

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

نفیسه شمسی گمچی^۱، سید علی ترابی^{۲*}

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. به‌کمک 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. به‌منظور 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

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 هلال‌احمر، 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، به‌دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن زمان و مکان و شدت وقوع بحران، تقاضا برای اقلام امدادی عدم قطعیت بسیاری دارد. همچنین هزینه‌های ناشی از انبارداری و فاسدشدن آن‌ها در صورت عدم وقوع بحران بالا خواهد بود. برای مقابله با این مشکل، استفاده از قراردادهای خدمت مناسب مانند قرارداد رزرو^۱ 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 رزروشده و در زمان

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 به‌دنبال 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 به‌وجود می‌آیند؛ درحالی‌که 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 ریشه‌کن نشده است [۳]. یکی از دلایل عمده چنین

تجهیزات و فعالیت‌هایی است که واکسن مورد نیاز یک منطقه را از محل تولید آن به افراد حاضر در آن منطقه تحویل می‌دهند [۶]. زنجیره تأمین واکسن ویژگی‌های منحصر به فردی مانند فسادپذیری، منافع غیرخطی حاصل از واکسیناسیون در سلامت افراد، غیر سودآور بودن برنامه‌های واکسیناسیون برای دولت و ارزش حاصل از جلوگیری از گسترش بیماری‌ها دارد [۷]؛ بنابراین با توجه به هزینه بالای تولید واکسن و نیاز به افزایش ظرفیت‌های لازم برای ذخیره‌سازی آن‌ها در انبارهای مجهز به تجهیزات زنجیره سرد،^۲ مدیریت زنجیره تأمین واکسن بسیار اهمیت خواهد داشت [۸].

هریک از بخش‌های مختلف زنجیره تأمین مانند تأمین‌کننده و خریدار به دنبال افزایش سود خود هستند؛ بنابراین استفاده از قراردادهای همکاری مانند قرارداد فروش به قیمت عمده^۳، قرارداد بیع متقابل^۴، قرارداد تسهیم درآمد^۵، قرارداد با انعطاف‌پذیری در تعداد سفارش‌ها^۶ و قرارداد با تخفیف روی تعداد سفارش‌ها^۷ نقش بسیار مهمی در این زمینه ایفا می‌کنند [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 می‌کند. تأمین‌کننده نیز متعهد می‌شود 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 رزروشده 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 می‌تواند در تأمین واکسن و دارو بسیار مؤثر باشد. در میان انواع واکسن‌ها، بسیاری از پژوهشگران بازار واکسن آنفولانزا را بررسی کردند؛ زیرا آنفولانزا یک بیماری تنفسی است که به سرعت گسترش می‌یابد و به وقوع اپیدمی فصلی منجر می‌شود. معمولاً آنفولانزا در سراسر جهان با نرخ ۵-۱۰ درصد در میان بزرگسالان و ۲۰-۳۰ درصد در میان کودکان رخ می‌دهد. همچنین براساس تخمین‌های سراسر جهان، سالانه ۳-۵ میلیون نفر به شدت دچار این بیماری می‌شوند و ۲۵۰-۵۰۰ هزار نفر جان خود را از دست

تعیین شده در قرارداد تأمین کند [۱۵]. با توجه به فرایند زمان بر تولید واکسن، چنین قراردادی در مورد 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، گرفتاری‌های 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 پیشنهادهی، خریدار میزان واکسن و داروی مورد نیاز خود را براساس مدل اپیدمی مناسب بیماری واگیردار مورد نظر تخمین می‌زند و به دنبال کاهش هزینه اجتماعی ناشی از گسترش بیماری است. همچنین تأمین‌کننده 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 می‌شود.

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 بخش‌های ۳ و ۴ آمده و در بخش ۵ نیز شاهد نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی خواهیم بود.

پیشینه پژوهش

عملکرد بهینه زنجیره تأمین نیازمند اجرای مجموعه‌ای دقیق از اقداماتی است که با هماهنگی و همکاری اجزای زنجیره تأمین انجام می‌شود. در بیشتر موارد، هر یک از اجزای زنجیره تأمین به فکر سود فردی خویش هستند؛ بنابراین برای ایجاد هماهنگی میان اجزای مختلف زنجیره و افزایش سود کل زنجیره باید انگیزه‌های کافی برای اعضا وجود داشته باشد. قراردادهای همکاری بسیاری برای این منظور در زنجیره‌های تأمین تجاری طراحی شده است، اما بیشتر آن‌ها کارایی لازم را در زنجیره تأمین واکسن ندارند. زنجیره تأمین واکسن شامل افراد، سیستم‌ها، امکانات،

است. «اپیدمی» یعنی وقوع مواردی از یک بیماری که فراتر از حالت عادی در زمان و مکان مشخص است؛ بنابراین با استفاده از مدل‌سازی بیماری‌های واگیردار می‌توان مکانیسم‌های گسترش بیماری‌ها را بررسی کرد و با پیش‌بینی دوره‌های شیوع بیماری، راهبردی مناسب برای کنترل اپیدمی ارائه داد [۱۹].

مدل‌های اپیدمی یکی از ابزارهای مهم شبیه‌سازی بیماری‌های واگیردار و عفونی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان روند رشد بیماری‌های واگیردار را پیش‌بینی کرد و راهبردهای ضروری را برای پیشگیری از گسترش آن‌ها در پیش گرفت. SIR اولین مدل ریاضی اپیدمی است که کرماک و مک‌کندریک 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 درمان‌شده و ایمن‌شده) تشکیل شده است. بیوک تهاکین و همکاران مدل جدیدی از لجستیک را برای کنترل بیماری ابولاً در غرب آفریقا ارائه دادند. در این مقاله، عواملی مانند نرخ‌های انتقال بیماری متفاوت برای نواحی جغرافیایی گوناگون در نظر گرفته شده و تأثیر مهاجرت بیماران و نرخ‌های مختلف درمان بیماران با توجه به ظرفیت محدود مراکز درمانی بررسی شده است [۲۱].

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

می‌دهند [۱۴]؛ بنابراین تحویل به‌موقع واکسن و برنامه‌ریزی برای مواجهه‌نشدن با کمبود آن می‌تواند مانع گسترش بیماری‌های واگیردار و مرگ‌ومیر ناشی از آن‌ها شود.

چیک و همکاران قراردادهای مختلفی را مطالعه کردند و به بررسی تأثیرات قرارداد تسهیم هزینه^۸ برای هماهنگ کردن زنجیره تأمین واکسن با فرض عدم قطعیت تقاضا پرداختند [۷]. چنین قراردادی با کاهش ریسک تولیدکننده، انگیزه‌ای برای وی ایجاد می‌کند تا میزان تولید خود را افزایش دهد. ادیدا و همکاران تأثیرات سوبسید را به‌عنوان مکانیسم هماهنگی برای ایجاد انگیزه در بخش‌های 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 استفاده‌نکردن و کارایی هزینه، به بررسی سیاست‌های رزرو برای تأمین اقلام مورد نیاز در حوزه لجستیک بشردوستانه پرداختند [۱۶]. نتایج این مقاله نشان می‌دهد بهترین سیاست در تأمین اقلام امدادی، همکاری با تأمین‌کننده برای رزرو بخشی از مواد مصرفی و اولویت‌دهی به تأمین‌کنندگانی با کمترین هزینه عملیاتی و بیشترین سهم بازار است.

همان‌طور که پیش‌تر 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 می‌شود و خطرهای ناشی از اختلالات تولید را در زمان وقوع بحران به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد [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 می‌کند [۴]. شمسی و همکاران نیز قرارداد رزرو جدیدی برای تأمین واکسن مورد نیاز میان خریدار و تأمین‌کننده‌های اصلی و پشتیبان را با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تأمین‌کننده‌ها ارائه دادند تا به کنترل به‌موقع اپیدمی بپردازند [۱۸].

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، یکی از عواقب وقوع بحران، شیوع بیماری‌های واگیردار و وقوع اپیدمی

