

# کاربرد قرارداد رزرو در کنترل اپیدمی با استفاده از واکسیناسیون و درمان

نقیسه شمسی گمچی<sup>۱</sup>، سید علی ترابی<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲. استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۸/۰۲/۰۹، تاریخ تصویب: ۹۸/۰۳/۲۱)

## چکیده

زنجیره‌های تأمین دارو و واکسن از زنجیره‌های تأمین سایر اقلام امدادی بسیار متفاوت است؛ بنابراین باید در مناطق بالقوه شیوع بیماری‌های بومی، در فاز قبل از وقوع بحران، سیاست‌های لازم برای کنترل به‌موقع آن‌ها در پیش گرفته شود. در این مقاله، یک قرارداد رزرو برای تأمین واکسن و دارو در فاز قبل از وقوع بحران طراحی شده است تا در صورت وقوع اپیدمی بیماری‌های واگیردار به‌عنوان یکی از عواقب وقوع بحران‌های طبیعی و غیرطبیعی بتوان آن را کنترل کرد. به کمک مدل طراحی‌شده و با در نظر گرفتن مدل اپیدمی SIR، میزان واکسن و داروی مورد نیاز تعیین شده و سپس با استفاده از بازی استکلبرگ به تعیین پارامترهای قرارداد رزرو پرداخته شده است. به منظور تبیین کاربردی بودن مدل ریاضی، یک مثال عددی ارائه و نتایج آن تحلیل شده است.

**واژه‌های کلیدی:** بازی استکلبرگ، قرارداد رزرو، کنترل بهینه، مدل اپیدمی SIR، واکسیناسیون.

## مقدمه

بر اساس آمارها، سالانه بلایای طبیعی بسیاری در سراسر جهان رخ می‌دهد. در طول سال ۲۰۱۶، تعداد ۳۱۵ حادثه طبیعی در سراسر دنیا رخ داده که منجر به هزینه ۳۴ میلیارد دلاری شده است [۱]. در سال ۲۰۱۵ نیز ۹۸/۶ میلیون نفر قربانی چنین حوادثی شده‌اند [۲]. همچنین احتمال شیوع بیماری‌های عفونی و واگیردار در این شرایط بسیار افزایش یافته که علاوه بر تلفات مستقیم و زود هنگام حوادث طبیعی، عامل دیگری برای ایجاد تلفات پس از وقوع حادثه هستند.

وقوع حوادث طبیعی و بحران‌های گوناگون، هزینه‌های مالی و جانی بسیاری به دنبال دارد و منجر به تلفات جانی، جراحات شدید و کمبود منابع غذایی می‌شود. بسیاری از تلفات جانی و جراحات شدید بلافاصله پس از وقوع حادثه به وجود می‌آیند؛ در حالی که شیوع بیماری و کمبود غذا در ادامه افزایش یافته و به نوع حادثه و طول مدت آن وابسته است؛ برای مثال، شیوع بیماری سالک در بم پس از زلزله آغاز شد و پس از گذشت حدود ۱۳ سال، همچنان افراد مبتلا به آن وجود دارند و این بیماری اپیدمیک هنوز ریشه کن نشده است [۳]. یکی از دلایل عمده چنین

اپیدمی‌هایی، کمبود ابزارهای کنترلی مانند واکسن، آموزش‌های لازم و درمان کافی است؛ بنابراین وجود تمهیدات لازم مانند تأمین مناسب واکسن و دارو از سوی سازمان‌های متولی بهداشت مانند وزارت بهداشت، سازمان غذا و دارو و هلال احمر، در فاز پیش از بحران برای پیشگیری از گسترش بیماری‌ها در منطق بحران‌زده نقشی بسیار حیاتی خواهد داشت.

برنامه‌های مناسب برای تأمین و پیش‌ذخیره‌سازی اقلام مورد نیاز در فاز پیش از بحران کمک بسیاری به مهار اپیدمی به‌عنوان یکی از عواقب وقوع بحران می‌کند. از سوی دیگر، به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن زمان و مکان و شدت وقوع بحران، تقاضا برای اقلام امدادی عدم قطعیت بسیاری دارد. همچنین هزینه‌های ناشی از انبارداری و فاسد شدن آن‌ها در صورت عدم وقوع بحران بالا خواهد بود. برای مقابله با این مشکل، استفاده از قراردادهای خدمت مناسب مانند قرارداد رزرو<sup>۱</sup> میان سازمان مسئول و تأمین‌کننده اقلام امدادی نقش بسیار مهمی را ایفا خواهند کرد [۴]. براساس قرارداد رزرو، خریدار مقدار پیش‌بینی‌شده از اقلام مورد نظر را رزرو می‌کند. تأمین‌کننده نیز متعهد می‌شود در زمان اجرایی شدن قرارداد، مقدار سفارش را تا سقف رزرو شده و در زمان

تعیین شده در قرارداد تأمین کند [۵]. با توجه به فرایند زمان بر تولید واکسن، چنین قراردادی درمورد تأمین واکسن (به عنوان ابزار کنترلی مفید) هنگام وقوع اپیدمی در کاهش زمان تحویل و هزینه خرید آن بسیار مؤثر است. همچنین، در صورت نبود چنین قراردادی، هنگام وقوع بحران، سازمان متولی بهداشت ناچار به تأمین واکسن با قیمت بالا و پذیرش مشکلاتی مانند زمان تحویل طولانی، نوسانات نرخ ارز، گرفتاری های واردات و... خواهد بود.

در مقاله حاضر، کاربرد جدیدی از قرارداد رزرو برای تأمین واکسن و داروی مورد نیاز مناطق بحران زده پس از وقوع بحران ارائه شده است. در چارچوب پیشنهادی، خریدار میزان واکسن و داروی مورد نیاز خود را براساس مدل اپیدمی مناسب بیماری واگیردار مورد نظر تخمین می زند و به دنبال کاهش هزینه اجتماعی ناشی از گسترش بیماری است. همچنین تأمین کننده با تعیین قیمت رزرو و قیمت اجرای قرارداد به دنبال افزایش سود ناشی از رزرو و فروش واکسن و داروی تولیدی است. مدل اپیدمی ارائه شده در این مقاله، SIR است که تحت آن، واکسن و دارو پس از دریافت به منزله ابزار کنترلی برای پیشگیری از گسترش بیماری استفاده می شود.

به منظور تبیین کارایی مدل، مثالی به همراه تحلیل حساسیت یکی از پارامترهای مهم قرارداد در بخش ۵ ارائه شده است. مدل پیشنهادی و روش حل در بخش های ۳ و ۴ آمده و در بخش ۵ نیز شاهد نتیجه گیری و پیشنهاد برای پژوهش های آتی خواهیم بود.

### پیشینه پژوهش

عملکرد بهینه زنجیره تأمین نیازمند اجرای مجموعه ای دقیق از اقداماتی است که با هماهنگی و همکاری اجزای زنجیره تأمین انجام می شود. در بیشتر موارد، هریک از اجزای زنجیره تأمین به فکر سود فردی خویش هستند؛ بنابراین برای ایجاد هماهنگی میان اجزای مختلف زنجیره و افزایش سود کل زنجیره باید انگیزه های کافی برای اعضا وجود داشته باشد. قراردادهای همکاری بسیاری برای این منظور در زنجیره های تأمین تجاری طراحی شده است، اما بیشتر آن ها کارایی لازم را در زنجیره تأمین واکسن ندارند. زنجیره تأمین واکسن شامل افراد، سیستم ها، امکانات،

تجهیزات و فعالیتهایی است که واکسن مورد نیاز یک منطقه را از محل تولید آن به افراد حاضر در آن منطقه تحویل می دهند [۶]. زنجیره تأمین واکسن ویژگی های منحصر به فردی مانند فسادپذیری، منافع غیرخطی حاصل از واکسیناسیون در سلامت افراد، غیر سودآور بودن برنامه های واکسیناسیون برای دولت و ارزش حاصل از جلوگیری از گسترش بیماری ها دارد [۷]؛ بنابراین با توجه به هزینه بالای تولید واکسن و نیاز به افزایش ظرفیت های لازم برای ذخیره سازی آن ها در انبارهای مجهز به تجهیزات زنجیره سرد،<sup>۲</sup> مدیریت زنجیره تأمین واکسن بسیار اهمیت خواهد داشت [۸].

هریک از بخش های مختلف زنجیره تأمین مانند تأمین کننده و خریدار به دنبال افزایش سود خود هستند؛ بنابراین استفاده از قراردادهای همکاری مانند قرارداد فروش به قیمت عمده<sup>۳</sup>، قرارداد بیع متقابل<sup>۴</sup>، قرارداد تسهیم درآمد<sup>۵</sup>، قرارداد با انعطاف پذیری در تعداد سفارش ها<sup>۶</sup> و قرارداد با تخفیف روی تعداد سفارش ها<sup>۷</sup> نقش بسیار مهمی در این زمینه ایفا می کنند [۹-۱۱]. همچنین، قرارداد دیگری با عنوان قرارداد رزرو وجود دارد که در آن خریدار با پرداخت بخشی از قیمت هر واحد از محصول مورد نظر (با عنوان قیمت رزرو) سفارش خود را رزرو می کند. تأمین کننده نیز متعهد می شود تا پایان زمان قرارداد، چنانچه نیاز به اجرایی شدن آن بود، با دریافت باقیمانده قیمت هر واحد محصول (با عنوان قیمت اجرایی) سفارش خریدار را تا سقف مقدار رزرو شده تحویل دهد [۱۲]؛ بنابراین در شرایطی که عدم قطعیت بالا در تقاضا باشد، یا محصول مورد نظر تاریخ انقضا داشته باشد، قرارداد رزرو اهمیت و کاربرد بسیاری خواهد داشت [۱۱-۱۳]. چنین قراردادی می تواند در تأمین واکسن و دارو بسیار مؤثر باشد. در میان انواع واکسن ها، بسیاری از پژوهشگران بازار واکسن آنفولانزا را بررسی کردند؛ زیرا آنفولانزا یک بیماری تنفسی است که به سرعت گسترش می یابد و به وقوع اپیدمی فصلی منجر می شود. معمولاً آنفولانزا در سراسر جهان با نرخ ۵-۱۰ درصد در میان بزرگسالان و ۲۰-۳۰ درصد در میان کودکان رخ می دهد. همچنین براساس تخمین های سراسر جهان، سالانه ۳-۵ میلیون نفر به شدت دچار این بیماری می شوند و ۲۵۰-۵۰۰ هزار نفر جان خود را از دست

می دهند [۱۴]؛ بنابراین تحویل به موقع واکسن و برنامه ریزی برای مواجهه نشدن با کمبود آن می تواند مانع گسترش بیماری های واگیردار و مرگومیر ناشی از آن ها شود.

چیک و همکاران قراردادهای مختلفی را مطالعه کردند و به بررسی تأثیرات قرارداد تسهیم هزینه<sup>۸</sup> برای هماهنگ کردن زنجیره تأمین واکسن با فرض عدم قطعیت تقاضا پرداختند [۷]. چنین قراردادی با کاهش ریسک تولیدکننده، انگیزه ای برای وی ایجاد می کند تا میزان تولید خود را افزایش دهد. ادیدا و همکاران تأثیرات سوبسید را به عنوان مکانیسم هماهنگی برای ایجاد انگیزه در بخش های مختلف بازار واکسن بررسی کردند [۱۵]. ژانگ و همکاران با در نظر گرفتن عواملی از قبیل تقاضای احتمالی، زمان انقضای اقلام، اتلاف منابع در صورت استفاده نکردن و کارایی هزینه، به بررسی سیاست های رزرو برای تأمین اقلام مورد نیاز در حوزه لجستیک بشردوستانه پرداختند [۱۶]. نتایج این مقاله نشان می دهد بهترین سیاست در تأمین اقلام امدادی، همکاری با تأمین کننده برای رزرو بخشی از مواد مصرفی و اولویت دهی به تأمین کنندگانی با کمترین هزینه عملیاتی و بیشترین سهم بازار است.

همان طور که پیش تر ذکر شد، قرارداد رزرو، مکانیسم مناسبی برای هماهنگی اجزای مختلف زنجیره تأمین با تقاضای غیرقطعی است که در آن مبلغ قرارداد در دو بخش پرداخت می شود و خطرهای ناشی از اختلالات تولید را در زمان وقوع بحران به طور چشم گیری کاهش می دهد [۱۷]. ژائو و همکاران به مقایسه قرارداد فروش عمده و قرارداد رزرو در شرایط عدم قطعیت عرضه پرداختند و نتیجه گرفتند که قرارداد رزرو در چنین شرایطی بسیار کارآمد است [۱۱]. همچنین لیانگ و همکاران قرارداد رزرو دیگری را در مورد مدیریت زنجیره تأمین اقلام امدادی ارائه کردند که در آن خریدار هنگام وقوع بحران و پس از مشخص شدن میزان دقیق تقاضا، سفارش خود را ثبت می کند [۴]. شمسی و همکاران نیز قرارداد رزرو جدیدی برای تأمین واکسن مورد نیاز میان خریدار و تأمین کننده های اصلی و پشتیبان را با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تأمین کننده ها ارائه دادند تا به کنترل به موقع اپیدمی بپردازند [۱۸].

همان طور که در بخش قبل اشاره شد، یکی از عواقب وقوع بحران، شیوع بیماری های واگیردار و وقوع اپیدمی

است. «اپیدمی» یعنی وقوع مواردی از یک بیماری که فراتر از حالت عادی در زمان و مکان مشخص است؛ بنابراین با استفاده از مدل سازی بیماری های واگیردار می توان مکانیسم های گسترش بیماری ها را بررسی کرد و با پیش بینی دوره های شیوع بیماری، راهبردی مناسب برای کنترل اپیدمی ارائه داد [۱۹].

مدل های اپیدمی یکی از ابزارهای مهم شبیه سازی بیماری های واگیردار و عفونی هستند که با استفاده از آن ها می توان روند رشد بیماری های واگیردار را پیش بینی کرد و راهبردهای ضروری را برای پیشگیری از گسترش آن ها درپیش گرفت. SIR اولین مدل ریاضی اپیدمی است که کرماک و مک کندریک در سال ۱۹۲۷ ارائه دادند [۲۰]. در این مدل، تعداد جمعیت ثابت است و تنها از سه زیرگروه S (زیرگروه افراد مستعد پذیرش بیماری)، I (افراد دارای بیماری واگیردار) و R (افراد درمان شده و ایمن شده) تشکیل شده است. بیوک تهاکین و همکاران مدل جدیدی از لجستیک را برای کنترل بیماری ابولا<sup>۹</sup> در غرب آفریقا ارائه دادند. در این مقاله، عواملی مانند نرخ های انتقال بیماری متفاوت برای نواحی جغرافیایی گوناگون در نظر گرفته شده و تأثیر مهاجرت بیماران و نرخ های مختلف درمان بیماران با توجه به ظرفیت محدود مراکز درمانی بررسی شده است [۲۱].

مفهوم مهم در مدل سازی بیماری های واگیردار عبارت است از  $R_0$ <sup>۱۰</sup> که به صورت تعداد افراد بیمار شده توسط یک فرد بیمار در طول بیماری وی تعریف می شود. این نرخ در مورد بیماری های واگیردار مختلف تعیین شده و براساس مقادیر آن، تصمیم گیری مناسب برای از بین بردن این بیماری صورت گرفته است. در حالت کلی، چنانچه  $R_0 \leq 1$  باشد، بیماری در طول زمان به خودی خود از بین خواهد رفت، اما چنانچه  $R_0 > 1$  باشد بیماری می تواند در میان جمعیت یک منطقه گسترش یابد و به اپیدمی تبدیل شود. در این میان، ابزار قدرتمندی که روند گسترش بیماری های واگیردار را قابل بررسی می کند، تئوری کنترل بهینه در حوزه سلامت است که مؤثرترین ابزار برای کاهش بیماران در وقوع اپیدمی محسوب می شود. پژوهشگران بسیاری به مدل سازی تأثیر ابزارهای کنترلی مانند واکسیناسیون، درمان، آموزش و... با رویکرد کنترل بهینه

- ارائه کاربرد جدیدی از قرارداد رزرو در تأمین واکسن و دارو برای پیشگیری از وقوع اپیدمی در فاز پس از وقوع بحران با استفاده از مدل های اپیدمی؛
- استفاده همزمان از دارو و واکسن به عنوان ابزارهای کنترلی و در نظر گرفتن تأثیر چنین متغیرهایی در تعیین مقدار بهینه سفارش؛
- ارائه رویکرد حل ترکیبی با استفاده از تئوری کنترل بهینه و روش های حل دقیق مدل های غیر خطی.

برای کنترل بیماری های واگیردار پرداخته اند [۲۲، ۲۳].  
با توجه به اینکه وقوع اپیدمی پس از وقوع بحران های طبیعی و غیرطبیعی وجود دارد و تأمین ابزارهای کنترلی مورد نیاز فرایندی زمان بر است، هدف پژوهش حاضر ارائه قرارداد رزرو برای تأمین واکسن و دارو به عنوان ابزار کنترلی در فاز پیش از وقوع بحران است تا در صورت وقوع بحران و گسترش بیماری های واگیردار، امکان کنترل به موقع آن ها باشد. بدین ترتیب، نوآوری های این مقاله شامل موارد زیر است:

جدول ۱. خلاصه پژوهش های بررسی شده

| پژوهش      | قرارداد همکاری                    | مدل اپیدمی | تأمین واکسن<br>(ابزار پیشگیری بیماری) | تأمین دارو<br>(ابزار درمان بیماری) | بحران |
|------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------------|------------------------------------|-------|
| [۷]        | قرارداد تسهیم هزینه               | ✓          | ✓                                     | ×                                  | ×     |
| [۱۵]       | مکانیسم هماهنگی با تأثیرات سوبسید | ×          | ✓                                     | ×                                  | ×     |
| [۱۶]       | سیاست رزرو در سمت خریدار          | ×          | ×                                     | ×                                  | ✓     |
| [۱۱]       | قرارداد فروش عمده و رزرو          | ×          | ×                                     | ×                                  | ×     |
| [۱۸]       | قرارداد رزرو                      | ✓          | ✓                                     | ×                                  | ✓     |
| [۲۱]       | ×                                 | ✓          | ×                                     | ×                                  | ×     |
| پژوهش حاضر | قرارداد رزرو در سمت تأمین کننده   | ✓          | ✓                                     | ✓                                  | ✓     |

## بیان مسئله

با توجه به اهمیت سلامت عمومی در هر جامعه و اینکه کشور ایران در موقعیتی قرار دارد که احتمال وقوع بحران های طبیعی مانند زلزله و سیل در آن بسیار است، وجود برنامه ای از پیش تعیین شده در فاز پیش از وقوع بحران برای تأمین واکسن و داروی مورد نیاز به منظور کنترل بیماری های واگیردار ضروری است. در جلسات برگزار شده با کارشناسان وزارت بهداشت و سازمان غذا و داروی ایران، مشخص شد در حال حاضر سازمان های متولی بهداشت، در صورت وقوع بحران به تأمین واکسن و داروی مورد نیاز از سراسر جهان به کمک شرکت های فوریتی اقدام می کنند. این روند امری زمان بر است و گاهی به دلیل نوسانات ارزی به شدت موجب افزایش هزینه های تأمین می شود؛ بنابراین تصمیم گیری پیشگیرانه در فاز پیش از وقوع بحران، سبب کنترل به موقع اپیدمی، کاهش چشم گیر هزینه های تأمین و هزینه های اجتماعی ناشی از گسترش بیماری خواهد شد. برای حل چنین مشکلی، با توجه به

عدم قطعیت بالا در سمت تقاضا می توان از چارچوب قرارداد رزرو به خوبی بهره مند شد.  
در این پژوهش، یک تأمین کننده واکسن و دارو و یک خریدار (مانند سازمان متولی بهداشت) در نظر گرفته شده و قرارداد رزرو میان آن ها منعقد شده است. براساس این قرارداد، خریدار به تعیین میزان سفارش رزرو خود می پردازد و بخشی از قیمت هر واحد را در فاز پیش از وقوع بحران (قیمت رزرو) پرداخت می کند. سپس در صورت وقوع بحران در بازه زمانی تعیین شده در قرارداد، قرارداد را اجرایی می کند و به ثبت سفارش نهایی خود حداکثر تا سقف میزان رزرو می پردازد. از سوی دیگر، تأمین کننده متعهد می شود پیش از پایان قرارداد، در صورت اجرایی شدن آن با دریافت باقیمانده هزینه به ازای هر واحد سفارش نهایی در زمان مقرر، سفارش را تحویل دهد؛ بنابراین خریدار باید میزان تقاضای واکسن و داروی منطقه ای را، که در آن احتمال وقوع بحران وجود دارد، به منظور مقابله با وقوع اپیدمی تخمین بزند و رزرو خود را انجام دهد.

### مدل خریدار

با توجه به اینکه ایمن سازی با استفاده از واکسن و درمان با استفاده از دارو، ابزارهای کنترلی برای پیشگیری از گسترش بیماری های واگیردار و بروز اپیدمی هستند، از مدل اپیدمی SIR برای تعیین مقدار متغیرهای کنترلی استفاده می شود؛ بنابراین خریدار با مسئله ای دوهدفه روبه روست: حداقل کردن هزینه تدارکات و حداقل کردن هزینه اجتماعی با تخمین تقاضا برای دارو و واکسن.

$$\begin{aligned} \text{Min Cost}_p = & oV + o'D + p[\int_0^V \text{evf}(y)dy \\ & + \int_0^D e'y'f(y)dy + \int_V^\infty (eV + (y-V)\omega)f(y)dy \\ & + \int_D^\infty (e'D + (y'-D)\omega)f(y)dy] \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه ۱، هدف حداقل کردن هزینه تدارکات است. بخش اول شامل هزینه رزرو  $V$  واحد واکسن و  $D$  واحد داروست. بخش دوم با احتمال  $p$  رخ می دهد که در آن  $p$  احتمال وقوع بحران است. در صورت وقوع بحران، خریدار براساس نیاز منطقه مقدار واکسن و داروی مدنظر خود را تعیین می کند و به ترتیب تا سقف  $V$  و  $D$  واحد با پرداخت هزینه  $e$  برای هر واحد واکسن و  $e'$  برای هر واحد دارو سفارش را ثبت می کند. چنانچه میزان تقاضا بیشتر از حداکثر مقدار سفارش باشد، خریدار با هزینه کمبودی معادل  $\omega$  به ازای هر واحد واکسن و دارو مواجه خواهد شد. در رابطه ۱،  $y$  و  $y'$  و  $f(y)$  به ترتیب متغیر تصادفی تقاضای واکسن (دارو) و تابع توزیع مربوط هستند.

$$\begin{aligned} \text{Min Cost}_s = & \int_0^T c_{so} I(t)dt \\ & + \int_T^T (c_{so} \tilde{I}(t)) \\ & + \frac{1}{2}(c_v u_1^2(t) + c_d u_2^2(t))dt \end{aligned} \quad (2)$$

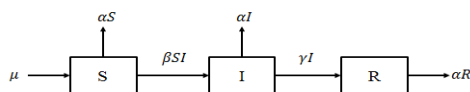
رابطه ۲ میزان هزینه اجتماعی ناشی از بیماری افراد و درمان و واکسینه کردن آن هاست. بخش اول رابطه، هزینه ناشی از افراد بیمار پیش از دریافت ابزارهای کنترلی (مانند واکسن و دارو) است که در آن  $C_{so}$  هزینه اجتماعی به ازای هر فرد بیمار،  $I(t)$  تعداد افراد بیمار قبل از درمان و واکسیناسیون و  $\tau$  زمان تحویل ابزارهای کنترلی است. بخش دوم به زمان دریافت دارو و واکسن به عنوان ابزارهای کنترلی مربوط است که در آن با هزینه اجتماعی ناشی از افراد بیمار پس از درمان و واکسیناسیون و هزینه های مستقیم درمان و واکسیناسیون روبه رو هستیم.  $u_1(t)$  متغیر کنترلی اول و نسبت افراد

واکسینه شده به تعداد کل افراد مستعد پذیرش بیماری است و هزینه ای معادل  $C_v$  برای واکسیناسیون دارد.  $u_2(t)$  نیز متغیر کنترلی دوم و نسبت افراد درمان شده به کل افراد بیمار است و هزینه ای معادل  $C_d$  برای درمان دارد. باید توجه داشت که پس از دریافت سفارش مربوط به دارو و واکسن براساس مدل اپیدمی SIR، تعداد بیماران کاهش می یابد؛ بنابراین مدل های اپیدمی در این مسئله نقش بسیار مهمی خواهند داشت. با توجه به اینکه زمان تحویل واکسن و دارو  $\tau$  واحد زمانی بعد از وقوع بحران است، با دو نوع مدل اپیدمی سروکار خواهیم داشت؛ مدل اپیدمی SIR بدون ابزار کنترلی در بازه زمانی  $[0, \tau]$  و مدل اپیدمی SIR با ابزار کنترلی در بازه زمانی  $[\tau, T]$ . زمانی است که در آن  $R_0 \leq 1$  است؛ بنابراین در طول زمان  $T$ ،  $0 \leq t \leq \tau$  با مدل اپیدمی SIR بدون ابزار کنترلی با معادلات دیفرانسیل رابطه ۳ مواجه هستیم:

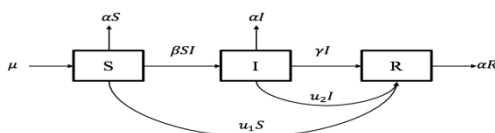
$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \mu - \alpha S - \beta SI \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - \alpha I - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - \alpha R \end{aligned} \quad (3)$$

رابطه ۳ نشان دهنده نرخ تغییرات تعداد افراد مستعد پذیرش بیماری ( $S$ )، بیماران ( $I$ ) و افراد بهبودیافته ( $R$ ) است.  $\mu$  نرخ ورود افراد به دسته  $S$ ،  $\alpha$  نرخ مرگ و میر طبیعی افراد،  $\beta$  نرخ انتقال بیماری و  $\gamma$  نرخ بهبود طبیعی افراد بیمار است.

(الف)



(ب)



شکل ۱. الف) مدل SIR استفاده شده در مدل قبل از دریافت ابزارهای کنترلی

ب) مدل SIR پس از دریافت واکسن و دارو به عنوان ابزارهای کنترلی هنگامی که ابزارهای کنترلی شامل واکسن و دارو براساس قرارداد تحویل خریدار داده شد، با فرض اینکه بلافاصله درمان و واکسیناسیون انجام شود، در طول مدت  $\tau \leq t \leq T$  با مدل اپیدمی SIR با ابزارهای کنترلی روبه رو

$$\begin{aligned} MaxE(\Pi) = & oV + o'D - (c_p\theta V + c_p'\theta'D + h_s(\theta V + \theta'D)) \\ & + p(\int_0^{\theta V} (ey + sv(\theta V - y))f(y)dy \\ & + \int_0^{\theta V} (ey - c_p(y - \theta V))f(y)dy \\ & + \int_0^{\theta'D} (e'y + sv'(\theta'D - y'))f(y')dy' \\ & + \int_0^{\theta'D} (e'y' - c_p'(y' - \theta'D))f(y')dy') \\ & + (1-p)(sv\theta V + sv'\theta'D) \end{aligned} \quad (5)$$

بخش اول رابطه ۵ مربوط به درآمد حاصل از رزرو  $V$  واحد واکسن و  $D$  واحد داروست. بخش دوم، هزینه تولید و نگهداری بخش تولیدشده از واکسن و داروست. بخش سوم زمانی رخ می‌دهد که بحرانی به وقوع پیوسته باشد و تأمین‌کننده با دریافت هزینه اجرایی شدن قرارداد مقدار سفارش را تحویل می‌دهد. درواقع پس از زمان وقوع بحران، خریدار میزان سفارش خود را حداکثر تا مقدار رزروشده از واکسن و دارو ثبت می‌کند و چنانچه مقدار سفارش کمتر یا مساوی مقدار انبارشده باشد، نیاز به تولید مقدار اضافی وجود ندارد و مقدار مازاد اسقاط می‌شود. همچنین در صورتی که مقدار سفارش بیشتر از مقدار انبارشده باشد، تأمین‌کننده با پرداخت هزینه تولید اقدام به تأمین سفارش خریدار می‌کند. قسمت چهارم رابطه ۵، درآمد حاصل از اسقاط واکسن و داروی انبارشده در حالتی است که بحرانی رخ نداده باشد.

$$o < c_p - sv \quad (o' < c_p' - sv') \quad (6)$$

رابطه ۶ نشان می‌دهد تأمین‌کننده نباید تمام مقدار رزرو را تولید و در انبار نگهداری کند.

$$Pr < o + e < Pr + h_b \quad (Pr' < o' + e' < Pr' + h_b) \quad (7)$$

رابطه ۷ نشان می‌دهد مجموع قیمت رزرو و قیمت اجرای قرارداد بیشتر از قیمت فروش واکسن ( $Pr$ ) و دارو ( $Pr'$ ) است که به نفع تأمین‌کننده باشد و کمتر از مجموع هزینه نگهداری خریدار ( $h_b$ ) و قیمت فروش است که انگیزه‌ای برای خریدار برای امضای این قرارداد ایجاد می‌کند.

$$o, e \geq 0 \quad (o', e' \geq 0) \quad (8)$$

محدودیت‌های علامت نیز در رابطه ۸ آمده است.

### رویکرد حل

#### تعیین بهترین سیاست خرید (خریدار)

همان‌طور که در بخش‌های پیش گفته شد، خریدار به دنبال

خواهیم بود. در رابطه ۴ معادلات دیفرانسیل مربوط مشاهده می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{S}}{dt} &= \mu - \alpha\bar{S} - \beta\bar{S}\bar{I} - u_1\bar{S} \\ \frac{d\bar{I}}{dt} &= \beta\bar{S}\bar{I} - \alpha\bar{I} - \gamma\bar{I} - u_2\bar{I} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{R}}{dt} = \gamma\bar{I} - \alpha\bar{R} + u_1\bar{S} + u_2\bar{I}$$

$$\bar{S}(0) > 0, \bar{I}(0) > 0, \bar{R}(0) \geq 0$$

با توجه به رابطه ۴، متغیر کنترلی  $u_1$  به کمک واکسیناسیون سبب کاهش افراد مستعد پذیرش بیماری می‌شود.  $u_2$  نیز با درمان به کاهش بیماران می‌انجامد. شکل ۱ نشان‌دهنده مدل SIR قبل و بعد استفاده از ابزارهای کنترلی است.

### مدل تأمین‌کننده

هدف تأمین‌کننده در این مدل، تعیین قیمت رزرو ( $o, o'$ ) و قیمت اجرایی شدن قرارداد ( $e, e'$ ) برای حداکثر کردن سود ناشی از فروش واکسن و داروست. از آنجا که تولید و رزرو کل مقدار سفارش برای تأمین‌کننده غیراقتصادی است، وی بخشی از سفارش ( $\theta$ ) درصد از کل سفارش واکسن و  $\theta'$  درصد از کل سفارش دارو را با هزینه  $c_p$  تولید و برای زمان اجرای قرارداد با هزینه نگهداری ( $h_s$ ) انبار می‌کند. ممکن است قرارداد رزرو هیچ‌گاه اجرا نشود؛ در این صورت کل مقدار تولید و انبارشده باید اسقاط شود؛ بنابراین تأمین‌کننده براساس فاکتورهایی مانند نرخ اختلال در سیستم خود، هزینه نگهداری، ظرفیت تجهیزات زنجیره سرد و استفاده از تحلیل هزینه و فایده<sup>۱۱</sup>، مقدار اقتصادی تولید را تخمین می‌زند؛ البته این مقدار در ادبیات لجستیک بشردوستانه، پارامتری بیرونی در نظر گرفته می‌شود. در صورت انقضای زمان قرارداد، یا نبود بحران و نیازنداشتن به اجرایی شدن آن، تولیدکننده ناچار است مقدار تولیدشده را با قیمت  $sv$  اسقاط کند. همچنین در صورت وقوع بحران و نیاز به اجرایی شدن قرارداد، دو حالت برای تأمین‌کننده به وجود می‌آید: ۱. مقدار سفارش کمتر که مساوی مقدار انبارشده است و در این صورت به تولید مقدار اضافی نیازی نیست، ۲. مقدار سفارش بیشتر از مقدار انبارشده است.

و افراد بهبودیافته پس از دریافت ابزارهای کنترلی) با توجه به مقادیر اولیه حاصل از مرحله سوم به دست می آید.

۶. با تعیین مقادیر بهینه متغیرهای کنترلی، روابط ۱۱ و ۱۲ به عنوان تابع هدف اول خریدار به دست آمده و مدل خریدار با در نظر گرفتن این روابط بهینه سازی شده است.

$$V = \int_{\tau}^T u_1^*(t) \bar{S}(t) dt \quad (11)$$

$$D = \int_{\tau}^T u_2^*(t) \bar{I}(t) dt \quad (12)$$

### تعیین بهترین سیاست فروش (تأمین کننده)

در این مدل، تأمین کننده به دنبال تعیین قیمت رزرو و قیمت اجرای قرارداد دارو و واکسن است؛ بنابراین می توان بازی استکلبرگ غیرهمکارانه با دو بازیکن (تأمین کننده و خریدار) در نظر گرفت که در آن خریدار به عنوان بازیکن پیش رو و تأمین کننده به عنوان بازیکن پس رو هستند. در این صورت براساس مدل تأمین کننده که مدل خطی بر حسب قیمت های رزرو و قیمت های اجرای قرارداد مربوط به واکسن و داروست، می توان مقادیر متغیرهای تصمیم تأمین کننده را به منزله تابعی از  $V$  و  $D$  به دست آورد، به عنوان محدودیت برای مدل خریدار در نظر گرفت و به مقادیر متغیرهای تصمیم خریدار  $(V, D)$  و تأمین کننده  $(o, o', e, e')$  دست یافت.

### مثال عددی

در این بخش، برای تبیین مدل ریاضی و کارایی روش حل ارائه شده از مثال عددی استفاده شده است. کشور ایران از نظر جغرافیایی در محلی قرار دارد که احتمال وقوع زلزله در آن بسیار بالاست. براساس شکل ۲، تعداد ۷۰ درصد مناطق ایران از نظر وقوع زلزله جزء مناطق پرخطر هستند [۲۵]. از سوی دیگر، براساس اطلاعات وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان غذا و داروی کشور (متولیان تأمین واکسن و دارو در سطح ملی)، به دلیل نبود سیاست رزرو در کشور، در صورت وقوع بحران و افزایش تقاضا برای واکسن و دارو، شرکت های فوریته اقدام به تأمین واکسن از کشورهای مختلف جهان می کنند که امری زمان بر و پرهزینه است. همچنین منابع دیگر تأمین واکسن سازمان جهانی بهداشت و یونسکو هستند که همواره مقداری رزرو برای تأمین نیاز کشورهای کمتر توسعه یافته در اختیار دارند. با توجه به این مسائل، قرارداد رزرو در

کاهش هزینه تدارکات واکسن و دارو و هزینه اجتماعی ناشی از بیماری افراد در فاز پیش از بحران با استفاده از قرارداد رزرو است؛ بنابراین باید میزان مورد نیاز دارو و واکسن با توجه به تقاضای مناطق مختلف پیش بینی و در قرارداد رزرو ثبت شود؛ بدین منظور مراحل زیر را طی می کند:

۱. محاسبه  $R_0$  با توجه به نوع بیماری بومی بالقوه برای شیوع. باید توجه داشت که مقدار  $R_0$  با استفاده از رویکرد ماتریس نسل بعدی<sup>۱۲</sup> به دست می آید [۲۴] و در شرایط نبود ابزار کنترلی مقدار آن عبارت است از:

$$R_0 = \frac{\beta\mu}{\alpha(\alpha + \gamma)} \quad (9)$$

۲. در صورتی که  $R_0 \leq 1$  باشد، اپیدمی به وجود نمی آید و نیازی به ابزار کنترلی نیست. بیماری نیز به طور طبیعی از بین خواهد رفت. در غیر این صورت مرحله سوم اجرا می شود.

۳. با توجه به اینکه  $\tau$  زمان دریافت واکسن و دارو به عنوان ابزارهای کنترلی است، مقادیر اولیه  $\bar{I}(0), \bar{S}(0)$  و  $\bar{R}(0)$  با حل معادلات دیفرانسیل مربوط به مدل اپیدمی پیش از دریافت واکسن و دارو محاسبه می شود. این مقادیر عبارت اند از:  $S(\tau), I(\tau)$  و  $R(\tau)$ .

۴. با توجه به اینکه  $R_0 > 1$  است، اپیدمی به وجود می آید و برای کنترل آن به ابزارهای کنترلی (مانند دارو و واکسن) نیاز خواهد بود؛ بنابراین متغیرهای کنترلی را به صورت رابطه ۱۰ تعریف می کنیم که در آن  $u_1$  نشان دهنده نسبت افراد واکسینه شده به کل افراد مستعد پذیرش بیماری و  $u_2$  نشان دهنده نسبت افراد درمان شده به کل افراد بیمار است:

$$U = \{[u_1(t), u_2(t)] | \quad (10)$$

$$0 \leq u_1(t) \leq u_{\max} \leq 1,$$

$$0 \leq u_2(t) \leq u_{\max} \leq 1, t \in [\tau, T]\}$$

که در آن  $u_{\max}$  به میزان منابع در دسترس از هریک از ابزار کنترلی بستگی دارد.

۵. مقدار متغیرهای کنترل بهینه شامل  $u_1^*(t)$  و  $u_2^*(t)$  با استفاده از تابع هدف دوم (که حداقل کردن هزینه اجتماعی ناشی از افراد بیمار است) و معادلات دیفرانسیل ۴ (تغییرات زمانی تعداد افراد مستعد پذیرش بیماری، بیماران

برای تعیین میزان واکسن و داروی مورد نیاز برای عقد قرارداد رزرو و ارائه سفارش در فاز پیش از وقوع بحران، ابتدا  $R_0$  تعیین شد که اگر مقدار آن بیشتر از ۱ باشد، احتمال وقوع اپیدمی بسیار بالاست و باید مقدار مورد نیاز واکسن و دارو برای کنترل آن رزرو شود. اگر مقدار  $R_0$  کمتر از ۱ باشد، نشان دهنده این است که اپیدمی رخ نخواهد داد و نیازی به کنترل نیست؛ بنابراین برای حل مسئله در ابتدا مقدار  $R_0$  را محاسبه می کنند و براساس آن تصمیم گیری می شود.

برای فصول سرد سال:

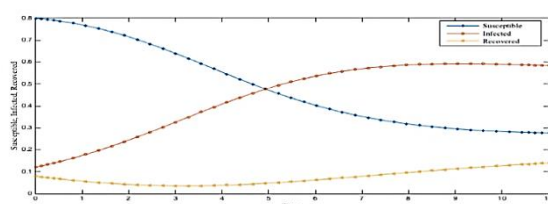
$$R_0 = \frac{\beta\mu}{\alpha(\alpha+\gamma)} = \frac{0.2*0.5}{0.15*(0.15+0.8)} = 0.71 \leq 1$$

چنانچه بحرانی در فصول سرد سال رخ دهد و مواردی از بیماری وبا نیز مشاهده شود، اپیدمی به وجود نمی آید؛ بنابراین به تأمین واکسن و دارو به عنوان ابزارهای کنترلی نیاز نیست.

برای فصول گرم سال:

$$R_0 = \frac{\beta\mu}{\alpha(\alpha+\gamma)} = \frac{0.75*0.15}{0.12*(0.12+0.10)} = 4.26 > 1$$

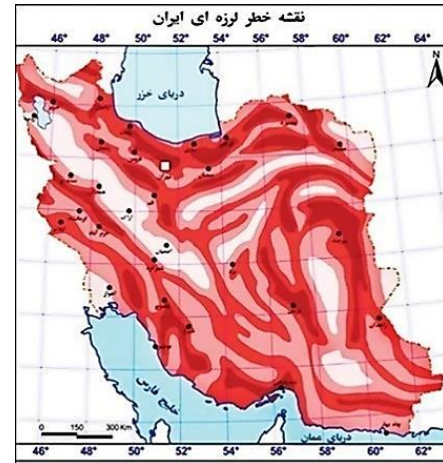
با توجه به مقدار  $R_0$ ، به ابزار کنترلی مانند واکسن و دارو نیاز است. براساس شکل ۳، پس از وقوع اپیدمی و پیش از دریافت ابزارهای کنترلی شامل واکسن و دارو، تعداد افراد مستعد پذیرش بیماری (S) کاهش می یابد و تعداد افراد بیمار به سرعت بیشتر می شود.



شکل ۳. مدل اپیدمی SIR قبل از دریافت ابزارهای کنترلی

در این صورت خواهیم داشت:  $\bar{S}(0) = S(\tau) = 0.28$ ،  $\bar{I}(0) = I(\tau) = 0.59$  و  $\bar{R}(0) = R(\tau) = 0.14$ . همان طور که در شکل ۴ مشخص است، با دریافت دارو و واکسن و شروع درمان و ایمن سازی، تعداد افراد بیمار به شدت کاهش یافته و به تعداد افراد بهبود یافته و ایمن شده افزوده می شود که این امر نشان دهنده کنترل اپیدمی است و خواهیم داشت:

مواقع بحرانی می تواند برای کنترل به موقع اپیدمی ناشی از وقوع بحران بسیار مؤثر باشد.



شکل ۲. نقشه مناطق زلزله خیز ایران

در این مثال، یک منطقه با توزیع تقاضای نرمال به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$Demand \sim N[5 \times 10^6, 10^{10}]$$

با توجه به اینکه وبا یکی از بیماری های شایع در مناطق بحران زده است که به دلیل کمبود امکانات بهداشتی شایع می شود، اطلاعات مربوط به آن را در فصل های سرد و گرم سال تخمین زده [۲۶] و میزان واکسن و داروی مورد نیاز برای کنترل آن به دست آمده است؛ بنابراین یک مدل اپیدمی SIR در نظر گرفته شده است که پارامترهای آن در ادامه بیان می شود.

برای فصول سرد:

$$\mu = 0.5, \beta = 0.2, \alpha = 0.12, \gamma = 0.8$$

$$S(0) = 0.83, I(0) = 0.09, R(0) = 0.08$$

برای فصول گرم:

$$\mu = 0.15, \beta = 0.75, \alpha = 0.12, \gamma = 0.10$$

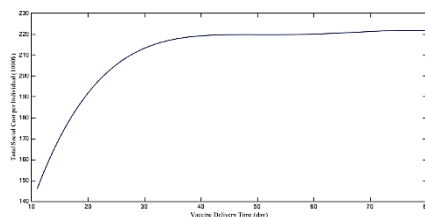
$$S(0) = 0.80, I(0) = 0.12, R(0) = 0.08$$

همچنین پارامترهای مربوط به هزینه تدارکات به صورت جدول ۲ ارائه شده اند:

جدول ۲. پارامترهای مورد استفاده در مثال عددی

|                                       |                            |                               |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| $\tau = 11 \text{ days}$              | $sv = 1\$ / \text{unit}$   | $\omega = 25\$ / \text{unit}$ |
| $C_{so} = 1000\$ / \text{individual}$ | $h_s = 3\$ / \text{unit}$  | $h_b = 7\$ / \text{unit}$     |
| $T = 1 \text{ year}$                  | $C_v = 15000\$$            | $C_d = 5000\$$                |
| $Pr = 17\$ / \text{unit}$             | $Pr' = 9\$ / \text{unit}$  |                               |
| $C_p = 15\$ / \text{unit}$            | $C_p' = 8\$ / \text{unit}$ |                               |

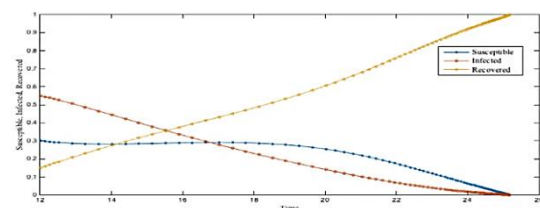
اجتماعی ناشی از بیماران، قبل و بعد از اجرای واکسیناسیون و درمان نیز به شدت بیشتر می شود. همان طور که در بخش های پیشین گفته شد، بدون قرارداد رزرو و برنامه ریزی مناسب برای تأمین واکسن و دارو در فاز پیش از بحران، سازمان های متولی بهداشت ناچارند در صورت لزوم، تقاضای مورد نیاز را از بازار جهانی تأمین کنند. این امر فرایندی زمان بر است و در این صورت زمان دریافت ابزار کنترلی به تعویق می افتد. در چنین حالتی هزینه های اجتماعی به شدت افزایش می یابد.



شکل ۶. هزینه اجتماعی کل قبل و بعد از دریافت ابزارهای کنترلی

باید توجه داشت که بعد از زمان مشخصی، هزینه اجتماعی مقدار ثابتی دارد؛ زیرا پس از مدتی برخی بیماران به صورت طبیعی و بدون ابزار کنترلی بهبود می یابند که این مسئله به هزینه اجتماعی بسیاری منجر خواهد شد. موضوع دیگر تأثیر نبود قرارداد رزرو برای تأمین ابزارهای کنترلی مورد نیاز است. چنانچه قرارداد رزرو وجود نداشته باشد، سازمان متولی بهداشت در صورت وقوع اپیدمی با شرایط زیر مواجه خواهد شد:

- تأمین واکسن و داروی مورد نیاز یا بخشی از آن از طریق تأمین کننده های داخلی؛
  - واردات واکسن و داروی مورد نیاز یا بخشی از آن از بازار جهانی؛
  - سفارش گذاری واکسن و داروی مورد نیاز در صورتی که مقادیر تأمین شده از بازارهای داخلی و خارجی جوابگوی تقاضا نباشد. در این حالت، باید توجه داشت زمان تولید واکسن بسیار طولانی است. همچنین شاید در زمان دریافت سفارش، به دلیل عدم ایمن سازی افراد، بسیاری از آن ها بیمار شده باشند و مقدار داروی سفارش گذاری شده نیز پاسخگوی نیاز جمعیت آسیب دیده نباشد.
- با توجه به شکل ۷، هنگامی که قراردادی میان خریدار و

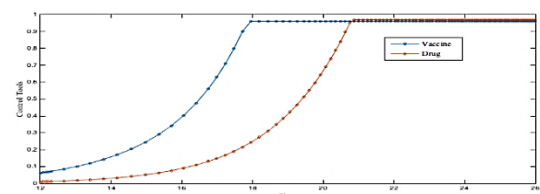


شکل ۴. مدل اپیدمی SIR پس از دریافت ابزارهای کنترلی

با استفاده از تابع هدف دوم و معادلات دیفرانسیل ارائه شده، مقادیر متغیرهای کنترلی به شکل زیر تعیین می شود:

$$u_1^* = 0.64, u_2^* = 0.45$$

بنابراین محدودیت های مربوط به میزان واکسن و دارو مشخص شده است. خریدار نیز می تواند با تعیین قیمت رزرو از سوی تأمین کننده، درمورد مقدار سفارش هریک از آن ها با هدف حداقل کردن هزینه تدارکات تصمیم گیری کند.



شکل ۵. تابع کنترلی واکسن و دارو

با حل مدل استکلبرگ خریدار و تأمین کننده، خواهیم داشت:

$$o = 12.1\$, e = 7.3\$, o' = 6.8\$, e' = 5.9\$,$$

$$V = 5.96 \times 10^5, D = 4.34 \times 10^5$$

باید توجه داشت که مقادیر  $V$  و  $D$  براساس ماکزیمم نیاز به دست آمده در هر فصل تعیین می شود؛ برای مثال، در مسئله حاضر، ماکزیمم مقدار به دست آمده در فصول سرد و فصول گرم سال  $\max\{0, 5.96 \times 10^5\}$  برای واکسن و  $\max\{0, 4.34 \times 10^5\}$  برای دارو مبنای تصمیم گیری درمورد میزان سفارش در قرارداد رزرو خواهد بود.

### تحلیل حساسیت

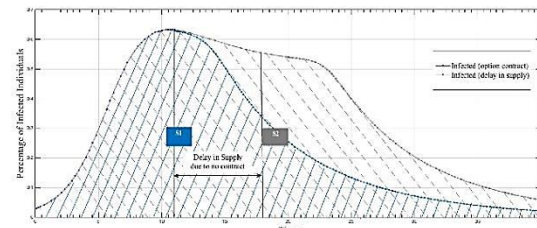
در این بخش، برای نشان دادن اهمیت قرارداد رزرو به منظور مقابله با وقوع اپیدمی، پارامتر مهم  $\tau$  (زمان دریافت ابزارهای کنترلی) بررسی شده است. براساس شکل ۶، هرچه زمان تحویل ابزارهای کنترلی افزایش می یابد، هزینه

برنامه مناسب در فاز پیش از وقوع بحران برای تأمین به موقع واکسن در صورت وقوع بحران برای پیشگیری از شیوع بیماری و وقوع اپیدمی بسیار ضروری است. در این پژوهش، با در نظر گرفتن مدل اپیدمی SIR، قرارداد رزرو ارائه شد که براساس آن در فاز قبل از وقوع بحران، میزان واکسن و داروی مورد نیاز برای کنترل شیوع بیماری در یک منطقه پیش بینی می شود. در این قرارداد، سازمان متولی بهداشت به عنوان خریدار به دنبال حداقل کردن هزینه تدارکات واکسن و هزینه اجتماعی شیوع بیماری و تأمین کننده به دنبال حداکثر کردن سود ناشی از رزرو و فروش واکسن و داروست.

برای حل چنین مدلی در مقاله حاضر، ابتدا به حداقل کردن هزینه اجتماعی با استفاده از معادلات دیفرانسیل مربوط به مدل اپیدمی قبل و بعد از دریافت ابزارهای کنترلی پرداخته شد. در مرحله بعد و پس از تعیین مقادیر متغیرهای کنترلی، خریدار به دنبال حداقل کردن هزینه های تدارکات در قرارداد رزرو و تأمین کننده به دنبال حداکثر کردن سود ناشی از فروش واکسن و داروست؛ بنابراین یک بازی استکلبرگ میان دو بازیکن شامل خریدار و تأمین کننده وجود دارد که خریدار پیشرو و تأمین کننده پیرو هستند. نتایج حل مدل نشان می دهد زمان ارسال واکسن و دارو بر تعداد افراد مستعد پذیرش بیماری و افراد بیمار مؤثر است و در نتیجه بر میزان سفارش هریک از اقلام کنترلی تأثیر گذار خواهد بود.

پیشنهادهای زیادی برای توسعه این مقاله وجود دارد؛ برای مثال می توان نرخ های موجود برای مدل اپیدمی را وابسته به سن افراد در نظر گرفت. امکان رقابت میان چندین تأمین کننده و انتخاب بهترین تأمین کننده از سوی خریدار نیز قابل بررسی است. همچنین توجه به مدل های مختلف اپیدمی، فصول مختلف سال برای وقوع اپیدمی و سناریوهای مختلف وقوع بحران می تواند زمینه های مناسبی برای پژوهش های آتی باشد.

تأمین کننده وجود ندارد، هزینه اجتماعی بسیار بیشتر از حالتی است که قرارداد رزرو وجود دارد ( $S_2 > S_1$ ). همچنین تأخیر زیاد در تأمین واکسن و داروی مورد نیاز نیز سبب هزینه اجتماعی بیشتر خواهد شد؛ بنابراین این اختلاف هزینه می تواند تصمیم گیران حوزه سلامت را به استفاده از قرارداد رزرو تشویق کند.



شکل ۷. تابع کنترلی واکسن و دارو

نتیجه تحلیل حساسیت نیز نشان دهنده ضرورت وجود برنامه مناسب برای تأمین ابزارهای کنترلی مورد نیاز در فاز پیش از بحران است. مناسب ترین سیاست در این زمینه استفاده از قرارداد رزرو است.

### نتیجه گیری

سالانه بلايا و بحران های طبیعی مانند زلزله، سیل و... در سراسر جهان رخ می دهد. از بین رفتن زیرساخت های بهداشتی هنگام وقوع چنین بحران هایی می تواند به شیوع بیماری های واگیردار منجر شود. باید توجه داشت که به کمک ابزارهای کنترلی مانند واکسیناسیون، درمان، آموزش و... می توان از گسترش این بیماری ها پیشگیری کرد و مانع وقوع اپیدمی گسترده شد. یکی از عوامل کلیدی در افزایش تأثیر و کارآمدی واکسیناسیون و درمان، انجام سریع و به موقع آن هاست. از آنجا که زنجیره تأمین اقلام امدادی مانند واکسن و دارو تفاوت بسیار زیادی با زنجیره تأمین اقلام تجاری دارد، طراحی این زنجیره مناسب نقشی بسیار کلیدی در تأمین به موقع آن ها خواهد داشت.

### منابع

1. Benfield, A., and Forecasting, I., (2008). *Annual Global Climate and Catastrophe Report*.
2. UN, UN News, (2017). *New UN Report Reveals Devastating Human Toll of Disasters in Hottest Year on Record*.
3. Sharifi, I., et al., (2011). "Cutaneous Leishmaniasis in Bam: A Comparative Evaluation of Pre-and Post-Earthquake Years (1999-2008)", *Iranian Journal of Public Health*, Vol. 40, No. 2, PP. 49.

4. Liang, L., Wang, X., and Gao, J., (2012). "An Option Contract Pricing Model of Relief Material Supply Chain", *Omega*, Vol. 40, No. 5, PP. 594-600.
5. Xia, Y., Ramachandran, K., and Gurnani, H., (2011). "Sharing Demand and Supply Risk In A Supply Chain", *IIE Transactions*, Vol. 43, No. 6, PP. 451-469.
6. Chopra, S., and Meindl, P., (2007). *Supply Chain Management. Strategy, Planning and Operation*.
7. Chick, S. E., Mamani, H., and Simchi-Levi, D., (2008). "Supply Chain Coordination and Influenza Vaccination", *Operations Research*, Vol. 56, No. 6, PP. 1493-1506.
8. WHO, (2015). *Immunization, Vaccines and Biologicals (Effective Vaccine Management (EVM) Initiative)*, [http:// who.int/immunization/programmes\\_systems/supply\\_chain/evm/en](http://who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/evm/en).
9. Huang, X. et al., (2011). "On Supply Chain Coordination for False Failure Returns: A Quantity Discount Contract Approach", *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, No. 2, PP. 634-644.
10. Leng, M., and Parlar, M., (2009). "Lead-Time Reduction in a Two-Level Supply Chain: Non-Cooperative Equilibria Vs. Coordination with A Profit-Sharing Contract", *International Journal of Production Economics*, Vol. 118, No. 2, PP. 521-544.
11. Zhao, Y. et al., (2010). "Coordination of Supply Chains by Option Contracts: A Cooperative Game Theory Approach", *European Journal of Operational Research*, Vol. 207, No. 2, PP. 668-675.
12. Wang, X., and Liu, L., (2008). "Coordination by Option Contracts in a Retailer-Led Supply Chain with Demand Update", *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 13, No. 4, PP. 570-580.
13. Spinler, S., and Huchzermeier, A., (2006). "The Valuation of Options on Capacity with Cost and Demand Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, No. 3, PP. 915-934.
14. WHO, (2014). *Media Centre (Influenza-Seasonal)*, [http:// who.int/mediacentre/factsheets/fs211/en](http://who.int/mediacentre/factsheets/fs211/en).
15. Adida, E., Dey, D., and Mamani, H., (2013). "Operational Issues and Network Effects in Vaccine Markets", *European Journal of Operational Research*, Vol. 231, No. 2, PP. 414-427.
16. Zhang, L. et al., (2019). "Materials Procurement and Reserves Policies for Humanitarian Logistics with Recycling and Replenishment Mechanisms", *Computers and Industrial Engineering*, No. 127, PP. 709-721.
17. Kleindorfer, P. R., and Saad, G. H., (2005). "Managing Disruption Risks in Supply Chains", *Production and Operations Management*, Vol. 14, No. 1, PP. 53-68.
18. Shamsi, G., S., Torabi, A., and Shakouri, G., (2018). "An Option Contract for Vaccine Procurement Using the SIR Epidemic Model", *European Journal of Operational Research*, Vol. 267, No. 3, PP. 1122-1140.
19. Daley, D. J., Gani, J., and Gani, J. M., (2001). *Epidemic Modelling: An Introduction*. Vol. 15, Cambridge University Press.
20. Kermack, W. O., and Mckendrick. A. G., (1927). *A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics*, In Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, the Royal Society.
21. Büyüktaktın, İ. E., Des-Bordes, E., and Kıbış, E. Y., (2018). "A New Epidemics-Logistics Model: Insights Into Controlling the Ebola Virus Disease in West Africa", *European Journal of Operational Research*, Vol. 265, No. 3, PP. 1046-1063.
22. Chen, L., and Sun, J., (2014). "Optimal Vaccination and Treatment of an Epidemic Network Model", *Physics Letters A*, Vol. 378, No. 41, PP. 3028-3036.
23. Iacoviello, D., and Stasio, N., (2013). "Optimal Control for SIRC Epidemic Outbreak", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 110, No. 3, PP. 333-342.
24. Van Den Driessche, P., and Watmough, J., (2002). "Reproduction Numbers and Sub-Threshold Endemic Equilibria for Compartmental Models of Disease Transmission", *Mathematical Biosciences*, Vol. 180, No. 1, PP. 29-48.
25. Moinfar, A., Naderzadeh, A., and Nabavi, M., (2012). *New Iranian Seismic Hazard Zoning Map for New Edition of Seismic Code and Its Comparison with Neighbor Countries*, In 15th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE 2012) Proceedings (24-28 September 2012).
26. Sharma, S., and Samanta, G., (2015). "Stability Analysis and Optimal Control of an Epidemic Model with Vaccination", *International Journal of Biomathematics*, Vol. 8, No. 03, PP. 1-28.

## واژگان انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Option Contract
  2. Cold Chain
  3. Wholesale Price Only Contract
  4. Buyback Contract
  5. Revenue-Sharing Contract
  6. Quantity Flexibility Contract
  7. Quantity Discount Contract
  8. Cost Sharing Contract
  9. Ebola
  10. Basic Reproduction Number
  11. Cost-Benefit Analysis (CBA)
  12. Next Generation Matrix
-