Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 13, Serial Number 50, Summer 2023, Pages 39-64 (Original Article)
DOI: 10.48308/JIMP.13.2.39

Evaluating the Resilience of COVID-19 Vaccine Supply Chain using Bayesian Networks

Samaneh Peyghami[*] , Mojtaba Farrokh[**] ,
Reza Yousefi Zonouz[***] , Aboozar Jamalnia[****]

Abstract

The COVID-19 pandemic has posed a significant challenge to the COVID-19 vaccine supply chain that need to be resolved for a successful exit from the pandemic. It is essential to identify and evaluate the risks associated with the vaccine supply chain. We propose a new measure for quantifying the resilience of the vaccine supply chain in Iran. To evaluate the resilience of the vaccine supply chain, we use a Bayesian network to consider the vulnerability and recoverability indices as well as the associated disruption propagation. This approach enables managers to measure the resilience of the supply chain and identify the reasons for performance decline due to the ripple effect. Our results show that outbreak risks, lack of access to vaccine suppliers, low efficacy of the vaccine against new variants, inaccurate prediction of vaccine demand, and failure to choose the right suppliers are the risks likely to have a high impact on the disruption of the vaccine supply chain. Our approach provides a useful tool for evaluating the resilience of the vaccine supply chain and identifying the critical risks. It can be used by decision-makers to mitigate the impact of disruptions and improve overall resilience of the vaccine supply chain.

Keywords: Resilience; Risk; Vaccine Supply Chain; COVID-19; Bayesian Network.

Received: Jul. 11, 2022; Accepted: Jan. 27, 2022.
* MA Student, Kharazmi University.
** Assistant Professor, Kharazmi University (Corresponding Author).
E-mail: farrokh@khu.ac.ir
*** Assistant Professor, Kharazmi University.
**** Assistant Professor, Kharazmi University.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
سال سیزدهم، شماره ۵۰، تابستان ۱۴۰۲، ص‌ص ۳۹ – ۶۴ **(نوع مقاله: پژوهشی)**
DOI: 10.48308/JIMP.13.2.39

ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ با استفاده از شبکه‌های بیز

سمانه پیغامی*، مجتبی فرخ، رضا یوسفی زنوز***، ابوذر جمال‌نیا*****

چکیده

طی دوره همه‌گیری کووید-۱۹، مهم‌ترین چالش زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹، مواجهه با اختلالات مختلفی است که آن را احاطه کرده است. حل این چالش‌ها به برون‌رفت از همه‌گیری منجر خواهد شد؛ بنابراین شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ ضروری است. در این پژوهش از یک معیار جدید برای کمّی‌کردن تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن استفاده شده است. تاب‌آوری به‌عنوان تابعی از آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی عوامل ریسک تعریف شده و در ادامه با استفاده از روش شبکه‌های بیز، تاب‌آوری در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ در ایران ارزیابی شده است. این رویکرد می‌تواند توسط مدیران برای سنجش تاب‌آوری و شناسایی دلایل کاهش عملکرد زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ به‌کار رود. نتایج نشان داد ریسک‌های شیوع غیرمنتظره بیماری، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن، کارایی پایین واکسن در برابر گونه‌های مختلف، عدم‌پیش‌بینی دقیق تقاضای واکسن و عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست، ریسک‌هایی هستند که با احتمال بالایی به اختلال در زنجیره تأمین واکسن منجر می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: تاب‌آوری؛ ریسک؛ زنجیره تأمین واکسن؛ کووید-۱۹؛ شبکه بیز.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۰۷.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.
** استادیار، دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول).
Email:farrokh@khu.ac.ir
*** استادیار، دانشگاه خوارزمی.
**** استادیار، دانشگاه خوارزمی.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

مواجهه با بحران‌ها و بلایای طبیعی از اصلی‌ترین چالش‌هایی هستند که ضرر و زیان زیادی را متوجه زنجیره‌های تأمین و اقتصاد جوامع می‌کنند [۲۸، ۴]. بحران کووید-۱۹ فراگیرترین بحران جهانی بوده است که بشر به خود دیده است [۳۱]. شیوع کووید-۱۹ باعث ایجاد پیچیدگی‌های زیادی در صنعت سلامت شد و تهدیدی برای بخش‌های بهداشت و اقتصاد جهانی ایجاد کرد. ویروس کووید-۱۹، با ترکیب تقاضا، عرضه و عدم‌اطمینانی که به دلیل تعطیل‌شدن کارخانه‌ها و دفاتر به‌وجود آمد، ضررهای هنگفتی به اقتصاد جهان وارد کرد. واقعیت نهفته این است که شیوع کووید-۱۹ زنجیره تأمین جهانی را نیز به‌دلیل کاهش تقاضای کالاهای وارداتی تحت تأثیر قرار داد. در مقایسه با شیوع سارس در سال ۲۰۰۳، کووید-۱۹ چالش‌های بیشتری را برای اقتصاد به‌هم‌تنیده جهانی ایجاد کرد [۴۲].

تاکنون تولید واکسن بهترین راه‌حل برای محدودکردن شیوع بیماری‌های همه‌گیر بوده است [۴۱]. واکسن‌های کووید ـ ۱۹ نور امیدی برای خروج از همه‌گیری کرونا به‌شمار می‌روند [۳]. یک واکسن ایمن و مؤثر، جزء حیاتی برای کاهش همه‌گیری کووید-۱۹، کاهش بیماران بستری‌شده، کاهش نرخ مرگ‌ومیر و بازگشت اقتصاد جهانی است [۴۹]. برای پوشش واکسیناسیون صددرصدی جمعیت جهان با حداقل تزریق دو دوز برای هر فرد، بیشتر از ۱۶ میلیارد دوز واکسن نیاز است [۳]. برای اطمینان از اینکه واکسن‌های کووید-۱۹ به واکسیناسیون گسترده منجر شوند، دولت‌ها باید استراتژی‌هایی مانند ایجاد تقاضا برای واکسن، تخصیص واکسن، توزیع واکسن و تأیید پوشش همگانی را برای ترویج پذیرش و تحویل عادلانه و مؤثر واکسن کووید-۱۹ اجرا کنند [۴۹].

همه‌گیری کووید-۱۹ نیاز به ایجاد زنجیره‌های تأمین واکسن تاب‌آور را برجسته می‌کند. در شرایط همه‌گیری، زنجیره تأمین از همه جهات مختل می‌شود. ریسک‌های زیادی می‌توانند عملکرد زنجیره‌های تأمین واکسن را تحت تأثیر قرار داده و مختل کنند. این ریسک‌ها شامل افزایش تقاضا برای خدمات، کمبود منابع پزشکی و انسانی، شیوع همه‌گیری، کمبود محصولات پزشکی، تأخیر یا نبود مراقبت، ریسک تولید، ریسک عدم‌دسترسی، ریسک تقاضا، ریسک امنیت، ریسک حمل‌ونقل، ریسک ظرفیت تأمین، ریسک تأخیر، ریسک فرایند، ریسک سیاسی، ریسک طراحی محصول، ریسک مالی، ریسک کیفیت، ریسک قانون و ریسک داروهای جعلی و غیراستاندارد است [۲۲، ۲، ۱۱]. این بیماری همه‌گیر باعث ایجاد اختلالات آبشاری بر چندین گره، پیوندها و شبکه‌های مرتبط، از جمله تأثیر بر تقاضای کالاها و خدمات خاص شده است. جهانی‌بودن شبکه‌های تأمین و جابه‌جایی کالاها، اطلاعات و خدمات باعث ایجاد اختلالات پیش‌بینی‌نشده برای زنجیره تأمین‌های واکسن شده است که اهمیت تاب‌آوری آن‌ها را دوچندان می‌کند [۱۹].

زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ به‌دلیل اینکه دولت‌ها به‌طور مستقیم واکسن را از تولیدکنندگان دریافت می‌کنند، با زنجیره تأمین واکسن سنتی متفاوت است [۱]؛ درنتیجه مشکلات کلیدی زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ به‌دلیل حجم عظیم تقاضای واکسن با سایر زنجیره تأمین‌های واکسن (برای مثال، همه‌گیری سارس در سال ۲۰۰۳، همه‌گیری Mers در سال ۲۰۱۵، همه‌گیری ابولا در سال ۲۰۱۴ و همه‌گیری Zika در سال ۲۰۱۶) متفاوت است [۳]. اختلالات فعلی به‌دلیل تأثیرات همه‌گیری کووید-۱۹، نیاز به تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. یک زنجیره تأمین واکسن تاب‌آور احتمال عملکرد مستمر در مواجهه با اختلالات و توزیع عادلانه واکسن را افزایش می‌دهد [۲۱]. با توجه به مبانی نظری، مطالعات خیلی کمی در خصوص بررسی ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ صورت گرفته است. بر اساس مطالب مطرح‌شده، بررسی میزان تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین واکسن کووید-۱۹ یک امر ضروری است؛ بنابراین هدف این پژوهش، ارزیابی و بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین واکسن. توسعه واکسن سنتی به‌صورت خطی انجام می‌شود. در این حالت کارایی و دوام تولید و مطالعات بالینی قبل از ادامه هر مرحله اثبات می‌شود و بدین ترتیب ریسک زیرساخت‌ها و شبکه‌های مرتبط با واکسن کاهش می‌یابد. بااین‌حال به‌دلیل ماهیت جهانی همه‌گیری کووید-۱۹ و اثرات گسترده بر سلامت انسان، واکسن کووید-۱۹ تحت یک جدول زمانی توسعه سریع قرار دارد که مراحل توسعه واکسن را همپوشانی می‌کند. به این صورت که مرحله نخست شامل مرحله پیش‌بالینی، زیرساخت و تولید، مرحله دوم شامل تأیید و توزیع واکسن و مرحله سوم نظارت پس از بازاریابی است. توسعه واکسن کووید-۱۹ بسیار سریع‌تر از توسعه واکسن سنتی است. در هر دو مورد، به‌منظور استقرار موفقیت‌آمیز واکسن و حفظ عملکرد بهینه مستمر، باید زنجیره تأمین تاب‌آور ایجاد شود [۲۱]. دردسترس‌بودن واکسن برای کاهش تلفات ناشی از همه‌گیری ضروری است؛ بنابراین دولت‌ها، مؤسسه‌ها و دانشگاه‌ها باید برای دسترسی عموم به واکسن برنامه‌ریزی کنند [۳۶].

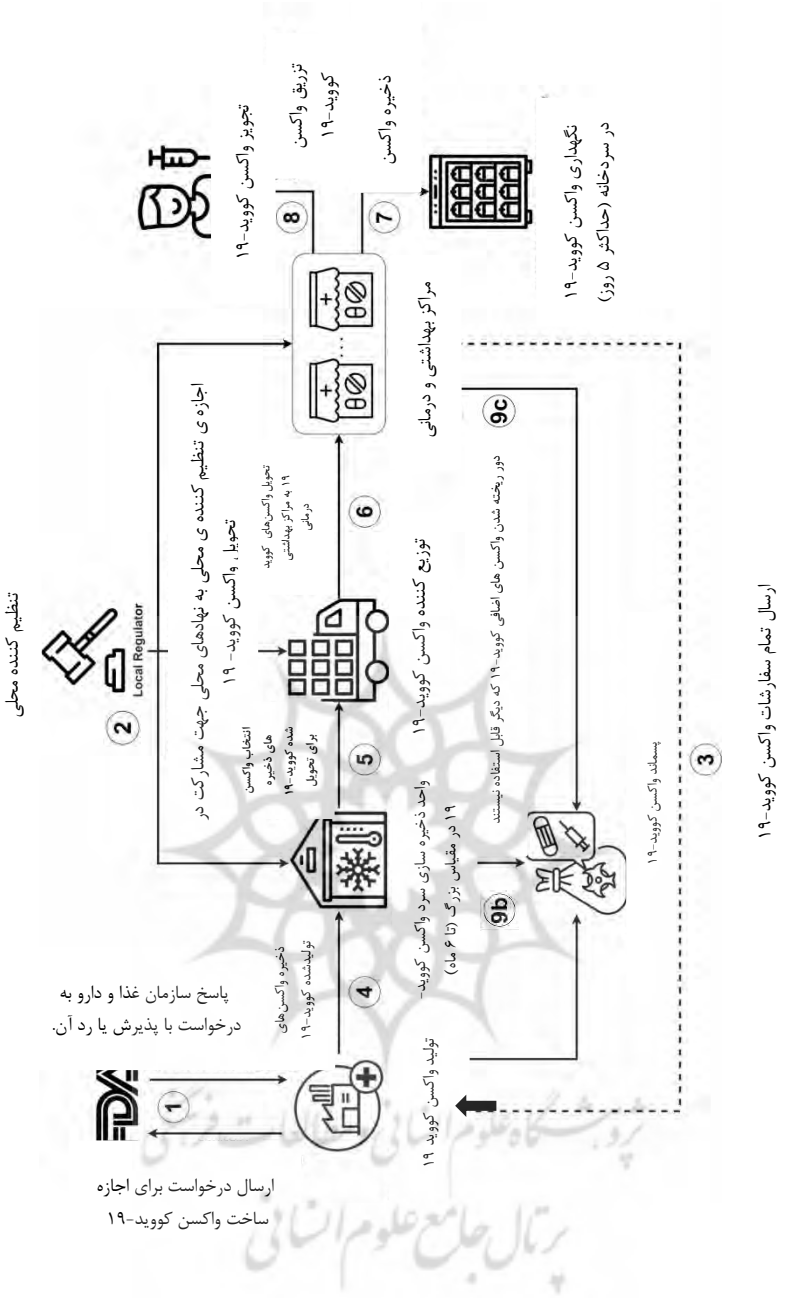
برای ایجاد زنجیره تأمین واکسن منعطف و قدرتمند، پژوهش‌ها از ۴ جنبه تولید، توزیع، تخصیص و محصول به آن پرداخته‌اند. از این طریق، چالش‌های زنجیره تأمین واکسن شناسایی شده است که شامل عدم‌اطمینان بالا در عرضه و تقاضا، ناهماهنگی اهداف و تصمیم‌گیری غیرمتمرکز بین تأمین‌کنندگان، تصمیمات سیاسی پیچیده درباره تخصیص و اهمیت تصمیم‌گیری و اقدام در زمان است [۱۶].

شکل ۱، زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را نشان می‌دهد. ابتدا سازنده درخواستی را برای شروع تولید واکسن کووید-۱۹ به سازمان بهداشت ارسال می‌کند. در صورت تأیید، سازنده بر اساس سفارش‌های دریافتی از مراکز بهداشتی و درمانی، تولید واکسن‌های کووید-۱۹ را در حجم زیاد آغاز می‌کند. در مرحله دوم، یک تنظیم‌کننده محلی به نهادهای محلی مانند واحد سردخانه، توزیع‌کننده و مراکز بهداشتی اجازه می‌دهد تا وظایف مربوط به خود را انجام دهند. در مرحله سوم، تعداد زیادی از واکسن کووید-۱۹ تولیدشده در واحد سردخانه واکسن کووید-۱۹ در مقیاس بزرگ برای حفظ واکسن‌ها ذخیره می‌شود. در مرحله چهارم، توزیع‌کننده، تعدادی از واکسن‌های کووید-۱۹ را دریافت می‌کند و بر اساس سفارش‌های ارسال‌شده به مراکز بهداشتی درمانی تحویل می‌دهد. در مرحله پنجم، مراکز مراقبت‌های بهداشتی واکسن‌های کووید-۱۹ را در یک واحد ذخیره‌سازی محلی ذخیره می‌کنند یا بلافاصله آن‌ها را در اختیار بیماران قرار می‌دهند. درنهایت سازنده، واحد سردخانه و مراکز بهداشتی و درمانی ممکن است تصمیم بگیرند واکسن‌های استفاده‌نشده یا منقضی را طبق دستورالعمل‌های ازپیش‌تعریف‌شده در کشورهای مربوطه خود دور بیندازند.

ریسک‌های احتمالی در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را با استفاده از رویکرد شبکه بیز[1] بررسی می‌کند. علاوه بر این، بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن می‌تواند به‌طور مثبت مبارزه با همه‌گیری کووید-۱۹ را تسهیل کرده و با اطمینان از توزیع یکنواخت واکسن‌ها، اهداف توسعه پایدار را دنبال کند.

پژوهش‌های اندکی در مبانی نظری پژوهش در خصوص تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن انجام شده است. با جست‌وجو در مبانی نظری برای تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن تنها ۳ مورد پژوهش یافت شد که یک مورد مقاله مروری است که تعریف اساسی از تاب‌آوری و زنجیره تأمین ارائه نشده، اما محدودیت‌های زنجیره سرد شناسایی شده است. پژوهش دوم بر زنجیره تأمین واکسن دامپزشکی متمرکز است و معیارهایی برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن ارائه نشده است؛ ولی در توسعه انبارهایی برای بهبود زنجیره تأمین واکسن پیشنهاد شده است [۱۵]. در پژوهش سوم نیز به مطالعه مبانی نظری زنجیره تأمین واکسن پرداخته شده و پیشنهاد شده است که پژوهشگران باید به دنبال انتشار پژوهش‌هایی برای تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ باشند [۲۱].

1. Bayesian Networks (BNs)



شکل ۱. زنجیره تأمین واکسن

تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن. از آغاز همه‌گیری، موضوع واکسن کووید-۱۹ به‌طور گسترده در مبانی نظری علمی پوشش داده شده است. برای مثال، گوتیرس[1] و همکاران (۲۰۲۱)، چارچوبی را برای ارزیابی استراتژی‌های واکسیناسیون کووید-۱۹ مدل‌سازی کردند. آن‌ها ادعا کردند که چارچوب پیشنهادی می‌تواند به برنامه‌ریزی تحت سناریو و ارزیابی بده‌وبستان بین استراتژی‌های واکسیناسیون کمک کند [۱۹]. عباسی و همکاران (۲۰۲۰)، تخصیص واکسن در زنجیره تأمین پایین‌دست را بررسی کردند و مدلی را برای توزیع و تخصیص مختلف واکسن ارائه دادند. رله[2] و همکاران (۲۰۲۰)، توسعه واکسن را در طول یک بیماری همه‌گیر بررسی کردند و شکاف‌ها و فرصت‌ها را برای مبارزه با همه‌گیری‌های آینده شناسایی کردند [۳۸]. درحالی‌که همه این پژوهش‌ها مربوط به واکسن کووید-۱۹ به بهبود واکسیناسیون کمک می‌کند، اما ریسک‌های مربوط به زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ شناسایی نشده است؛ ازاین‌رو پژوهش حاضر تمام ریسک‌های احتمالی در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را با استفاده از رویکرد شبکه بیز بررسی می‌کند و راهکارهایی را برای مدیریت این ریسک‌ها در اختیار مدیران و سیاستگذاران قرار می‌دهد.

شبکه‌های بیز. شبکه‌های بیز که بر اساس قضیه بیز برای محاسبه احتمالات شرطی به‌وجود آمده‌اند، ابزاری قدرتمند برای رسیدگی به ارزیابی ریسک و تصمیم‌گیری در شرایط عدم‌قطعیت هستند [۱۸]. شبکه بیز یک روش محبوب برای مدل‌سازی حوزه‌های نامشخص و پیچیده بوده و قادر به ادغام منابع مختلف اطلاعات مانند داده‌های مشاهده‌شده و قضاوت متخصصین است. مدل‌های شبکه‌های بیز ازآنجاکه بر رابطه بین اطلاعات و عدم‌اطمینان تمرکز می‌کنند، می‌توانند پیامدهای تصمیمات مختلف مدیریت را مدل‌سازی کنند [۲۱]. برخلاف سایر روش‌های کلاسیک تحلیل قابلیت اطمینان، شبکه بیز مزایای زیادی را ارائه می‌کند. برخی از این مزایا شامل توانایی مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده، پیش‌بینی و تشخیص، محاسبه دقیق احتمال وقوع یک رویداد، به‌روزرسانی محاسبات بر اساس شواهد، نمایش متغیرهای چندوجهی و کمک به مدل‌سازی کاربرپسند با رویکردی گرافیکی و فشرده است. برخلاف مدل‌های جعبه سیاه، هیچ متغیر پنهانی در مدل شبکه‌های بیزی وجود ندارد؛ همچنین شبکه‌های بیزی می‌توانند متغیرهای کمّی و کیفی را کنترل کنند [۱۹]. شبکه‌های بیز به‌عنوان ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری، به‌طور گسترده‌ای در مجموعه متنوعی از حوزه‌های کاربردی مانند تجزیه‌وتحلیل خطر، مدیریت ایمنی، مهندسی قابلیت اطمینان، مدیریت ریسک و ارزیابی تاب‌آوری به‌کار رفته‌اند [۴۵، ۳۳، ۲۳، ۸، ۴۷، ۴۳، ۳۷، ۳۵، ۴۴، ۲۴].

1. Guttieres
2. Rele

کمّی‌سازی تاب‌آوری در مبانی نظری برای انواع مختلف سیستم‌های فنی، زیست‌شناسی، اقتصادی و زیست‌محیطی موردتوجه قرار گرفته است [۳۸، ۲۴]. جهانی و همکاران (۲۰۱۷) و چاودوری و کوادوس[1] (۲۰۱۷)، پس از شناسایی شاخص‌های زنجیره تأمین تاب‌آور، به کمک رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری[2]، این شاخص‌ها را ارزیابی کردند. علی‌رغم معیارهایی که توسط برخی پژوهشگران (مانند، هاجسون[3] و همکاران، ۲۰۲۱؛ یووانوویچ[4] و همکاران، ۲۰۲۰؛ اوکامپو و یاماگیشی[5]، ۲۰۲۰) برای کمّی‌سازی تاب‌آوری توسعه داده شده است، تاکنون مطالعات اندکی به اندازه‌گیری تاب‌آوری زنجیره تأمین پرداخته‌اند [۳۵، ۳۰، ۲۶]. کاکی و همکاران (۲۰۱۵)، یک شاخص مبتنی بر شبکه بیز را معرفی کردند که ریسک را در زنجیره تأمین اندازه‌گیری می‌کند. معیار پیشنهادی آن‌ها قادر به تعیین کمیت تأثیر انتشار اختلال در سراسر شبکه‌های تأمین چندلایه است. آن‌ها استدلال کردند که این معیار ریسک می‌تواند به شناسایی و کاهش عوامل ریسک آسیب‌پذیر کمک کند. درحالی‌که پژوهشگران درنظرگرفتن آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی در سنجش و کمّی‌کردن تاب‌آوری زنجیره تأمین را از جمله شیوه‌های موفقیت‌آمیز کاهش ریسک می‌دانند، اما در مطالعات پیشین، توجه کمی به تعامل آن‌ها در ارتباط با انتشار اختلال شده است [۲۶]. برخی از پژوهشگران، رویکردهای جایگزینی برای به‌دست‌آوردن داده‌های موردنیاز به‌منظور اندازه‌گیری آسیب‌پذیری زنجیره تأمین معرفی کرده‌اند [۴۸، ۴۴]. در پژوهش حاضر از شبکه‌های بیز برای مدل‌سازی وابستگی‌های بین ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن استفاده شده است. ابتدا برای تعیین کمیت آسیب‌پذیری، قابلیت بازیابی و تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن معیارهایی بر اساس پژوهش هاجسون و همکاران (۲۰۲۱) پیشنهاد می‌شود [۲۶] . معیار آسیب‌پذیری اجازه می‌دهد تا انتشار اختلال بین قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین واکسن اندازه‌گیری شود؛ درحالی‌که معیار قابلیت بازیابی، کاهش ریسک را در زمانی که قسمت‌های مختلف زنجیره تأمین واکسن به‌درستی و بدون شکست کار می‌کنند، محاسبه می‌کند؛ سپس تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن به‌عنوان نسبتی از قابلیت بازیابی به آسیب‌پذیری تعیین می‌شود. در پژوهش حاضر در یک روش منحصربه‌فرد و جامع، تاب‌آوری زنجیره تأمین مفهوم‌سازی و مدل‌سازی می‌شود که به‌نوبه خود می‌تواند برای کاهش ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن مورداستفاده قرار گیرد؛ بنابراین برای حل این شکاف در پژوهش حاضر ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ شناسایی می‌شود؛ سپس با استفاده از روش شبکه بیز روابط علّی و معلولی بین ریسک‌ها مشخص شده و درنهایت از طریق شاخص‌های

1. Chowdhury & Quaddus
2. Structural Equation Modeling (SEM)
3. Hodgson
4. Jovanović
5. Ocampo & Yamagishi

آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی به کمّی‌سازی و ارزیابی تاب‌آوری پرداخته خواهد شد. خلاصه نتایج بررسی مبانی نظری ارزیابی تاب‌آوری در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱. مبانی نظری ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین

پژوهشگر/ سال	شناسایی ریسک	تحلیل ریسک	مدل‌سازی ریسک زنجیره تأمین	مطالعه موردی واقعی	شاخص تاب‌آوری	روش ارزیابی
Cockburn & Tesfamariam, (2012)	✓	✓		✓		BNs
Häger & Andersen, (2010)	✓	✓		✓		BNs
Song et al., (2012)	✓	✓		✓		BNs
Henry & Ramirez-Marquez, (2012)	✓			✓	✓	-
Hosseini, et al., (2016)	✓	✓		✓		BNs
Jahani, et al., (2017)	✓	✓	✓	✓		SEM
Qazi et al., (2018)	✓	✓	✓	✓		BNs
Sakib, et al., (2021)	✓	✓	✓	✓		BNs
Alam, et al., (2021)	✓	✓	✓	✓		DEMATEL
Afzal, et al., (2021)	✓	✓	✓	✓		Fuzzy-ANP - BNs
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	BNs

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این بخش، فرآیند ارزیابی تاب‌آوری که شامل ۵ مرحله است، توضیح داده می‌شود:

فاز اول (شناسایی ریسک‌های احتمالی): شناسایی ریسک‌های بالقوه‌ای که می‌توانند بر عملکرد زنجیره تأمین واکسن اثرات منفی داشته باشند؛

فاز دوم (تعیین روابط علّی معلولی): روابط علّی معلولی بین متغیرها از طریق مطالعه مبانی نظری و مصاحبه با متخصصان دانشگاهی مشخص می‌شود؛
فاز سوم (کمّی‌سازی و ارزیابی تاب‌آوری): از رویکرد شبکه‌های بیز برای تیین کمّیت تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن استفاده می‌شود؛
فاز چهارم (تجزیه‌وتحلیل نتایج): تکنیک‌های مختلفی مانند شاخص تاب‌آوری و تجزیه‌وتحلیل حساسیت (ترگرهو گراف) برای به‌دست‌آوردن بینش‌های مدیریتی به‌کار گرفته می‌شود؛
فاز پنجم (توصیه‌هایی برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین): بر اساس تجزیه‌وتحلیل‌ها، توصیه‌های مختلفی در مورد چگونگی بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن ارائه می‌شود.

شبکه‌های بیز. قضیه بیز توسط آماردان انگلیسی «توماس بیز»[1] توسعه یافته است. قضیه بیز یکی از پایه‌های نظریه احتمال است ، که در رابطه زیر آمده است [۲۹].

$$P(H \mid E) = \frac{P(E \mid H) * P(H)}{P(E)}$$ رابطه (۱)

زیربنای یادگیری شبکه بیز را نظریه بیز تشکیل می‌دهد. این نظریه، امکان محاسبه احتمال ثانویه را بر مبنای احتمالات اولیه فراهم می‌آورد. شبکه بیز یک گرافیک غیرچرخه‌ای جهت‌دار است که وابستگی‌های احتمالی را ادغام کرده و باور احتمالی را بر اساس قانون بیز به‌روز می‌کند. شبکه بیز از مجموعه‌ای از متغیرها به نام گره تشکیل شده است که توسط یال‌هایی به هم متصل شده‌اند که وابستگی‌های علّی را نشان می‌دهند [۲۵، ۱۲].

روش جمع‌آوری داده‌ها. در این پژوهش، بعد از شناسایی ریسک‌های مرتبط با زنجیره تأمین واکسن، باید برای تعیین وابستگی بین ریسک‌ها، احتمال وقوع ریسک‌ها و میزان اهمیت هر ریسک بر ریسک هدف، از دانش متخصصان و خبره‌های دو حوزه دانشگاه و صنعت سلامت، به‌خصوص زنجیره تأمین واکسن، استفاده شود. نوع نمونه در این پژوهش، نمونه خبرگی (نظری) است و از روش گلوله برفی برای دستیابی به خبرگان استفاده شد. خبرگان نظرهای خود را در خصوص احتمال وقوع هر یک از عوامل ریسک و همچنین احتمال وقوع هر یک از پنج ریسک اصلی در صورت وقوع هر یک از عوامل ریسک بیان کردند. فهرستی از ۷ خبره بر اساس دانش آن‌ها در حوزه تاب‌آوری زنجیره تأمین، صنعت سلامت و زنجیره تأمین واکسن در جدول ۲، آورده شده است. با توجه به این جدول، خبره‌ها از همه حوزه‌های زنجیره تأمین واکسن مثل سازنده

1. Thomas Bayes

واکسن، خریدار واکسن و توزیع‌کننده واکسن هستند. علاوه بر این برای درک بهتر روابط علّی و معلولی بین ریسک‌ها با خبره‌های دانشگاهی نیز مصاحبه شده است.

جدول ۲. مشخصات خبرگان

خبره	نوع سازمان	عنوان شغل	تجربه کاری	نقش در زنجیره تأمین واکسن
P_1	صنعت دارویی	مدیرعامل	۱۸ سال	خریدار واکسن
P_2	صنعت دارویی	مدیر عملیاتی	۷ سال	خریدار واکسن
P_3	تأمین‌کننده مواد اولیه	مدیرعامل	۹ سال	سازنده واکسن
P_4	صنعت دارویی	مدیر فروش	۱۰ سال	توزیع‌کننده واکسن
P_5	صنعت سلامت	برنامه‌ریز تولید	۶ سال	توزیع‌کننده واکسن
P_6	دانشگاه	متخصص زنجیره تأمین	۱۸ سال	تاب‌آوری زنجیره تأمین
P_7	دانشگاه	متخصص زنجیره تأمین	۲۰ سال	تاب‌آوری زنجیره تأمین

شبکه ریسک زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹. در این پژوهش از مدل طبقه‌بندی ریسک پیشنهادشده توسط کریستوفر و پک[1] (۲۰۰۴)، برای ایجاد یک مدل طبقه‌بندی سازمان‌یافته جدید در زمینه زنجیره تأمین واکسن استفاده شده است. بر اساس این مدل، مرکز واکسیناسیون، منبع ریسک داخلی به‌شمار می‌رود. در این مرکز، ریسک فرایند و ریسک کنترل در جریان هستند. ریسک عرضه در ارتباط با تأمین‌کنندگان بوده و ریسک تقاضا مربوط به مصرف‌کنندگان نهایی است. ریسک محیطی نیز ریسک‌هایی را دربرمی‌گیرد که زنجیره تأمین واکسن با آن‌ها مواجهه است.

متغیرهای پژوهش. بر اساس مطالعه مبانی نظری، ریسک‌های مرتبط با زنجیره تأمین واکسن به‌صورت سیستماتیک شناسایی شده است که در جدول‌های ۳، ۴ و ۵، مشاهده می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Christopher & Peck

جدول ۳. فهرست ریسک‌های داخل مرکز واکسیناسیون در زنجیره تأمین واکسن

فهرست اصلی	کُد	ریسک‌ها	منبع
ریسک فرایند (PR)	PR_1	عدم‌ردیابی جمعیت واکسینه‌شده	[۲۷]
	PR_2	عدم‌استانداردسازی داده‌ها	[۷]
	PR_3	موجودی ناکافی واکسن	خبره‌ها
	PR_4	فاصله طولانی مرکز نگهداری واکسن و مرکز واکسیناسیون	[۵]
	PR_5	زمان طولانی سفارش تا دریافت واکسن	خبره‌ها
	PR_6	عدم‌همکاری و تسهیم دانش بین اعضای زنجیره تأمین واکسن	[۹]
	PR_7	عدم‌ردیابی مکان و موجودی واکسن	[۶]
	PR_8	فقدان فناوری اطلاعات مناسب	خبره‌ها
	PR_9	زیرساخت لجستیک و تسهیلات انبارداری ضعیف	[۱۷]
ریسک کنترل و برنامه‌ریزی (CR)	CR_1	عدم‌برنامه‌ریزی و زمان‌بندی مناسب	[۵]
	CR_2	تعارض بین منافع و اولویت‌های ذی‌نفعان	خبره‌ها
	CR_3	عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست	[۳۴]

جدول ۴. فهرست ریسک‌های داخل زنجیره تأمین و خارج از مراکز واکسیناسیون

فهرست اصلی	کد	ریسک‌ها	منبع
ریسک عرضه (SR)	SR_1	کارایی پایین واکسن	خبره‌ها
	SR_2	عدم‌دسترسی به مواد اولیه واکسن	خبره‌ها
	SR_3	عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن	خبره‌ها
	SR_4	فسادپذیری واکسن	[۴۰]
ریسک تقاضا (DR)	DR_1	عدم‌پیش‌بینی دقیق تقاضای واکسن	[۱۴]
	DR_2	شیوع غیرمنتظره بیماری	[۳۴]
	DR_3	نبود اطلاعات تقاضا برای واکسن	خبره‌ها

جدول ۵. فهرست ریسک‌های خارج از زنجیره تأمین

فهرست اصلی	کد	ریسک‌ها	منبع
ریسک محیطی (ER)	ER_1	نبود سازوکارهای تشویقی	خبره‌ها
	ER_2	عدم‌حمایت مالی برای خرید واکسن	[۳]
	ER_3	دخالت‌ها و سیاست‌های نادرست دولت	خبره‌ها
	ER_4	فقدان نهادهای نظارت بر واکسن	خبره‌ها
	ER_5	نبود بازاریابی کافی و مثبت برای واکسن	[۳]
	ER_6	عدم‌دسترسی به داوطلب برای آزمایش واکسن	[۴۰]
	ER_7	عدم‌تمایل مصرف‌کنندگان به واکسیناسیون	[۳۴]

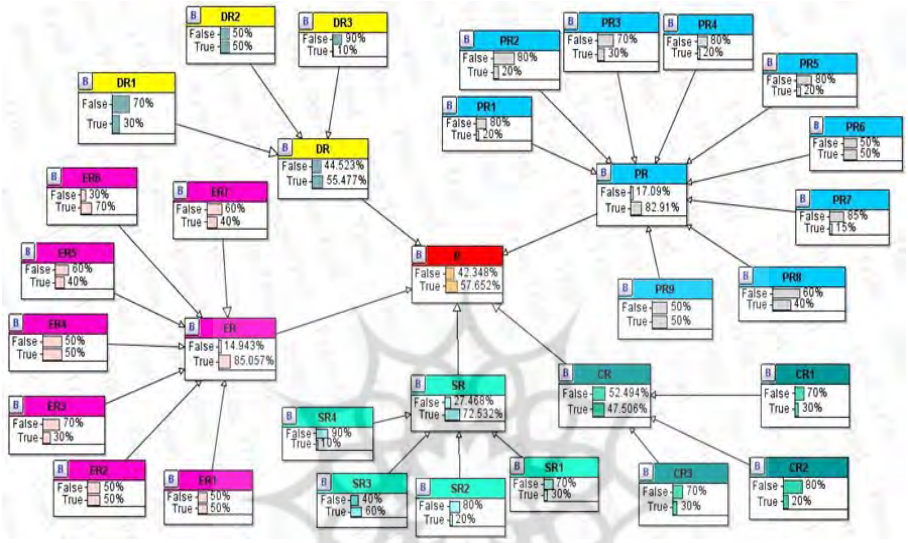
در این پژوهش برای ساخت جدول‌های احتمال شرطی از منطق بولی استفاده شد. این متغیرها دارای دو جواب True و False هستند که نشان‌دهنده نتایج مثبت و منفی است. یادآوری این نکته لازم است که True در پژوهش حاضر نشان‌دهنده حالت اختلال است.

در مسئله پژوهش حاضر ۲۶ مورد ریسک مرتبط با واکسن کووید-۱۹ ذکر شده است که در جدول ۶، نتایج گردآوری اطلاعات احتمال وقوع و عدم‌وقوع ریسک‌ها که از طریق خبرگان به‌دست آمده ارائه شده است. برای مثال، ریسک عدم‌ردیابی جمعیت واکسینه‌شده: ۲۰ درصد احتمال دارد که مراکز سلامت نتوانند افرادی که واکسن زده‌اند را ردیابی کنند (True=%20)، ۸۰ درصد احتمال دارد که جمعیت واکسینه‌شده قابل‌ردیابی باشند (False=%80). در پژوهش حاضر برای محاسبه احتمال حاشیه‌ای از روش noisy_OR استفاده شده است که دارای کارایی محاسباتی بالایی است. در این روش، n_i احتمال اختلال گره (parent) است در صورتی که فقط ریسک (Child) i رخ دهد. برای مثال، وزن ریسک ردیابی جمعیت واکسینه‌شده به مقدار ۱۰ درصد در احتمال رخداد ریسک فرایند نقش دارند. در ادامه مقدار وزن گره‌ها که از طریق مصاحبه با خبرگان جمع‌آوری‌شده است در جدول ۶، مشاهده می‌شود.

جدول ۶. فهرست ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن به همراه درصد احتمال وقوع و وزن ریسک‌ها

کُد ریسک‌ها	P(True درصد)	n_i	کُد ریسک‌ها	P(True درصد)	n_i
PR	–	۱۳	ER1	۵۰	۳۰
PR1	۲۰	۱۰	ER2	۵۰	۸۰
PR2	۲۰	۲۰	ER3	۳۰	۵۰
PR3	۳۰	۳۰	ER4	۵۰	۷۰
PR4	۲۰	۱۰	ER5	۴۰	۳۰
PR5	۲۰	۶۰	ER6	۷۰	۱۰
PR6	۵۰	۸۰	ER7	۴۰	۷۰
PR7	۱۵	۴۰	DR	–	۲۰
PR8	۴۰	۶۰	DR1	۳۰	۵۰
PR9	۵۰	۸۰	DR2	۵۰	۸۰
SR	–	۳۰	DR3	۱۰	۳۰
SR1	۳۰	۸۰	CR	–	۱۲
SR2	۲۰	۵۰	CR1	۳۰	۵۰
SR3	۶۰	۹۰	CR2	۲۰	۳۰
SR4	۱۰	۳۰	CR3	۳۰	۹۰
ER	–	۲۰	-	–	–

مدل شبکه بیز. همان‌طور که گفته شد، شبکه‌های بیز شبکه‌های جهت‌دار غیرچرخه‌ای با مجموعه‌ای از یال‌ها و گره‌ها هستند. یک منبع جریان ریسک را با استفاده از شبکه‌های بیز می‌توان مدل کرد که در آن هر گره نشان‌دهنده ریسک‌های مختل‌کننده زنجیره تأمین واکسن است و جهت یال‌ها جریان ریسک‌ها را نشان می‌دهد. رابطه $q \rightarrow r$ جهت جریان ریسک را از q به سمت r نشان می‌دهد؛ همچنین نشان می‌دهد که با وقوع ریسک q ریسک r نیز دچار اختلال می‌شود؛ زیرا ریسک q علت به‌وجودآمدن ریسک r است. مدل شبکه‌های بیز پژوهش حاضر در شکل ۲، مشاهده می‌شود.



شکل ۲. مدل اولیه در AgenaRisk

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

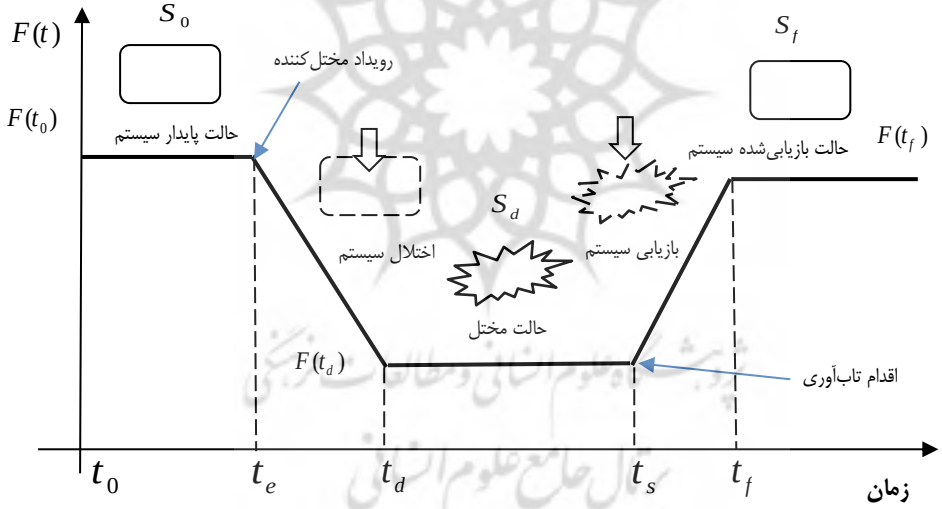
در پژوهش حاضر از نرم‌افزار AgenaRisk10 برای اجرا و محاسبات مدل استفاده شده است. از این نرم‌افزار برای مدل‌سازی انواع ریسک و عدم‌قطعیت ازجمله ریسک عملیاتی، ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم‌ها، ریسک سلامت، ریسک امنیت سایبری و برنامه مالی استراتژیک استفاده می‌شود.

مدل مسئله. در این بخش، اطلاعات جمع‌آوری‌شده و تأییدشده توسط خبرگان، وارد نرم‌افزار می‌شود. نرم‌افزار با به‌روزرسانی داده‌ها احتمال وقوع ریسک هر یک از گره‌های میانی و گره پایانی را محاسبه می‌کند که در شکل ۲، قابل‌مشاهده است. طبق این شکل احتمال وقوع ریسک تقاضا ۵۵/۴۷۷ درصد، احتمال وقوع ریسک عرضه ۷۲/۵۳۵ درصد، احتمال وقوع ریسک فرایند

۸۲/۹۱ درصد، احتمال وقوع ریسک کنترل ۴۷/۵۰۶ درصد و احتمال وقوع ریسک زنجیره تأمین واکسن ۵۷/۶۵۲ درصد است. به‌احتمال وقوع ریسک زنجیره تأمین واکسن (گره نهایی)، «احتمال اختلال حاشیه‌ای» می‌گویند که با F_R نشان داده می‌شود. F_R احتمال اختلال زنجیره تأمین در شرایط عادی (نرمال) را نشان می‌دهد.

کمّی‌سازی تاب‌آوری. برای کمّی‌سازی تاب‌آوری یک سیستم، معیاری توسط هنری و رامیرز-مارکوز[1] (۲۰۱۲)، معرفی شده اشت که به‌صورت $\mathbf{Я}(t)$ نشان داده می‌شود. این معیار به‌صورت نسبت Recovery به Loss (بازیابی به خسارت) با توجه به رویداد مخرب e_j محاسبه می‌شود که در ادامه تشریح خواهد شد.

عملکرد سیستم در زمان t با $F(t)$ در شکل ۳، نشان داده شده است. در این مدل از سه حالت انتقال استفاده‌شده است: ۱. حالت پایدار[2] (S_0) که در آن سیستم به‌طور معمول در زمان t_0 قبل از وقوع اختلال عمل می‌کند؛ ۲. حالت آسیب‌پذیری[3] (S_d) که در آن سیستم تحت تأثیر رویداد مخرب نوع j (e_j) که در زمان t_e رخ می‌دهد قرار می‌گیرد و عملکرد به‌تدریج به $F(t_d)$ در زمان t_d کاهش می‌یابد و ۳. حالت بازیابی[4] (S_f)، جایی که فعالیت بازیابی در زمان t_s آغاز می‌شود و عملکرد سرویس سیستم از $F(t_d)$ به $F(t_f)$ در زمان t_f افزایش می‌یابد.



شکل ۳. عملکرد سیستم و انتقال حالت برای توصیف تاب‌آوری سیستم [۲۶]

1. Henry & Ramirez-Marquez
2. steady state
3. the vulnerability state
4 the recoverability state

تاب‌آوری به‌عنوان نسبت Recovery به Loss اندازه‌گیری می‌شود که در رابطه ۲، نشان داده شده است.

$$\text{Я}(t \mid e_j) \quad \frac{F(t_f \mid e_j) - F(t_d \mid e_j)}{F(t_0) - F(t_d \mid e_j)}$$ رابطه (۲)

اگر سطح بازیابی (Recovery) کمتر از سطح آسیب (Loss) باشد، معیار تاب‌آوری می‌تواند کمتر از ۱۰۰ درصد باشد، اگر سطح بازیابی دقیقاً برابر با سطح آسیب باشد، می‌تواند برابر با ۱۰۰ درصد باشد و اگر سطح بازیابی بیشتر از سطح خسارت باشد، معیار تاب‌آوری می‌تواند بیشتر از ۱۰۰ درصد باشد.

تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن در این پژوهش به‌عنوان تابعی از آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی آن در زمان وقوع هر یک از ریسک‌ها، اندازه‌گیری می‌شود. فرض کنید $\text{Я}_{R|X_i}$ تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن مربوط به عامل ریسک X_i را نشان دهد و $V_{R|\overline{X}_i}$ و $R_{R|X_i}$ به‌ترتیب شاخص‌های آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی زنجیره تأمین واکسن را با توجه وقوع عامل ریسک X_i را نشان دهند؛ سپس $\text{Я}_{R|X_i}$ به‌عنوان تابعی از $V_{R|\overline{X}_i}$ و $R_{R|X_i}$ بیان می‌شود.

شاخص آسیب‌پذیری[1] $V_{R|X_i}$، درصد افزایش خطر اختلال در زنجیره تأمین واکسن (احتمال اختلال حاشیه‌ای) زمانی که ریسک i رخ دهد، نسبت به شرایط عادی را نشان می‌دهد که از رابطه ۳، محاسبه می‌شود.

$$V_{R|\overline{X}_i} - \left(F_R(\overline{X}_i) - F_R\right)$$ رابطه (۳)

قابلیت بازیابی به‌صورت توانایی یک سیستم برای بازیابی پس از وقوع یک اختلال تعریف می‌شود. شاخص قابلیت بازیابی[2] $R_{R|X_i}$، درصد کاهش اختلال در گره هدف را زمانی که ریسک i بهبود یابد، نشان می‌دهد. رابطه ۴، بیان ریاضی این شاخص است.

$$R_{R|X_i} - \left(F_R - F_R(X_i)\right)$$ رابطه (۴)

1. Vulnerability
2. Recoverability

برای محاسبه $F_R(\bar{X}_i)$ احتمال وقوع ریسک‌ها (X_i)، ۱۰۰ درصد تنظیم می‌شود که احتمال حاشیه‌ای اختلال زنجیره تأمین واکسن در هنگام وقوع ریسک i را نشان می‌دهد؛ همچنین $F_R(X_i)$ احتمال حاشیه‌ای اختلال زنجیره تأمین واکسن در هنگام رخ‌ندادن ریسک i است. مقدار تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن مربوط به ریسک i برابر با نسبت شاخص‌های قابلیت بازیابی و آسیب‌پذیری به شرح رابطه ۵، است.

$$\mathbf{Я}_{R|X_i} = \frac{R_{R|X_i}}{V_{\bar{R}|X_i}} = \frac{\left(F_R - F_R(X_i)\right)}{\left(F_R(\bar{X}_i) - F_R\right)}$$ رابطه (۵)

با تنظیم سناریو بله و خیر برای ریسک‌ها، مقدار قابلیت بازیابی، آسیب‌پذیری و تاب‌آوری محاسبه شده و نتایج در جدول ۷، آورده شده است. هرچقدر مقدار تاب‌آوری برای یک عامل ریسک بزرگ‌تر باشد، به‌معنای تأثیر بالای این عامل در تاب‌آوری زنجیره تأمین است؛ زیرا بازیابی این شاخص به برگشت‌پذیری زنجیره تأمین به عملکرد سابق خود بیشتر کمک می‌کند. در مورد آسیب‌پذیری، ریسک‌های DR_2، SR_3 و SR_1 با مقادیر ۳/۶۴۹، ۳/۴۹۱ و ۳/۲۸۷، درصد وقوع به‌ترتیب آسیب‌پذیری بالایی دارند. به‌عبارت بهتر زنجیره تأمین واکسن در برابر وقوع ریسک‌های شیوع غیرمنتظره بیماری، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن و کارایی پایین واکسن با احتمال بیشتری دچار اختلال می‌شود. از طرفی زنجیره تأمین واکسن در مقابل ریسک‌های ER_6 و PR_1 با مقادیر ۰/۰۵ و ۰/۰۷۹ درصد، کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارد؛ به‌عبارتی آسیب‌پذیری زنجیره تأمین واکسن در برابر ریسک‌های عدم‌دسترسی به داوطلب برای آزمایش واکسن و عدم‌ردیابی جمعیت واکسینه‌شده کمتر است.

قابلیت بازیابی ریسک SR_3 و DR_2 به‌ترتیب ۵/۲۳۵ و ۳/۶۴۸ درصد به‌دست آمد که از سایر ریسک‌ها بیشتر است؛ یعنی توانایی زنجیره تأمین واکسن برای بازیابی ریسک عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن و ریسک شیوع بیماری غیرمنتظره بیماری بالاتر از سایر ریسک‌ها است؛ به‌عبارت‌دیگر قابلیت سیستم برای بهبود در مقابل عدم‌وقوع این ریسک‌ها بالاتر است. زنجیره تأمین واکسن در مقابل عدم‌وقوع ریسک‌های PR_1، PR_4 و PR_2 به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۲۱ و ۰/۰۲۱ و ۰/۰۴۴ درصد، کمترین مقدار قابلیت بازیابی را دارد؛ یعنی سیستم دارای قابلیت پایینی برای بهبود ریسک‌های ردیابی جمعیت واکسینه‌شده، فاصله طولانی مرکز نگهداری واکسن و مرکز واکسیناسیون و عدم‌استانداردسازی داده‌ها است.

تاب‌آوری ریسک‌های ER_6 و SR_3 بیشتر از یک است؛ این امر بیشتربودن قابلیت بازیابی را نسبت به آسیب‌پذیری نشان می‌دهد؛ به بیان دیگر ریسک‌های عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان

واکسن و عدم‌دسترسی به داوطلب برای آزمایش واکسن توانایی بهبود بالاتر و درنتیجه تأثیر بیشتری بر تاب‌آوری دارند. تاب‌آوری ریسک‌های نبود مکانیسم‌های تشویقی، زیرساخت لجستیک و تسهیلات انبارداری ضعیف و عدم‌همکاری و تسهیم دانش بین اعضای زنجیره تأمین واکسن، برابر با یک است؛ به‌عبارت‌دیگر آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی این ریسک‌ها با هم برابر است. تاب‌آوری ریسک‌های DR_3، SR_4 و PR_7 نسبت به سایر ریسک‌ها پایین است؛ یعنی ریسک‌های نبود اطلاعات تقاضا برای واکسن، فسادپذیری واکسن و عدم‌ردیابی مکان و موجودی و شرایط نگهداری واکسن آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به بازیابی دارند و درنتیجه تأثیر آن‌ها بر تاب‌آوری کمتر است.

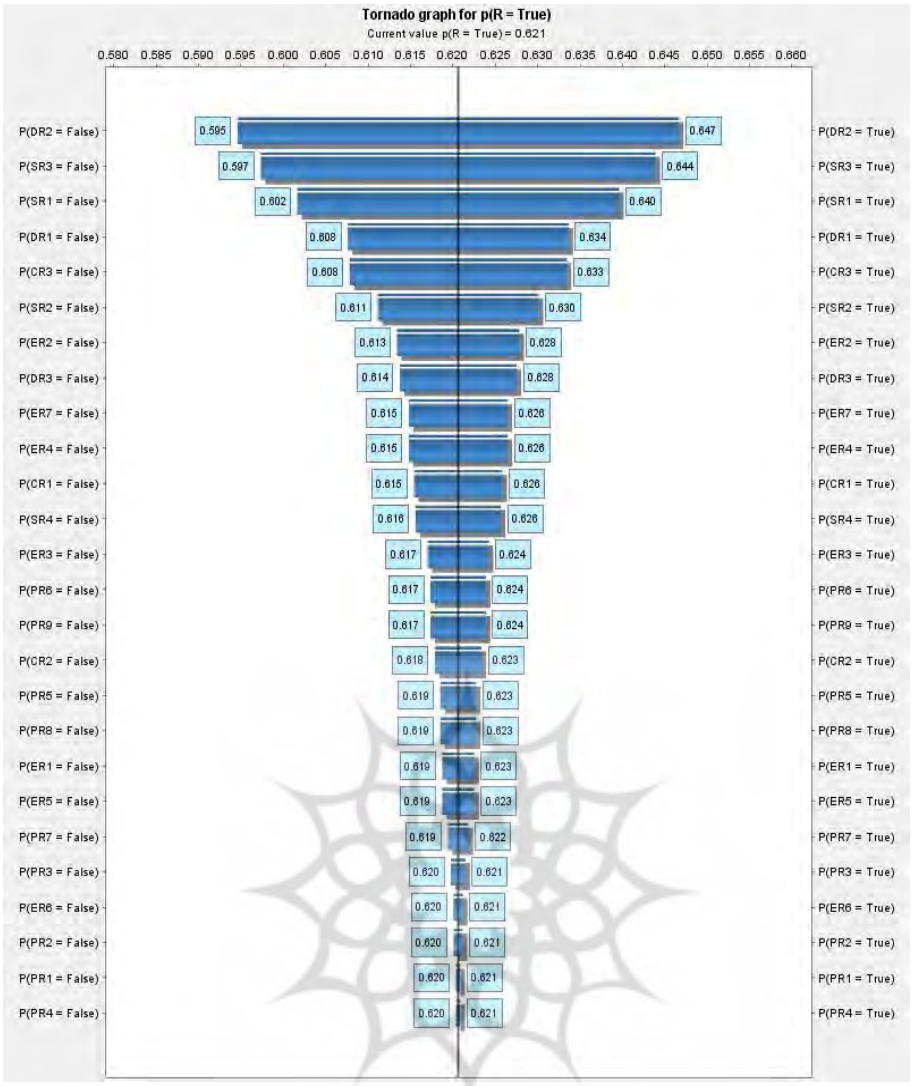
جدول ۷. شاخص‌های آسیب‌پذیری، قابلیت بازیابی و تاب‌آوری (اعداد به درصد است)

ریسک	آسیب‌پذیری	قابلیت بازیابی	تاب‌آوری
PR7	۰ $F_R(\bar{X}_{PR_7}) = F_R =$ /۳۸۲	۰ $F_R = F_R(X_{PR_7}) =$ /۰۶۷	۱۷۵/۵
PR8	۰ $F_R(\bar{X}_{PR_8}) = F_R =$ /۵	۰ $F_R = F_R(X_{PR_8}) =$ /۳۳۳	۶۶/۶
PR9	۰ $F_R(\bar{X}_{PR_9})$ F_R /۷۰۳	۰ $F_R = F_R(X_{PR_9}) =$ /۷۰۳	۱۰۰
CR1	۱ $F_R(\bar{X}_{CR_1}) = F_R =$ /۱۶۵	۰ $F_R = F_R(X_{CR_1}) =$ /۴۹۹	۴۲/۸
CR2	۰ $F_R(\bar{X}_{CR_2}) = F_R =$ /۷۲۳	۰ F_R : $F_R(X_{CR_2})$: /۱۸	۲۴/۹
CR3	۲ $F_R(\bar{X}_{CR_3}))$ $F_R)$ /۴۴۲	۱ F_R μ $F_R(X_{CR_3})$ μ /۰۴۶	۴۲/۸
SR1	۳ $F_R(\bar{X}_{SR_1})$ λ F_R λ /۲۸۷	۱ F_R 1 $F_R(X_{SR_1})$ 1 /۴۰۸	۴۲/۸
SR2	۱ $F_R(\bar{X}_{SR_2}) = F_R =$ /۹۸۳	۰ $F_R = F_R(X_{SR_2}) =$ /۴۹۵	۲۴/۹
SR3	۳ $F_R(\bar{X}_{SR_3}) = F_R =$ /۴۹۱	۵ $F_R = F_R(X_{SR_3}) =$ /۲۳۵	۱۴۹
SR4	۱ $F_R(\bar{X}_{SR_4})$ ι F_R ι /۲۴۲	۰ $F_R = F_R(X_{SR_4}) =$ /۱۳۸	۱۱
DR1	۲ $F_R(\bar{X}_{DR_1}) = F_R =$ /۲۵۴	۰ F_R σ $F_R(X_{DR_1})$ σ /۹۶۵	۴۲/۸
DR2	۳ $F_R(\bar{X}_{DR_2}) = F_R =$ /۶۴۹	۳ $F_R = F_R(X_{DR_2}) =$ /۶۴۸	۹۹/۹
DR3	۱ $F_R(\bar{X}_{DR_3}) = F_R =$ /۵۲۴	۰ $F_R = F_R(X_{DR_3}) =$ /۱۶۹	۱۱
ER1	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_1}) = F_R =$ /۲۶۹	۰ $F_R = F_R(X_{ER_1}) =$ /۲۶۹	۱۰۰
ER2	۱ $F_R(\bar{X}_{ER_2}) = F_R =$ /۰۱۷	۱ $F_R = F_R(X_{ER_2}) =$ /۰۱۶	۹۹/۹
ER3	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_3}) = F_R =$ /۶۲۸	۰ $F_R = F_R(X_{ER_3}) =$ /۲۶۹	۴۲/۸
ER4	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_4}) = F_R =$ /۸۲۲	۰ $F_R = F_R(X_{ER_4}) =$ /۸۲۱	۹۹/۸
ER5	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_5}) = F_R =$ /۳۱۲	۰ $F_R = F_R(X_{ER_5}) =$ /۲۰۸	۶۶/۶
ER6	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_6}) = F_R =$ /۰۵	۰ $F_R = F_R(X_{ER_6}) =$ /۱۱۴	۲۲۸
ER7	۰ $F_R(\bar{X}_{ER_7}) = F_R =$ /۸۹	۰ $F_R = F_R(X_{ER_7}) =$ /۵۹۳	۶۶/۶

تحلیل حساسیت. تجزیه‌وتحلیل حساسیت یک ابزار اعتبارسنجی است که تأثیر عوامل علّی را بر نتیجه گره هدف تحت مجموعه‌ای از مفروضات ارزیابی می‌کند. به‌طورکلی تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که چگونه منابع مختلف عدم‌قطعیت به عدم‌قطعیت کلی مدل پایه کمک می‌کند. تحلیل حساسیت درک جامعی از نتایج احتمالی آینده بسته به داده‌های موجود ارائه می‌دهد. در مطالعه حاضر هدف، شناسایی اهمیت نسبی گره‌هایی است که بر احتمال ریسک زنجیره تأمین واکسن اثر می‌گذارند.

در حالت گسسته، تحلیل حساسیت شامل شناسایی یک گره هدف (R)، گرهی که حساسیت آن ارزیابی می‌شود و مجموعه گره‌های منبع X_i که از نظر اثرات مشترک یا تکی، روی گره هدف ارزیابی می‌شود، است. برای به‌دست‌آوردن بینش بیشتر در مورد عملکرد و وضعیت‌های اختلال ریسک زنجیره تأمین واکسن، تحلیل حساسیت روی وضعیت زنجیره تأمین واکسن با توجه به هر ریسک انجام شده که نتایج آن در شکل ۴ که به نمودار Tornado معرف است، مشاهده می‌شود. از منظر بصری، طول میله‌های مربوط به هر ریسک در این جدول را می‌توان به‌عنوان معیاری از تأثیر ریسک‌ها بر گره هدف در نظر گرفت. احتمال اختلال زنجیره تأمین واکسن با توجه به ریسک DR_2 (شیوع غیرمنتظره بیماری)، از ۰/۵۹۵ (در صورت رخ‌ندادن ریسک DR_2)، به ۰/۶۴۷ (در صورت رخ‌دادن ریسک DR_2)، رسیده است. این محدوده (از ۰/۵۹۵ تا ۰/۶۴۷) دقیقاً همان میله‌های افقی است که در نمودار Tornado رسم شده است. نوار عمودی در نمودار، احتمال نهایی برای رخ‌دادن ریسک زنجیره تأمین واکسن را نشان می‌دهد که برابر با ۰/۶۲۱ است. بر اساس خروجی‌های به‌دست‌آمده در نمودار Tornado، ریسک‌های شیوع غیرمنتظره بیماری، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن، کارایی پایین واکسن در برابر گونه‌های مختلف، عدم‌پیش‌بینی دقیق تقاضای واکسن و عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست، به‌ترتیب ریسک‌هایی هستند که با احتمال بالایی به اختلال در زنجیره تأمین واکسن منجر می‌شوند. این عوامل در مقایسه با دنیای واقعی قابل‌قبول است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۴. نمودار تندباد گره هدف برای R=true با توجه به گره‌های Xi

بینش‌های مدیریتی. این پژوهش به سیاست‌گذاران و مدیران بخش سلامت کمک می‌کند تا با درک کامل اختلالات موجود در ریسک زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹، ریسک‌های کم‌اهمیت و پراهمیت را شناسایی کنند؛ بنابراین ضروری است مدیران به ریسک‌های شیوع غیرمنتظره بیماری و عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن توجه بیشتری نشان دهند.

این مطالعه پیامدهای مهمی برای مدیران و سیاست‌گذاران به همراه دارد. با درک کامل ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹، مدیران، سیاست‌گذاران و دولت‌ها قادر خواهند بود تعریف کنند که به کدام ریسک‌ها می‌توان کمتر توجه کرد و کدام ریسک‌ها به توجه بیشتری نیاز

دارند. تعیین ریسک‌های تأثیرگذار بر تاب‌آوری به تصمیم‌گیرندگان کلیدی در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ کمک می‌کند تا منابع و سرمایه‌گذاری‌های مالی لازم را به‌درستی تخصیص دهند. روش شبکه‌های بیز اولویت ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را تعیین می‌کند و از این طریق چارچوب تصمیم‌گیری جامعی را در اختیار مدیران قرار می‌دهد. تصمیم‌گیرندگان می‌توانند این ریسک‌ها را با انجام تحلیل حساسیت رتبه‌بندی کنند. شاخص آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا تأثیر وقوع و برطرف‌کردن هر یک از ریسک‌ها را بر عملکرد زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ پیدا کنند؛ بنابراین تصمیم‌گیری در خصوص تمرکز روی عوامل ریسک را آسان می‌سازد. سیاست‌گذاران می‌توانند با شناسایی تأثیرات هر یک از عوامل ریسک زنجیره تأمین واکسن بر روی تاب‌آوری، به‌طور مؤثر تصمیمات استراتژیک خود را اتخاذ کنند.

درحالی‌که هر ریسکی باید برای اجرای موفقیت‌آمیز زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ مدیریت شود، اولویت‌بندی آن‌ها به مدیران کمک می‌کند تا ابتدا با مهم‌ترین آن‌ها مقابله کنند؛ بنابراین مدیرانی که با زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ سروکار دارند، باید برای غلبه بر ریسک‌های مهم‌تر مانند شیوع غیرمنتظره بیماری، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن، کارایی پایین واکسن در برابر گونه‌های مختلف، عدم‌پیش‌بینی دقیق تقاضای واکسن و عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست تلاش کنند.

شکست در غلبه بر ریسک‌های شناسایی‌شده می‌تواند عواقب شدیدی داشته باشد که برخی از آن‌ها قبلاً توسط کشورهای مختلف تجربه شده است. برای مثال، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن کووید-۱۹ قبلاً باعث اختلال شدید در عرضه واکسن در ایران شده است. شیوع گونه‌های جدید کووید-۱۹ مهم‌ترین ریسکی است که می‌تواند تحت کنترل سیاست‌گذاران قرار گیرد. در این پژوهش، عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست به‌عنوان چهارمین چالش مهم رتبه‌بندی شده است. اگرچه عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست یک چالش کلیدی با رتبه پنجم است، اما می‌تواند بر کارایی واکسن تأثیر بگذارد و به‌نوبه خود می‌تواند مانعی برای واکسیناسیون کامل جمعیت باشد. این بدان معنا است که مدیران در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ باید به‌طور سیستماتیک بر هر یک از ریسک‌های شناسایی‌شده توسط این مطالعه برای اجرای موفقیت‌آمیز واکسیناسیون کل جمعیت جهان غلبه کنند. راه‌حل‌های کم‌هزینه و انعطاف‌پذیر مانند افزایش انجام آزمایش و کنترل مسافران خارجی در فرودگاه‌ها و ترغیب مردم به رعایت فاصله اجتماعی و استفاده از ماسک می‌تواند مانع از شیوع غیرمنتظره بیماری کووید-۱۹ و درنتیجه موفقیت برنامه‌های ایمنی‌سازی شود. غلبه بر چالش عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان در ایران مستلزم تلاش و مشارکت فعال دولت و واردکنندگان واکسن و تخصیص بودجه برای واردات واکسن است. دردسترس‌بودن واکسن‌های با کارایی بالا از شرکت‌های مطرح

تولیدکننده جهانی، سطح پذیرش و ایمن‌سازی واکسیناسیون را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد و حتی واکسن را برای کشور مقرون به‌صرفه‌تر می‌کند. سرمایه‌گذاری در فناوری اطلاعات برای پیش‌بینی دقیق تقاضا می‌تواند باعث بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن شود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر یک مدل شبکه بیز برای پیش‌بینی اختلالات و آسیب‌پذیری زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ در ایران پیشنهاد شده است. در مدل پژوهش برای کمّی‌سازی تاب‌آوری از معیار جدیدی بهره گرفته شد. در این معیار، تاب‌آوری به‌عنوان تابعی از آسیب‌پذیری و قابلیت بازیابی هر یک از ریسک‌ها با استفاده از شبکه بیز و با درنظرگرفتن انتشار اختلال، سنجیده می‌شود. اندازه‌گیری تاب‌آوری به این صورت می‌تواند اثر موجی انتشار اختلال ریسک را در سراسر شبکه تأمین از طریق ویژگی استنتاج علّی شبکه‌های بیز به تصویر بکشد. پس از مرور مبانی نظری و درنظرگرفتن دیدگاه خبرگان، ۵ ریسک اصلی تأثیرگذار بر زنجیره تأمین واکسن شناسایی شد که هر یک ریسک‌های فرعی خاص خود را دارند. نتایج این پژوهش به مدیران، سیاست‌گذاران و دولت کمک می‌کند تا با درک کامل اختلالات موجود در زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹، ریسک‌های کم‌اهمیت و پراهمیت را شناسایی کنند. طبق نتایج پژوهش، ضروری است مدیران به‌ترتیب به ریسک‌های شیوع غیرمنتظره بیماری، عدم‌دسترسی به تأمین‌کنندگان واکسن، کارایی پایین واکسن در برابر گونه‌های مختلف، عدم‌پیش‌بینی دقیق تقاضای واکسن و عدم‌موفقیت در انتخاب تأمین‌کنندگان درست توجه بیشتری نشان دهند. پژوهش حاضر به‌صراحت اجازه می‌دهد تا ریسک‌های پرخطر کشف شوند تا توصیه‌هایی برای تصمیم‌گیری بهتر ارائه شود. چگونگی ارزیابی تاب‌آوری در این پژوهش می‌تواند توسط مدیران برای کاهش تأثیر ریسک اختلال و افزایش تاب‌آوری در زنجیره تأمین واکسن در برابر اختلالات، مورداستفاده قرار گیرد.

در این پژوهش به‌طور دقیق به بررسی استراتژی‌های کاهنده اثرات ریسک‌ها پرداخته نشده است. برای این منظور پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی استراتژی‌های مرتبط با بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین واکسن بررسی شود. برای دسترسی به ریسک‌های مؤثر بر زنجیره تأمین واکسن از مبانی نظری پژوهش‌های پیشین و مصاحبه با خبرگان استفاده شده است. پژوهشگران می‌توانند از طریق مصاحبه و پرسشنامه، فهرست جامع‌تری از ریسک‌های زنجیره تأمین واکسن را تهیه کنند تا به مدیران برای بهبود هر چه‌بهتر زنجیره تأمین واکسن کمک کنند. در این مطالعه برای یافتن ارتباط بین ریسک‌ها فقط به نظر خبرگان اکتفا شده است؛ بنابراین پژوهشگران آتی می‌توانند از روش‌های ساختاردهی به مسئله، نظیر ISM و DEMATEL برای

پی‌بردن به ارتباط بین ریسک‌ها استفاده کنند؛ همچنین از رویکردهای مختلف MCDM برای اولویت‌بندی ریسک‌ها می‌توان در مطالعات آینده استفاده کرد.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Abbasi, B., Fadaki, M., Kokshagina, O., Saeed, N., & Chhetri, P. (2020). Modeling vaccine allocations in the covid-19 pandemic: A case study in australia. *Available at SSRN 37445*
2. Afzal, F., Yousaf, S. U., Usman, B., Afzal, F., & Ikram, A. (2021). Risk Propagation in Healthcare Supply Chain: The implications of Fuzzy-ANP and Bayesian Inference. *Academic Journal of Social Sciences (AJSS), 5(1),* 162-192.
3. Alam, S. T., Ahmed, S., Ali, S. M., Sarker, S., & Kabir, G. (2021). Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: Implications for sustainable development goals. *International Journal of Production Economics*, *239*, 108193.
4. Aljadir, A., & Alnemsh, M. (2020). Exploration of the COVID-19 pandemic in relation to the healthcare industry Supply Chain.
5. Antal, C., Cioara, T., Antal, M., & Anghel, I. (2021). Blockchain platform for COVID-19 vaccine supply management. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, *2*, 164-178.
6. Bozorgi, A., & Fahimnia, B. (2021). Transforming the vaccine supply chain in Australia: Opportunities and challenges. *Vaccine, 39(41),* 6157–6165.
7. Breen, L. (2008). A preliminary examination of risk in the pharmaceutical supply chain (PSC) in the national health service (NHS).
8. Chai, J., & Ngai, E. W. (2015). Multi-perspective strategic supplier selection in uncertain environments. *International Journal of Production Economics*, *166*, 215-225.
9. Chandra, D., & Kumar, D. (2021). Evaluating the effect of key performance indicators of vaccine supply chain on sustainable development of mission indradhanush: A structural equation modeling approach. *Omega*, *101*, 102258.
10. Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain.
11. Clauson, K. A., Breeden, E. A., Davidson, C., & Mackey, T. K. (2018). Leveraging Blockchain Technology to Enhance Supply Chain Management in Healthcare: An exploration of challenges and opportunities in the health supply chain. *Blockchain in healthcare today*, *1(1), 1–12.*
12. Cockburn, G., & Tesfamariam, S. (2012). Earthquake disaster risk index for Canadian cities using Bayesian belief networks. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, *6(2),* 128-140.
13. Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. (2017). Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, *188*, 185-204.
14. Dizbay, İ. E., & Öztürkoğlu, Ö. (2021). Determining significant factors affecting vaccine demand and factor relationships using fuzzy DEMATEL method. In *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions: Proceedings of the INFUS 2020 Conference, Istanbul, Turkey, July 21-23, 2020* (pp. 682-689). Springer International Publishing.
15. Dungu, B. (2020). The role of vaccine banks in resilience, response and recovery in respect of animal diseases. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, *39(2),* 543-550.
16. Duijzer, L. E., Van Jaarsveld, W., & Dekker, R. (2018). Literature review: The vaccine supply chain. *European Journal of Operational Research*, *268(1),* 174-192.

17. Enyinda, C. I., Gebremikael, F., & Ogbuehi, A. O. (2014). An analytical model for healthcare supply chain risk management. *African Journal of Business and Economic Research, 9(1),* 13-27.
18. Fenton, N., & Neil, M. (2018). *Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks*. Crc Press.
19. Guttieres, D., Sinskey, A. J., & Springs, S. L. (2021). Modeling framework to evaluate vaccine strategies against the COVID-19 pandemic. *Systems, 9(1),* 4.
20. Golan, M. S., Trump, B. D., Cegan, J. C., & Linkov, I. (2021). Supply chain resilience for vaccines: review of modeling approaches in the context of the COVID-19 pandemic. *Industrial Management & Data Systems*, *121*(7), 1723-1748.
21. Govindan, K., Mina, H., & Alavi, B. (2020). A decision support system for demand management in healthcare supply chains considering the epidemic outbreaks: A case study of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *138*, 101967.
22. Hänninen, M., Banda, O. A. V., & Kujala, P. (2014). Bayesian network model of maritime safety management. *Expert Systems with Applications, 41(17),* 7837-7846.
23. Hosseini, S., Al Khaled, A., & Sarder, M. D. (2016). A general framework for assessing system resilience using Bayesian networks: A case study of sulfuric acid manufacturer. *Journal of Manufacturing Systems*, *41*, 211-227.
24. Häger, D., & Andersen, L. B. (2010). A knowledge based approach to loss severity assessment in financial institutions using Bayesian networks and loss determinants. *European Journal of Operational Research*, *207*(3), 1635-1644.
25. Henry, D., & Ramirez-Marquez, J. E. (2012). Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time. *Reliability Engineering & System Safety*, *99*, 114-122.
26. Hodgson, S. H., Mansatta, K., Mallett, G., Harris, V., Emary, K. R., & Pollard, A. J. (2021). What defines an efficacious COVID-19 vaccine? A review of the challenges assessing the clinical efficacy of vaccines against SARS-CoV-2. *The lancet infectious diseases, 21(2),* e26-e35.
27. Hajian Heidary, M., & Mirzaaliyan, M. (2022). Supply Chain Resilience Analysis Considering Disruption in the Natural Stone Industry Using a Discrete-Event Simulation Approach. *The Journal of Industrial Management Perspective, 12(4),* 97-129. (In Persian).
28. Jensen, F. V., & Nielsen, T. D. (2007). *Bayesian networks and decision graphs* (Vol. 2). New York: Springer.
29. Jahani, M., Moghbel Baarz, A., & Azar, A. (2017). Designing a Model for the Measurement of Supply Chain Resilience through SEM Approach. *The Journal of Industrial Management Perspective, 7(1),* 91-114. (In Persian).
30. Jovanović, A., Klimek, P., Renn, O., Schneider, R., Øien, K., Brown, J., ... & Chhantyal, P. (2020). Assessing resilience of healthcare infrastructure exposed to COVID-19: emerging risks, resilience indicators, interdependencies and international standards. *Environment Systems and Decisions*, *40*, 252-286.
31. Käki, A., Salo, A., & Talluri, S. (2015). Disruptions in supply networks: A probabilistic risk assessment approach. *Journal of Business Logistics, 36(3),* 273-287.

32. Khakzad, N. (2015). Application of dynamic Bayesian network to risk analysis of domino effects in chemical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, *138*, 263-272.
33. Khubchandani, J., Sharma, S., Price, J. H., Wiblishauser, M. J., Sharma, M., & Webb, F. J. (2021). COVID-19 vaccination hesitancy in the United States: a rapid national assessment. *Journal of community health*, *46*, 270-277.
34. Ojha, R., Ghadge, A., Tiwari, M. K., & Bititci, U. S. (2018). Bayesian network modelling for supply chain risk propagation. *International Journal of Production Research*, *56(17)*, 5795-5819.
35. Ocampo, L., & Yamagishi, K. (2020). Modeling the lockdown relaxation protocols of the Philippine government in response to the COVID-19 pandemic: An intuitionistic fuzzy DEMATEL analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, *72*, 100911.
36. Qazi, A., Dickson, A., Quigley, J., & Gaudenzi, B. (2018). Supply chain risk network management: A Bayesian belief network and expected utility based approach for managing supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, *196*, 24-42.
37. Rahimi Sheikh, H., Sharifi, M., & Shahriari, M. R. (2017). Designing a Resiliense Supply Chain Model (Case Study: the Welfare Organization of Iran). *The Journal of Industrial Management Perspective*, *7(3)*, 127-150. (In Persian).
38. Rele, S. (2021). COVID-19 vaccine development during pandemic: gap analysis, opportunities, and impact on future emerging infectious disease development strategies. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, *17(4)*, 1122-1127.
39. Richards, A. D. (2020). Ethical guidelines for deliberately infecting volunteers with COVID-19. *Journal of medical ethics*, *46(8)*, 502-504.
40. Routt, D. (2008). The Economic Impoact of the Black Death.
41. Selmi, R., & Bouoiyour, J. (2020). Global market's diagnosis on coronavirus: A tug of war between hope and fear.
42. Sakib, N., Hossain, N. U. I., Nur, F., Talluri, S., Jaradat, R., & Lawrence, J. M. (2021). An assessment of probabilistic disaster in the oil and gas supply chain leveraging Bayesian belief network. *International Journal of Production Economics*, *235*, 108107.
43. Sokolov, B., Ivanov, D., Dolgui, A., & Pavlov, A. (2016). Structural quantification of the ripple effect in the supply chain. *International Journal of Production Research*, *54(1)*, 152-169.
44. Song, B., Lee, C., & Park, Y. (2013). Assessing the risks of service failures based on ripple effects: A Bayesian network approach. *International Journal of Production Economics*, *141*(2), 493-504.
45. Song, W., Ming, X., & Liu, H. C. (2017). Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 100-115.
46. Uusitalo, L. (2007). Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. *Ecological modelling*, *203(3-4)*, 312-318.
47. Wagner, S. M., & Neshat, N. (2010). Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. *International Journal of Production Economics*, *126(1)*, 121-129.
48. Weintraub, R. L., Subramanian, L., Karlage, A., Ahmad, I., & Rosenberg, J. (2021). COVID-19 Vaccine to Vaccination: Why Leaders Must Invest In

Delivery Strategies Now: Analysis describe lessons learned from past pandemics and vaccine campaigns about the path to successful vaccine delivery for COVID-19. *Health Affairs, 40(1),* 33-41.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی