مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هفتم، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰
تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۷
صفحات: ۹۰ - ۶۷

مقاله (علمی پژوهشی)

توسعه مدل پویای مدیریت بحران زلزله در تهران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم (SD)

مهناز حسین زاده *[1]، علی احمدی[2]، مرضیه صمدی فروشانی[3]

۱*. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت MBA، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران
۳. دانش آموخته دکتری مدیریت تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

چکیده

بروز بلایای طبیعی از جمله زلزله موجب به وجود آوردن هزینه‌های مالی و انسانی سنگینی برای دولت‌ها و جوامع می‌شود. یکی از مهم-ترین عواملی که در افزایش یا کاهش میزان خسارات و تعداد تلفات انسانی در هنگام بروز زلزله تأثیرگذار است، وجود سیستم مدیریت بحران کارا است. با توجه به موقعیت ویژه شهر تهران و احتمال وقوع زلزله در این شهر و با توجه به خسارات برآوردی بالای مالی و جانی متعاقب آن، در این پژوهش یک مدل پویای مدیریت بحران با استفاده از روش‌شناسی پویایی‌شناسی سیستم (SD) توسعه یافته است تا با شبیه‌سازی فعالیت‌ها بعد از وقوع بحران زلزله، به کارایی بهتر و موثر مدیریت بحران کمک کند. بدین‌منظور پس از مدلسازی سیستم و تعیین اعتبار مدل ارایه شده، رفتار متغیرهای تعداد افراد محبوس و تعداد تلفات ناشی از زلزله تا مدت ۵ روز پس از وقوع بحران، با حفظ روند فعلی و با توجه به راه‌کارهای پیشنهادی سازمان مدیریت بحران شبیه‌سازی شده‌اند. راه‌کارهای پیشنهادی عبارتند از نوسازی بافت-های فرسوده، آموزش امداد و نجات، و آموزش نحوه مواجه با زلزله از طریق رسانه‌ها و فضای مجازی با کمک کمپین‌ها. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به هزینه‌های برآوردی اجرای سه پروژه فوق، آموزش پیش از وقوع بحران علی‌رغم هزینه اولیه کمتر آن نسبت به سایر راه‌کارهای مدیریت بحران تأثیر بسزایی در کاهش بحران پس از وقوع زلزله خواهد داشت و در صورت تامین سرمایه حدود ۱۰۰۰ میلیارد ریال در سال به منظور اجرای سیاست‌های دوم و سوم، تلفات جانی در صورت اتفاق زلزله ۱۰ مرکالی از ۱،۵۴۱،۰۰۰ وضعیت فعلی به ۶۸۹،۰۰۰ نفر کاهش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: مدیریت بحران، زلزله، پویایی‌شناسی سیستم (SD)، شهر تهران.

*- مهناز حسین زاده (نویسنده مسئول) Email: mhosseinzadeh@ut.ac.ir

مقدمه

حوادث طبیعی و غیرطبیعی سالیانه خسارت‌های مالی و جانی بسیاری را در جهان گریبان‌گیر بشر می‌سازد. زلزله یکی از مخرب‌ترین وقایع طبیعی در کره زمین است که گاه صدها تا هزاران کیلومتر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ژو و همکاران[1]، ۲۰۱۹). از آن‌جایی که ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ-هیمالیا قرار دارد و به عنوان یکی از بخش‌های جوان و در حال کوه‌زایی به‌شمار می‌رود، جزو کشورهای زلزله‌خیز است (فدراسیون بین‌المللی صلیب سرخ و هلال احمر IFRC[2]، ۲۰۱۴). زلزله شمال خراسان (۱۳۰۸)، زلزله سلماس (۱۳۰۹)، زلزله بوئین زهرا (۱۳۴۲)، زلزله طبس (۱۳۵۷)، زلزله شمال قائن (۱۳۵۸)، زلزله رودبار و منجیل (۱۳۶۹)، زلزله بم (۱۳۸۲) و زلزله کرمانشاه (۱۳۹۶) اشاره به این مطلب دارد که طی هشتاد سال اخیر بخش قابل توجهی از کشورمان خسارات و تلفات سنگینی را متحمل شده است. طبق آمارهای رسمی ۶,۷ درصد زلزله‌های مخرب جهان به ایران اختصاص دارد (زارعی و استعلاجی، ۱۳۹۵).

تهران با حدود ۸ میلیون جمعیت ساکن و ۴/۵ میلیون جمعیت مهاجر در روز، دارای گسل‌های فعال و غیرفعال بسیاری است که با توجه به تراکم جمعیتی زیاد، وقوع زلزله در آن باعث ایجاد خسارت در ابعاد گسترده‌ای می‌گردد. بنا به مطالعات سازمان لرزه‌نگاری، هر ۱۵۸ سال یکبار زمین لرزه‌ای به بزرگی هفت ریشتر تهران را لرزانده است (رفیعی و عامری، ۲۰۱۸). علاوه بر خسارات جانی بسیار که قطعاً غیرقابل جبران است، خسارت کلی ناشی از زلزله در تهران در حدود ۳۴ میلیارد دلار برآورده شده است. علاوه بر این هزینه بازسازی شهر تهران در حدود ۱۹۵ میلیارد دلار تخمین زده شده است (آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن جایکا[3]، ۲۰۱۷). بنابراین، توجه به امکان وقوع زلزله و انجام اقدامات لازم برای مدیریت بحران از اهمیت بسیاری برخوردار است. منظور از مدیریت بحران عبارت است از سازماندهی، برنامه‌ریزی، جذب و به‌کارگیری، هدایت و کنترل کارآمد منابع (اعم از مالی، غیرمالی و انسانی) برای کنترل و کاهش آثار بحران (کالمن و گانتینو[4]، ۱۹۸۹). مدیریت بحران شامل چهار مرحله شامل پیشگیری، آمادگی، پاسخگویی و بهبود است که به شرایط خاص هر کشور، چارچوب سیاستی آن، کارکردهای ساختاری، زیرساخت‌های اطلاعاتی و سیاست‌های توسعه پایدار آن بسیار وابسته است (پارک و همکاران[5]، ۲۰۱۹). تصمیم‌های مدیران بحران مهم‌ترین نقش را در برنامه‌ریزی و اجرای عملیات پاسخگویی کارا در هنگام زلزله ایفا می‌کند. اما توجه به کلیه مراحل نیازمند دیدگاهی سیستمی است تا هم‌زمان همه جوانب و مراحل را مورد توجه قرار داده و راه‌کارهای سیستمی را مد نظر قرار دهد، در حالی‌که امکان بررسی کارایی تمامی راه‌کارها پیش از وقوع بحران امکان‌پذیر نیست. شبیه‌سازی سیستم و شناسایی رفتار آن در مواجهه با راه‌کارهای مختلف مدیریت بحران، کمک شایان توجهی به سیاست‌گذاران در این زمینه خواهد کرد. با مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم زلزله پیش از وقوع آن، می‌توان از شرایط و کمبودهای موجود مطلع شد و با برنامه‌ریزی‌های استراتژیک به کاهش تلفات و هزینه‌های مربوطه پرداخت. در شبیه‌سازی علاوه بر آن‌که نقاط ضعف هر منطقه رویت می‌شود، می‌توان به کمک آن، به تدوین راهکارهای مدیریتی در زمان بحران و پس از وقوع زلزله نیز پرداخت و تصمیم‌های حیاتی در بحران را با خطای کمتری روبه‌رو ساخت. در چنین شرایط پویایی، دانش کاربردی نیاز به ابزارهای مناسبی دارد تا مدیران را قادر سازد پیچیدگی دینامیکی

[1] Zhu et al.
[2] International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), www.ifrc.org
[3] JICA
[4] Caleman & Gantino
[5] Park et al.

موجود در یک سیستم را نشان داده و قدرت تصمیم‌گیری خود را بهبود بخشند. ارتباط بین پدیده‌های مشاهده شده و بررسی شده می‌تواند با استفاده از ابزاری مناسب مانند پویایی سیستم[1] (SD) تجسم یابد (رمیدا[2]، ۲۰۱۵). وقتی پویایی سیستم و وضعیت پیچیده مدل‌سازی شده به درستی ایجاد شوند، سازمان‌های بشردوستانه می‌توانند حداکثر ابزارهای خود را از منابع موجود، برای تأمین تقاضای آسیب‌دیدگان استخراج کنند. مدل‌سازی پویایی سیستم در شرایط اضطراری، درک بهتری از رفتارهای انسانی را برای بهبود عملکرد عملیات بشردوستانه در اختیار می‌گذارد. در سال‌های اخیر تلاش‌های متعددی برای بررسی امکان استفاده از ابزار SD در زمینه‌های مختلف بشردوستانه انجام شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از این تحقیقات، اهداف و نتایج آن‌ها را ارایه می‌کند. تحقیقات انجام شده هر یک بعدی از ابعاد مدیریت بحران را مورد تمرکز قرار داده و قابلیت ابزار SD را در زمینه شبیه‌سازی سیستم بحران و مدیریت بحران نشان داده‌اند.

جدول ۱: خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده در زمینه کاربرد SD در شبیه‌سازی سیستم‌های مدیریت بحران

نویسندگان	سال	موضوع	اهداف و نتایج پژوهش
پنگ و همکاران[3]	۲۰۱۴	زنجیره تامین مدیریت بحران بعد از حادثه: رویکرد تحلیل پویایی سیستم تخریب برای برنامه‌ریزی لجستیک و موجودی	مدل پویایی سیستم را برای تجزیه و تحلیل رفتارهای زنجیره تأمین تخریب، با استفاده از شبیه-سازی عدم اطمینان به همراه پیش‌بینی شبکه جاده پس از لرزه‌نگاری و اطلاعات تاخیری، اعمال ارائه می‌دهد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استراتژی‌ای که اطلاعات را از هر دو منبع مرکز لرزه نگاری و نواحی آسیب‌دیده دریافت می کند برنامه لجستیکی بهتری را نسبت به زمانی که تنها از یک منبع اطلاعات دریافت می‌شود ایجاد می‌کند.
ناجو کاکیجا[4]	۲۰۱۴	تجزیه و تحلیل پویایی ارتباط بین فعالیت‌های بازاریابی و موفقیت‌های جمع‌آوری کمک‌های مالی	نتایج تجربی اولیه این پژوهش استفاده از روش پویایی سیستم را برای مدل‌سازی فعالیت‌های بازاریابی در بخش غیرنظامی و موفقیت جمع آوری کمک های مالی در سازمان‌های غیرانتفاعی را ارائه می‌دهد.
براریو و همکاران[5]	۲۰۱۵	آموزش تصمیم‌گیرندگان در پاسخگویی به بحران سیل با رویکرد پویایی سیستم	پیشنهاد یک مدل پویایی سیستم برای آموزش تصمیم‌گیرندگان در پاسخگویی به بحران سیل با ارائه امکان تحلیل و ارزیابی سناریوهای مختلف. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سطح آب مهم‌ترین عامل در زمان در دسترس برای پاسخ‌گویی به بحران است و چون معمولاً اطلاعات کامل نیست، برنامه‌های آموزشی برای مدیریت بحران پیش از وقوع حادثه نقش بسزایی در پاسخ‌گویی مناسب دارد.
اوکتاویا و همکاران[6]	۲۰۱۶	هماهنگی برنامه مدل لجستیک امدادرسانی برای بحران طبیعی	ارائه یک مدل هماهنگی دقیق در مدل لجستیک امدادرسانی در جاوا شرقی، اندونزی. بنابر نتایج این پژوهش هسته اصلی امدادرسانی باید شامل تیم صلیب سرخ اندونزی باشد و هماهنگی‌های لازم با سایر ارگان‌ها باید توسط این سازمان به دلیل آموزش‌های کافی افراد در این زمینه صورت گیرد.
کیم و همکاران[7]	۲۰۱۸	چارچوبی برای ارزیابی قابلیت انعطاف-پذیری یک سیستم مدیریت آواربرداری در بحران	اعمال یک رویکرد پویایی سیستم برای ارزیابی عملکرد آواربرداری برای سکونت جامعه. بر اساس نتایج این پژوهش توسعه زیرساخت‌ها در اولویت اول و افزایش کامیون‌ها در اولویت دوم برای افزایش عملکرد آواربرداری قرار دارند و نقش آموزش پیش از وقوع بحران در این پژوهش کمرنگ جلوه داده شده است.

[1] System dynamics (SD)
[2] Remida
[3] Peng et al.
[4] Najev Cacija
[5] Berariu et al.
[6] Octavia et al.
[7] Kim et al.

لذا، هدف از انجام این پژوهش، شبیه‌سازی سیستم مدیریت بحران در هنگام وقوع زلزله در تهران است، به طوری که قادر باشد مشکلات و چالش‌ها را پیش‌بینی کند و در زمان بحران خسارات جانی را کاهش دهد. به عبارت دیگر با مشاهده سیستمی بحران پیش از وقوع آن، مدیران بتوانند سیاست‌های مناسب به منظور پیشگیری و مدیریت بحران اتخاذ کنند.

روش شناسی پژوهش

در این پژوهش به شبیه‌سازی سیستم مدیریت بحران وقوع زلزله در شهر تهران برای ۱۲۰ ساعت اول پس از وقوع زلزله احتمالی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم (SD)پرداخته شده است. مراحل مدل‌سازی با روش SD عبارتند از: ۱) تعریف مسأله، ۲) تعریف فرضیه پویا و رسم نمودارهای علت و معلولی، ۳) رسم نمودار جریان، ۴) تعیین اعتبار مدل و تحلیل حساسیت ۵) طراحی و آزمون سیاست‌ها (استرمن[1]، ۲۰۰۰).

در گام نخست، برای ساخت نمودار علت و معلولی نخست مدل‌های پویایی شناسی سیستمی در زمینه مدلسازی مسأله بررسی قرار گرفت و مدل اولیه توسعه یافت، سپس با استفاده از نظر متخصصان سازمان مدیریت بحران استان تهران، تعدیل شد.

در گام دوم نمودار جریان در نرم افزار ونسیم (هونتی و همکاران[2]، ۲۰۱۹، نیوویرث[3]، ۲۰۱۷) طراحی و تمامی روابط ریاضی موجود در مدل با استفاده از داده‌های موجود در استفاده اسناد و مدارک سازمان مدیریت بحران استان تهران، مرکز آمار ایران، راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، شرکت بهره‌برداری از راه‌آهن شهری تهران و حومه، سازمان راهنمایی و رانندگی، شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران، مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ، سازمان جمعیت هلال احمر محاسبه شد. داده‌های مورد استفاده در هر زیربخش با جزئیات شرح داده شده است. در محاسبه روابط ریاضی بسیاری از موارد روابط بدیهی هستند و در برخی موارد از توابع رگرسیون برای برآورد روابط بین دو متغیر استفاده شده است. در مواردی که داده‌های کمی برای محاسبه روابط بین دو متغیر در دسترس نبود از توابع کیفی لوک آپ استفاده شد. بدین صورت که رفتار کلی تغییرات متغیر وابسته بر حسب متغیر گسسته با توجه به تجربیات متخصصان به صورت نموداری تقریبی در نرم افزار وارد شد.

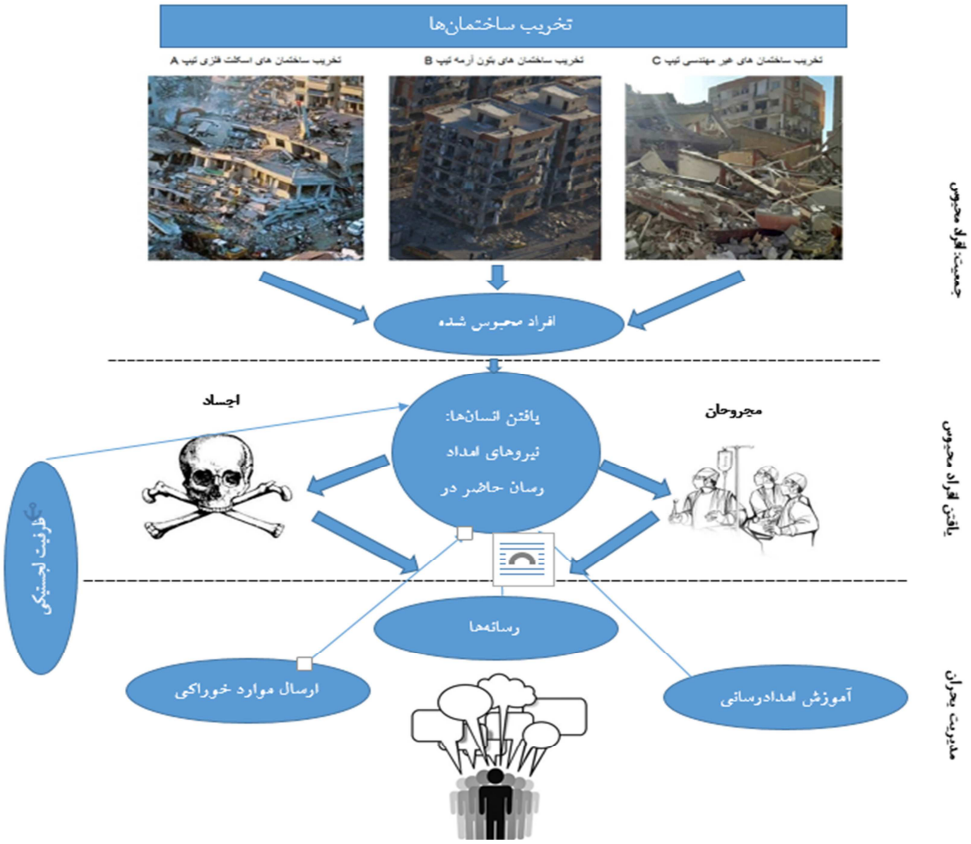
در گام بعد مدل برای حالت پایه در نرم افزار شبیه سازی و اعتبار آن مورد بررسی قرار گرفت. برای اعتبارسنجی مدل علاوه بر تأیید متخصصان از آزمون‌های اعتبار ساختاری و رفتاری شامل آزمون سازگاری ساختار و ابعاد مدل، آزمون خطای انتگرال‌گیری، آزمون شرایط حدی و آزمون بازتولید رفتار بهره گرفته شده است. تحلیل حساسیت پارامترهای مدل برای شناسایی نقاط اهرمی انجام شده است،

در گام آخر با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، سیاست‌های پیشنهادی تعریف و در مدل اعمال و رفتار متغیرها در نتیجه این سیاست‌ها شبیه‌سازی شده و بهترین راه‌کار انتخاب شده است.

[1] Sterman
[2] Honti et al.
[3] Neuwirth

یافته‌های پژوهش

در این بخش نخست زیرسیستم‌های اصلی مدل معرفی و مدلسازی شده و روابط ریاضی میان متغیرها ارائه شده‌اند. نمودار زیرسیستم بیان‌گر معماری کلی مدل است و ارتباطات و تعاملات بین اجزای سیستم را نشان می‌دهد. زیرسیستم‌ها یا به عبارتی بلوک‌های اصلی مدل در قالب شکل ۱ ارایه شده‌اند.

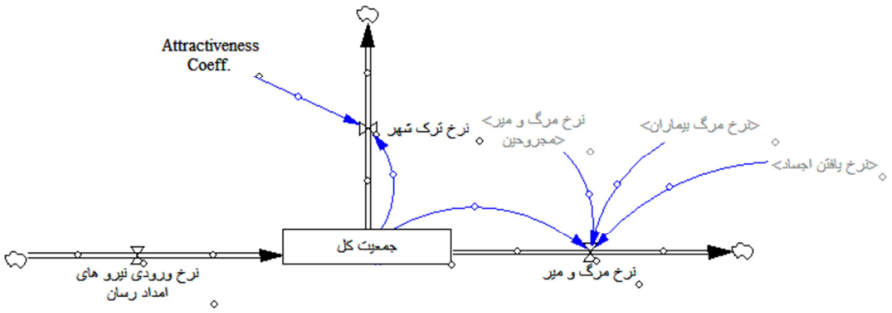


شکل 1: نمودار زیرسیستم‌های اصلی سیستم مدیریت بحران پس از وقوع زلزله در تهران

مدلسازی زیرسیستم‌های مدل پویای مدیریت بحران زلزله در تهران

جمعیت کل شهر تهران: با توجه به این که شهر تهران در روز حدود ۱۳ میلیون و در شب حدود ۸/۵ میلیون جمعیت دارد و میزان رشد جمعیت در شهر تهران سالانه ۱/۷۹صدم درصد است. پس جمعیت ساکن در شهر تهران حدود ۸/۵ میلیون نفر یا به طور دقیق ۸۶۹۳۷۰۶ نفردر نظر گرفته شده است (درگاه ملی آمار مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷). در شرایط بحران با توجه به ناچیز بودن عوامل درونی، از نرخ زاد و ولد و مرگ و میرهای طبیعی صرف نظر می‌شود. همچنین با توجه به وضعیت به وجود آمده جذابیت برای مهاجرت به منطقه بحران زده عملا به صفر می‌رسد و می‌توان از آن صرف نظر کرد. از طرف دیگر نرخ ورود نیروهای امدادرسان با توجه به این شرایط افزایش یافته و به

نحوی جایگزین نرخ مهاجرت می‌شود. نرخ ترک شهر جذابیت بیشتری برای افراد ایجاد می‌کند و این امر باعث می‌شود در لیست عوامل موثر برجمعیت کل جای‌گیرد. نرخ مرگ و میری که در اثر وقوع بحران ایجاد می‌شود نیز بسیار تاثیرگذار است و عملاً جایگزین نرخ مرگ و میر طبیعی می‌شود. نرخ جذابیت ترک شهر[1] در تهران و در زمان وقوع بحران بر اساس مهاجر بودن بیشتر ساکنان و اوضاع روحی افراد سالم ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به عوامل مذکور زیرسیستم جمعیت کل به صورت شکل ۲ ایجاد شده است.



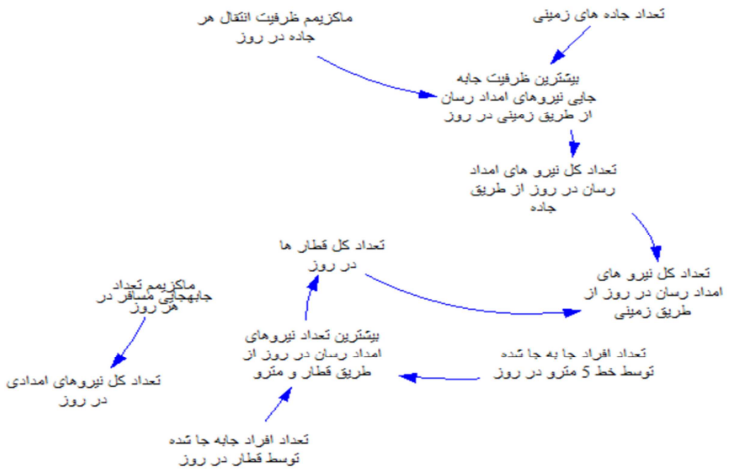
شکل۲: زیرسیستم جمعیت

ظرفیت لجستیکی: از نظر ظرفیت لجستیکی، آمار و ارقام ارائه شده توسط سازمان راهنمایی و رانندگی از طریق دوربین‌های کنترل تردد در مسیرهای مواصلاتی تهران نشان می‌دهد به طور متوسط ۱۰۰۰ خودرو در روز در شاهراه‌های تهران تردد می‌کنند. به عبارت دیگر میزان قابل توجهی ظرفیت جاده‌ای می‌تواند در اختیار نیروهای امدادرسان قرار گیرد. همچنین طبق آمار حمل و نقل ریلی ارائه شده توسط راه آهن جمهوری اسلامی ایران، تعداد جابه‌جایی مسافران از طریق راه‌آهن تهران در اوج مصرف به ۲۴۶۰۰ نفر در روز می‌رسد (گزارش رسمی آمار حمل و نقل ریلی کشور، ۱۳۹۷). همچنین با توجه به آمار ارائه شده توسط شرکت بهره‌برداری از راه‌آهن شهری تهران و حومه، خط ۵ مترو تهران، ۲۲ قطار با ظرفیت انتقال حداکثری ۲۵۰۰ مسافر به صورت ایستاده و نشسته دارد (شرکت بهره برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه، ۱۳۹۸). با توجه به شرایط بحران این خط قابلیت جابه‌جایی حدود ۸۸۰ هزار مسافر در روز را دارد. در خصوص فرودگاه‌ها نیز با توجه به آمار ارائه شده توسط فرودگاه مهرآباد در فروردین ماه سال جاری، این بخش از لجستیک هوایی قابلیت جابه‌جایی ۴۳۹۳۳ مسافر در روز را دارد (فرودگاه بین المللی مهرآباد، ۱۳۹۷).

ظرفیت لجستیک هر منطقه یک نکته بسیار استراتژیک برای آن منطقه در زمان وقوع بحران است. با توجه به مشکلات پیش‌آمده در زلزله‌های سال ۱۳۹۶ کرمانشاه و همچنین زلزله ۱۳۹۷ تهران-البرز (ملارد) اهمیت این موضوع بیشتر نمایان شد. در این دو زلزله پدیده‌هایی کاملاً جدید و غیر منتظره نمایان شد. در زلزله کرمانشاه، پس از پوشش‌های رسانه‌ای مکرر، سیل ارسال کمک‌های مردمی به سمت کرمانشاه روانه شد و به دلیل عرض کم ورودی-های شهر، ترافیک‌های سنگینی به وجود آمد. در این میان مردم آسیب‌دیده بدون برنامه‌ریزی و هماهنگی اقدام به خالی کردن خودروهای امدادرسان کردند و این امر باعث ایجاد هرج و مرج و تغییر در برنامه‌ریزی ستاد شد به‌نحوی که تعدادی از نیروهای سازمان‌های مختلف جهت افزایش امنیت و توزیع عادلانه کمک‌های مردمی ارسال شدند. در

[1] Attractiveness Coeff.

تهران نیز هنگام وقوع زلزله، به دلیل عدم اطلاع رسانی و آگاهی مردم از مراکز و سوله‌های ستاد بحران، واکنش شدید مردم مشاهده شد به‌نحوی که تمامی مسیرهای ارتباطی با ترافیک سنگین خودروها و صف‌های طولانی پمپ بنزین‌ها اشغال شد و این امر امدادرسانی را در صورت وقوع بحران به صورت جدی مختل می‌کرد. بلوک لجستیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

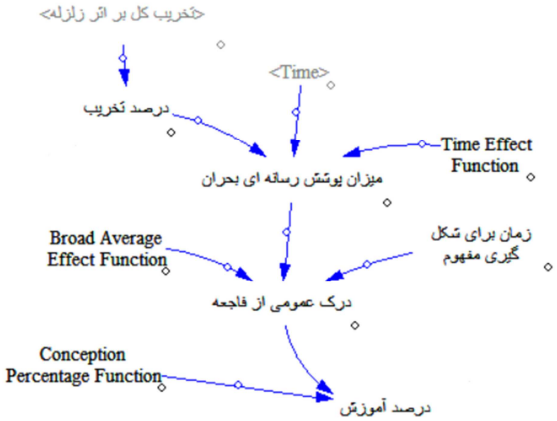


شکل۳: بلوک ظرفیت لجستیکی

نقش رسانه‌ها در مدیریت بحران: در زمان بحران رسانه‌ها می‌توانند نقش قابل توجهی در برگشت به تعادل و حفظ آن ایفا کنند. آن‌ها با داشتن کارکردهای آموزشی، اطلاع‌رسانی، فرهنگ‌سازی، امنیتی و نظایر این‌ها موجب افزایش توانمندی‌ها و کاهش نیازمندی‌های یک جامعه خواهند شد. به‌همین علّت اغلب دولت‌ها برای مدیریت بحران در پی بهره‌گیری هر چه بیشتر از رسانه‌ها هستند. این بلوک، برای اعمال تأثیر پوشش رسانه‌ها و درک عمومی مردم از فاجعه بر میزان نرخ ورود تیم‌ها، مواد غذایی و سایر تجهیزات و کمک‌های مردمی به منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بلوک پوشش رسانه تابع زمان و درصد تخریب است. با توجه به شدت زلزله، درصد تخریب از بلوک تخریب ساختمان‌ها بر اثر زلزله بدست می‌آید. میزان پوشش رسانه‌ها بسته به میزان تخریب زلزله متفاوت است. هرچقدر میزان تخریب ناشی از زلزله افزایش یابد، فاجعه بزرگ‌تر بوده و میزان پوشش افزایش می‌یابد. "تابع تأثیر زمان"[1] به عنوان یک متغیرلوک آپ شناخته می‌شود. این نگاه به متغیر یک نگاه گرافیکی است و بر این ایده استوار است که پس از زمان وقوع زمین لرزه برای یک فاصله زمانی (بازه زمانی این مدل ۱۲۰ ساعت یا ۵ روز می‌باشد)، شیوع فاجعه به ۱۰۰٪ می‌رسد که برای یک فاجعه مشابه منطقی است، و پس از آن با گذشت زمان کم‌کم پوشش‌دهی مصیبت-های فاجعه ادامه می‌یابد و به یک حد ثابت و باقیمانده در ذهن مردم می‌رسد. علاوه بر درک مردم از فاجعه، که تابع میزان پوشش رسانه‌ای از بحران است، در یک نگاه ساده که مفهوم آن یک تابع خطی از پوشش رسانه است، "تابع تاثیر میانگین پخش"[2] به عنوان یک تابع لوک آپ خطی است که برای شکل‌گیری درک، زمان لازم است را توصیف

[1] Time Effect Function
[2] Broad Average Effect Function

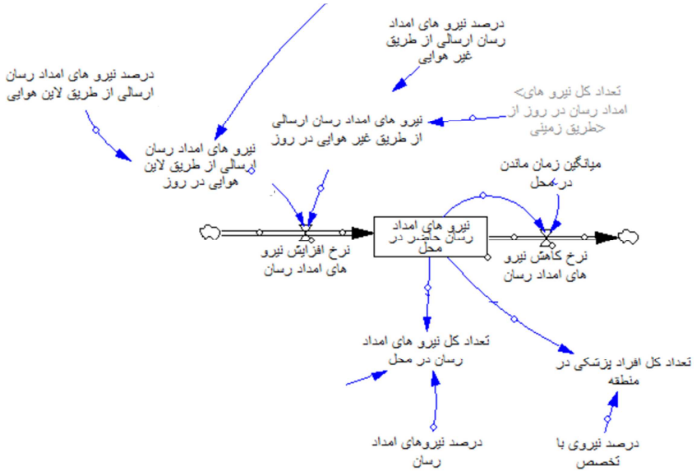
می‌کند. یک نگاه دیگر نیز وجود دارد: "تابع درصد مفهوم"[1] تأثیر اعتقادات مردم نسبت به عمق فاجعه است و یک تابع لوک آپ خطی است، اما از مقدار غیر صفر شروع می شود و نشان‌دهنده فعالیت‌های دولت برای کمک به منطقه است. در نهایت تمامی این عوامل با تأثیر بر درصد آموزش، میزان تیم‌های انسانی به محل را تعیین می‌کنند. با توجه به عوامل مذکور بلوک تاثیر رسانه‌ها به صورت شکل ۴ ایجاد شده است.



شکل۴: بلوک نقش رسانه‌ها

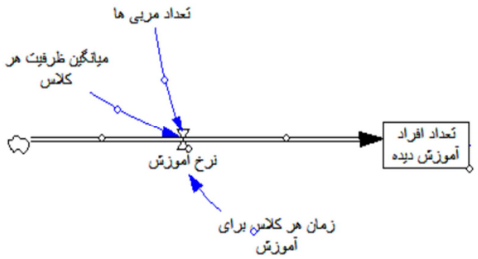
نیروهای امدادرسان حاضر در محل: این بلوک شامل نیروهای امدادرسانی است که از طریق زمینی و هوایی وارد منطقه می‌شوند و پس از مدتی از منطقه می‌روند. با توجه به این‌که این نیروها ممکن است در شرایط بسیار بحرانی مانند زلزله بم از سراسر دنیا برای کمک و امداد رسانی به کشور بیایند و یا حتی از سراسر ایران در حالت خفیف‌تر، نیاز است پس از مدتی مشخص که در این مدل ۳۶ ساعت قید شده از محل بحران خارج شده و به شهر یا کشور خود بازگردند (رمضان‌خانی و نجفی یزدی، ۲۰۰۸). از این تعداد نیروی امدادرسان وارد شده به منطقه تعدادی جز تیم‌های پزشکی و تعدادی دیگر مردم عادی آموزش دیده جهت کمک به فرایند آواربرداری هستند. بلوک نیروهای امدادرسان حاضر در محل به شکل ۵ ایجاد شده است.

[1] Conception Effect Function



شکل۵: بلوک نیروهای امدادرسان حاضر در محل

بلوک آموزش: هر فرد به هنگام بحران، بهتر از هر مدیری می‌تواند جان خود و خانواده خود را حفظ کند، به شرطی که آموزش‌های اولیه را دیده باشد. برای مثال محله‌ای را فرض کنید که تمام افراد آن آموزش‌های اولیه همچون نحوه عملکرد هنگام زلزله، نحوه تأمین امنیت منطقه، زنده‌یابی اولیه، و ایجاد سرپناه موقت را دیده باشد، دیگر سرباری برای نیروهای عملیاتی امداد و نجات نخواهد بود و می‌تواند بیشترین هماهنگی را با چنین نیروهایی داشته باشد. بر اساس تجربه‌های آموزشی جمعیت، چنین آموزش‌هایی نه تنها نیازمند هزینه بسیار اندکی است بلکه کاملاً عالی بوده و نتایج بسیار زیادی را ایجاد می‌کند. در مورد گروه‌های امداد و نجات، باید توجه نمود که اساس چنین تیم‌هایی، داوطلبانه بودن فعالیت آن‌هاست. افرادی که علاقه‌مند به انجام چنین فعالیت‌هایی هستند و با توجه به تخصص فردی هر یک از آن‌ها، در کنار هم جمع می‌شوند و چنین تیم‌هایی را ایجاد می‌نمایند. در این بلوک در زمان وقوع بحران، به افراد حاضر در محل بحران که تمایل به کمک در عملیات آواربرداری دارند آموزش‌های اولیه جهت جلوگیری از اشتباهات جبران ناپذیر داده می‌شود. این کلاس‌ها توسط مربیان سازمان جمعیت هلال احمر در مکان‌های شورای محله برگزار می‌گردند. این امر منجر به کاهش نرخ نیروهای امدادرسان و در نتیجه کاهش جمعیت کل در منطقه بحران می‌شود. بلوک نیروهای امدادرسان حاضر در محل به شکل ۶ ایجاد شده است.



شکل۶: بلوک آموزش

میزان تخریب ساختمان‌ها: ویژگی مقاومت ساختمان‌ها در برابر زلزله از منطقه‌ای به منطقه دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت است. رابطه بین نیروی زلزله و نسبت خسارت همیشه یکسان نیست، حتی اگر ساختمان‌ها از

نظر ظاهر مشابه یکدیگر باشند. روش‌های مختلف ساخت، دلیلی برای تفاوت‌ها محسوب می‌شود. بنابراین گردآوری رکوردهای زلزله‌های فاجعه‌بار و استخراج تابع آسیب براساس تجربه محلی، مهم‌ترین جوانب برآورد خسارت به شمار می‌آیند (درازیک و وتین[1]، ۲۰۱۶). بر اساس گزارش مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و گروه مطالعاتی ژاپنی (متشکل از مشاوران بین‌المللی پاسیفیک و شرکت اُیو) تحت قرار داد آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) در تهران، میزان تخریب ساختمان‌ها بر اساس شدت زلزله در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین آمار ساختمان‌ها و تنوع آن به گزارش سازمان ملّی آمار ایران به شرح جدول ۳ است.

جدول ۲: میزان تخریب ساختمان‌ها بر اساس شدت زلزله، منبع: (مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ، ۱۳۸۰)

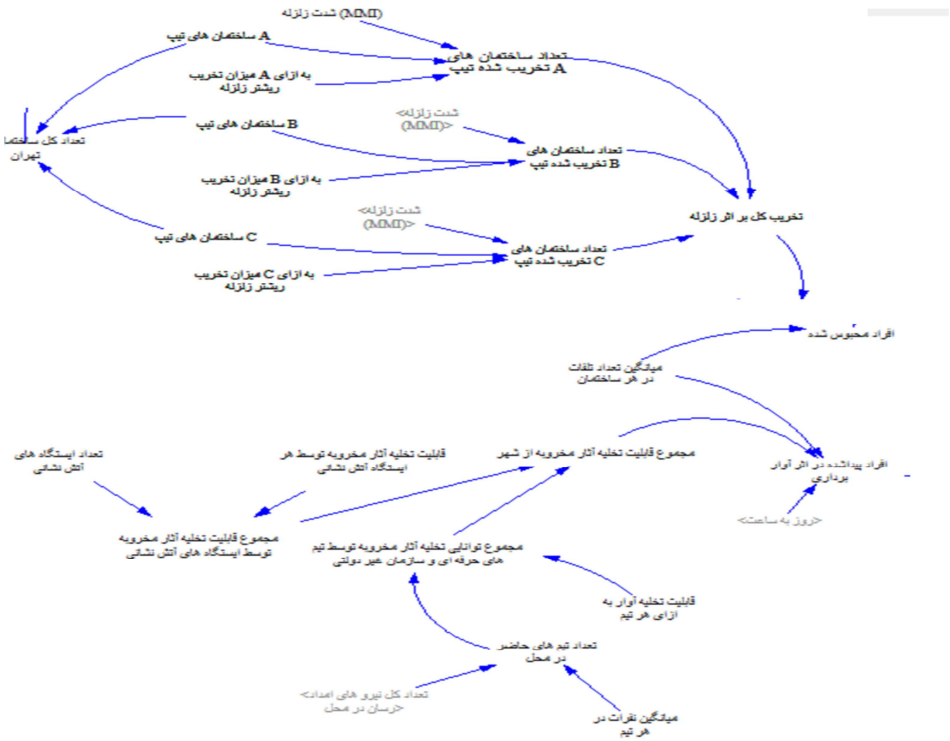
شدت زمین لرزه (MMI)	سازه های بتنی	سازه های فولادی	سازه های نیمه مهندسی (آجر و فولاد)
۶	۰	۰	۰
۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸
۸	۰/۰۰۱۴	۹۰/۰۰۳	۰/۰۱۳۷
۹	۰/۰۱۷۲	۰/۰۵۰۲	۰/۱۰۵۳
۱۰	۰/۰۷۶۲	۰/۱۹۳۰	۰/۴۸۷۵
۱۱	۰/۱۲۵	۰/۲۸۷۵	۰/۶۳۰۵
۱۲	۰/۱۸۷۵	۰/۳۶۵۰	۰/۶۸۷۵

جدول ۳: آمار ساختمان‌ها و نوع آن‌ها، منبع: (سازمان ملّی آمار ایران، ۱۳۹۵)

سازه‌های نیمه مهندسی	بتون آرمه	اسکلت فلزی	جمع کل
(تیپ C)	(تیپ B)	(تیپ A)	
۲۵۱۰۴۶	۹۶۹۹۶۱	۱۶۴۵۰۵۹	۲۸۷۰۶۵۳

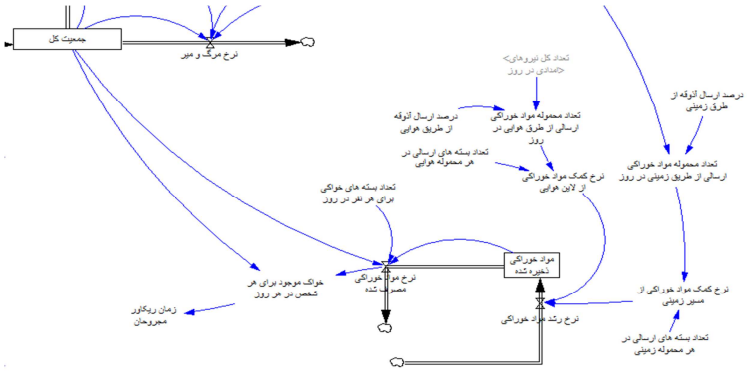
بلوک میزان تخریب ساختمان‌ها با توجه به این اطلاعات در شکل ۷ نشان داده شده است.

[1] Dražić, J., Vatin



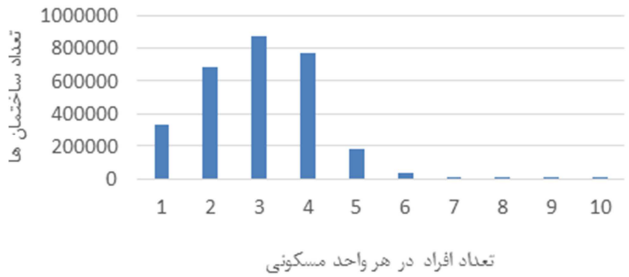
شکل۷: بلوک میزان تخریب ساختمان‌ها

ارسال مواد خوراکی: در این بلوک تأثیر ارسال کمک‌های مردمی به ویژه مواد خوراکی بر تلفات زلزله مورد بررسی قرار گرفته است که به دو دسته کلی ارسال مواد خوراکی از طریق زمینی و هوایی تقسیم بندی شده است. میزان ارسال محموله‌های خوراکی با میزان تأثیرپذیری مردم از طریق رسانه‌ها و همچنین قابلیت مسیرهای ارتباطی رابطه مستقیم دارد. مواد خوراکی موجود در منطقه متعلق به تمامی افراد حاضر در آن منطقه از جمله مجروحان، نیروهای امدادرسان و مردم عادی است. بلوک ارسال مواد خوراکی به صورت شکل ۸ ایجاد شده است.



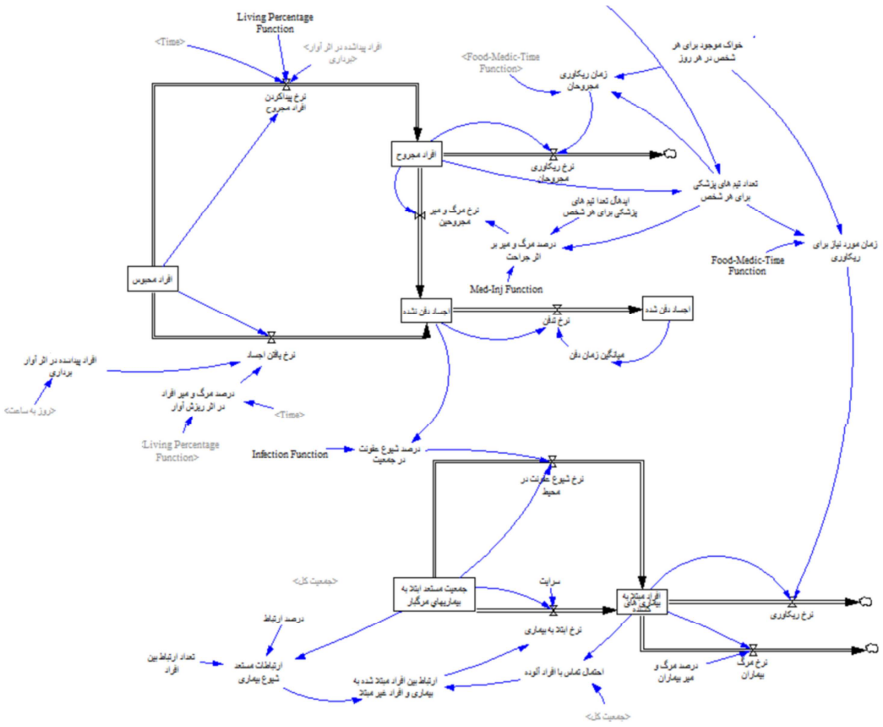
شکل۸: بلوک ارسال مواد خوراکی

افراد محبوس شده: براساس آمار ارائه شده از طرف سازمان ملّی آمار ایران میزان سکونت افراد در هر واحد ساختمانی به شرح شکل ۹ است.



شکل ۹: تعداد افراد در هر واحد مسکونی بر حسب تعداد ساختمان‌ها، *منبع: (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)*

همان گونه که مشاهده می‌شود به طور میانگین در هر واحد آپارتمان ۳ نفر سکونت دارند، پس با فرض این‌که هر واحدی که تخریب شود افراد آن واحد محبوس می‌شوند، به ازای هر واحد ۱۰۰٪ تخریب شده ۳ نفر محبوس وجود دارد. دو حالت برای افراد محبوس وجود دارد، یا با توجه به احتمال زنده بودنشان به صورت مجروح از زیر آوار بیرون می‌آیند، و یا طی عملیات آوار برداری اجساد آنان یافت می‌شود. در صورتی که افراد محبوس شده در افق زمانی تعیین شده شامل این دوحالت نشوند، همچنان محبوس تلقی می‌شوند. اجساد با نرخ مشخص جهت جلوگیری از انتشار عفونت و شیوع بیماری در صف تدفین قرار می‌گیرند. افراد مجروح نیز مشمول دو حالت می‌شوند، یا با کمک تیم‌های پزشکی و نیروهای امداد موجود در منطقه و با نرخ ریکاوری مشخص بهبود می‌یابند و یا به صف تدفین اضافه می‌گردند (کیم و همکاران، ۲۰۱۸). بلوک افراد محبوس شده با استفاده از داده‌های فوق به صورت شکل ۱۰ ایجاد شده است.



شکل۱۰: بلوک افراد محبوس شده

مفروضات اصلی مدل برای شبیه‌سازی عبارتند از: ۱) به هنگام زلزله جمعیت ساکن تهران آسیب خواهند دید، ۲) شدت زلزله ۱۰ مرکالی در نظر گرفته شده است، ۳) رفتار در سیستم پویا به منظور تسهیل فرمول‌بندی مدل و شبیه‌سازی آن در حالت پیوسته قرار دارد، ۴) ساختمان‌های تهران در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند، ۵) درصدی از تیم‌های پزشکی، افراد داوطلب برای امداد و نجات هستند، ۶) تمام افراد زنده‌ای که از زیر آوار پیدا می‌شوند، مصدوم هستند. روابط ریاضی متغیرهای اصلی موجود در نمودار انباشت-جریان و واحد اندازه‌گیری متغیرها در جدول ۶ ارایه شده است.

جدول ۶ :روابط ریاضی میان متغیرهای مدل و واحد اندازه‌گیری متغیرها

متغیر اصلی	واحد	رابطه ریاضی
درصد تخریب	تخریب واحد ساختمان به ازای هر ساختمان	(تخریب کل بر اثر زلزله/تعداد کل ساختمان ها در تهران)×۱۰۰
میزان پوشش رسانه ای بحران	ساعت*تخریب واحد ساختمان/درصد ساخت و ساز	(Time Effect Function(Time))×(درصد تخریب)
درک عمومی از فاجعه	۱	2×DELAY1I(Broad Average Effect Function (میزان پوشش رسانه ای بحران)، زمان برای شکل‌گیری مفهوم، ۰)
درصد آموزش	درصد در روز	Conception Percentage Function(درک عمومی از فاجعه)
بیشترین ظرفیت جابه جایی نیروهای امدادرسان از طریق زمینی در روز	نفر در روز	تعداد جاده های زمینی×ماکزیمم ظرفیت انتقال هر جاده در روز
تعداد کل نیروهای امدادرسان در روز از	نفر در روز	بیشترین ظرفیت جابه‌جایی نیروهای امدادرسان از طریق زمینی در

متغیر اصلی	واحد	رابطه ریاضی
طریق جاده		روز×درصد آموزش
تعداد کل نیروهای امدادرسان در روز از طریق زمینی	نفر در روز	تعداد کل نیرو های امداد رسان در روز از طریق جاده+تعداد کل قطارها در روز
تعداد کل قطارها در روز	نفر در روز	درصد آموزش×بیشترین تعداد نیروهای امدادرسان در روز از طریق قطار و مترو
بیشترین تعداد نیروهای امداد رسان در روز از طریق قطار و مترو	نفر در روز	تعداد افراد جا به جا شده توسط خط ۵ مترو در روز+تعداد افراد جابه جا شده توسط قطار در روز
تعداد کل نیروهای امدادی در روز	نفر در روز	ماکزیمم تعداد جابه‌جایی مسافر در هر روز×درصد آموزش
نیروهای امداد رسان ارسالی از طریق لاین هوایی در روز	نفر در روز	تعداد کل نیروهای امدادی در روز×درصد نیرو های امدادرسان ارسالی از طریق لاین هوایی
نیروهای امداد رسان ارسالی از طریق غیر هوایی در روز	نفر در روز	درصد نیرو های امداد رسان ارسالی از طریق غیر هوایی×تعداد کل نیرو های امداد رسان در روز از طریق زمینی
نرخ افزایش نیروهای امداد رسان	نفر در ساعت	نیرو های امداد رسان ارسالی از طریق غیر هوایی در روز+نیرو های امداد)) روز به ساعت/((رسان ارسالی از طریق لاین هوایی در روز
نیروهای امدادرسان حاضر در محل	نفر	نرخ افزایش نیرو های امداد رسان-نرخ کاهش نیرو های امداد رسان
تعداد کل نیروهای امدادرسان در محل	نفر	تعداد افراد آموزش دیده+(درصد نیروهای امدادرسان×نیرو های امدادرسان حاضر در محل)
تعداد افراد آموزش دیده	نفر	نرخ آموزش
نرخ آموزش	نفر در ساعت	(میانگین ظرفیت هر کلاس×تعداد کلاس ها)/زمان هر کلاس برای آموزش×۳/۱
تعداد کل افراد پزشکی در منطقه	نفر	نیرو های امداد رسان حاضر در محل×درصد نیروی با تخصص
تعداد کل ساختمان‌ها در تهران	واحد ساختمان	B ساختمان‌های تیپ+C ساختمان های تیپ+A ساختمان های تیپ
تعداد ساختمان‌های تخریب شده تیپ A	تخریب واحد ساختمان	شدت زلزله")به ازای ریشتر زلزله A میزان تخریب) ×A ساختمان های تیپ (MMI"))))
تعداد ساختمان های تخریب شده تیپ B	تخریب واحد ساختمان	شدت زلزله")به ازای ریشتر زلزله B میزان تخریب) ×B ساختمان‌های تیپ (MMI"))
تعداد ساختمان‌های تخریب شده تیپ C	تخریب واحد ساختمان	شدت زلزله") به ازای ریشتر زلزله C میزان تخریب) ×C ساختمان های تیپ (MMI"))
افراد محبوس شده	نفر	تخریب کل بر اثر زلزله×میانگین تعداد افراد در هر ساختمان
افراد پیداشده در اثر آوار برداری	نفر در ساعت	مجموع قابلیت تخلیه آثار مخروبه از شهر×میانگین تعداد افراد در هر) روز به ساعت/ساختمان)
مجموع قابلیت تخلیه آثار مخروبه از شهر	تخریب واحد ساختمان در روز	مجموع توانایی تخلیه آثار مخروبه توسط تیم‌های حرفه‌ای و سازمان غیر دولتی+مجموع قابلیت تخلیه آثار مخروبه توسط ایستگاه های آتش نشانی
مجموع قابلیت تخلیه آثار مخروبه توسط ایستگاه های آتش نشانی	تخریب واحد ساختمان در روز	تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی×قابلیت تخلیه آثار مخروبه توسط هر ایستگاه آتش نشانی
مجموع توانایی تخلیه آثار مخروبه توسط تیم های حرفه‌ای و سازمان غیر	تخریب واحد ساختمان در روز	قابلیت تخلیه آوار به ازای هر تیم×تعداد تیم‌های حاضر در محل
تعداد تیم های حاضر در محل	۱	تعداد کل نیروهای امدادرسان در محل/میانگین نفرات در هر تیم
درصد مرگ و میر افراد در اثر ریزش آوار	۱	1-Living Percentage Function(Time)
نرخ یافتن اجساد	نفر در ساعت	IF THEN ELSE(۰ ,۰=>افراد محبوس ,MAX(0, افراد پیداشده در اثر آوار ((برداری*درصد مرگ و میر افراد در اثر ریزش آوار

متغیر اصلی	واحد	رابطه ریاضی
افراد محبوس	نفر	نرخ پیداکردن افراد مجروح-نرخ یافتن اجساد-
نرخ پیداکردن افراد مجروح	نفر در ساعت	افراد پیداشده در اثر آوار× MAX(0, Living Percentage Function(Time) (برداری
افراد مجروح	نفر	نرخ پیداکردن افراد مجروح-نرخ مرگ و میر مجروحین-نرخ ریکاوری مجروحان
اجساد دفن نشده	نفر	نرخ مرگ و میر مجروحین+نرخ یافتن اجساد-نرخ تدفن
نرخ تدفین	نفر در ساعت	میانگین زمان دفن
میانگین زمان دفن	نفر در ساعت	IF THEN ELSE(۳ ,۰ ,(اجساد دفن شده>۰
اجساد دفن شده	نفر	نرخ تدفن
درصد مرگ و میر بر اثر جراحت	در هر ساعت	تعداد تیم های پزشکی برای هر شخص/ایده‌آل تعداد)"Med-Inj Function" (تیم‌های پزشکی برای هر شخص
نرخ مرگ و میر مجروحین	نفر در ساعت	درصد مرگ و میر بر اثر جراحت×افراد مجروح
نرخ ریکاوری مجروحان	نفر در ساعت	افراد مجروح/زمان ریکاوری مجروحان
زمان ریکاوری مجروحان	ساعت	خواک موجود برای هر شخص در هر)"Food-Medic-Time Function" (روز×تعداد تیم های پزشکی برای هر شخص×۲۴
تعداد تیم های پزشکی برای هر شخص	۱	(افراد مجروح/تعداد کل افراد پزشکی در منطقه)/۱۰
زمان مورد نیاز برای ریکاوری	ساعت	تعداد تیم های پزشکی برای هر)"Food-Medic-Time Function" (شخص×خواک موجود برای هر شخص در هر روز
خواک موجود برای هر شخص در هر روز	بسته در روز به ازای هر نفر	(نرخ مواد خوراکی مصرف شده/جمعیت کل) ×روز به ساعت
نرخ مواد خوراکی مصرف شده	بسته در هر ساعت	مواد خوراکی ذخیره شده×بسته خوراکی برای هر نفر, جمعیت کل×)MIN روز به ساعت/(((تعداد بسته های خواکی برای هر نفر در روز
مواد خوراکی ذخیره شده	بسته	نرخ رشد مواد خوراکی-نرخ مواد خوراکی مصرف شده
نرخ کمک مواد خوراکی از لاین هوایی	بسته در هر روز	تعداد محموله مواد خوراکی ارسالی از طرق هوایی در روز×تعداد بسته های ارسالی در هر محموله هوایی
تعداد محموله مواد خوراکی ارسالی از طرق هوایی در روز	بسته در هر روز	تعداد کل نیروهای امدادی در روز×درصد ارسال آذوقه از طریق هوایی
نرخ رشد مواد خوراکی	بسته در هر ساعت	نرخ کمک مواد خوراکی از لاین هوایی+نرخ کمک مواد خوراکی از مسیر) روز به ساعت/(زمینی
نرخ کمک مواد خوراکی از مسیر زمینی	بسته در هر روز	تعداد محموله مواد خوراکی ارسالی از طریق زمینی در روز×تعداد بسته های ارسالی در هر محموله زمینی
تعداد محموله مواد خوراکی ارسالی از طریق زمینی در روز	بسته در هر روز	درصد ارسال آذوقه از طرق زمینی×تعداد کل نیرو های امداد رسان در روز از طریق زمینی
درصد شیوع عفونت در جمعیت	در هر ساعت	Infection Function(اجساد دفن نشده)
نرخ شیوع عفونت در محیط	نفر در ساعت	درصد شیوع عفونت در جمعیت×جمعیت مستعد ابتلا به بیماری MAX(0, (مرگبار
جمعیت مستعد ابتلا به بیماری مرگبار	نفر	(نرخ شیوع عفونت در محیط+نرخ ابتلا به بیماری)-
ارتباطات مستعد شیوع بیماری	نفر*تماس	تعداد ارتباط بین افراد×جمعیت مستعد ابتلا به بیماریهای مرگبار
ارتباط افراد مبتلا به بیماری و افراد غیر مبتلا	نفر*تماس	ارتباطات مستعد شیوع بیماری×احتمال تماس با افراد آلوده
نرخ ابتلا به بیماری	نفر در ساعت	MAX(0, (ارتباط بین افراد مبتلا شده به بیماری و افراد غیر مبتلا×سرایت

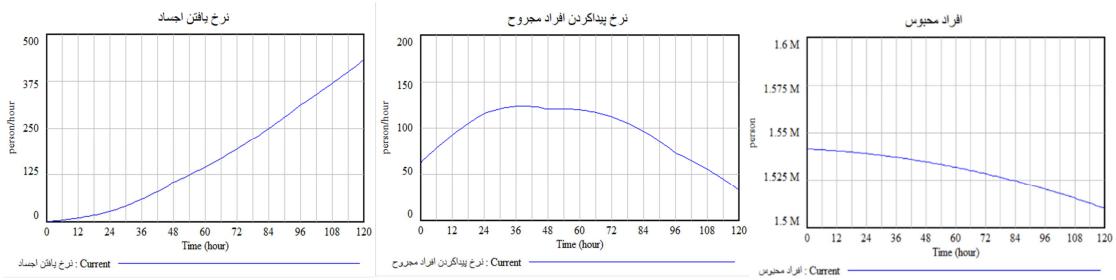
متغیر اصلی	واحد	رابطه ریاضی
احتمال تماس با افراد آلوده	۱	افراد مبتلا به بیماری های کشنده/جمعیت کل
افراد مبتلا به بیماری‌های کشنده	نفر	نرخ شیوع عفونت در محیط+نرخ ابتلا بیماری-نرخ مرگ بیماران-نرخ ریکاوری
نرخ ریکاوری	نفر در ساعت	افراد مبتلا به بیماری های کشنده/زمان مورد نیاز برای ریکاوری
نرخ مرگ بیماران	نفر در ساعت	(درصد مرگ و میر بیماران×افراد مبتلا به بیماری های کشنده ,MAX(0
تعداد کل ساختمان ها در تهران	تخریب واحد ساختمان	B ساختمان های تیپ+C ساختمان های تیپ+A ساختمان های تیپ

متغیرهای " تابع تأثیر زمان"، "تابع میانگین تاثیر رسانه"، "تابع درصد مفهوم"، "میزان تخریب A به ازای ریشتر زلزله"، "میزان تخریب B به ازای ریشتر زلزله"، "میزان تخریب C به ازای ریشتر زلزله"، "تابع درصد زنده ماندن"، "تابع درصد بهبود مصدومان"، "تابع تاثیر خدمات پزشکی و غذا بر زمان ریکاوری" و "تابع شیوع عفونت" به صورت توابع لوک آپ با توجه به نظر خبرگان و داده‌های موجود، تعریف شده‌اند.

شبیه‌سازی اولیه مدل و ارایه سیاست‌های پیشنهادی

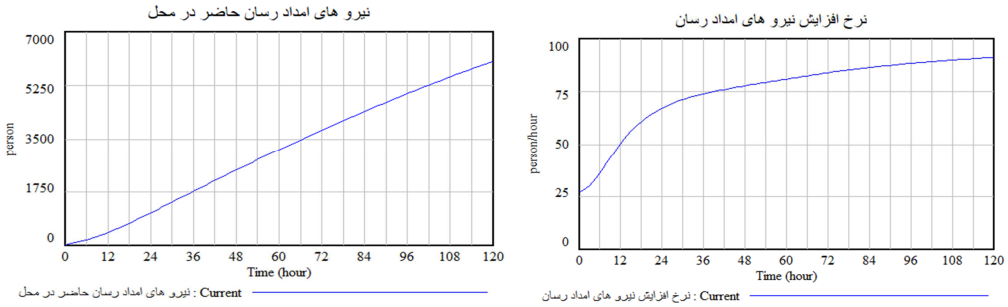
برای اعتبارسنجی مدل علاوه بر تأیید متخصصان از آزمون‌های اعتبار ساختاری و رفتاری شامل آزمون سازگاری ساختار و ابعاد مدل، آزمون خطای انتگرال‌گیری، آزمون شرایط حدی و آزمون بازتولید رفتار انجام گردید. در ادامه شبیه‌سازی اولیه برخی متغیرهای مدل شرح می‌گردد.

افراد محبوس: پس از وقوع زلزله و با توجه به شدت آن، میزان تخریب ساختمان‌ها برآورد می‌شود. این تخمین پایه و اساس شروع فرایند مدیریت بحران است. با مشخص شدن درصد تخریب ساختمان‌ها، تعداد افراد محبوس تخمین زده می‌شود. یکی از کلیدی‌ترین نقش‌های متغیرهای این مدل افراد محبوس است که از دیدگاه سیستمی این متغیر نقش ورودی سیستم را به عهده دارد. رفتار این متغیر تحت تاثیر دو متغیر نرخ پیدا کردن افراد مجروح و نرخ یافتن اجساد شکل می‌گیرد که هر دو متغیر موجب کاهش کمی افراد محبوس می‌شود. بر اساس آن‌چه که نمودار شبیه سازی در شکل ۱۱ نشان می‌دهد روند کاهشی افراد محبوس در اثر زلزله در طول ۱۲۰ ساعت حیاتی پس از بحران نزولی خواهد بود و این به معنای یافتن مجروحان و یا اجساد آنها است. دو نرخ یافتن مجروحان و اجساد نیز به تفکیک آمده‌اند.



شکل ۱۱: رفتار متغیر"افراد محبوس" و "نرخ پیداکردن افراد مجروح" و "نرخ یافتن اجساد" در بازه زمانی ۱۲۰ ساعته

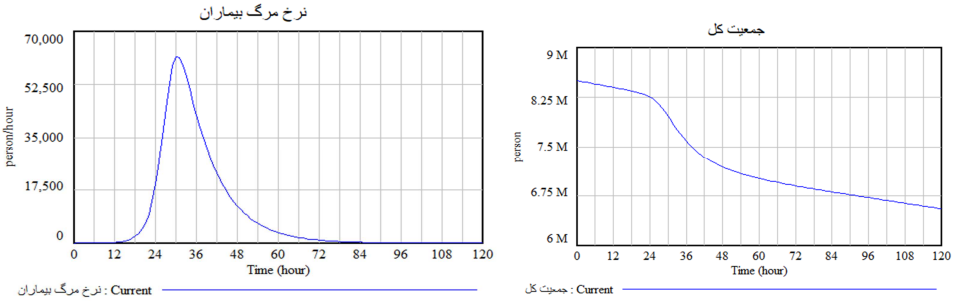
نیروهای امدادرسان حاضر در محل: با مشخص شدن درصد تخریب ساختمان‌ها، عملکرد رسانه‌ها مشخص می‌شود. رسانه‌ها تاثیر جدی در آگاهی مردم و درک آنان از شرایط پیش‌آمده دارد. با افزایش درک عموم از فاجعه به وجود آمده، تعداد نیروهای امدادرسان افزایش می‌یابد. نرخ افزایش نیروهای امداد رسان به صورت شکل ۱۲ است. نرخ ورود این نیروهای امدادرسان در متغیر نیروهای امدادرسان حاضر در محل انباشت می‌گردد. نیروهای امدادرسان پس از مدت مشخصی از منطقه بحران خارج می‌شوند. نمودار متغیر نیروهای امدادرسان حاضر در محل در دوره ۱۲۰ ساعته، در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: رفتار متغیر "نیروهای امداد رسان حاضر در محل" و "نرخ نیروهای امداد رسان" در بازه زمانی ۱۲۰ ساعته

نرخ مرگ بیماران : به دلیل تعداد اجساد بسیار بالا و نرخ دفن نسبتاً پایین در شرایط بحران و همچنین اجسادی که زیر آوار مدفون شده‌اند، شاهد افزایش شیوع عفونت در منطقه خواهیم بود. این عفونت ها باعث به وجود آمدن بیماری‌های عفونی در جمعیت مستعد به بیماری هستند. با افزایش تعداد اجساد دفن نشده و همچنین جمعیت مستعد به بیماری مقدار این متغیر افزایش می‌یابد. نمودار نرخ مرگ بیماران در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود.

جمعیت کل : نتایج نهایی تمامی خروجی‌ها را می‌توان در متغیر جمعیت کل مشاهده کرد و در واقع یکی از اصلی-ترین توابع هدف را پیگیری نمود. زلزله دارای آسیب‌های مالی و جانی فراوانی است، اما با مدیریت این فاجعه می‌توان از تبدیل آن به بحران جلوگیری کرد. بر اساس داده‌های بدست آمده از مدل، در صورت وقوع زلزله‌ای با شدت تخریب MMI ۱۰، تقریباً یک میلیون و پانصد هزار نفر از هشت و نیم میلیون نفر جمعیت ساکن تهران در زیر آوار ساختمان ها محبوس می‌شوند. نمودار جمعیت کل در دوره ۱۲۰ ساعته با احتساب نرخ ترک شهر و نرخ ورود امداد رسانان، در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱۳: رفتار متغیر"مرگ بیماران" و "جمعیت کل" در بازه زمانی ۱۲۰ ساعته

بر مبنای نتایج شبیه‌سازی اولیه مدل سیستم مدیریت بحران در شهر تهران در مواجه با زلزله‌ای با شدت تخریب ۱۰ مرکالی با مشکلی جدی روبه‌رو خواهد شد. شهری با جمعیت بسیار بالا که هیچ‌یک از زیرساخت‌های آن توان رویارویی با چنین فاجعه‌ای را ندارد. جمعیت بالا، عدم آگاهی و اطلاع‌رسانی کافی به شهروندان، وجود ساختمان‌های غیرمهندسی‌ساز و عوامل بسیار دیگر باعث شده که موضوع زلزله در سال‌های گذشته به بخشی غیرقابل‌پیش‌بینی تبدیل شود. درصورتی‌که در دیگر کشورهایی که همانند ایران جز کشورهای زلزله‌خیز محسوب می‌شوند زلزله دیگر یک بحران نیست. زلزله فوکوشیما با بزرگی حدود ۹ ریشتر (۱۲ مرکالی) بزرگترین زلزله ژاپن از سال ۱۹۰۰ میلادی بوده است و بر اساس آمار رسمی تنها ۱۵۶۵۰ کشته، ۶۰۱۱ مجروح، ۳۲۸۷ ناپدید و تخریب یا آسیب ۱۲۵ هزار ساختمان را دربرداشت (خبرگزاری دانشجویان ایران ایسنا، ۱۳۹۵). این ارقام درصورت بروز چنین زلزله‌ای در تهران قابل صرف نظر کردن است. با این‌وجود با تعیین سیاست‌هایی پیش از وقوع فاجعه و یا در ساعات ابتدایی پس از آن، می‌توان تلفات ناشی از زلزله را کاهش داد. جدول ۷ وضعیت فعلی و تغییرات ناشی از سیاست‌های پیشنهادی در ساختار مدل و نتایج حاصل از اعمال سیاست‌های پیشنهادی در دو متغیر هدف افراد محبوس و تلفات انسانی نشان می‌دهد. سیاست‌های پیشنهادی با نظر متخصصان سازمان مدیریت بحران و برآوردهای صورت گرفته توسط این افراد ارایه شده‌اند.

جدول ۷: سیاست های تعریف شده برای اجرا در مدل

کد سیاست	عنوان سیاست	تغییرات اعمال شده در مدل		
		متغیر تغییر یافته یا اضافه شده	مقدار فعلی	مقدار آتی
P01	نوسازی بافت‌های فرسوده هزینه پروژه: ۳۱۶ هزار میلیارد ریال طول مدت پروژه : ۱۵-۱۲ ماه	ساختمان های تیپ C	۲۵۱،۰۴۶	۰
		ساختمان های تیپ B	۹۶۹،۹۶۱	۱،۲۲۱،۰۰۷
		درصد تخریب	۱۷/۹۳	۱۴/۳۲
		تعداد افراد محبوس	۱،۵۴۱،۰۰۰	۱،۲۳۲،۰۰۰
		تلفات انسانی	۱،۵۴۰،۰۰۰	۱،۰۸۴،۰۰۰
P02	آموزش امداد و نجات هزینه پروژه: ۲۰۰۰ میلیارد ریال طول مدت پروژه: ۲۴ ماه	تعداد افراد محبوس در پایان ۱۲۰ ساعت	۱،۵۱۰،۰۰۰	۱۰،۰۰۰
		افراد پیداشده در اثر آوار برداری در ساعات ابتدایی	۶۲	۱۲،۵۶۰
		نرخ یافتن مجروحان در ساعات ابتدایی	۶۲	۱۲،۵۶۰
		تلفات انسانی	۱،۵۴۰،۰۰۰	۹۸۷،۶۰۰
P03	آموزش نحوه مواجه با زلزله از طریق رسانه‌ها و فضای مجازی با کمک کمپین‌ها هزینه پروژه: ۱ میلیارد ریال طول مدت پروژه: تا رسیدن به درصد آگاهی مورد نظر	میانگین تعداد نفرات در هر ساختمان	۳	۲
		تعداد افراد محبوس	۱،۵۴۱،۰۰۰	۱،۰۲۸،۰۰۰
		تلفات انسانی	۱،۵۴۰،۰۰۰	۱،۰۲۷،۰۰۰

تغییرات اعمال شده در مدل تحت سیاست نوسازی بافت‌های فرسوده (P01)

با توجه به آمار بدست آمده از سازمان ملّی آمار ایران (۱۳۹۷)، شهر تهران دارای ۲۵۱۰۴۶ ساختمان با مساحت ۲۱۰۴۳۰۲۰ متر مربع است که خارج از ضوابط مهندسی در شهر ساخته شده اند و با توجه به افزایش قیمت‌ها، هزینه نوسازی هر متر مربع از بافت فرسوده در سال ۱۳۹۷، ۱۵،۰۰۰،۰۰۰ ریال برآورد شده است. با توجه

به آمار و ارقام هزینه بازسازی تمامی بافت‌های فرسوده در تهران به ۳۱۶ هزار میلیارد ریال می‌رسد. با اجرای چنین پروژه‌ای علاوه بر کاهش هزینه‌های خسارات ناشی از زلزله و هزینه‌های امدادرسانی، کاهش حدود ۳۱۰ هزار محبوس را در پی خواهد داشت. با توجه به قرارگیری این تعداد افراد محبوس در منطقه بافت فرسوده، عملاً پیش از وقوع این سیاست و با در نظر گرفتن امدادرسانی سخت‌تر در این مناطق، بیشتر این افراد فوت کرده و با انتشار عفونت در دراز مدت باعث شیوع بیماری در میان جمعیت می‌شوند. این شیوع بیماری وضعیت را بحرانی ترکرده و تعداد تلفات را افزایش می‌دهد.

تغییرات اعمال شده در مدل تحت سیاست آموزش امداد و نجات (P02)

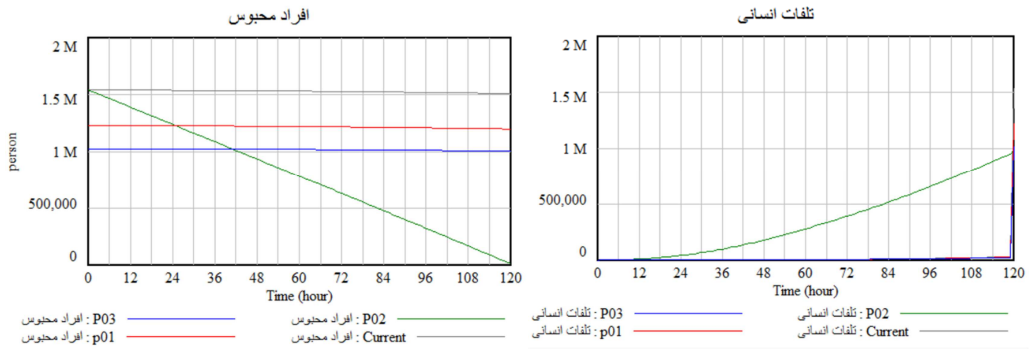
با توجه به نرخ فوق العاده پایین آواربرداری و یافتن مسدومان توسط تیم‌های نجات در هنگام بروز زلزله، با آموزش عملیات امداد و نجات به ساکنان منطقه پیش از وقوع آن، مقدار اولیه افراد آموزش دیده افزایش می‌یابد و در نتیجه از ساعات ابتدایی شاهد کاهش شدید افراد محبوس شده خواهیم بود. این استراتژی می‌تواند به صورت کلاس‌های اختیاری برای کارمندان، زنگ‌های آموزش عملیات در مدارس و برگزاری کلاس‌های رایگان برای عموم انجام پذیرد. با آموزش حدود ۲ میلیون نفر(تقریبا ۲۵ درصد از جمعیت ساکن) از جمعیت ساکن تهران، در صورت وقوع زلزله تعداد افراد زیر آوار مانده به ۱۰۰۰۰ نفر کاهش می‌یابد. هر دوره آموزشی در شرایط غیر بحران ۲۲ ساعت می‌باشد که به طور متوسط با توجه به هزینه‌های سال ۱۳۹۷، هزینه برگذاری هر دوره برای هر شخص ۱ میلیون ریال براورد شده است

تغییرات اعمال شده در مدل تحت سیاست آموزش نحوه مواجه با زلزله (P03)

اگر افراد حاضر در ساختمان پیش از وقوع زلزله آموزش‌های لازم جهت پناه گرفتن امن را فراگیرند، در حدی که در هر واحد تنها یک نفر در مکان امن قرار گیرد، تعداد بسیار زیادی از افراد محبوس کاهش می‌یابد. امروزه کمپین‌ها در راستای آگاهی بخشی به مشتری نقش پررنگی را ایفا می‌کند. با اندکی تغییر در مفهوم مشتری و تبلیغات، می‌توان کمپین‌هایی در راستای آموزش نحوه رویارویی با زلزله ایجاد کرد. این کمپین‌ها که اکثراً در فضاهای مجازی و رسانه-ها تشکیل می‌شوند، با هزینه‌هایی پایین‌تر می‌توانند به عنوان ابزاری موثر عمل کرده و با رصدی راحت‌تر از تاثیر آن بر میزان آگاهی مردم، اطلاع کسب کرد.

شکل ۱۴ رفتار متغیرهای تلفات انسانی وافراد محبوس در نتیجه وضعیت موجود تحت عنوان Current و اجرای سیاست‌های مختلف را نشان می‌دهد.

سیاست‌های P01 و P03 تاثیر خود را بیشتر بر روی تعداد افراد محبوس می‌گذارند، در صورتی که سیاست P02 مستقیماً بر روی یافتن افراد محبوس اثر می‌گذارد. با توجه به پایین بودن نرخ یافتن افراد محبوس، سیاست اول و سوم به تنهایی در کاهش چشم‌گیر تلفات نمی‌توانند مؤثر باشند، اما با تلفیق سیاست‌های پیشگیری P01 و P02 ویا P02 و P03 می‌توانیم تاثیر بیشتر این سیاست‌ها را ببینیم. با توجه با اینکه در سیاست های P02 و P03 متولی امر جمعیت هلال احمر استان تهران خواهد بود با درنظر گرفتن بودجه جمعیت هلال احمر که برای سال ۱۳۹۸ رقمی حدود یک هزار و ۵۱۹ میلیارد تومان اعلام شده است (وب‌سایت رسمی سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۸)، اجرای این سیاست‌ها با مشکل بودجه‌ای روبه‌رو نخواهد شد.

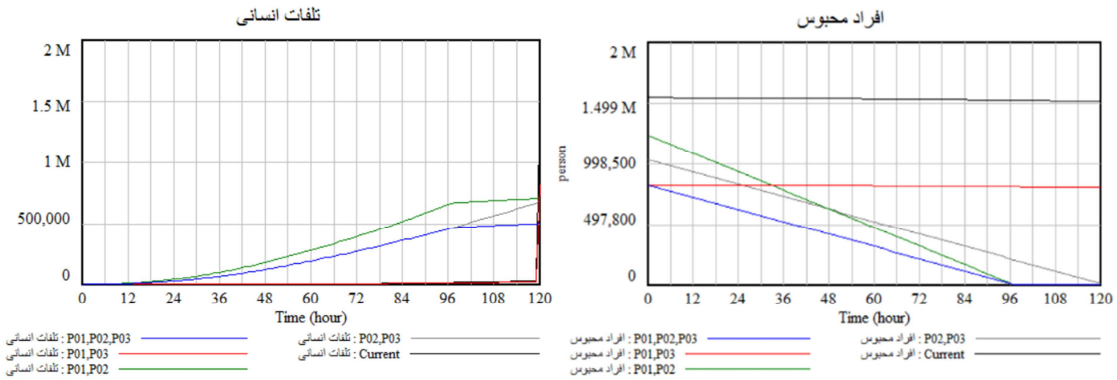


شکل ۱۴: تحلیل رفتار متغیر "تلفات انسانی" و "افراد محبوس"در صورت ادامه وضع موجود و اعمال سیاست‌های مختلف

همچنین همان‌گونه که اشاره شد، نرخ یافتن افراد محبوس به شدت پایین است. آواربرداری در سطح شدت تخریب ۱۰ مرکالی نیازمند تعداد بالای تیم‌های امداد و نجات است. با وجود این‌که برنامه‌های آموزشی امداد و نجات سال‌ها است اجرا می‌شود، اما همچنان نیازمند تداوم آن برای مواجه با شرایط بحرانی هستیم. هنگامی که مردم پیش از وقوع حادثه آموزش ببینند، در ساعات ابتدایی پس از زلزله با کمک به آواربرداری تعداد بیشتری از افراد محبوس با احتمال زنده بودن بالا را خواهند یافت. همان‌گونه که در سلسله مراتب استراتژی‌های فوق اشاره شد بیشترین تاثیر در نجات افراد محبوس را خود ساکنین شهرها دارند. در این بین با آمادگی و آگاهی مردم پیش از وقوع بحران، می‌توان از بروز فجایع‌هایی بزرگ جلوگیری کرد. با عمل به این سیاست به عنوان یک برنامه بلند مدت در کل کشور می‌توان به نتایج مطلوبی دست یافت تا در سال‌های آتی همچون دیگر کشورها با بلایای طبیعی به شکل بحران برخورد نکنیم.

اجرای سیاست‌ها به صورت ترکیبی

به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر اعمال سیاست‌ها بر عملکرد سیستم و همچنین کمک به تعیین نقشه راه سازمان مدیریت بحران در چشم‌انداز ده ساله، بار دیگر شبیه‌سازی را تحت اعمال هم‌زمان چند سیاست اجرا می‌کنیم. بر این اساس پس از اعمال سیاست‌های P01 و P02 و P03 به صورت هم‌زمان، از ماه بیست وچهارم و در نهایت سیاست P03 از ماه سی و ششم کلید خواهند خورد. رفتار متغیرهای " افراد محبوس" و " تلفات انسانی" در شکل ۱۵ ارائه شده‌اند.



شکل ۱۵: نتایج حاصل از اجرای ترکیبی سیاست‌ها (افراد محبوس و تلفات انسانی)

طبق نتایج بدست آمده از اجرای ترکیبی سیاست‌ها می‌توان گفت در صورتی که بودجه برای هرسه سیاست تأمین شود، تعداد افراد محبوس ۹۷ ساعت پس از زلزله به صفر می‌رسد و تلفات انسانی به ۱/۳ مقدار اولیه یعنی ۵۰۰،۰۰۰ نفر می‌رسد. در صورت تامین سرمایه حدود ۱۰۰۰ میلیارد ریال در سال به منظور اجرای سیاست‌های P02 و P03، علاوه بر کاهش تعداد افراد محبوس به ۶۰۰۰ نفر، تلفات جانی نیز به ۶۸۹،۰۰۰ نفر کاهش می‌یابد در نتیجه ترکیب سیاست P02 و P03 به عنوان سیاست بهینه تعیین می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدلسازی و شبیه‌سازی سیستم مدیریت بحران در زمان وقوع زلزله شهر تهران با استفاده از روش پویاشناسی پرداخته شد. بدین منظور نخست متغیرهای کلیدی سیستم شناسایی و روابط ریاضی میان متغیرها فرموله شد و در نهایت رفتار متغیرهای کلیدی تلفات انسانی و تعداد افراد محبوس در اثر وقوع زلزله ۱۰ مرکالی در تهران در فاصله زمانی ۱۲۰ ساعت پس از وقوع زلزله شبیه‌سازی شد. سپس راه‌کارهای کلیدی پیشنهادی به‌منظور کاهش مقادیر این متغیرهای کلیدی در ساختار سیستم اعمال و اثرات هر یک از راه‌کارها بر متغیرهای هدف سیستم و با مد نظر قرار دادن هزینه اجرای هر پروژه مورد ارزیابی قرار گرفت. سه سیاست پیشنهادی ۱) نوسازی بافت‌های فرسوده با هزینه اجرای ۳۱۶ هزار میلیارد ریال، ۲) آموزش امداد و نجات با هزینه اجرای ۲۰۰۰ میلیارد ریال، و ۳) آموزش نحوه مواجه با زلزله از طریق رسانه‌ها و فضای مجازی با کمک کمپین‌ها با هزینه اجرای ۱ میلیارد ریال در مدل اجرا و اثرات هر سیاست در نتیجه اجرای جداگانه یا ترکیبی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به طبعات اقتصادی-اجتماعی حاصل از وقوع زلزله، اجرای ترکیبی هر سه سیاست ذکر شده و در مجموع تأثیر آموزش پیش از وقوع بحران با توجه به میزان هزینه به عنوان سیاست بهینه در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی راه‌کاری که کمتر مورد توجه بوده یعنی آموزش پیش از وقوع بحران و در حین وقوع بحران راه‌کاری است که می‌تواند با صرف بودجه کمتر از راه‌کارهایی که در ظاهر شاید خیلی درست باشند اما با توجه به بودجه بسیار آن‌ها در شرایط فعلی کشور غیرعملی است بسیار میزان تلفات ناشی از زلزله احتمالی را کاهش دهند. زیرسیستم آموزش با توجه به امکانات عملی و براوردهای هزینه‌ای آن به شیوه‌ای که در مدل لحاظ شده در هیچ یک از تحقیقات شبیه‌سازی زلزله لحاظ نشده بود.

علیرغم محدودیت‌های ذکر شده، در این پژوهش سعی بر آن بوده که علاوه بر افزودن به دانش موجود در زمینه مدیریت بحران، پیش زمینه مناسبی نیز برای مطالعات آتی فراهم گردد. در این زمینه با توجه به اینکه مدل ارایه شده برای شدت زلزله ۱۰ مرکالی شبیه‌سازی شده است، پیشنهاد می‌شود سیستم مدیریت بحران با سایر امکان‌های وقوع زلزله نیز به شبیه‌سازی گردد. علاوه بر آن در این پژوهش اثرگذاری برخی متغیرها با نظرسنجی از متخصصان در قالب توابع لوک‌آپ ارزیابی شد، اما برای افزایش کارایی مدل در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود به این موارد پرداخته شود: مدلسازی انحصاری تأثیر رسانه‌ها بر درک عمومی مردم از فاجعه، مدلسازی انحصاری تأثیر شیوع عفونت در جمعیت و تأثیر آن بر نرخ مرگ و میر، مدلسازی انحصاری تأثیر کادر پزشکی بر نرخ ریکاوری افراد مجروح در شرایط بحران و انجام تحقیقات میدانی در زمینه استخراج فاکتور تخریب ساختمان‌ها در اثر شدت زلزله. مدل

حاضر نسبت به تمامی مدل‌های پیشین در زمینه مدل‌سازی دینامکی زلزله علاوه بر مد نظر قرار دادن جزئیات بیشتر، بلوک آموزش را نیز توسعه داده است.

منابع

خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)، (۱۳۹۵)، فوکوشیما خسارت‌بارترین سانحه طبیعی تاریخ بشر. قابل دسترس از https://www.isna.ir/news/95110402588/

راه آهن جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۹۷)، گزارش آمار حمل و نقل ریلی کشور برای سال ۱۳۹۷. دفتر فناوری اطلاعات و ارتباطات، گروه آمار و اطلاعات.

زارعی، یعقوب. استعلاجی، علیرضا، (۱۳۹۵). تبیین اثرات زلزله بر ساختمان‌های مسکونی مناطق روستایی بخش شنبه و طسوج، فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه ریزی منطقه‌ای). سال ششم. شماره ۴. پاییز ۱۳۹۵. صص ۳۳-۵۲.

سازمان برنامه و بودجه کشور، (۱۳۹۸)، لایحه بودجه سال ۱۳۹۸ کل کشور. قابل دسترس ازhttps://www.mporg.ir/Portal

شرکت بهره‌برداری راه آهن شهری تهران و حومه، (۱۳۹۸)، قابل دسترس از /http://metro.tehran.ir

فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، (۱۳۹۷)، قابل دسترس از/https://mehrabad.airport.ir

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵)، درگاه ملّی آمار، داده‌ها و اطلاعات آماری ساختمان و مسکن/ ساخت و ساز. قابل دسترس از https://www.amar.org.ir

مرکز آمار ایران (۱۳۹۷)، درگاه ملّی آمار، داده ها و اطلاعات آماری جمعیت. قابل دسترس از-https://www.amar.org.ir Statistics-by-Topic/Population

مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ، (۱۳۸۰)، گزارش نهایی ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ، قابل دسترس از URL:https://www.vojoudi.com/earthquake/jica

Berariu, R., Fikar, C., Gronalt, M., Hirsch, P. (2016). Training decision-makers in flood response with system dynamics, Disaster Prevention and Management, 25(2), pp. 118-36.

Caleman & Gantino, (1989). Managing Disasters. http://www.mandisast.com.

Diedrichs, D.R., Phelps, K., Isihara, P.A. (2016). Quantifying communication effects in disaster response logistics: A multiple network system dynamics models, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 6(1), pp. 24-45.

Dražić, J., Vatin, N, (2016). The Influence of Configuration on to the Seismic Resistance of a Building, Procedia Engineering, 165, pp. 883-890. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.788

Honti, G., Dörgő, G., & Abonyi, J. (2019). Network analysis dataset of system dynamics models. Data in Brief, 27, pp. 104723. https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104723

IFRC, (2014) Disaster risk reduction makes development sustainable, IFRC, UNDP, UNICEF, Oxfam, GFDRR, UNISDR, 8 Apr 2014a. Available from https://www.ifrc.org

Japan International Cooperation Agency JICA, (2017). Capacity Building for Earthquake Risk Reduction and Disaster Management in Tehran, Available from https://www.jica.go.jp/iran/english/activities/activity09.html.

Kim, J., Deshmukh, A., Hastak, M. (2018). A Framework for Assessing the Resilience of a Disaster Debris Management System, International Journal of Disaster Risk Reduction, 28, pp. 674-687. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.01.028

Neuwirth, C. (2017). System dynamics simulations for data-intensive applications. Environmental Modelling & Software, 96, pp. 140-145. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.017

Octavia, T., Halim, C.A., Widyadana, I.G. & Palit, H. (2016). Coordination of humanitarian logistic model plan for natural disaster in East Java, Indonesia, International Journal of Supply Chain Management, 5(4), pp. 52-60.

Park, H.H., Park, S.H., Kim, K.A. (2019). Disaster management and land administration in South Korea: Earthquakes and the real estate market, Land Use Policy, 85, pp. 52-62.

Peng, M., Peng, Y., Chen, H., (2014), Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning, Computers & Operations Research, 42, pp. 14-24.

Rafiee, P., & Ameri, O. (2018). The probability of a large earthquake in Tehran: Fact or faked, 5th International Conference on Geological and Environmental Sustainability, August 13-14, 2018 Bali, Indonesia.

Ramezankhani, A., Najafiyazdi, M., (2008). A System Dynamics Approach on Post-Disaster Management: A Case Study of Bam Earthquake, 26th International Conference of the System Dynamics Society.

Remida, A., (2015), A systemic approach to sustainable humanitarian logistics, In Humanitarian Logistics and Sustainability, Springer, Cham, pp. 11-29.

Sterman. (2000), Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world, Boston: Permission of the McGraw-Hill Companies.
Zhu, Y., Liu, F., Zhang, G., & Xu, Y., (2019), Development and prospect of mobile gravity monitoring and earthquake forecasting in recent ten years in China, Geodesy and Geodynamics, 10(6), 485-491.

Research Article

Developing the Dynamic Model of Earthquake Crisis Management in Tehran City Using System Dynamics Approach

Mahnaz Hosseinzadeh[1*], Ali Ahmadi[2], Marzieh Samadi Foroushani[3]

1*. Assistant Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran
2. MSc in MBA Management, University of Tehran, Tehran, Iran
3. PhD in Operations Research Management, Department of Industrial Management, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 20-01-2020 Final Revised: 14-03-2020 Accepted: 06-05-2020

Abstract

Natural disasters, such as earthquakes, create substantial financial and human costs for governments and communities. One of the most important factors in increasing or decreasing the losses and the number of human casualties during and after an earthquake is the existence of an efficient crisis management system. Considering the special location of Tehran city and the probability of occurrence of an earthquake in this city, and as to the high estimated financial and consequential damages, a dynamic crisis management model using system dynamics methodology is presented in this study to facilitate more efficiently managing the crisis by simulating activities after an earthquake crisis. Therefore, after modeling and validating the proposed model, the behavior of the main variables of interest, such as the number of people imprisoned and the number of casualties caused by the earthquake, are simulated up to 5 days after the crisis, considering continuance of the current trend as well as the adoption of the proposed policies presented by the Crisis Management organization. Suggested solutions include refurbishing worn out buildings, rescue training, and training how to deal with earthquakes through media and cyberspace with the help of campaigns. The research findings show that as for the estimated costs of implementing the three policies, a combination of the second and the third will work best to reduce the number of people imprisoned by the earthquake and the number of casualties. The findings show that considering the estimated costs of implementing the above three projects, pre-crisis training, despite its lower initial cost than other crisis management strategies, has a significant impact on reducing post-earthquake disaster. It will reduce the death toll from the current 10-point earthquake from 1,541,000 to 689,000 if the capital is provided around 1,000 billion Rials per year to implement the second and third policies.

Keywords: Crisis Management, Earthquake, System Dynamics (SD), Tehran City.

* Corresponding Author Email: mhosseinzadeh@ut.ac.ir

References

References (in Persian)

Greater Tehran Earthquake and Environmental Studies Center, (2001), Final Report on Greater Tehran Seismic Mapping, Available from URL: https: //www.vojoudi.com/earthquake/jica. [In Persian]

Iran Statistics Center, (2017), National Portal of Statistics, Building, and Housing, Construction Statistics, and Data. Available from https://www.amar.org.ir. [In Persian]

Iran Statistics Center, (2017), Available from https://www.amar.org.ir Statistics-by-Topic/Population. [In Persian]

Iranian students' news agency, (2014), Fukushima - the most damaging natural disaster in human history, Available from https://www.isna.ir/news/95110402588. [In Persian]

Mehrabad International Airport, (2018), Available from https://mehrabad.airport.ir. [In Persian]

Plan and Budget Organization, (2019). Available from https://www.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=a36d67e8-ae33-4ced-89a3-90f07098892c. [In Persian]

Tehran Urban & Suburban Railway Operation Co, (2019), Available from http://metro.tehran.ir. [In Persian]

The railway of the Islamic Republic of Iran, (2018), Country Rail Freight Statistics for the Year 2018 report. Office of Information and Communication Technology, Department of Statistics and Information. [In Persian]

Zarei, J., Estelagi, A., (2016), Explanation of earthquake effects on residential buildings in rural areas of Shaban and Tasouj district, Journal of Geography (Regional Planning). 6(4), pp. 33-52. [In Persian]

References (in English)

Berariu, R., Fikar, C., Gronalt, M., Hirsch, P. (2016). Training decision-makers in flood response with system dynamics, Disaster Prevention and Management, 25(2), pp. 118-36.

Caleman & Gantino, (1989). Managing Disasters. http://www.mandisast.com.

Diedrichs, D.R., Phelps, K., Isihara, P.A. (2016). Quantifying communication effects in disaster response logistics: A multiple network system dynamics models, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, 6(1), pp. 24-45.

Dražić, J., Vatin, N, (2016). The Influence of Configuration on to the Seismic Resistance of a Building, Procedia Engineering, 165, pp. 883-890. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.788

Honti, G., Dörgő, G., & Abonyi, J. (2019). Network analysis dataset of system dynamics models. Data in Brief, 27, pp. 104723. https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104723

IFRC, (2014) Disaster risk reduction makes development sustainable, IFRC, UNDP, UNICEF, Oxfam, GFDRR, UNISDR, 8 Apr 2014a. Available from https://www.ifrc.org

Japan International Cooperation Agency JICA, (2017). Capacity Building for Earthquake Risk Reduction and Disaster Management in Tehran, Available from https://www.jica.go.jp/iran/english/activities/activity09.html.

Kim, J., Deshmukh, A., Hastak, M. (2018). A Framework for Assessing the Resilience of a Disaster Debris Management System, International Journal of Disaster Risk Reduction, 28, pp. 674-687. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.01.028

Neuwirth, C. (2017). System dynamics simulations for data-intensive applications. Environmental Modelling & Software, 96, pp. 140-145. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.017

Octavia, T., Halim, C.A., Widyadana, I.G. & Palit, H. (2016). Coordination of humanitarian logistic model plan for natural disaster in East Java, Indonesia, International Journal of Supply Chain Management, 5(4), pp. 52-60.

Park, H.H., Park, S.H., Kim, K.A. (2019). Disaster management and land administration in South Korea: Earthquakes and the real estate market, Land Use Policy, 85, pp. 52-62.

Peng, M., Peng, Y., Chen, H., (2014), Post-seismic supply chain risk management: A system dynamics disruption analysis approach for inventory and logistics planning, Computers & Operations Research, 42, pp. 14-24.

Rafiee, P., & Ameri, O. (2018). The probability of a large earthquake in Tehran: Fact or faked, 5th International Conference on Geological and Environmental Sustainability, August 13-14, 2018 Bali, Indonesia.

Ramezankhani, A., Najafiyazdi, M., (2008). A System Dynamics Approach on Post-Disaster Management: A Case Study of Bam Earthquake, 26th International Conference of the System Dynamics Society.

Remida, A., (2015), A systemic approach to sustainable humanitarian logistics, In Humanitarian Logistics and Sustainability, Springer, Cham, pp. 11-29.

Sterman. (2000), Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world, Boston: Permission of the McGraw-Hill Companies.

Zhu, Y., Liu, F., Zhang, G., & Xu, Y., (2019), Development and prospect of mobile gravity monitoring and earthquake forecasting in recent ten years in China, Geodesy and Geodynamics, 10(6), 485-491.