مدل‌سازی موجودی برای مقابله با بلایای طبیعی

جواد بهنامیان *- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان؛ Behnamian@Basu.ac.ir
محمد پور مراد خانی ملالی - کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، تویسرکان
حسین رضایی کچیدی - کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی تویسرکان، دانشگاه بوعلی سینا، تویسرکان

تاریخ دریافت:۹۳/۷/۲۱
تاریخ پذیرش:۹۳/۱۲/۱۱

چکیده

در این مقاله موضوع مکان‌یابی انبارها و تصمیمات مربوط به نگهداری کالا در آن‌ها برای مقابله با تقاضای ناگهانی هنگام وقوع یک حادثه بررسی شده است. اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی مکان‌یابی مربوط به این‌گونه زنجیره‌ها انجام شده است، اما در زمینه‌های تئوری و برنامه‌های کاربردی توجه زیادی به زنجیره‌های امدادرسانی بلایا نشده است. در این تحقیق اولین هدف شناسایی ویژگی‌های مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی امدادرسانی در یک زنجیره‌ی امدادرسانی است. با یک رویکرد تحلیلی بحث تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی مراکز عرضه و کالاهای موجود در این مراکز صورت گرفته است. در قدم دوم و در بخش اصلی مقاله، مسئله مدل‌بندی شده است. مدل پیشنهادی بحث مکان‌یابی و پایش موجودی را به صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد و چند نوع کالا با درجه اهمیت متفاوت و زمان‌های پاسخ‌گویی مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهد. در نهایت مدل با توجه به داده‌های واقعی در ایران و با هدف تسهیل امدادرسانی در حوادث طبیعی حل می‌شود و نتایج به دست آمده تحلیل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: *زنجیره‌ی امدادرسانی، مدیریت زنجیره‌ی تأمین بحران، مسئله‌ی مکان‌یابی*

Inventory modeling for opposition with natural disaster

Javad Behnamian*[1] Mohammad Pour Morad Khani[2] Hosein Rezaei Kechidi[3]

Abstract

In this paper, the site selection issues according to the warehouses and supply chain of crisis management, especially the inventory control of the unexpected demand was considered. Although, the extensive research on the site selection of warehouses was carried out previously, in the context of the theory and application, the chain of disaster relief was not considered precisely. The preliminary aim of this study is to identify the characteristic of the chain of the crisis relief. This model was progressed by inducement of the details of the crisis like damage level, relief process, necessities of injured people. Finally, the model was verified by analyzing and simulation of the real data in Iran, which achieved accurate results. It proves the contribution of this study to facilitate relief processing during natural events.

Keywords: Relief Chain, Disaster Supply Chain Management, Facility Location Problem

1 Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Boo Ali Sina University, Hamedan, Iran; Email: Behnamian@Basu.ac.ir
2 Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Boo Ali Sina University, Toyserkan, Iran.
3 Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Boo Ali Sina University, Toyserkan, Iran.

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

بحران[1] حادثه‌ای است که به طور طبیعی یا ناگهانی به وجود می‌آید و سختی و مشقتی به جامعه‌ی انسانی تحمیل می‌نماید که برای برطرف کردن آن نیاز به اقدامات اساسی است. تعداد بلایا و همچنین تعداد افرادی که در اثر رخ دادن این بلایا تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، در سال‌های اخیر افزایش پیدا کرده است. برای مثال مطابق با آمار فدراسیون بین‌المللی صلیب سرخ جهانی[2] میانگین تعداد بلایای سالیانه در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ حدود ۵۵ درصد بیشتر از سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ بوده است. همچنین تعداد افرادی که تحت تأثیر این وقایع نیاز به کمک‌رسانی داشته‌اند، افزایش چشمگیری داشته است. به طور مثال تعداد این افراد در سال ۲۰۰۵ حدود ۷ میلیون نفر بیشتر از سال ۲۰۰۴ بوده است. این افزایش در تعداد بلایا و آثار و تبعات آن‌ها در جان و مال و زندگی مردم توجهات بسیاری را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. بحث امدادرسانی سریع و به موقع به مصدومان این وقایع چالش بزرگی است که در حال حاضر بسیاری از محققان و دانشمندان در حال پژوهش بر روی آن هستند.

در بحث امدادرسانی به مصدومان یک حادثه، هدف اصلی در یک زنجیره‌ی امدادرسانی این است که اقلام مورد نیاز مصدومان مانند آب و مواد غذایی، مواد دارویی، پناهگاه و سایر ملزومات در سریع‌ترین زمان ممکن در دسترس مصدومان قرار بگیرد تا از تعداد مرگ و میر ناشی از شدت وقوع بلایا تا حد امکان کاسته شود. بنابراین طراحی و توسعه و اجرایی کردن یک زنجیره‌ی امدادرسانی می‌تواند نقش مهم و بزرگی در دست یافتن به یک پاسخ مناسب و کارا در مواجهه با یک حادثه ایفا کند. در این راستا به تازگی سازمان‌های کمک‌های بشردوستانه به اهمیت و نقش این زنجیره در یک امدادرسانی بهینه پی برده‌اند و به فکر مدیریت این زنجیره افتاده‌اند.

برای درک صحیح‌تر و بهتر از یک زنجیره‌ی امدادرسانی و محیط و شرایط حاکم بر آن، ابتدا به بررسی تفاوت‌های این زنجیره و زنجیره‌ی تأمین محصولات تجاری[3] می‌پردازیم. بارزترین تفاوت‌ها که پیچیدگی و انحصار روش برخورد با زنجیره‌ی امدادرسانی را در پی دارد، غیرقابل پیش‌بینی بودن تقاضا از نظر زمان، مکان، نوع، مقیاس و حجم آن است. دلایل دیگر پیچیدگی مدیریت چنین زنجیره‌هایی وقوع ناگهانی یک تقاضا در مقدار زیاد و فرصت بسیار کوتاه برای تأمین حجم وسیعی از کالاها، کمبود منابع شامل کالاها، نیروی امدادرسان، تکنولوژی مناسب، ظرفیت حمل و نقل، سرمایه‌ی مورد نیاز، شرایط محیطی کاملاً متغیر و دینامیک ضرورت تأمین به موقع و به میزان کافی ملزومات بعد از وقوع حادثه و ریسک‌های موجود در محیط امدادرسانی است. سازمان‌های امدادرسانی تلاش می‌کنند تا با تقویت شبکه‌های لجستیک خود از هزینه‌های مربوط به ارسال و دریافت کالاها بکاهند. به تازگی بحث دیگری در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته است. این بحث در مورد نگهداری کالاهای مورد نیاز مصدومان یک حادثه در مکان‌های مشخص قبل از وقوع این حوادث است. اگرچه بحث نگهداری کالاها قبل از وقوع حوادث توانایی‌های سازمان‌های امدادرسانی را افزایش می‌دهد، این مورد از نظر مالی ممکن است به‌صرفه نباشد، زیرا فقط تعداد کمی از این سازمان‌ها توانایی تأمین منابع مالی برای نگهداری و سپس ارسال آن‌ها به سر تا سر دنیا را دارند. سازمان WVI[4] نمونه‌ای قابل معرفی در این زمینه است. این سازمان در سال ۲۰۰۰ چهار مکان را برای انباشت و نگهداری کالا در امریکا، ایتالیا، آلمان و دوبی انتخاب کردند. از آنجایی که مکان و تعداد مراکز عرضه‌ی کالا و همچنین تعداد کالاهایی که در هر یک از این مراکز نگهداری می‌شود، به طور مستقیم بر زمان امدادرسانی و هزینه‌های مرتبط با آن تأثیر می‌گذارد، بحث جایابی انبارها و بررسی‌های کالاهای موجود در آن‌ها نقش مهمی در کارایی یک زنجیره ایفا می‌کند.

اگرچه تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی مسائل مربوط به مکان‌یابی این‌گونه زنجیره‌ها انجام شده است، اما در زمینه‌های تئوری و برنامه‌های کاربردی توجه زیادی به زنجیره‌های امدادرسانی بلایا نشده است. هدف از این مقاله، بررسی موضوع مکان‌یابی انبارها و تصمیمات مربوط به نگهداری کالا در آن‌ها برای مقابله با تقاضای ناگهانی هنگام وقوع یک حادثه است. در اینجا ویژگی‌های مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی امدادرسانی در یک زنجیره‌ی امدادرسان در قدم اول بررسی خواهد شد. با یک رویکرد تحلیلی تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی مراکز عرضه و کالاهای موجود در این مراکز بررسی خواهد شد. به این منظور از یک مدل ریاضی بهره خواهیم برد که به وسیله‌ی آن می‌توان تعداد مراکز عرضه و کالاهای موجود در هر مرکز را بررسی کرد. این مدل بحث مکان‌یابی و پایش موجودی را به صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد و چند نوع کالا با درجه‌ی اهمیت متفاوت و زمان‌های پاسخ‌گویی مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهد. چشم‌اندازی که ما برای این مقاله در نظر گرفتیم به مرحله‌ی اجرا رسیدن طرح و در نهایت کاهش تلفات جانی در سوانح طبیعی است.

پیشینه‌ی تحقیق

پیشینه‌ی پژوهش در مدیریت بحران با محوریت مقابله با بلایای طبیعی بسیار غنی است. در ایران نیز با توجه به اهمیت موضوع، محققان بسیاری به این موضوع پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

ابراهیم‌زاده پزشکی و همکاران [۱] با استفاده از مدل‌یابی ساختاری-تفسیری به ارائه‌ی مدلی برای تبیین ارتباط بین عوامل مؤثر بر مهار و کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله پرداختند و با ترکیب روش‌های کیفی و کمی مدلی را تبیین نمودند که می‌تواند در مواقع بحرانی، راهنمای مدیران در امر برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری باشد. همچنین در این تحقیق برای شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش و مهار خسارت‌های ناشی از زلزله از روش دلفی، در کنار تحلیل عاملی تأییدی مرتبه‌ی دوم، استفاده شده است. سپس، با نرم‌افزار حداقل مربعات جزئی و با استفاده از نظر خبرگان، مدل اصلی تحقیق ساختاردهی شده است. قنبری و امیدوار [۲] در مقاله‌ای به ارزیابی ریسک فروریزش ساختمان‌ها در مناطق شهری پس از زلزله پرداخته‌اند. به این منظور آن‌ها پس از بیان شیوه‌ی توسعه‌ی

Archive of SID
www.SID.ir

منحنی‌های شکست بومی، منطقه‌ی مورد مطالعه را به سبب خصوصیات متغیر خاک به سلول‌های کوچک تقسیم کردند و برای هر یک تحلیل خسارتی مجزا، با استفاده از مقادیر محاسبه‌شده‌ی حداکثر شتاب زمین، ارائه نموده‌اند. سپس در این پژوهش، با محاسبه‌ی احتمال فروریزش برای ساختمان‌های موجود، بحرانی‌ترین شبکه‌ی سازه‌ای، از نظر میانگین و بیشینه‌ی احتمال فروریزش، تعیین شده و دو سناریو برای مقاوم‌سازی به روش ارتقای آئین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای برای سازه‌ی بحرانی مورد نظر ارائه شده است. مهدوی‌نژاد و جوانرودی [۳] مطالعه‌ای موردی در تهران انجام دادند و میزان آسیب‌های احتمالی پس از زلزله و امکان امدادرسانی احتمالی از آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را با استفاده از روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی انجام داده‌اند. بهرام‌پور و بمانیان [۴] معیارهایی برای مکان‌یابی این پایگاه‌های مدیریت بحران تدوین کردند و در بخش تحلیل برای ارزش‌گذاری و اولویت‌بندی معیارها، از نظر کارشناسان استفاده کردند و با مطابقت نظرهای مذکور با مبانی نظری روش برنامه‌ریزی سلسله‌مراتبی به محاسبه‌ی وزن معیارها پرداختند. در نهایت پس از تحلیل، در این تحقیق محل مناسب برای استقرار این پایگاه‌ها ارائه شده است. بمانیان و همکاران [۵] با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی کاربری زمین و روش توصیفی - تحلیلی و با هدف بازشناسی معیارها و روش‌های ارزیابی و کاهش خطرپذیری شهرها در برابر زلزله از طریق راهکارهای مطرح در حیطه‌ی برنامه‌ریزی کاربری زمین، به مطالعه‌ی موردی ناحیه‌ی ۵ از منطقه‌ی ۳ شهر تهران، که کارشناسان احتمال وقوع زلزله‌ای شدید را در آن بسیار بالا می‌دانند، پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی عوامل مؤثر در خطرپذیری از زلزله را در قالب رابطه‌ی خطرپذیری انواع نقشه‌های خطرپذیری تولید کردند و بر اساس انطباق کاربری‌های موجود بر آن‌ها به ارائه‌ی الزامات و گزینه‌های تغییر و هدایت برنامه‌ریزی کاربری زمین برای کاهش خطرپذیری از زلزله پر داخته‌اند. گیوه‌چی و عطار [۶] پس از مشخص شدن معیارهای مؤثر در امر مکان‌یابی مساکن موقت پس از زلزله، به وزن‌دهی معیارها و شاخص‌های مورد مطالعه، طبق نظر کارشناسان خبره‌ی مدیریت بحران، با استفاده از روش آنتروپی شانون تعدیل شده با قضاوت ذهنی، پرداخته‌اند. به این منظور آن‌ها با استفاده از مدل TOPSIS مکان‌های مستعد برای اسکان موقت را بر حسب اولویت رتبه‌بندی نموده‌اند. رضایی [۷] با استفاده از روش توصیفی- تحلیلی به شناسایی شاخص‌ها و عوامل مؤثر بر تاب‌آوری اقتصادی و نهادی و ارزیابی میزان آن‌ها در شهر تهران پرداخته است، سپس با شناسایی شاخص‌ها و عوامل مؤثر بر تاب‌آوری اقتصادی و نهادی و با استفاده از پرسشنامه‌ای در قالب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، وزن نهایی شاخص‌ها را تعیین کرده است. در مرحله‌ی بعد با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و روش PROMETHEE محله‌های مورد مطالعه رتبه‌بندی شدند. در تحقیق احمدی و همکاران [۸]، یک مدل لجستیک امدادرسانی با رویکرد برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح با در نظر گرفتن خرابی مسیرهای حمل و نقل شهری پس از وقوع زلزله، زمان استاندارد و بین‌المللی امدادرسانی و استفاده از داده‌های برخط حاصل شده از نظام اطلاعات مکانی، برای مکان‌یابی مراکز توزیع محلی کالاهای امدادی و همچنین مسیریابی وسایل حمل و نقل ارائه شده است.

تحقیقات دیگری با هدف بیشینه کردن تعداد افرادی که در سطوح مختلف امداد پوشش داده می‌شوند، یا پیدا کردن بهترین مسیرهای امدادرسانی پس از وقوع زلزله انجام شده است. مدل پیش رو را بیمون و بلاسیک[۵] [۹] طراحی کرده‌اند. این مدل با هدف بیشینه نمودن سطح پوشش نیازهای ایجاد شده پس از وقوع یک حادثه توسعه داده شده است. در این مدل چند نوع کالا که نیازمند سطح پوشش‌های متفاوتی هستند، محدودیت‌های مربوط به بودجه‌های لجستیکی، ظرفیت انبارها و مراکز عرضه و موارد دیگری لحاظ شده است که در ادامه مورد بررسی دقیق‌تر قرار می‌گیرند. مورد قابل تأمل دیگر یکپارچه کردن بحث مدیریت موجودی و مکان‌یابی در این مدل است. به این معنا که این مدل علاوه بر بحث مکان‌یابی انبارها، میزان موجودی هر کالا در هر انبار را تخمین می‌زند.

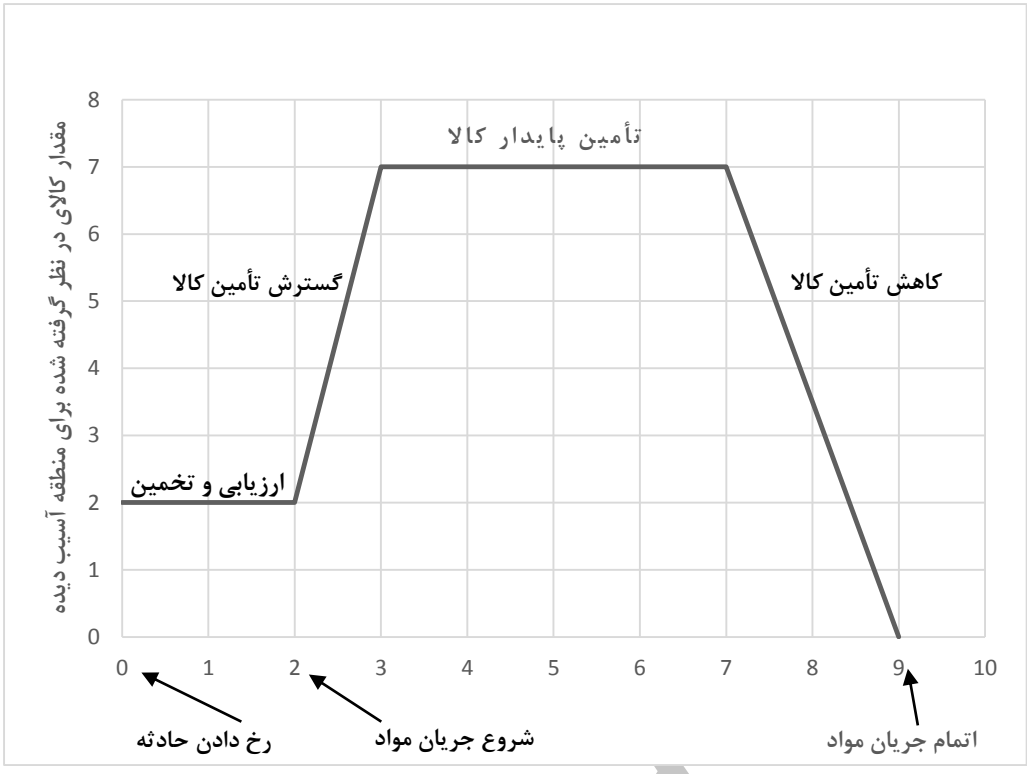
آنچه به وضوح به چشم می‌خورد، نبود بحث‌های مدیریت موجودی با رویکرد پوشش در مقابله با بلایای طبیعی است و از آنجا که، طبق تحقیقات، کشور ما از کشورهایی است که با این مشکل روبه‌رو است، در این تحقیق ما بر آن هستیم این موضوع را به صورت کاربردی مورد بررسی قرار دهیم.

روش تحقیق و ابزارها

داده‌های مورد استفاده در این مقاله به چند بخش تقسیم می‌شود که یک بخش از آن اطلاعاتی در مورد زلزله‌های رخ داده شده در ایران بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ است که از مرکز لرزه‌نگاری کشوری وابسته به مؤسسه‌ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران گرفته شده است. از این داده‌ها تعداد زلزله‌ها در قسمت‌های مختلف ایران قابل محاسبه است. سپس از روش‌هایی که در ادامه توضیح می‌دهیم، احتمال وقوع زلزله در هر نقطه از ایران به دست خواهد آمد. بخش دیگری از اطلاعات عبارتند از جمعیت قسمت‌های مختلف ایران، فواصل بین مکان‌های مختلف برگزیده برای ایجاد انبار و محل وقوع حادثه و هزینه‌ی حمل و نقل کالا در این فواصل که در ادامه در مورد نحوه‌ی جمع‌آوری و تحلیل‌های صورت گرفته شده بر روی آن‌ها توضیحات مفصلی ارائه خواهد شد.

هدف از این مقاله آن است که با حل مدل، ابتدا مکان‌هایی برای ایجاد انبار به دست آید، سپس با شناسایی لوازم ضروری و مورد نیاز در دقایق اولیه‌ی وقوع حوادث و نگهداری آن‌ها در این انبارها، امدادرسانی به مصدومان حادثه راحت‌تر و سریع‌تر انجام شود و فرصت کافی برای رسیدن کمک از شهرها و منطقه‌های اطراف به وجود آید.

Archive of SID
www.SID.ir



تصویر۱: چرخه‌ی تأمین کالاهای مورد نیاز برای امدادرسانی

معرفی شبکه و توصیف مدل

در این بخش نکات کلیدی در شبکه‌ی امدادرسانی بلایا را، که در تصمیم‌گیری در مورد مکان‌یابی و پایش موجودی اثرگذارند، توصیف می‌کنیم و مدل را ارائه می‌دهیم.

توصیف شبکه

شبکه‌ی امدادرسانی از عواملی با نقش‌های متفاوت تشکیل شده است و محیط آن یک محیط کاملاً غیر قابل پیش‌بینی و پویاست. اگرچه تأسیس انبارهای از پیش ساخته شده برای نگهداری کالاهای مورد نیاز موضوعی حیاتی در آمادگی برای امدادرسانی یک حادثه است و نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت و صرف هزینه و بودجه‌ی زیادی است، بحث مکان‌یابی و احداث انبارهای از پیش ساخته شده با تصمیمات منطقی دیگری که در زمان یک حادثه گرفته می‌شود، تعامل دارد. در این قسمت به معرفی مختصر از فرایند پاسخ‌گویی به یک حادثه و عوامل مؤثر و تأثیرپذیر از انبارهای از پیش ساخته شده می‌پردازیم.

جریان کلی کالاها در تصویر ۱ به صورت زنجیره‌ای از وقوع یک حادثه تا اتمام امدادرسانی نمایش داده شده است.

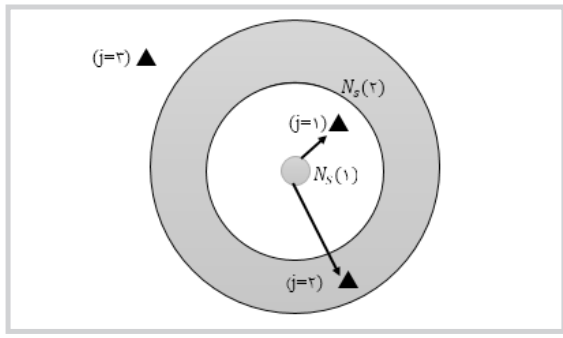
این چرخه‌ی جریان کالا توسط توماس [۱۰] ارائه شده و توسط بیمون [۱۱] در سال ۲۰۰۴ به ۴ فاز اصلی تقسیم شده است. در این تصویر، مرحله‌ی ارزیابی و تخمین نمایش داده شده است که در آن میزان کالای مورد نیاز برای مناطق آسیب‌دیده ارزیابی می‌شود. مرحله‌ی گسترش تأمین کالا بعد از تخمین دقیق جریان کالا شروع می‌شود تا مرحله‌ای که به مقدار نیاز برسد. همچنین در مرحله‌ی تأمین پایدار کالا، جریان کالا برای مدتی به صورت ثابت باقی می‌ماند و در نهایت در مرحله‌ی کاهش تأمین کالا کاهش یافته و خاتمه می‌یابد.

برای اینکه بتوان به راه حل‌های یکپارچه و منظمی در برخورد با این حوادث رسید، باید تعداد و محل ساخت این انبارهای از پیش ساخته شده مشخص شود و نوع و میزان کالایی که قرار است در آن‌ها نگهداری شود تخمین زده شود. اگر می‌خواهیم به یک جواب جامع و مناسب در برخورد با یک حادثه دست پیدا کنیم، طراحی یک شبکه‌ی دارای انبار از پیش ساخته شده به صورتی که توازنی بین هزینه‌ها در برابر ریسک برخورد با حوادث به وجود آید و بیشینه‌ی سود و مزایای ممکن به آسیب‌دیدگان برسد، یک امر حیاتی است.

تعریف مسئله و توسعه‌ی مدل

یک شبکه‌ی امدادرسانی را در نظر بگیرید که در آن یک ارگان امدادرسانی، تعدادی مرکز توزیع کالا بنا می‌کند، تا نیاز ناگهانی آن دسته از افرادی را که تحت تأثیر حادثه‌ای قرار گرفته‌اند، تأمین کند. با در نظر گرفتن عدم قطعیت و محدودیت‌های منابع، هدف مسئله مشخص کردن تعداد و مکان این مراکز توزیع و مقدار موجودی قابل نگهداری در آن‌ها برای بیشینه نمودن سود حاصل برای افراد تحت تأثیر قرار گرفته است. از آنجایی که بحث مکان‌یابی و تعداد موجودی ذخیره شده در هر انبار یا مرکز توزیع بر روی هزینه‌های زنجیره‌ی امدادرسانی و مدت زمان تأمین نیازها تأثیر بسزایی می‌گذارد، پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر از مراکز نیازمند و

Archive of
www.SID.ir



تصویر ۲: مثال سطح پوشش

مقدار نیازشان منجر به پاسخ‌گویی کاراتر و بهتر به وقوع یک حادثه می‌شود. در این مطالعه، عدم قطعیت موجود در مسئله در مورد مکان‌های رخ دادن وقایع و مقادیر نیازها با تعریف سناریوهایی که نماینده‌ی یک حادثه با جفت ویژگی مکان - شدت هستند، مدل خواهد شد. به این منظور، فرض کنید یک ارگان امدادرسانی وجود دارد که چند نوع کالا را برای امدادرسانی در اختیار دارد. ما این اقلام را بر اساس اهمیت مدت زمان تأمینشان و بازه‌های زمانی قابل اطمینان برای تأمین نیازشان به چند دسته تقسیم می‌کنیم. وزن w_k به هر کالای نوع K داده می‌شود تا این میزان اهمیت را نمایش دهد. نیاز کالای K می‌تواند در چند سطح، پوشش داده شود. سود حاص از هر سطح پوشش ($\propto_{lk}$) با زیاد شدن هر سطح *پوشش کاهش پیدا* می‌کند. یعنی رابطه‌ای عکس بین مدت زمان سطح پوشش و میزان سود حاصل از آن وجود دارد که افزایش یکی منجر به کاهش دیگری می‌شود. پس در سطح پوشش‌هایی به صورت $1 \le 2 \le \cdots \le l_k \le \cdots \le L_k$ میزان سود حاصله به شکل $\propto_k^1 = 1 > \propto_k^2 > \cdots > \propto_k^{l_k} > \cdots > \propto_k^{L_k} \ge 0$ خواهد بود. در نهایت مجموعه $N_s(l_k)$ ، مجموعه انبارهایی را نمایش می‌دهد که می‌توانند سطح پوشش l_k را برای کالای k مورد نیاز از سناریوی s تولید کنند. تصویر ۲ این سطح پوشش‌های مختلف را برای یک کالا در یک سناریوی خاص نمایش می‌دهد. در این مثال ۳ انبار و ۲ سطح پوشش وجود دارند؛ به صورتی که دایره‌ی درونی سطح پوشش اولیه را نمایش می‌دهد. انبارهای $j=1$ و $j=2$ به ترتیب در سطح پوشش ۱ و ۲ برای تأمین نیاز این سناریو قرار دارند. در حالی که انبار شماره‌ی ۳ خارج از این سطح پوشش‌ها قرار دارد و بنابراین اصلاً نمی‌تواند نیاز این سناریو را فراهم کند.

در اینجا برای سادگی، می‌توان چند ویژگی مشخص از نظر بحرانی بودن یا محدودیت‌های مدت زمان پاسخ‌گویی به نیاز را برای کالاها در سناریوهای مختلف در نظر گرفت. نیاز یک سناریو فقط از طریق انبارهایی که می‌توانند محل وقوع این سناریوها را پوشش دهند تأمین می‌شود. بنابراین تابع هدف در اینجا انتخاب مجموعه‌ای از انبارها در شبکه‌ی امدادرسانی است؛ به‌طوری‌که میزان سود حاصل برای هر شخص آسیب‌دیده حداکثر شود. این سود نه تنها با توجه به کیفیت امدادرسانی و سطح پوشش (یعنی تحویل به موقع کالا) است، بلکه با توجه به تعداد نیازی است که در دوره‌ی زمانی کوتاهی قابل مرتفع شدن است. ادامه‌ی موضوع به میزان موجودی‌ای بستگی دارد که می‌تواند در این انبارها نگهداری شود و سپس از این انبارها به محل سناریوها منتقل گردد که هر دوی این موارد با محدودیت‌های مربوط به بودجه محدود خواهند شد.

مدل پیشنهادی شامل هزینه‌های قبل و بعد از وقوع حادثه به شرح زیر است:

- هزینه‌های احداث انبارها، فراهم کردن و نگهداری موجودی‌ها در آن‌ها با محدودیت بودجه قبل از حادثه بررسی می‌شود که به صورت بودجه‌ی در نظر گرفته شده برای قبل از وقوع حوادث نشان داده شده است.
- هزینه‌های جابه‌جایی و حمل و نقل کالاها از انبارها به محل هر سناریو به‌منزله‌ی هزینه‌های بعد از حادثه در نظر گرفته شده است که با محدودیت بودجه بعد از حادثه مهار می‌شود.

مقدار موجودی کالایی که در هر انبار در نظر گرفته می‌شود، به تعداد و مکان این انبارها بستگی دارد. در این مرحله تصمیمات مربوط به مکان و تعداد انبارها و میزان موجودی ذخیره شده در آن‌ها یکپارچه است، یعنی هم تصمیمات مربوط به تعداد و مکان انبارها و هم تصمیمات مربوط به میزان موجودی‌ها به صورت همزمان گرفته می‌شود. در اینجا راهبرد ساده‌ی پایش موجودی را در نظر می‌گیریم. حال نیاز است که میزان موجودی هر کالا در انبار از میزان تقاضاهای سناریوهای مرتبط با آن انبار بیشتر نباشد. فرض موجود در این بحث این است که سناریوها به صورت همزمان رخ نمی‌دهند، بنابراین هیچ انباری با کمبود موجودی در برخورد با یک سناریوی خاص روبه‌رو نمی‌شود. در نهایت محدودیت‌های ظرفیت و حجم انبار نیز با توجه به حجم هر انبار و حجم هر نوع کالا در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که مجموع حجم کالاهای موجود در یک انبار نباید بزرگ‌تر از حجم انبار باشد؛ که این موضوع میزان اقلام نگهداری شده در هر انبار را محدود می‌کند.

معرفی مدل

قبل از مدل‌سازی لازم است مجموعه‌ها، عوامل و متغیرهای مدل به شرح زیر معرفی شوند.

مجموعه‌ها:

S: مجموعه سناریوهای ممکن: $s \in S$

N: مجموعه برگزیده‌های احداث انبار: $j \in N$

K: مجموعه انواع اقلام موجود: $k \in K$

عوامل:

P_s: احتمال رخ دادن سناریوی s

d_{sk}: تقاضای مورد انتظار برای کالای نوع k در سناریوی s (تعداد)

Cap_j: ظرفیت انبار j(حجم)

γ_k: حجم واحد کالای نوع k

Archive of SID
www.SID.ir

B_0: سرمایه‌ی اختصاص داده شده برای احداث انبارها قبل از وقوع حوادث (تومان)

B_1: سرمایه‌ی اختصاص داده شده برای حمل و نقل اقلام بعد از وقوع حوادث (تومان)

f_j: هزینه‌ی ثابت ساخت انبار j(تومان)

g_{jk}: هزینه‌ی نگهداری و ذخیره‌ی یک کالای نوع k در انبار j(تومان / واحد)

C_{sjk}: هزینه‌ی انتقال یک واحد کالای نوع k از انبار j به محل حادثه از سناریوی s (تومان / واحد)

t_{sjk}: زمان لازم برای برآورد احتیاج کالای نوع k از انبار j در سناریوی s (ساعت)

w_k: درجه‌ی مهمی یا وزن کالای نوع k

$(\sum_{k=1}^{k} w_k = 1 \text{ و } w_k \geq 0)$

l_k: سطح پوشش کالای نوع k $\quad l_k = 1, \dots, L_k$

$\propto_k^{l_k}$: وزن سطح پوشش

$$\propto_k^1 = 1 > \propto_k^2 > \cdots > \propto_k^{l_k} > \cdots > \propto_k^{L_k} \geq 0$$

$N_s(l_k)$: انبارهای برگزیده که می‌توانند سطح پوشش را برای کالای نوع k در سناریوی s فراهم کنند.

$$N_s(l_k) = \{j |\ LR_k^{l_k} < t_{sjk} < UR_k^{l_k}\}$$

$LR_k^{l_k}$: مینیمم زمان پاسخ‌گویی در سطح پوشش l_k تعریف می‌شود.

$UR_k^{l_k}$: بیشینه زمان پاسخ‌گویی در سطح پوشش l_k تعریف می‌شود.

متغیرهای تصمیم‌گیری:

f_{sjk}: نسبتی از اقلام نوع k که در سناریوی s از انبار j تأمین می‌شود.

Q_{jk}: تعداد اقلام نوع k که در انبار j ذخیره شده‌اند.

اگر $X_j = (0,1)$ انبار j انتخاب شود ۱ و در غیر این صورت ۰ می‌شود.

رابطه‌ی ۱:

$$\max_{Z} = \sum_s \sum_k \sum_{l_k} \sum_{j \in N_s(l_k)} p_s d_{sk} w_k \propto_k^{l_k} f_{sjk}$$

رابطه‌ی ۲:

Subject to:

$$f_{sjk}\, d_{sk} \leq Q_{jk} \quad \forall\, s \in S, j \in N, k \in K$$

رابطه‌ی ۳:

$$\sum_{k \in K} \gamma_k Q_{jk} \leq Cap_j X_j \qquad \forall\, j \in N$$

رابطه‌ی ۴:

$$\sum_{k \in K} (F_j X_j + \sum_{k \in K} Q_{jk} g_{jk}) \leq B_0$$

رابطه‌ی ۵:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} d_{sk} c_{sjk} f_{sjk} \leq B_1 \qquad \forall\, s \in S$$

رابطه‌ی ۶:

$$\sum f_{sjk} \leq 1 \qquad \forall\, s \in S\ , k \in K$$

رابطه‌ی ۷:

$$f_{sjk} \geq 0 \qquad \forall\, s \in S\ , j \in N\ , k \in K$$

رابطه‌ی ۸:

$$X_j \in \{0,1\} \qquad \forall\, j \in N$$

تابع هدف بیشینه نمودن تقاضای مورد انتظار پوشش داده شده با انبارها است. محدودیت رابطه‌ی ۲ تضمین می‌کند که سطح موجودی در انبارها کوچک‌تر از بیشینه‌ی میزان تقاضایی که انبارها در یک سناریو با آن مواجه می‌شوند، نباشد. محدودیت رابطه‌ی ۳ تضمین می‌کند که موجودی‌ها فقط در انبارهای تعیین شده ذخیره می‌شوند و همچنین میزان موجودی در هر انبار از ظرفیت آن انبار تجاوز نمی‌کند. محدودیت رابطه‌ی ۴ تضمین می‌کند که هزینه‌ی ساخت انبارها و نگهداری موجودی در آن‌ها از بودجه‌ی قبل از حوادث تجاوز نمی‌کند. محدودیت رابطه‌ی ۵ تضمین می‌کند که هزینه‌های انتقال و جابه‌جایی اقلام بین محل وقوع حوادث و انبارها از بودجه‌ی در نظر گرفته شده برای بعد از حوادث تجاوز نکند. محدودیت رابطه‌ی ۶ تضمین می‌کند که میزان اقلام ارسال شده برای برطرف کردن نیاز در هر منطقه از میزان واقعی تقاضای آن منطقه تجاوز نکند. محدودیت رابطه‌ی ۷ برای مثبت بودن نسبت تقاضاهای برطرف شده و محدودیت آخر نشان‌دهنده‌ی ۰ و ۱ بودن متغیر تصمیم X است.

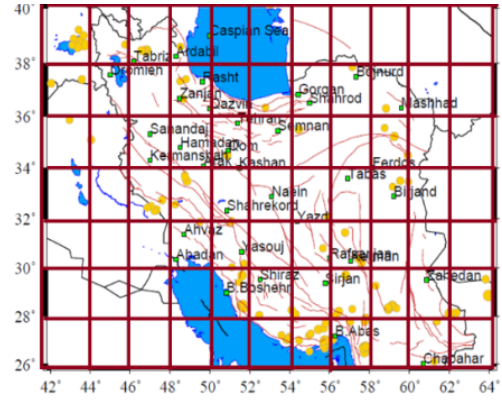
تحلیل داده‌ای مدل در ایران

این بخش به تحلیل داده‌ای مدل اختصاص داده شده است. سعی ما در اینجا بر این است که این مدل را در ایران که در سال‌های اخیر دچار چندین زلزله‌ی بزرگ بوده است، پیاده‌سازی کنیم و با داده‌های تاریخی و واقعی به دست آمده از گذشته و تخمین‌های لازم در مورد سایر اطلاعات تا حد کافی به جواب مطلوبی دست یابیم.

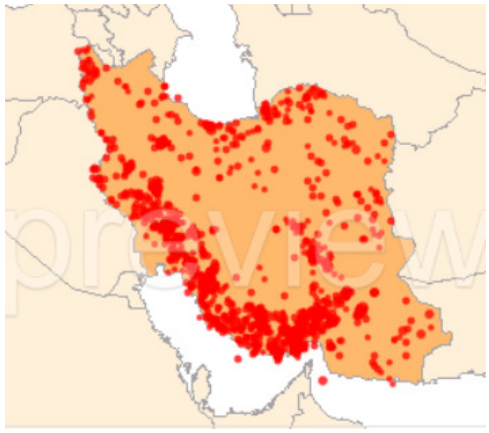
جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه مقدار عوامل مربوط به تعداد زلزله‌های سال‌های گذشته و اطلاعات مربوط به آن‌ها از تارنمای مرکز لرزه‌نگاری کشور [۱۲] استخراج شده است. برای محاسبات لازم در انجام این مقاله اطلاعات زلزله‌های بالای ۵ ریشتر مربوط به

Archive of SID
www.SID.ir



تصویر ۳: نقشه‌ی خطکشی شده‌ی ایران – زلزله‌های بالاتر از ۵ ریشتر بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴



تصویر ۴: زلزله‌های شدید رخ داده شده در سال‌های اخیر

جدول ۱: تعداد زلزله‌های موجود در هر مربع

–	–	–	مشهد ۰–۰–۱	بجنورد ۰–۰–۳	شاهرود–گرگان ۰–۰–۱	–	–	–	۰–۰–۲
–	۰–۰–۰	فردوس ۰–۰–۴	تهران–قم ۰–۱–۰	سمنان ۰–۰–۱	۰–۱–۱	۰–۰–۰	زنجان–رشت–قزوین ۱–۰–۴	۰–۱–۰	۰–۰–۰	اورمیه ۰–۰–۰
–	۰–۰–۱	بیرجند ۲–۰–۳	اصفهان شهرکرد ۰–۰–۰	۰–۰–۰	۰–۰–۱	طبس ۱–۰–۰	۱–۱–۹	۰–۰–۱۱	سنندج–کرمانشاه ۰–۰–۲	–
–	۰–۰–۰	۰–۰–۰	یاسوج ۰–۰–۹	۰–۰–۰	یزد ۰–۰–۱	کرمان ۰–۱–۷	اهواز–آبادان ۰–۰–۲	–	–	–
–	زاهدان ۰–۰–۰	۰–۳–۹	بوشهر ۰–۲–۹	شیراز ۰–۰–۲	سیرجان ۰–۰–۲	۰–۲–۱	–	–	–	–
۰–۰–۳ ۲	چابهار ۰–۰–۲	۰–۰–۳	۰–۰–۰	۰–۱–۶	۰–۳–۱۹	بندرعباس ۰–۰–۷	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	۰–۰–۱	–	–	–	–

۱ ژانویه‌ی ۲۰۰۶ تا ۱ آوریل ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفته است. زلزله‌های با ریشتر کمتر اصولاً از نظر تلفات جانی، خسارت زیادی به بار نمی‌آورند، بنابراین در این تحقیق نمی‌گنجند. طبق این آمار در مجموع در ایران ۱۵۸ زلزله‌ی بالای ۵ ریشتر رخ داده است. برای تولید سناریوهایی که پیش از این در مورد آن‌ها به اختصار توضیحاتی داده شد و همچنین میزان تقاضایی که در اثر وقوع هر سناریو رخ می‌دهد، زلزله‌ها با در نظر گرفتن ویژگی محل رخ دادن آن‌ها خوشه‌بندی شده است، به‌طوری‌که زلزله‌هایی که مراکزشان تقریباً به هم نزدیک است، در یک خوشه قرار می‌گیرند و این‌گونه تصور می‌شود که زلزله‌های موجود در هر خوشه یک جمعیت واحد را تحت تأثیر قرار می‌دهند (جمعیتی که در حوالی این مراکز هستند).

برای خوشه‌بندی زلزله‌ها، روند زیر به کار گرفته شده است: ما بر روی نقشه‌ی ایران با توجه به طول و عرض‌های جغرافیایی‌ای که مرز ایران شامل آن می‌شود، خطوطی افقی و عمودی رسم می‌کنیم. بدین صورت که هر ۲ درجه‌ی عرض جغرافیایی بیانگر یک خط عمودی و هر ۲ درجه‌ی طول جغرافیایی بیانگر یک خط افقی است. هر طول و عرض جغرافیایی بر روی نقشه برابر ۱۱۱ کیلومتر در روی زمین است. نتیجه‌ی تقسیم نقشه‌ی ایران به این خطوط، مربع‌هایی است به طول ۲۲۲ کیلومتر و مساحت ۴۹۲۴۸ کیلومتر مربع. فرض بر این است که مرکز هر مربع نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی ایجاد تقاضا برای همه‌ی زلزله‌هایی است که در این مربع رخ می‌دهند. از آنجایی که در مدل فرض شده زلزله‌ها به صورت همزمان رخ نمی‌دهند، بنابراین هر مربع نباید چندان کوچک انتخاب شود. این موضوع سبب اشتباه کمتر در مورد تعداد افرادی که تحت تأثیر یک زلزله قرار می‌گیرند، خواهد شد. همچنین این مربع‌ها نباید خیلی بزرگ باشند، زیرا این کار موجب تخمین کمتر در مورد هزینه‌ها و زمان‌های حمل و نقل و انتقال کالا و تخمین بیشتر در مورد تقاضاهای ایجاد شده در اثر هر رخداد می‌شود. بنابراین اندازه‌ای که ما برای طول ضلع و مساحت هر مربع در نظر گرفته‌ایم به نظر مقدار مناسبی می‌آید. طبق این اندازه‌ها فاصله‌ی مرکز هر مربع تا مرکز مربع مجاور هم ۲۲۲ کیلومتر است. همان‌طور که اشاره شد مرکز هر مربع به‌منزله‌ی مکان واحد ایجاد تقاضا برای همه‌ی زلزله‌هایی که در آن مربع رخ می‌دهند در نظر گرفته شده است. بعد از به دست آوردن زلزله‌های موجود در هر مربع، باید زلزله‌ها بر اساس شدت ریشتر وقوع آن‌ها و بر اساس خسارتی که ممکن است وارد کنند به ۳ دسته تقسیم شوند. دسته‌ی اول شامل زلزله‌های

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲: احتمال وقوع هر سناریو در هر مربع

–	–	–	–	–	–	–	۴/۵ : ۵ ۱/۵ :۶	۱:۵
–	۰	۱:۵	۱:۵	۱:۵	۱:۵	۴/۵ : ۵ ۱/۵ :۷	۰	۰
–	۰	۱:۵	۰	۱/۲ : ۵ ۱/۲ :۶	۱:۵	۱:۶	۱:۵	–
–	۱:۵	۳/۵ : ۵ ۲/۵ :۷	۱/۸ : ۷	۱:۵	۰	۹/۱۱ : ۵ ۱/۱۱ :۶ ۱/۱۱ :۷	۱:۵	–
–	۰	۰	۷/۸ : ۵ ۱/۸ :۶	۱:۵	۰	۱:۵	–	–
–	۰	۹/۱۲ : ۵ ۳/۱۲ :۶	۱/۳ : ۵ ۲/۳ :۶	۱:۵	۱:۵	–	–	–
۳/۵ : ۵ ۱/۵ :۷	۱:۵	۱:۵	۱:۵	۱۹/۲۲ : ۵ ۳/۲۲ :۶	۶/۷ : ۵ ۱/۷ :۶	۰	–	–
–	–	–	۱:۵	–	–	–	–	–

جدول ۳: جمعیت هر مربع

–	–	–	–	–	–	–	۲ ۳۸۰۰	۱ ۸۰۰
–	۱۱ ۱۰۰	۱۰ ۳۰۰۰	۹ ۱۰۰۰	۸ ۲۰۰۰	۷ ۳۰۰۰	۶ ۲۲۰۰	۴ ۱۵۰۰	۳ ۲۲۰۰
–	۱۹ ۳۰۰	۱۸ ۵۰۰	۱۷ ۱۰۰	۱۶ ۲۰۰	۱۵ ۲۰۰	۱۴ ۱۵۵۰۰	۱۲ ۲۵۰۰	–
–	۲۷ ۱۰۰	۲۶ ۵۰۰	۲۵ ۱۰۰	۲۴ ۴۰۰	۲۳ ۱۲۰۰	۲۲ ۴۵۰۰	۲۰ ۱۵۰۰	–
–	۳۴ ۱۰۰	۳۳ ۵۰۰	۳۲ ۲۰۰۰	۳۱ ۸۰۰	۳۰ ۱۲۰۰	۲۹ ۱۲۰۰	–	–
–	۴۰ ۱۰۰۰	۳۹ ۵۰۰	۳۸ ۲۰۰۰	۳۷ ۱۰۰۰	۳۶ ۳۰۰۰	۳۵ ۲۰۰	–	–
۴۷ ۲۰۰	۴۶ ۷۰۰	۴۵ ۱۵۰۰	۴۴ ۱۰۰۰	۴۳ ۱۵۰۰	۴۲ ۱۵۰۰	۴۱ ۱۰۰	–	–
–	–	–	۴۸ ۵۰۰	–	–	–	–	–

۵ تا ۶ ریشتری، دسته‌ی دوم زلزله‌های ۶ تا ۷ ریشتری و دسته‌ی سوم زلزله‌های بیش از ۷ ریشتر هستند. همان‌طور که پیشتر گفته شد، هر سناریو به دسته‌ای از زلزله‌ها که جفت ویژگی مکان – شدت یکسان دارند اطلاق می‌شود. بنابراین نتیجه‌ی خوشه‌بندی اعمال شده بر روی داده‌های تاریخی جمع‌آوری شده ایجاد ۴۸ سناریو در ۴۸ مربع است که یک مربع می‌تواند شامل هیچ، ۱، ۲ و حداکثر ۳ سناریو باشد. برای انجام محاسبات در این مطالعه، احتمال رخ دادن هر سناریو بر اساس تعداد تکرارهای تاریخی آن سناریو محاسبه می‌شود. بنابراین احتمال رخ دادن هر سناریو برابر است با نسبت تعداد زلزله‌های موجود در هر مربع، متعلق به یک دسته از شدت‌ها، به کل زلزله‌های آن مربع.

از تقسیم‌بندی خانه به خانه‌ی نقشه و با توجه به تصویر ۳ نتایج جدول ۱ حاصل می‌گردد. هر خانه از جدول ۱ تعداد زلزله‌های موجود در هر مربع را نشان می‌دهد. همچنین نام شهرهای بزرگ موجود در مربع‌ها نیز آورده شده است. نحوه‌ی یادداشت نوشته شده در هر مربع بدین صورت است: (تعداد زلزله‌های دسته‌ی اول – تعداد زلزله‌های دسته‌ی دوم – تعداد زلزله‌های دسته‌ی سوم) جدول ۲ احتمال وقوع هر سناریو در هر مربع را نشان می‌دهد. احتمال رخ دادن هر سناریو با تقسیم تعداد زلزله‌های رخ داده شده در آن دسته به کل زلزله‌های رخ داده در مربع به دست می‌آید.

در جدول ۳ نیز جمعیت هر مربع در آن نشان داده شده است. برای به دست آوردن کاندیداهای احداث انبار، همه‌ی مربع‌ها به صورت جداگانه از نظر تعداد زلزله‌های رخ داده شده در گذشته، جمعیت، شرایط آب و هوایی، امکان حمل و نقل کالاها و سایر عوامل مورد نیاز بررسی گردید. با توجه به حداکثر در دسترس بودن به همه‌ی نقاط و بررسی مربع‌هایی که خود کمترین آمار زلزله را داشته‌اند (تا خود این انبارها دچار خسارت ناشی از زلزله نشوند) در نهایت کاندیداهای ۴ و ۱۷ و ۳۰ و ۳۳ انتخاب شدند.

ما دو نوع کالا در نظر می‌گیریم. کالای نوع ۱ مجموعه اقلام حیاتی‌ای را نشان می‌دهد که بعد از وقوع یک زلزله باید در

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴: فاصله‌ی هر انبار کاندیدا تا مربع‌های ۱ تا ۱۰

مربع /کاندیدا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۴	۳۱۴	۲۲۲	۲۲۲	–	۲۲۲	۴۴۴	۶۶۶	۸۸۸	۱۱۱۰	۱۳۳۲
۱۷	۱۴۰۴	۱۱۹۵	۱۳۵۰	۱۱۳۲	۹۱۵	۷۰۲	۴۹۶	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴
۳۰	۱۲۵۶	۱۱۱۰	۱۱۱۰	۹۴۲	۸۰۰	۷۰۲	۶۶۶	۷۰۲	۸۰۰	۹۴۲
۳۳	۱۷۹۰	۱۶۰۱	۱۶۹۰	۱۴۹۸	۱۲۹۴	۱۱۱۰	۹۴۲	۸۰۰	۷۰۲	۶۶۶

جدول ۵: فاصله‌ی هر انبار کاندیدا تا مربع‌های ۱۱ تا ۲۰

مربع /کاندید	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۴	۱۵۵۴	۲۲۲	۳۱۴	۴۹۶	۷۰۲	۹۱۵	۱۱۳۲	۱۳۵۰	۱۵۷۰	۴۴۴
۱۷	۴۹۶	۱۱۱۰	۸۸۸	۶۶۶	۴۴۴	۲۲۲	–	۲۲۲	۴۴۴	۱۱۳۲
۳۰	۱۱۱۰	۸۰۰	۶۲۸	۴۹۶	۴۴۴	۴۹۶	۶۲۸	۸۰۰	۹۹۳	۷۰۲
۳۳	۷۰۲	۱۴۰۴	۱۱۹۵	۹۹۳	۸۰۰	۶۲۸	۴۹۶	۴۴۴	۴۹۶	۱۳۵۰

جدول ۶: فاصله‌ی هر انبار کاندیدا تا مربع‌های ۲۱ تا ۳۰

مربع /اندید	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۴	۴۹۶	۶۲۸	۸۰۰	۹۹۳	۱۱۹۵	۱۴۰۴	۱۶۱۷	۷۰۲	۸۰۰	۹۴۲
۱۷	۹۱۵	۷۰۲	۴۹۶	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴	۴۹۶	۹۹۳	۸۰۰	۶۲۸
۳۰	۴۹۶	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴	۴۹۶	۷۰۲	۹۱۵	۴۴۴	۲۲۲	–
۳۳	۱۱۳۲	۹۱۵	۷۰۲	۴۹۶	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴	۱۱۱۰	۸۸۸	۶۶۶

جدول ۷: فاصله‌ی هر انبار کاندیدا تا مربع‌های ۳۱ تا ۴۰

مربع /کاندید	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
۴	۱۱۱۰	۱۲۹۴	۱۴۸۹	۱۶۹۰	۹۹۳	۱۱۱۰	۱۲۵۶	۱۴۲۱	۱۶۰۱	۱۷۹۰
۱۷	۴۹۶	۴۴۴	۴۹۶	۶۲۸	۹۴۲	۸۰۰	۷۰۲	۶۶۶	۷۰۲	۸۰۰
۳۰	۲۲۲	۴۴۴	۶۶۶	۸۸۸	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴	۴۹۶	۷۰۲	۹۱۵
۳۳	۴۴۴	۲۲۲	–	۲۲۲	۹۱۵	۷۰۲	۴۹۶	۳۱۴	۲۲۲	۳۱۴

سریع‌ترین زمان ممکن پوشش داده شوند و زمان رفع احتیاج آن‌ها باید از اقلام نوع دوم سریع‌تر باشد. وزن‌دهی به این کالا با توجه به درجه‌ی اهمیت آن در تأمین برابر ۰/۸ و در نتیجه وزن کالای نوع ۲ برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده است. برای هر دو نوع کالا ۲ سطح پوشش در نظر گرفته شده است. برای کالای نوع ۱ حد بالایی زمان پاسخ‌گویی به نیاز به ترتیب ۹ و ۱۶ ساعت برای سطح پوشش ۱ و ۲ و برای کالای نوع ۲ حد بالایی زمان پاسخ‌گویی به نیاز به ترتیب ۱۶ و ۲۸ ساعت برای سطح پوشش‌های ۱ و ۲ در نظر گرفته می‌شود. چون کالای نوع ۱ شامل محصولات حیاتی‌تری می‌شود، سود حاصل از رسیدن به موقع آن‌ها با سرعت بیشتری نسبت به اقلام نوع ۲ از یک سطح به سطح دیگر کم می‌شود. بنابراین سود حاصل از سطح پوشش دوم برای کالای نوع ۱ و نوع ۲ به ترتیب ۰/۴ و ۰/۶ در نظر گرفته شده است. مدت زمان و هزینه‌ی حمل و نقل کالاها به نوع کامیون‌ها بستگی دارد و مقدار آن‌ها با توجه به نظر خبرگان تعیین شده است. برای محاسبه‌ی مدت زمان انتقال هر نوع کالا از محل یک انبار به محل یک سناریو، نیاز به ۲ ساعت زمان برای آماده‌سازی محموله است. سپس با در نظر گرفتن همه‌ی تأخیرهای ممکن، کامیون حمل بار با میانگین سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت به سمت محل سناریو اعزام می‌شود. پس مدت زمان حمل و نقل اقلام از لحظه‌ی وقوع زلزله تا لحظه‌ی رساندن آن‌ها به دست مصدومان از رابطه‌ی $x/70 + 2$ پیروی می‌کند که در آن x فاصله‌ی محل انبار تا محل وقوع سناریو است. برای محاسبه‌ی هزینه نیز ۱ میلیون تومان هزینه‌ی ثابت و۵۰ هزار تومان هزینه‌ی حمل و نقل به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است که در نتیجه هزینه‌ی حمل و نقل کالاها از رابطه‌ی $50000 \times (x/100) + 1000000$ محاسبه می‌شود که دوباره x بیانگر فاصله‌ی محل انبار تا محل وقوع سناریو است. حال برای محاسبه‌ی هزینه‌های جابه‌جایی و حمل و نقل بین مربع‌ها و همچنین محاسبه‌ی انبارهایی که می‌توانند در سطوح مختلف نیازهای مربوط به هر سناریو را پاسخ دهند، نیازمند این هستیم که فاصله‌ی هر انبار انتخابی را از سایر مربع‌ها به دست آوریم. در جداول ۴ تا ۸ فاصله‌ی هر انبار از سناریو نمایش داده شده است (واحد به کیلومتر است).

همان‌طور که گفته شد در مدل ۲ سطح پوشش برای رفع نیازهای هر نوع محصول در نظر گرفته شده است (۲ نوع محصول مورد نیاز) که این سطح پوشش‌ها با توجه به مدت زمانی که محصول مورد نظر باید به دست آسیب‌دیدگان برسد، تقسیم‌بندی شده‌اند. حال بر طبق این آمار مشخص می‌شود که هر انبار در کدام

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸: فاصله‌ی هر انبار کاندیدا تا مربع‌های ۴۱ تا ۴۸

مربع/کاندید	۴۷	۴۸	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸
۲۰۸۹	۱۷۳۴	۴	۱۱۹۵	۱۲۹۴	۱۴۲۱	۱۵۷۰	۱۷۳۴	۱۹۰۹	۲۰۸۹	۱۷۳۴
۱۱۱۰	۱۱۱۰	۱۷	۱۱۱۰	۹۹۳	۹۱۵	۸۸۸	۹۱۵	۹۹۳	۱۱۱۰	۱۱۱۰
۱۱۹۵	۸۰۰	۳۰	۴۹۶	۴۴۴	۴۹۶	۶۲۸	۸۰۰	۹۹۳	۱۱۹۵	۸۰۰
۶۲۸	۷۰۲	۳۳	۹۹۳	۸۰۰	۶۲۸	۴۹۶	۴۴۴	۴۹۶	۶۲۸	۷۰۲

جدول ۹: مربع‌های قابل پوشش در سطح پوشش ۱ برای کالای نوع ۱

۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱۲	۱۳	۱۴	۲۰	۲۱									
۱۷	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۲	۳۳		
۳۰	۱۴	۱۵	۱۶	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۴۱	۴۲	۴۳
۳۳	۱۷	۱۸	۱۹	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۴	۴۵	۴۶		

جدول ۱۰: مربع‌های قابل پوشش در سطح پوشش ۱ برای کالای نوع ۲

۴																				
۱۷	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶			
۳۰	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۸
۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸					

جدول ۱۱: مربع‌های قابل پوشش در سطح پوشش ۲ برای کالای نوع ۱

۴	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۸	۲۹	۳۰	۳۵
۱۷	۶	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸
۳۰	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۳۳	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳

سناریو می‌تواند در سطح پوشش ۱ و در کدام سناریو می‌تواند در سطح پوشش ۲ قرار گیرد.

سطح پوشش ۱: در سطح پوشش ۱ موجودی انبار برای کالای ۱ باید حداکثر در مدت ۹ ساعت و برای کالای ۲ حداکثر در مدت ۱۶ ساعت به محل سناریو برسد. مدت زمان رسیدن محموله‌ها از انبار jبه محل وقوع سناریو sبا رابطه $x/70+2$ محاسبه شده که در آن x بیانگر فاصله‌ی انبار jتا محل سناریوی sاست. سرعت وسیله‌ی نقلیه‌ای که این بار را به سمت سناریو حمل می‌کند، ۷۰ است و ۲ ساعت هم به صورت پیش‌فرض از زمان وقوع سناریو تا آماده شدن محموله برای ارسال و حرکت وسیله‌ی نقلیه از انبار به محل سناریو در نظر گرفته شده است. پس برای اقلام نوع ۱ انبارهایی می‌توانند پوششگر یک سناریو باشند که تا محل سناریو حداکثر ۴۹۰=۷۰×(۲-۹) کیلومتر فاصله داشته باشند. همچنین برای کالای نوع ۲، حداکثر ۹۸۰=۷۰×(۲-۱۶) کیلومتر فاصله داشته باشند.

سطح پوشش ۲: در سطح پوشش ۲ نیز موجودی انبار برای کالای ۱ باید حداکثر در ۱۶ ساعت و برای کالای ۲ حداکثر در ۲۸ ساعت به محل سناریو برسد که به ترتیب ۹۸۰ و ۱۸۲۰ کیلومتر است. با استفاده از این محدودیت‌ها، انبارهای پیش‌فرض موجود در خانه‌های ۳، ۱۷، ۳۰ و ۳۳ می‌توانند وقوع سناریو در بعضی خانه‌ها را پوشش دهند. جداول بعدی بیانگر این مربع‌های قابل پوشش هستند.

حال به محاسبه‌ی هزینه‌های انتقال محصولات از محل هر کاندیدای انبار به تک تک مربع‌های محل سناریوها می‌پردازیم. طبق رابطه‌ی $(x/100)\times 50000 + 1000000$ ، یک میلیون تومان هزینه‌ی راننده و هزینه‌های ثابت در نظر گرفته شده است و x مسافت بین محل انبار تا محل سناریو است و مبلغ ۵۰ هزار تومان نیز به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر فاصله، به‌منزله‌ی هزینه‌ی سوخت و سایر هزینه‌های متغیر حمل و نقل، در نظر گرفته شده است. برای محل خود انبارها مبلغ ۱ میلیون تومان هزینه‌ی حمل و نقل و حقوق و سوخت و ... در نظر گرفته شده است. جداول ۱۳ تا ۱۷ هزینه‌های حمل و نقل را نشان می‌دهد.

تقاضای حاصل از وقوع هر سناریو برای کالاهای نوع ۱ و نوع ۲ با توجه به جمعیت هر مربع و همچنین داده‌های تاریخی مربوط به زلزله‌های گذشته تخمین زده می‌شود. جمعیت موجود در هر مربع با توجه به شهرهای بزرگ موجود در هر مربع و پراکندگی جمعیت بین شهرها و استان‌های مختلف به دست می‌آید و سپس تقاضای موجود برای ۲ نوع کالا با توجه به این جمعیت‌ها و همچنین شدت ریشتر هر سناریو تخمین زده می‌شود. (جدول ۱۸ تقاضای حاصل شده از هر سناریو را نشان می‌دهد).

متراژ و هزینه‌ی ساخت یک انبار مناسب برای این هدف در ابعاد کشورمان، با مصاحبه و مشورت با چند مهندس عمران خبره تخمین زده شده است. برای این منظور انباری به ابعاد ۵۰۰۰ متر مکعب مناسب است که هزینه‌ی ساخت آن حدود ۵۰۰ میلیون

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱۳: هزینه‌های حمل و نقل از محل انبارها تا مربع‌های ۱ تا ۱۰

مربع/کاندید	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۴	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰	۱۴۴۴۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۶۶۶۰۰۰
۱۷	۱۷۰۲۰۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۱۶۷۵۰۰۰	۱۵۶۶۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰
۳۰	۱۶۲۸۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۷۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۷۱۰۰۰
۳۳	۱۸۹۵۰۰۰	۱۸۰۰۵۰۰	۱۸۴۵۰۰۰	۱۷۴۳۰۰۰	۱۶۴۷۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۷۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰

جدول ۱۴: هزینه‌های حمل و نقل از محل انبارها تا مربع‌های ۱۱ تا ۲۰

مربع/کاندید	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۴	۱۷۷۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۵۶۶۰۰۰	۱۶۷۵۰۰۰	۱۷۸۵۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰
۱۷	۱۲۴۸۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۴۴۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۵۶۶۰۰۰
۳۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۳۵۱۰۰۰
۳۳	۱۳۵۱۰۰۰	۱۷۰۲۰۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۶۷۵۰۰۰

جدول ۱۵: هزینه‌های حمل و نقل از محل انبارها تا مربع‌های ۲۱ تا ۳۰

مربع/کاندید	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
۴	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۱۷۰۲۰۰۰	۱۸۰۸۵۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۷۱۰۰۰
۱۷	۱۴۵۷۵۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰
۳۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
۳۳	۱۵۶۶۰۰۰	۱۴۵۷۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۴۴۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰

جدول ۱۶: هزینه‌های حمل و نقل از محل انبارها تا مربع‌های ۳۱ تا ۴۰

مربع/کاندید	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
۴	۱۵۵۵۰۰۰	۱۶۴۷۰۰۰	۱۷۴۴۵۰۰	۱۸۴۵۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۶۲۸۰۰۰	۱۷۱۰۵۰۰	۱۸۰۵۰۰۰	۱۸۹۵۰۰۰
۱۷	۱۲۴۸۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۴۷۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰
۳۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۳۳۳۰۰۰	۱۴۴۴۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰
۳۳	۱۲۲۲۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰	۱۱۱۱۰۰۰	۱۱۵۷۰۰۰

جدول ۱۷: هزینه‌های حمل و نقل از محل انبارها تا مربع‌های ۴۱ تا ۴۸

مربع/کاندید	۴۷	۴۸	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸
۲۰۸۹	۲۰۴۴۵۰۰	۱۸۶۷۰۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۱۶۴۷۰۰۰	۱۷۱۰۵۰۰	۱۷۸۵۰۰۰	۱۸۶۷۰۰۰	۱۹۵۴۵۰۰	۲۰۴۴۵۰۰	۱۸۶۷۰۰۰
۱۱۱۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۴۴۴۰۰۰	۱۴۵۷۵۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۵۵۵۰۰۰	۱۵۵۵۰۰۰
۱۱۹۵	۱۵۹۷۵۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۵۹۷۵۰۰	۱۴۰۰۰۰۰
۶۲۸	۱۳۱۴۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰	۱۴۹۶۵۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۲۴۸۰۰۰	۱۲۲۲۰۰۰	۱۲۴۸۰۰	۱۳۱۴۰۰۰	۱۳۵۱۰۰۰

تومان برآورد می‌شود. همچنین هزینه‌ی نگهداری هر کالای نوع ۱ چون می‌تواند شامل موارد حیاتی‌تری مثل دارو و آب و غذا شود و نیاز به شرایط ویژه‌تری دارد، حدود ۲۰۰ تومان و هزینه‌ی نگهداری هر کالای نوع ۲، ۱۰۰ تومان در نظر گرفته شده است. همچنین حجم هر کالای نوع ۱ در ابعاد ۰/۲×۰/۵×۰/۵ و برای هر کالای نوع ۲، در ابعاد ۰/۵×۰/۵×۰/۵ تخمین زده شده است. در جدول ۱۹ خلاصه‌ای از پارامترهای مدل و مقادیر آن‌ها گردآوری شده است.

بحث و نتایج

پس از به دست آوردن پارامترها با توجه به شرایط واقعی و نظر خبرگان نوبت به حل مدل با استفاده از نرم‌افزار CPLEX می‌شود. حل این مدل و نتایج حاصل از تحلیل آن به تفضیل در ادامه آمده است:

الف.

بودجه‌ی قبل از زلزله: یک میلیارد تومان

بودجه‌ی بعد از زلزله: پانصد میلیون تومان

همچنان که در جدول ۲۰ می‌بینید، نتیجه‌ی اجرای مدل با این فرضیات احداث انبار در مربع شماره‌ی ۳۰ است. همان‌طور که می‌بینید این مربع در بخش مرکزی ایران و کمی متمایل به غرب کشور قرار دارد و از نظر تاریخی تا کنون زلزله‌ای به بزرگی بالای ۵ ریشتر یا اصلاً در این محدوده رخ نداده است و یا به تعداد بسیار اندک در گذشته‌ها بوده که اطلاع دقیق تاریخی از آن وجود ندارد.

این منطقه در مرکز منطقه‌ای که شهرهای پرجمعیتی مانند اصفهان، شیراز، یزد، اهواز و بوشهر در آن واقع شده‌اند قرار دارد. از طرفی مشخص است که منطقه‌ی جنوب و جنوب غربی در سالیان اخیر بیشتر دست‌خوش زلزله‌های بزرگ قرار گرفته است. لذا جواب حاصل کاملاً منطقی و قابل پیش‌بینی بود.

همچنین در مورد موجودی نگهداری شده در این انبار، جواب حاصل مقادیر ۴۵۰۰/۵ را برای کالای ۱ و ۱۰۰۰ را برای کالای ۶ نمایش می‌دهد که این جواب نیز منطقی و قابل پیش‌بینی بود،

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱۸ تقاضای حاصل شده از هر سناریو را نشان می‌دهد.

شماره‌ی سناریو	مکان سناریو (شماره مربع)	جمعیت	شدت سناریو (ریشتر)	تقاضای ایجاد شده کالای ۱	تقاضای ایجاد شده کالای ۲
۱	۱	۸۰۰۰۰۰	۵	۴۰۰۰	۲۰۰۰
۲	۲	۳۸۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳	۲	۳۸۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴	۵	۳۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۵	۵	۳۰۰۰۰۰۰	۷	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۶	۶	۲۲۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۷	۷	۳۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۸	۸	۲۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۹	۹	۱۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۱۰	۱۰	۳۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۱۱	۱۲	۲۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۱۲	۱۳	۲۵۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۱۳	۱۴	۱۵۵۰۰۰۰۰	۵	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
۱۴	۱۵	۲۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۱۵	۱۶	۲۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۱۶	۱۶	۲۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۱۷	۱۸	۲۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۱۸	۲۰	۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۱۹	۲۱	۱۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۲۰	۲۱	۱۸۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۲۱	۲۱	۱۸۰۰۰۰۰	۷	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۲۲	۲۴	۴۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۲۳	۲۵	۱۰۰۰۰۰	۷	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۲۴	۲۶	۵۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۲۵	۲۶	۵۰۰۰۰۰	۷	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۲۶	۲۷	۱۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۲۷	۲۸	۴۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۲۸	۲۹	۱۲۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۲۹	۳۱	۸۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۳۰	۳۲	۲۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳۱	۳۲	۲۰۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۳۲	۳۵	۲۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۳۳	۳۵	۲۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۳۴	۳۶	۳۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳۵	۳۷	۱۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳۶	۳۸	۲۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳۷	۳۸	۲۰۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۳۸	۳۹	۵۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۳۹	۳۹	۵۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴۰	۴۲	۱۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۴۱	۴۲	۱۵۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴۲	۴۳	۱۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۴۳	۴۳	۱۵۰۰۰۰۰	۶	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴۴	۴۴	۱۰۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۴۵	۴۵	۱۵۰۰۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۴۶	۴۶	۷۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۴۷	۴۷	۲۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰
۴۸	۴۷	۲۰۰۰۰۰	۷	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۴۹	۴۸	۵۰۰۰۰۰	۵	۲۰۰۰	۱۰۰۰

زیرا همان‌طور که در گذشته گفته شد، کالاهایی که در زمره‌ی کالای ۱ گنجانده می‌شوند، کالاهای حیاتی‌تری هستند که تقاضا نیز برای آن‌ها بیشتر است. پس جواب نهایی اجرا کردن مدل در محدودیت‌های گفته شده ایجاد ۱ انبار در مربع شماره‌ی ۲۰ و ذخیره‌ی ۴۵۰۰/۵ کالای نوع ۱ و ۱۰۰۰ کالای نوع ۶ در آن است.

ب.

بودجه‌ی قبل از زلزله: دو میلیارد تومان

بودجه‌ی بعد از زلزله: یک میلیارد تومان

نتیجه‌ی اجرای مدل با این فرضیات احداث انبار در مربع‌های شماره‌ی ۴، ۳۰ و ۳۳ است. همان‌طور که در جدول ۲۱ می‌بینید نتیجه کاملاً منطقی است.

نکته‌ی اول حائز اهمیت این است که طبق اطلاعات تاریخی در این مربع‌ها زلزله‌ی ویران‌کننده‌ای وجود نداشته است و نکته‌ی دوم نزدیکی این انبارها به مناطق پرجمعیت و پر زلزله است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، انبار مربع ۴ می‌تواند مناطق شمال غربی و شمال کشور شامل شهر تهران را پوشش دهد. انبار مربع ۳۰ می‌تواند مناطق غربی، جنوب و جنوب غربی کشور را پوشش بدهد و انبار مربع ۳۳ نیز می‌تواند مناطق جنوب، جنوب شرقی، شرق و حتی شمال شرقی کشور را تحت پوشش خود قرار دهد. نتیجه‌ی حاصل برای تعداد موجودی‌های قابل انبار در هر یک از انبارها با توجه به محدودیت‌های بودجه‌ای در جدول ۲۳ آمده است. نکته‌ی جالب توجه در جواب حاصل این است که در انبار مربع ۲۰ مقدار موجودی کالای ۱ بیشتر از کالای ۶ است. در حالی که در انبار مربع ۳۳ نتیجه کاملاً برعکس است و مقدار موجودی کالای ۶ از کالای ۱ بیشتر است. در عین حال در انبار مربع ۴ موجودی هر ۶ کالا برابر به دست آمده است. این عدم یکنواختی در جواب حاصل انعطاف بیش از حد مدل در برخورد با حالات مختلف را نمایش می‌دهد.

ج.

بودجه‌ی قبل از زلزله: یک و نیم میلیارد تومان

بودجه‌ی بعد از زلزله: یک و نیم میلیارد تومان

نتیجه‌ی اجرای مدل با این فرضیات احداث انبار در مربع‌های شماره‌ی ۴ و ۳۰ است که برای جلوگیری از تکرار توضیحات قبلی فقط به جواب نهایی اجرا کردن مدل که در جدول ۲۳ آمده است بسنده می‌کنیم. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید مقدار موجودی در انبار مربع شماره‌ی ۳۰ که نزدیک‌تر به تراکم زلزله‌های سال‌های قبل است، بیشتر از موجودی انبار مربع شماره‌ی ۴ است.

نتیجه‌گیری

مسئله‌ی بررسی شده در این تحقیق مدیریت زنجیره‌ی تأمین امدادرسانی کالاهای مورد نیاز آسیب‌دیدگان یک زلزله است. در این مقاله مدلی برای این مسئله توسعه داده شده که تعداد و مکان انبارهای از پیش ساخته شده برای مقابله با زلزله‌ها را مشخص می‌کند و میزان موجودی قابل ذخیره‌سازی در آن‌ها را تحت محدودیت‌های مختلف هزینه و زمان به دست می‌آورد. این مدل یک محیط نظام‌مند برای سازمان‌های امدادرسانی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱۹: خلاصه‌ای از پارامترهای مدل و مقادیر

پارامتر	تعریف	مقدار
$S(s \in S)$	مجموعه سناریوهای ممکن	۹۶ سناریو
$N(j \in N)$	مجموعه کاندیداهای احداث انبار	۴ انبار
$K(k \in K)$	مجموعه انواع اقلام موجود	در نظر گرفتن ۲ نوع کالا با توجه به ضرورت زمانی تأمین آن‌ها در نظر می‌گیریم
P_s	احتمال روی دادن سناریوی s	تقسیم تعداد زلزله‌های هر دسته به تعداد کل زلزله‌ها (در هر مربع)
d_{sk}	تقاضای مورد انتظار برای کالای نوع k در سناریوی s (تعداد)	با توجه به جمعیت هر مربع به دست آمده است
Cap_j	ظرفیت انبار j (حجم)	۵۰۰۰ متر مکعب (۱۰×۲۰×۲۵)
γ_k	حجم واحد کالای نوع k	نوع۱: ۰/۵×۰/۵×۰/۲ نوع۲: ۰/۵×۰/۵×۰/۵
B_0	سرمایه‌ی اختصاص داده شده برای احداث انبارها قبل از وقوع حوادث (تومان)	در هنگام اجرای مدل مشخص می‌شود
B_1	سرمایه‌ی اختصاص داده شده برای احداث انبارها بعد از وقوع حوادث (تومان)	در هنگام اجرای مدل مشخص می‌شود
f_j	هزینه ثابت ساخت انبار j (تومان)	۵۰۰۰۰۰۰۰
g_{jk}	هزینه‌ی نگهداری و ذخیره‌ی یک واحد کالای نوع k در انبار j (تومان/واحد)	نوع ۱: ۲۰۰ تومان نوع ۲: ۱۰۰ تومان
C_{sjk}	هزینه‌ی انتقال یک واحد کالای نوع k از انبار j به محل حادثه از سناریوی s (تومان/ واحد)	۱۰۰۰۰۰۰ + (X /۱۰۰)×۵۰۰۰۰ فاصله محل سناریو تا انبار=X
t_{sjk}	زمان لازم برای رفع احتیاج کالای نوع k در سناریوی s از انبار j (ساعت)	۲ ساعت هزینه‌ی آماده‌سازی محموله و ارسال با سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت X/۷۰ + ۲ x= فاصله‌ی محل سناریو تا انبار
$w_k \ (w_k \geq 0)$ $\sum_{k=1}^{k} w_k = 1$	درجه‌ی مهمی یا وزن کالای نوع k	کالا ۱: ۰/۸ کالا ۲: ۰/۲
l_k	سطح پوشش کالای نوع k: $l_k = 1, \dots, L_k$	۲ سطح پوشش در نظر می‌گیریم
$\propto_k^{l_k}$	وزن سطح پوشش $\propto_k^1 = 1 > \propto_k^2 > \cdots > \propto_k^{l_k} > \cdots > \propto_k^{L_k} \geq 0$	$\propto_1^{L_k}$ ={۱ و ۰/۶} $\propto_2^{L_k}$ ={۱ و ۰/۴}
$N_s(l_k)$	انبارهای کاندیدایی که می‌توانند سطح پوشش l_k را برای کالای نوع k در سناریوی s فراهم کنند	طبق رابطه: $N_s(l_k) = \{j \mid LR_k^{l_k} < t_{sjk} < UR_k^{l_k}\}$
$LR_k^{l_k}$	مینیمم زمان پاسخ‌گویی که در سطح پوشش l_k تعریف می‌شود	$LR_k^{l_k} = 0$
$UR_k^{l_k}$	بیشینه‌ی زمان پاسخ‌گویی که در سطح پوشش l_k تعریف می‌شود	$UR_1^{l_k} = \{9h, 16h\}$ $UR_2^{l_k} = \{16h, 28h\}$

جدول ۲۰ : مربع شماره‌ی ۲۰ – نتیجه‌ی اجرا شدن مدل در محدودیت‌های حالت الف

طبس ۱-۰-۰	۰-۰-۱	۰-۰-۰	اصفهان-شهرکرد ۰-۰-۰	۱-۱-۹
کرمان ۰-۱-۷	یزد ۰-۰-۱	۰-۰-۰	یاسوج ۰-۰-۹	اهواز-آبادان ۰-۰-۲
۰-۲-۱	سیرجان ۰-۰-۲	شیراز ۰-۰-۲	بوشهر ۰-۲-۹	–
بندرعباس ۰-۰-۷	۰-۳-۱۹	۰-۱-۶	۰-۰-۰	–

www.SID.ir

جدول ۲۱ : نتیجه‌ی اجرا شدن مدل در محدودیت‌های حالت الف

–	–	–	–	–	–	–	–	تبریز-اردبیل ۰-۱-۴	۰-۰-۲
–	۰-۰-۰	مشهد ۰-۰-۱	بجنورد ۰-۰-۳	شاهرود-گرگان ۰-۰-۱	۰-۰-۲	۰-۱-۰	زنجان-رشت-قزوی ۱-۰-۴	۰-۰-۰	ارومیه ۰-۰-۰
–	۰-۰-۰	فردوس ۰-۰-۴	۰-۰-۰	۰-۱-۱	سمنان ۰-۰-۱	تهران-قم ۰-۱-۰	همدان-اراک ۰-۲-۰	سنندج-کرمانشاه ۰-۰-۲	–
–	۰-۰-۱	بیرجند ۲-۰-۳	طبس ۱-۰-۰	۰-۰-۱	۰-۰-۰	اصفهان-شهرکرد ۰-۰-۰	۱-۱-۹	۰-۰-۱۱	–
–	۰-۰-۰	۰-۰-۰	کرمان ۰-۱-۷	یزد ۰-۰-۱	۰-۰-۰	یاسوج ۰-۰-۹	اهواز-آبادان ۰-۰-۲	–	–
–	زاهدان ۰-۰-۰	۰-۳-۹	۰-۲-۱	سیرجان ۰-۰-۲	شیراز ۰-۰-۲	بوشهر ۰-۲-۹	–	–	–
۲-۰-۳	چابهار ۰-۰-۲	۰-۰-۳	بندرعباس ۰-۰-۷	۰-۳-۱۹	۰-۱-۶	۰-۰-۰	–	–	–
–	–	–	۰-۰-۱	–	–	–	–	–	–

جدول۲۲: نتیجه‌ی اجرا کردن مدل در حالت ب

شماره‌ی مربع انبار	مقدار موجودی کالای نوع ۱	مقدار موجودی کالای نوع ۲
۴	۹۰۰/۰۹	۹۰۰/۰۹
۳۰	۶۰۰۰	۵۳۰/۵۸
۳۳	۹۰۰/۰۹	۳۰۰۰

جدول ۲۳: نتیجه‌ی اجرا کردن مدل در حالت ج

شماره‌ی مربع انبار	مقدار موجودی کالای نوع ۱	مقدار موجودی کالای نوع ۲
۴	۱۳۵۰/۱	۱۳۵۰/۱
۳۰	۶۰۰۰	۱۰۰۰

فراهم می‌کند تا بتوانند در شبکه‌ی امدادرسانی به صورت بهینه و کاراتر به مصدومان حادثه رسیدگی کنند. این مدل تصمیمات مربوط به پایش موجودی و مواد و بحث جایابی و مکان‌یابی انبارها را یکپارچه‌سازی می‌کند. نتایج عددی به دست آمده در این مقاله نشان می‌دهد که بودجه‌ی در نظر گرفته شده برای قبل و بعد از این‌گونه حوادث تأثیر بسزایی بر نتیجه‌ی طراحی شبکه‌ی امدادرسانی به صورت کارا در زمینه‌های کیفیت و کمیت ارضای نیاز متقاضیان دارد. در این مطالعه تابع هدف این بود که شبکه‌ای از انبارهای از پیش ساخته شده طوری طراحی شود که شرکت‌کنندگان در بحث امدادرسانی قادر باشند تا تصمیمات لازم برای کمک به مصدومان را در زمان کمتر و پشتوانه‌ی مالی بهتر انجام دهند. سیاست پایش موجودی بررسی شده در این تحقیق بر اساس این فرض شکل گرفته است که هیچ دو سناریویی به صورت همزمان رخ نخواهد داد و انبارها به مقدار کافی موجودی دارند که نیاز هر سناریویی که به آن‌ها تعلق دارد را بتوانند تأمین نمایند و با کمبود موجودی مواجه نخواهند شد. تحقیقات آینده می‌توانند با تمرکز بر روی سیاست‌های مختلف پایش موجودی مدلی پیشرفته‌تر ایجاد کنند. همچنین از دیدگاه مبحث بهینه‌سازی ترکیبی، از آنجایی‌که این مسئله در دسته‌ی مسائل پوشش و به تبع آن جزئی از مسائل Np-Hard است، ازاین‌رو حل آن به صورت دقیق تنها در اندازه‌های کوچک در زمان معقول امکان‌پذیر است و در نتیجه برای حل مسئله به‌ویژه در اندازه‌های بزرگ نیاز به روش‌های ابتکاری/ فراابتکاری است. استفاده از این روش‌ها نیز به‌منزله‌ی زمینه‌های مناسب در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت

1. Disaster
2. International Federation of Red Cross
3. Commercial Supply Chain
4. World Vision International
5. Blacik & Beamon

منابع

۱. ابراهیم‌زاده پزشکی، رضا؛ جلیلیان، نگار؛ میرفخرالدینی، سید حیدر (تابستان و پاییز ۱۳۹۳). ارائه‌ی مدلی برای کنترل و کاهش آسیب‌های ناشی از وقوع زلزله با رویکرد مدل‌یابی ساختاری .تفسیری. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱، ۶۵-۷۷.

۲. قنبری، محمدعلی؛ امیدوار، بابک (تابستان و پاییز ۱۳۹۳). (ارزیابی ریسک فروریزش ساختمان‌ها در مناطق شهری پس از زلزله. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱، ۲۱-۳۵.

۳. مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ جوانرودی، کاوان (تابستان و پاییز۱۳۹۱). بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی تهران بزرگ، مطالعه‌ی موردی: خیابان ولیعصر(عج) شمالی (میدان ولیعصر(عج) تا چهارراه پارک وی)، *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۱، ۱۳-۲۱.

۴. بهرام پور، مهدی؛ بمانیان، محمد رضا (تابستان و پاییز۱۳۹۱). تبیین الگوی جانمایی پایگاه‌های مدیریت بحران با استفاده از GIS، نمونه‌ی موردی شهر تهران. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، منطقه‌ی ۳،

Archive of SID
www.SID.ir

دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۱، ۵۱-۵۹.
۵. بمانیان، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی؛ خالصی، محمدمهدی؛ بمانیان، رضا (زمستان ۱۳۹۱). کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی (زلزله) از طریق برنامه‌ریزی کاربری زمین. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۲، ۵-۱۵.
۶. گیوه‌چی، سعید؛ عطار، محمد امین (زمستان ۱۳۹۱). کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مکان‌یابی اسکان موقت پس از زلزله. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۲، ۳۵-۴۳.
۷. رضایی، محمدرضا (تابستان و پاییز ۱۳۹۲). ارزیابی تاب‌آوری اقتصادی و نهادی جوامع شهری در برابر سوانح طبیعی. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۱، ۲۷-۳۸.
۸. احمدی، مرتضی؛ سیفی، عباس؛ قرهی، علیرضا (زمستان ۱۳۹۲). مدل لجستیک امدادرسانی برای کاهش تلفات پس از زلزله در ابعاد بسیار بزرگ و واقعی. *دو فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی مدیریت بحران*، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۲، ۵۱-۶۴.

9. Balcik B. and Beamon. B.M.,(2008). Facility location in humanitarian relief. Int. J. Logist.: Res. and Appl., 11(2), 101-121.

10. Beamon, B.M., (2004). Humanitarian relief chains: issues and challenges. *Proceedings of the 34th International Conference on Computers and Industrial Engineering,* San Francisco, CA, USA, 77-82

11. Thomas, M. (2002). Supply Chain Reliability for Contingency Operations, Annual Reliability and Maintainability Symposium, WA, USA, 61-67.

12. http://irsc.ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir