نقل

*ارزش‌ها به تومان هستند.

کشور ایالات متحده‌ی آمریکا برابر ۱۰ میلیون دلار است.[۳۰] با استفاده از رابطه‌ی ۳، ارزش زندگی آماری در ایران برابر ۶٫۶۹۳٫۰۰۰٫۰۰۰ تومان به دست آمده است.

$$VSL_{Iran} = VSL_{USA} \bullet (y_{Iran} \div y_{USA})^{\varepsilon} \quad (۳)$$

که در آن، y سرانه‌ی درآمد ناخالص ملی[۴۱] و ε کشش درآمدی[۴۲] است، که عددی بین ۱ تا ۱٫۵ است.[۳۱] در پژوهش حاضر، y مساوی با ۱٫۲۵ فرض شده است.

در جدول ۴، نیز مقادیر گوناگون VSL، که در پژوهش‌های پیشین برای ایران محاسبه شده‌اند، ارائه شده است. تفاوت اعداد گزارش شده معمولاً به دلیل تفاوت روش‌های محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری و یا تفاوت گروه‌های اجتماعی تحت مطالعه است.

زمان جمع‌آوری داده‌های استفاده شده در پژوهش نیز اثر به سزایی در نتایج محاسبات دارند. همچنین میزان درک افراد از ریسک، مؤلفه‌ی مهمی در انجام محاسبات، مخصوصاً در روش ترجیح‌های بیان شده است. در جدول ۴، ارزش زندگی آماری در پژوهش اول بر اساس رابطه‌ی ۳، در پژوهش‌های دوم و چهارم بر اساس روش تمایل به پرداخت و در پژوهش سوم نیز بر اساس رابطه‌ی ۳ محاسبه شده است.

۶. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، با استفاده از داده‌های مرتبط با نیروی کار کشور و استفاده از روش ترجیح‌های آشکار شده، ارزش زندگی آماری (VSL) برای ریسک زمین‌لرزه محاسبه شده است. ارزش زندگی آماری، معیار مهمی در ارزیابی اقتصادی و تحلیل هزینه‌ی فایده‌ی سیاست‌های ایمنی و سلامت است. هدف سیاست‌های ایمنی و سلامت، حفظ زندگی شهروندان و کیفیت آن است. از ارزش زندگی آماری می‌توان برای تخصیص منابع به راهکارهای ارتقاء ایمنی و کاهش آسیب‌پذیری استفاده کرد. استفاده از ارزش زندگی آماری در هر حوزه‌یی که به حفظ زندگی و ایمنی افراد مرتبط باشد، امکان‌پذیر است. برای نمونه، از موضوع ارزش زندگی آماری برای سیاست‌های کاهش حوادث رانندگی و جاده‌یی و همچنین مسائل ایمنی مرتبط با مشاغل استفاده شده است. همچنین، در دو سال اخیر با توجه به همه‌گیری بیماری ناشی از ویروس کووید ـ ۱۹، پژوهش‌های بسیاری راجع به ارتباط ارزش زندگی آماری و سیاست‌های حوزه‌ی سلامت و بهداشت در راستای فائق آمدن بر این بیماری در کشورهای مختلف صورت گرفته‌است.[۳۰] سیاست‌گذاری در حوزه‌ی تاب‌آوری لرزه‌یی جوامع نیز از این قاعده مستثنی نیست و نیازمند وجود معیارهایی دقیق و قابل اتکا برای تصمیم‌گیری در خصوص تخصیص منابع به اقدامات کاهش آسیب‌پذیری است. یکی از معیارهای مذکور، ارزش آمار زندگی است، که می‌تواند برای کمّی‌سازی خسارت‌های ناشی از مرگ‌ومیر افراد در اثر زمین‌لرزه باشد.

نتایج پژوهش حاضر در ارتقاء کیفیت مطالعات کمّی‌سازی تاب‌آوری لرزه‌یی زیرساخت‌ها در ایران، نقش به سزایی خواهد داشت. همان‌گونه که پیش از این گفته شد، تاکنون در مطالعات اخیر از ارقامی مانند دیه‌ی فرد کامل و یا تبدیل ارزش زندگی آماری ایالات متحده‌ی آمریکا با استفاده از نرخ برابری ارز و معیار قدرت خرید، برای محاسبه‌ی خسارت اقتصادی ناشی از فوت یک فرد استفاده شده است. به دلیل تفاوت‌های اقتصادی و اجتماعی جوامع، استفاده از ارقام مذکور در تحلیل تاب‌آوری لرزه‌یی زیرساخت‌های جامعه مناسب نبوده است. پژوهش حاضر با بومی‌سازی و افزایش دقت معیار ارزش زندگی آماری استفاده شده در مطالعات تاب‌آوری لرزه‌یی کشور ایران، کمک شایانی به افزایش دقت ارزیابی‌های تاب‌آوری لرزه‌یی جوامع خواهد کرد. افزایش دقت تحلیل‌ها، مقدمه‌ی طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های مناسب کاهش خطرپذیری و ارتقاء تاب‌آوری است.

پژوهش حاضر، یکی از اولین پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی ارتباط ارزش زندگی آماری و زمین‌لرزه است. تاکنون در این زمینه پژوهش‌های بسیار کمی در جهان صورت گرفته است. همچنین مطالعات انگشت‌شماری در منطقه‌ی خاورمیانه و کشورهای با درآمدهای متوسط و پایین، مانند ایران در رابطه با ارزش زندگی آماری انجام شده است و پژوهش حاضر می‌تواند تا حدودی این خلأ را پرکند. ارزش زندگی آماری به دست آمده از پژوهش حاضر می‌تواند مبنای مطالعات در دیگر حوزه‌ها، از قبیل سلامت عمومی و حمل‌ونقل جاده‌یی نیز قرار گیرد.

پژوهش‌های آتی می‌توانند بر روی افزایش دقت محاسبات در این زمینه متمرکز شوند. در این راستا، می‌توان به مدل‌سازی عملکرد لرزه‌یی ساختمان‌ها در ایران برای محاسبه‌ی ریسک مرگ‌ومیر ساکنان با توجه به عملکرد لرزه‌یی ساختمان‌ها پرداخت. همچنین، پژوهش‌های آتی می‌توانند بر استفاده از روش ترجیح‌های بیان شده و پرسش‌های مستقیم برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز در محاسبه‌ی ارزش زندگی آماری متمرکز شوند.

پانوشت‌ها

1. Cimellaro
2. Vurgin
3. Hazus
4. federal emergency management agency
5. peak ground acceleration

6. value of a statistical life (VSL)
7. human capital
8. stated preferences
9. revealed preferences
10. schelling
11. Jones-Lee
12. willingness to pay
13. willingness to accept
14. expected utility
15. lifetime labor income
16. cost of developing and maintaining human capital attributes
17. Jorgenson & Fraumeni
18. Gu & Wong
19. wage - risk tradeoffs
20. contingent valuation
21. Hammitt
22. hedonic functions
23. Jenkins
24. Alberini
25. Blomquist
26. Chengdu
27. Haninger
28. Robinson
29. Bockarjova
30. Alolayan
31. Cropper & Sahin
32. World Bank
33. binary
34. به عنوان مثال، به فردی که تا پایان دوره‌ی ابتدایی تحصیل کرده است، عدد ۱ و به فردی که تا پایان دوره‌ی متوسطه‌ی اول تحصیل کرده است، عدد ۲ اختصاص یافته است.
35. earthquake model of the middle east
36. machine learning
37. linear regression
38. Lasso
39. Zhao & Yu
40. Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD)
41. gross national income per capita
42. income elasticity

منابع (References)

1. Didier, M. and et al. "A compositional demand/supply framework to quantify the resilience of civil infrastructure systems (Re-CoDeS)", *Sustainable and Resilient Infrastructure*, **3**(2), pp. 86-102 (2018).
2. Nasrazadani, H. and Mahsuli, M. "Probabilistic framework for evaluating community resilience: integration of risk models and agent-based simulation", *Journal of Structural Engineering*, **146**(11), 04020250 (2020).
3. FEMA-NIBS. " Multi-Hazard loss estimation methodology, earthquake model," MH 2.1 Technical Manual, *Federal Emergency Management Agency and National Institute of Building Sciences*, Washington D,C. (2012).
4. Wen, Y., Ellingwood, B. and Beacci, J. "Uncertainty modeling in earthquake engineering", *MAE Center Project FD-2 report* (2003).
5. Daniell, J.E., Schaefer, A.M. and Wenzel, F. "Losses associated with secondary effects in earthquakes", *Frontiers in Built Environment*, **3**(Article 30), pp. 1-14 (2017).
6. Cimellaro, G.P. "Urban resilience for emergency response and recovery", Fundamental Concepts and Applications, Springer (2016).
7. House, W., *Critical Infrastructure Security and Resilience*, White House (2013).
8. Resilience, C.I. "National Infrastruture Advisory Council", Final Report and Recommandations (2009).
9. Bruneau, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T. and et al. "A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities", *Earthquake Spectra*, **19**(4), pp. 733-752 (2003).
10. Cimellaro, G.P., Renschler, Ch.S., Reinhorn, A.M. and et al. "PEOPLES: a framework for evaluating resilience", *Journal of Structural Engineering*, **142**(10), 04016063 (2016).
11. Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M. and Bruneau, M. "Framework for analytical quantification of disaster resilience", *Engineering Structures*, **32**(11), pp. 3639-3649 (2010).
12. Vugrin, E.D., Warren, D.E., Ehlen, M.A. and et al. "A Framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems", in Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems, Springer, pp. 77-116 (2010).
13. Zobel, C.W. "Representing perceived tradeoffs in defining disaster resilience", *Decision Support Systems*, **50**(2), pp. 394-403 (2011).
14. Spiegler, V.L., Naim, M.M. and Wikner, J. "A control engineering approach to the assessment of supply chain resilience", *International Journal of Production Research*, **50**(21), pp. 6162-6187 (2012).
15. Speranza, C.I., Wiesmann, U. and Rist, S. "An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social-ecological dynamics", *Global Environmental Change*, **28**, pp. 109-119 (2014).
16. Kahan, J.H., Allen, A.C. and George, J.K. "An operational framework for resilience", *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, **6**(1) (2009).
17. Hosseini, S., Barker, K. and Ramirez-Marquez, J.E. "A review of definitions and measures of system resilience", *Reliability Engineering & System Safety*, **145**, pp. 47-61 (2016).
18. Francis, R. and Bekera, B. "A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems", *Reliability Engineering & System Safety*, **121**, pp. 90-103 (2014).
19. Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M. and et al. "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters", *Global Environmental Change*, **18**(4), pp. 598-606 (2008).
20. Ayyub, B.M. "Systems resilience for multihazard environments: definition, metrics, and valuation for decision making", *Risk Analysis*, **34**(2), pp. 340-355 (2014).
21. Spence, R. and So, E. "Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events", Cambridge, UK, Cambridge Architectural Research Ltd, (2009).

22. Samardjieva, E. and Badal, J. "Estimation of the expected number of casualties caused by strong earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(6), pp. 2310-2322 (2002).
23. Jaiswal, K., Wald, D.J., Earle, P.S. and et al. "Earthquake casualty models within the USGS prompt assessment of global earthquakes for response (PAGER) system", in Human Casualties in Earthquakes, Springer, pp. 83-94 (2011).
24. Jaiswal, K. and Wald, D. "An empirical model for global earthquake fatality estimation", *Earthquake Spectra*, **26**(4), pp. 1017-1037 (2010).
25. Bastami, M. and Soghrat, M. "An empirical method to estimate fatalities caused by earthquakes: the case of the Ahar-Varzaghan earthquakes (Iran)", *Natural Hazards*, **86**(1), pp. 125-149 (2017).
26. Badal, J., Vázquez- -Prada, M. and González,Á. "Preliminary quantitative assessment of earthquake casualties and damages", *Natural Hazards*, **34**(3), pp. 353-374 (2005).
27. Firuzi, E., Amini Hosseini, K., Ansari, A. and et al. "An empirical model for fatality estimation of earthquakes in Iran", *Natural Hazards*, **103**, pp. 231-250 (2020).
28. Guria, J. *Estimating the Human Cost of Transportation Accidents: Methodologies and Policy Implications*, Elsevier (2020).
29. Andersson, H. and Treich, N., *The Value of a Statistical Life, in a Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar Publishing (2011).
30. Hammitt, J.K. "Valuing mortality risk in the time of COVID-19", *Journal of Risk and Uncertainty*, **61**(2), pp. 129-154 (2020).
31. Cropper, M. and Sahin, S. "Valuing mortality and morbidity in the context of disaster risks", World Bank Policy Research Working Paper (2009).
32. Hammitt, J.K. "Extrapolating the value per statistical life between populations: theoretical implications", *Journal of Benefit-Cost Analysis*, **8**(2), pp. 215-225 (2017).
33. Hammitt, J.K., Geng, F., Guo, X. and et al. "Valuing mortality risk in china: comparing stated-preference estimates from 2005 and 2016", *Journal of Risk and Uncertainty*, **58**(2), pp. 167-186 (2019).
34. Viscusi, W.K. and Gentry, E.P. "The value of a statistical life for transportation regulations: a test of the benefits transfer methodology", *Journal of Risk and Uncertainty*, **51**(1), pp. 53-77 (2015).
35. León, G. and Miguel, E. "Risky transportation choices and the value of a statistical life", *American Economic Journal: Applied Economics*, **9**(1), pp. 202-228 (2017).
36. Viscusi, W.K. "The value of risks to life and health", *Journal of Economic Literature*, **31**(4), pp. 1912-1946 (1993).
37. Liu, J.T., Hammitt, J.K., Wang, J.-D. and et al. "Valuation of the risk of SARS in Taiwan", *Health Economics*, **14**(1), pp. 83-91 (2005).
38. Hammitt, J.K. and Liu, J.-T. "Effects of disease type and latency on the value of mortality risk", *Journal of Risk and Uncertainty*, **28**(1), pp. 73-95 (2004).
39. Hammitt, J.K. and Zhou, Y. "The economic value of air-pollution-related health risks in China: a contingent valuation study", *Environmental and Resource Economics*, **33**(3), pp. 399-423 (2006).
40. Aldy, J.E., Kotchen, M.J. and Leiserowitz, A.A. "Willingness to pay and political support for a US national clean energy standard", *Nature Climate Change*, **2**(8), pp. 596-599 (2012).
41. Bockarjova, M. and Verhoef, E.T. "Composite valuation of immaterial damage in flooding: value of statistical life, value of statistical evacuation and value of statistical injury", Tinbergen Institute Discussion Papers (2012).
42. Robinson, L.A., Hammitt, J.K., Aldy, J.E. and et al. "Valuing the risk of death from terrorist attacks", *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, **7**(1), Article 14 (2010).
43. Morshedi, M.A. and Kashani, H. "A system dynamics model to evaluate the housing market response to vulnerability reduction promotion policies", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **44**, 101438 (2020).
44. Robinson, L.A., Hammitt, J.K. and O'Keeffe, L. "Valuing mortality risk reductions in global benefit-cost analysis", *Journal of Benefit-Cost Analysis*, **10**(S1), pp. 15-50 (2019).
45. Schelling, T.C. "The life you save may be your own", Problems in Public Expenditure, pp. 127-162 (1968).
46. Jones-Lee, M.W., *The Economics of Safety and Physical Risk*, Basil Blackwell (1989).
47. Jorgenson, D. and Fraumeni, B. "The Accumulation of human and nonhuman capital, 1984-84", The Measurement of Saving, Investment, and Wealth, eds. RE Lipsey and HS (1968).
48. Gu, W. and Wong, A. "Estimates of human capital in Canada: The lifetime Income Approach", *Available at SSRN 1711935*, (2010).
49. Hammitt, J.K. and Graham, J.D. "Willingness to pay for health protection: inadequate sensitivity to probability", *Journal of Risk and Uncertainty*, **18**(1), pp. 33-62 (1999).
50. Carson, R.T. and Mitchell, R.C. "The value of clean water: the public's willingness to pay for boatable, fishable, and swimmable quality water", *Water Resources Research*, **29**(7), pp. 2445-2454 (1993).
51. Bateman, I.J., Carson, R., hanemann, M. and et al. "Economic valuation with stated preference techniques: a Manual", Economic Valuation with Stated Preference Techniques: A Manual (2002).
52. Liu, J.-T., Hammitt, J.K. and Liu, J.-L. "Estimated hedonic wage function and value of life in a developing country", *Economics Letters*, **57**(3), pp. 353-358 (1997).
53. Limsombunchai, V. "House price prediction: hedonic price model vs. artificial neural network", *in New Zealand Agricultural and Resource Economics Society Conference* (2004).
54. Jenkins, R.R., Owens, N. and Wiggins, L.B. "Valuing reduced risks to children: the case of bicycle safety helmets", *Contemporary Economic Policy*, **19**(4), pp. 397-408 (2001).

55. Alberini, A., Cropper, M., Krupnick, A. and et al. "Does the value of a statistical life vary with age and health status?, evidence from the United States and Canada", *Journal of Environmental Economics and Manegement*, **48**(1), pp. 769-792 (2002).

56. Blomquist, G.C. "Self-protection and averting behavior, values of statistical lives, and benefit cost analysis of environmental policy", *Review of Economics of the Household*, **2**(1), pp. 89-110 (2004).

57. Hammitt, J.K. and Haninger, K. "Valuing fatal risks to children and adults: Effects of disease, latency, and risk aversion", *Journal of Risk and Uncertainty*, **40**(1), pp. 57-83 (2010).

58. Alolayan, M.A., Evans, J.S. and Hammitt, J.K. "Valuing mortality risk in Kuwait: Stated-preference with a new consistency test", *Environmental and Resource Economics*, **66**(4), pp. 629-646 (2017).

59. Madheswaran, S. "Measuring the value of statistical life: estimating compensating wage differentials among workers in India", *Social Indicators Research*, **84**(1), pp. 83-96 (2007).

60. Stastistical Center of Iran. "Iran Stastistical Yearbook", (1398).

61. Taherian, A.R. and Kalantari, A. "Risk-targeted seismic design maps for Iran", *Journal of Seismology*, **23**(6), pp. 1299-1311 (2019).

62. Giardini, D., Danciu, L., Erdic, M. and et al. "Seismic hazard map of the Middle East", *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16**(8), pp. 3567-3570 (2018).

63. Erdik, M., SeSetyan, K., Demircioglu, M.B. and et al. "Assessment of seismic hazard in the middle east and caucasus: EMME (Earthquake Model of Middle East) project", *in Proc. of 15^{th} World Conference on Earthquake Engineering* (2012).

64. Zhao, P. and Yu, B. "On model selection consistency of Lasso", *The Journal of Machine Learning Research*, **7**, pp. 2541-2563 (2006).

65. Brajer, V. and Rahmatian, M. "From diye to value of statistical life: a case study for the islamic republic of Iran", Victor California State University, Fullerton (2004).

66. Karimzadegan, H., Rahmatian, M., Farhood, D. and et al. "Economic valuation of premature mortality and morbidity", *International Journal of Environmental Research*, **1**(2), pp. 128-135 (2007).

67. Bayat, R., Daroudi, R. and Hassanvand, M.S. "Economic analysis of the cost of deaths due to air pollution in Tehran", *Journal of Urban Economics and Planning*, **9**(3), pp. 187-193 (2020).

68. Naderi, A., Shahram, F. and Somayeh, A. "Valuing mortality risk of transportation accidents", *Journal of the School of Health and the Institute of Health Research*, **17**(1), pp. 29-46 (2019).