



سال هشتم، شماره دوم (پیاپی ۲۶)، تابستان ۱۴۰۴، صص. ۶۹-۱۰۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی با استفاده از سناریوهای بازی جنگ: تحلیل و ارزیابی

مرتضی پورجعفری

دکتری علوم دفاعی راهبردی (دفاع ملی)، پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران.
Email: pjafarimorteza@gmail.com

محمد سعید علمداری

دکتری ریاضی، پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران.
Email: m.s.alamdari69@gmail.com

id 0000-0002-6046-8196

رضا اعتصامی

دانشجوی دکتری، دانشکده ریاضی و کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، (نویسنده مسئول).
Email: rezaetesamii@math.uk.ac.ir

چکیده

تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی به عنوان یکی از عوامل کلیدی در حفظ امنیت ملی و پایداری عملیاتی نیروهای مسلح، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تهدیدات متنوعی که زنجیره‌های تأمین دفاعی با آن‌ها مواجه هستند؛ این پژوهش به بررسی و ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی از طریق شبیه‌سازی و سناریوهای بازی جنگ پرداخته است. در این تحقیق، از نرم‌افزار R و ابزار شبیه‌سازی Simmer برای مدل‌سازی زنجیره تأمین دفاعی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و حمل‌ونقل استفاده شده و سناریوهایی مانند حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدات فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا برای ارزیابی تاب‌آوری این زنجیره تعریف و شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تحریم‌های اقتصادی بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی دارند و می‌توانند به‌طور جدی روند تأمین مواد اولیه و اجزای حیاتی را مختل کنند. خرابی تجهیزات و تأخیرهای لجستیکی نیز از دیگر تهدیدات مهم شناسایی شده‌اند که می‌توانند به کاهش بهره‌وری و اختلال در فرایندهای زنجیره تأمین منجر شوند. سایر تهدیدها مانند حملات سایبری و تهدیدات فیزیکی نیز به دلیل تأثیرات غیرمستقیم بر زیرساخت‌ها و عملیات زنجیره تأمین حائز اهمیت هستند. این مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از راهبردهای هدفمند، مانند تنوع در منابع تأمین، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل، تقویت زیرساخت‌های امنیت سایبری و تعمیرات پیشگیرانه تجهیزات، می‌توان تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید و اثرات مخرب ناشی از تهدیدات بحرانی را کاهش داد. این یافته‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیران در اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای مؤثر برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی کمک کند.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین دفاعی، تاب‌آوری، بازی جنگ، شبیه‌سازی، فرایندهای لجستیک

شابا الکترونیک: ۲۹۸۰-۸۰۷۳ ♦ پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید / فصلنامه آماد و فناوری دفاعی



20.1001.1.28212606.1404.8.2.3.0

<https://amfad.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8073





مقدمه

زنجیره تأمین دفاعی به‌عنوان ستون فقرات عملیات نظامی و امنیت ملی، نقش حیاتی در تأمین تجهیزات، تدارکات و منابع مورد نیاز نیروهای مسلح دارد. با افزایش پیچیدگی‌ها و تنوع تهدیدات، تاب‌آوری این زنجیره‌ها به چالشی اساسی برای دولت‌ها و سازمان‌های نظامی تبدیل شده است. تاب‌آوری زنجیره تأمین به توانایی آن در مقابله با وقایع غیرمنتظره و بازگشت به حالت اولیه یا حتی بهبود وضعیت پس از بحران اشاره دارد. این تاب‌آوری نه تنها برای حفظ کارایی عملیاتی بلکه برای حفظ امنیت ملی نیز ضروری است (لوکاس^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). تحولات سریع فناوری، افزایش تهدیدات سایبری، تغییرات ژئوپلیتیکی و تحریم‌های اقتصادی تنها بخشی از چالش‌هایی هستند که زنجیره‌های تأمین دفاعی با آن‌ها مواجه‌اند. هرگونه اختلال در این زنجیره‌ها می‌تواند به کاهش توانمندی نظامی و ایجاد آسیب‌پذیری‌های جدی منجر شود. بنابراین، تحلیل و تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی از اولویت‌های اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت استراتژیک دفاعی به شمار می‌رود (اورمستون^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). روش‌های شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای بازی جنگ ابزارهای قدرتمندی برای ارزیابی و بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین محسوب می‌شوند. این روش‌ها با ایجاد محیط‌های شبیه‌سازی‌شده، امکان بررسی واکنش زنجیره تأمین به تهدیدات و بحران‌های مختلف را فراهم می‌کنند (مصطفی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). در این راستا، استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته شبیه‌سازی مانند Simmer در محیط R می‌تواند به تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تر کمک کند. این پژوهش به دنبال شبیه‌سازی و ارزیابی راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی با استفاده از سناریوهای بازی جنگ است. در این شبیه‌سازی، منابع مختلف زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و حمل‌ونقل مدل‌سازی شده و فرایندهای کلیدی زنجیره تأمین مانند دریافت مواد اولیه، تولید و ارسال به مشتریان شبیه‌سازی شده‌اند.

1. Lucas

2. Urmston

3. Mustafee



علاوه بر این، سناریوهای متنوعی از جمله حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی و خرابی تجهیزات برای ارزیابی تأثیرات آنها بر عملکرد و تاب‌آوری زنجیره تأمین تعریف شده‌اند. این مطالعه همچنین به بررسی روش‌های بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین از طریق ارتقای امنیت سایبری، بهبود فرایندهای لجستیکی و مدیریت بهتر تجهیزات پرداخته است. امید است که نتایج این پژوهش بتواند به تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران و مدیران نظامی در شناسایی نقاط ضعف و قوت زنجیره تأمین دفاعی و اتخاذ راهبردهای مؤثر برای بهبود تاب‌آوری آن کمک کند. در ادامه این مقاله، به بررسی دقیق‌تر روش‌ها و مدل‌های شبیه‌سازی، تحلیل نتایج شبیه‌سازی و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی خواهیم پرداخت.

۱. چهارچوب مفهومی

در این بخش، به بررسی مفاهیم و نظریات مرتبط با تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی و استفاده از سناریوهای بازی جنگ برای بهبود آن می‌پردازیم. چهارچوب مفهومی این پژوهش شامل مفاهیم تاب‌آوری، زنجیره تأمین، زنجیره تأمین دفاعی و استفاده از بازی جنگ برای شبیه‌سازی و تحلیل تهدیدات است.

۱-۱. تاب‌آوری^۱

تاب‌آوری به توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت اولیه یا انطباق با شرایط جدید پس از مواجهه با شوک‌ها و تهدیدات گفته می‌شود. این مفهوم ابتدا در علوم محیط‌زیست و روان‌شناسی معرفی شد و سپس به سایر حوزه‌ها مانند مهندسی، مدیریت و علوم سازمانی گسترش یافت. در زمینه زنجیره تأمین، تاب‌آوری به توانایی زنجیره تأمین در حفظ کارایی و اثربخشی خود پس از مواجهه با اختلالات و بحران‌ها اشاره دارد. تاب‌آوری زنجیره تأمین شامل چهار عنصر اصلی است:



۱. توانایی جذب^۱: توانایی زنجیره تأمین در جذب شوک‌ها و اختلالات بدون ایجاد وقفه در عملکرد عادی.
۲. توانایی انطباق^۲: توانایی زنجیره تأمین در تغییر و انطباق با شرایط جدید پس از وقوع بحران.
۳. توانایی بازیابی^۳: سرعت و کارایی زنجیره تأمین در بازگشت به حالت عادی پس از وقوع بحران.
۴. توانایی یادگیری^۴: توانایی زنجیره تأمین در یادگیری از تجربیات گذشته و بهبود عملکرد آینده بر اساس این تجربیات (پونوماروف و هولکامب^۵، ۲۰۰۹).

۱-۲. زنجیره تأمین^۶

زنجیره تأمین به شبکه‌ای از سازمان‌ها، افراد، فعالیت‌ها، اطلاعات و منابع اطلاق می‌شود که در تولید و تحویل کالاها و خدمات از تأمین‌کننده تا مصرف‌کننده نهایی دخیل هستند. مدیریت زنجیره تأمین^۷ به هماهنگی و مدیریت این شبکه برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها اشاره دارد. زنجیره تأمین شامل سه بخش اصلی است: «تأمین‌کنندگان»^۸؛ ارائه‌دهندگان مواد اولیه و قطعات؛ «تولیدکنندگان»^۹؛ سازمان‌ها و شرکت‌هایی که مواد اولیه را به محصولات نهایی تبدیل می‌کنند؛ «توزیع‌کنندگان»^{۱۰} و مشتریان^{۱۱}؛ واسطه‌ها و مصرف‌کنندگان نهایی که محصولات را دریافت می‌کنند (چوپرا و مایندل، ۲۰۱۶).

-
1. Absorption
 2. Adaptation
 3. Recovery
 4. Learning
 5. Ponomarov and Holcomb
 6. Supply Chain
 7. SCM
 8. Suppliers
 9. Manufacturers
 10. Distributors
 11. Customers



۳-۱. زنجیره تأمین دفاعی^۱

زنجیره تأمین دفاعی به شبکه‌ای از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان اشاره دارد که در تأمین نیازهای نظامی و دفاعی یک کشور نقش دارند. این زنجیره تأمین شامل تأمین مواد اولیه، قطعات یدکی، تجهیزات نظامی و خدمات مرتبط با عملیات دفاعی است. زنجیره تأمین دفاعی با چالش‌های منحصر به فردی مانند نیاز به امنیت بالا، تطابق با استانداردهای نظامی و واکنش سریع به شرایط بحرانی روبه‌رو است. برخی از ویژگی‌های کلیدی زنجیره تأمین دفاعی عبارتند از:

- ❖ حساسیت بالا به تهدیدات امنیتی: زنجیره تأمین دفاعی باید در برابر تهدیدات امنیتی مانند حملات سایبری، جاسوسی صنعتی و خرابکاری مقاوم باشد؛
- ❖ نیاز به انطباق با شرایط جنگی: زنجیره تأمین دفاعی باید توانایی انطباق سریع با شرایط جنگی و بحران‌های نظامی را داشته باشد؛
- ❖ تأمین منابع در شرایط اضطراری: زنجیره تأمین دفاعی باید در شرایط اضطراری و بحرانی توانایی تأمین منابع و تجهیزات مورد نیاز نیروهای نظامی را داشته باشد (اکستروم^۲ و همکاران، ۲۰۲۰).

۴-۱. شاخص‌های زنجیره تأمین تاب‌آور در صنایع دفاعی ایران

شاخص‌های تاب‌آوری بر اساس تحقیقات پیشین و تحلیل‌های موجود در ادبیات مربوط به تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین دفاعی، امنیت ملی و لجستیک نظامی استخراج شده‌اند. این شاخص‌ها شامل توانایی جذب، انطباق، بازیابی و یادگیری در زنجیره تأمین دفاعی هستند. این مفاهیم به توانایی زنجیره تأمین در حفظ کارایی پس از اختلالات و بحران‌ها اشاره دارند و از جمله مهم‌ترین شاخص‌ها می‌توان به تنوع منابع تأمین، ذخایر استراتژیک، امنیت سایبری، توانمندی داخلی و مدیریت ریسک اشاره کرد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به تفاوت‌های ساختاری و نیازهای خاص صنعت دفاعی ایران، بومی‌سازی شاخص‌های تاب‌آوری بر اساس

1. Defense Supply Chain

2. Ekström



چالش‌ها و امکانات موجود، ضرورت دارد. در این پژوهش، سناریوهای بازی جنگ و شبیه‌سازی‌های انجام شده بر اساس نیازهای خاص صنعت دفاعی کشور طراحی شده‌اند. این سناریوها شامل حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی و خرابی تجهیزات هستند که تهدیدات محتمل و واقعی برای زنجیره تأمین دفاعی ایران را شبیه‌سازی می‌کنند. از آنجایی که سیستم‌های دفاعی کشور با تهدیدات متنوعی از جمله تحریم‌ها، حملات سایبری و محدودیت‌های زیرساختی مواجه‌اند، راهکارهای ارائه شده مانند ارتقای امنیت سایبری، افزایش ذخایر استراتژیک و تقویت توانمندی‌های داخلی بر اساس نیازهای خاص کشور طراحی و پیشنهاد شده‌اند.

۱-۵. بازی جنگ^۱

بازی جنگ یک روش حل مسئله تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌های ریاضی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی است که با توجه به قواعد، داده‌ها و فرایندهای از پیش تعیین شده یا تصادفی از ابعاد منتخب یک سناریو تعریف می‌گردد. بازی جنگ برگرفته از یک وضعیت حقیقی و یک نبرد مبتنی بر ایده فرمانده است تا اینکه یک میدان عمل برای مهارت و تجربه مورد نیاز در هدایت و مدیریت جنگ را فراهم کند و یک میدان آزمایشی برای آزمودن طرح‌های راهبردی، عملیاتی و تاکتیکی است. بازی جنگ یکی از فنون آینده‌پژوهی است و فرماندهان نظامی در جنبه‌هایی نظیر شناخت دشمن، بررسی راهکارهای ممکن و نتایج به‌کارگیری آن‌ها، غافلگیری‌ها و ... از آن استفاده می‌کنند. بازی جنگ رویکردی کارآمد در پیش‌بینی و شناسایی تهدیدات احتمالی آینده است و به آمادگی فرماندهان نظامی در بررسی رویارویی با این تهدیدات کمک می‌کند. در واقع بازی جنگ یک روش تصمیم‌گیری است که یک محیط ساخته شده را فراهم می‌کند که در این محیط امن می‌توانیم آزادانه تصمیم بگیریم تا بفهمیم چه عملکردهایی موجب شکست یا پیروزی ما می‌شود؛ حتی می‌توانیم هزینه‌های یک



عملکرد را برآورد کنیم. یک بازی جنگ فرایندی از چالش‌های رقابتی است که در یک فرمت ساخته شده ارائه می‌شود (دبوس، ۲۰۲۰).

۱-۵-۱. نقش بازی جنگ در شبیه‌سازی تهدیدات زنجیره تأمین

- ❖ شبیه‌سازی سناریوهای بحران: بازی جنگ امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بحران و اختلال در زنجیره تأمین را فراهم می‌کند. این سناریوها می‌توانند شامل حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات و سایر تهدیدات باشند.
- ❖ تحلیل و ارزیابی استراتژی‌ها: با استفاده از بازی جنگ، می‌توان استراتژی‌های مختلف برای مواجهه با تهدیدات و بحران‌ها را تحلیل و ارزیابی کرد. این استراتژی‌ها شامل تدابیر امنیتی، بهبود فرایندهای لجستیکی و مدیریت بهتر تجهیزات می‌شود.
- ❖ آموزش و تمرین: بازی جنگ به‌عنوان یک ابزار آموزشی و تمرینی برای مدیران و کارکنان زنجیره تأمین دفاعی استفاده می‌شود. این روش به آن‌ها کمک می‌کند تا در مواجهه با شرایط بحرانی، تصمیم‌گیری‌های بهتری انجام دهند (ژائو^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

۲. سناریوهای بحرانی بازی جنگ مورد مطالعه پژوهش

در این بخش، سناریوهای مختلفی که در تحقیق برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، معرفی و توضیح داده می‌شوند. هدف اصلی این تحلیل، ارزیابی توانایی زنجیره تأمین دفاعی در مواجهه با تهدیدات مختلفی است که ممکن است امنیت ملی و عملیات نظامی را تحت تأثیر قرار دهند. سناریوهایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدهای فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا هستند. در ادامه، هر سناریو با تمرکز بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی تشریح می‌شود:



۲-۱. سناریو: حمله سایبری

حملات سایبری تهدیدی جدی برای زنجیره تأمین دفاعی به شمار می‌آیند، زیرا سیستم‌های ارتباطی و اطلاعاتی این زنجیره اغلب حاوی اطلاعات حساس نظامی هستند. در این سناریو، حملات سایبری می‌توانند باعث اختلال در هماهنگی بین بخش‌های مختلف زنجیره تأمین، توقف عملیات حیاتی و حتی نفوذ به اطلاعات طبقه‌بندی شده شوند. تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی در برابر حملات سایبری بستگی به قدرت پروتکل‌های امنیتی، برنامه‌های پشتیبان‌گیری و آمادگی برای مقابله سریع با این نوع تهدیدات دارد (آدنکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۴).

۲-۲. سناریو: تأخیر لجستیکی

زنجیره تأمین دفاعی به شدت به دقت و هماهنگی لجستیکی وابسته است. در این سناریو، مشکلات لجستیکی مانند نقص در هماهنگی بین واحدهای حمل‌ونقل یا کمبود منابع می‌توانند باعث تأخیر در انتقال تجهیزات و منابع حیاتی به نیروهای نظامی شوند. تاب‌آوری در این بخش شامل داشتن برنامه‌های جایگزین برای حمل‌ونقل و استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود کارایی لجستیک است تا از تأثیر منفی تأخیرها بر عملیات دفاعی جلوگیری شود (کوئل و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۳. سناریو: خرابی تجهیزات

خرابی تجهیزات در زنجیره تأمین دفاعی می‌تواند منجر به اختلال در تولید تجهیزات نظامی و حمل‌ونقل آن‌ها شود. این سناریو خرابی ماشین‌آلات یا ابزارهای کلیدی در کارخانه‌های تولید تسلیحات یا پایگاه‌های ذخیره‌سازی را شبیه‌سازی می‌کند. تاب‌آوری در این حوزه به معنای داشتن برنامه‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، آموزش کارکنان فنی و استفاده از سیستم‌های پایش وضعیت تجهیزات برای شناسایی و رفع خرابی‌ها قبل از ایجاد اختلال بزرگ در عملیات است (کوئل و همکاران، ۲۰۲۱).



۲-۴. سناریو: تهدیدهای فیزیکی

تهدیدهای فیزیکی مانند حملات تروریستی یا خرابکاری می‌توانند تأسیسات کلیدی زنجیره تأمین دفاعی، از جمله انبارها و مراکز تولید تجهیزات نظامی را هدف قرار دهند. در این سناریو، تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی شامل امنیت فیزیکی تأسیسات، ایجاد زیرساخت‌های مقاوم در برابر حملات و داشتن برنامه‌های اضطراری برای مقابله با این نوع تهدیدات است (سانی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۵. سناریو: بحران‌های طبیعی

بلایای طبیعی مانند زلزله، سیل یا طوفان می‌توانند تأثیرات مخربی بر زنجیره تأمین دفاعی داشته باشند. این سناریو به بررسی تأثیر بحران‌های طبیعی بر توقف تولید، تأخیر در حمل‌ونقل و اختلال در ذخیره‌سازی تجهیزات نظامی می‌پردازد. تاب‌آوری در این سناریو مستلزم ایجاد زیرساخت‌های مقاوم در برابر بلایا و داشتن سیستم‌های بازیابی سریع پس از بحران است تا زنجیره تأمین دفاعی با حداقل وقفه به فعالیت خود ادامه دهد (سانی و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۶. سناریو: تحریم‌های اقتصادی و محدودیت‌های بین‌المللی

تحریم‌های اقتصادی می‌توانند دسترسی زنجیره تأمین دفاعی به مواد اولیه یا تجهیزات حیاتی را محدود کنند. این سناریو به تحلیل تأثیر تحریم‌ها و محدودیت‌های بین‌المللی بر توانایی تأمین مواد و تجهیزات نظامی می‌پردازد. تاب‌آوری در این زمینه شامل تنوع‌بخشی به منابع تأمین، توسعه ظرفیت‌های تولید داخلی و ایجاد ذخایر استراتژیک از مواد حیاتی است (پروین، ۲۰۱۹).



۲-۲. سناریو: تغییرات ناگهانی در تقاضا

تغییرات غیرمنتظره در تقاضای تسلیحات و تجهیزات نظامی می‌تواند باعث فشار بر زنجیره تأمین دفاعی شود. در این سناریو، تغییرات ناگهانی در نیاز به تجهیزات یا منابع نظامی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تاب‌آوری به معنای توانایی زنجیره تأمین در انطباق سریع با تغییرات تقاضا، افزایش ظرفیت تولید و توزیع سریع تجهیزات به نیروهای نظامی است (سانی و همکاران، ۲۰۲۲).

۳. روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی-توسعه‌ای است که با هدف ارزیابی و تحلیل تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی در مواجهه با تهدیدات مختلف انجام شده است. رویکرد این تحقیق کمی است و از روش شبیه‌سازی برای مدل‌سازی و تحلیل استفاده شده است. داده‌های این تحقیق از طریق شبیه‌سازی فرایندها و سناریوهای مختلف در زنجیره تأمین دفاعی با استفاده از توزیع‌های آماری به دست آمده است. همچنین برای گردآوری داده‌ها از منابع کتابخانه‌ای و اطلاعات میدانی حاصل از داده‌های موجود در زنجیره تأمین دفاعی استفاده شده است.

۳-۱. ابزارهای تحقیق

برای انجام شبیه‌سازی‌ها از ابزار Simmer در محیط R استفاده شده است؛ Simmer یک چهارچوب شبیه‌سازی رخداد گسسته است که در محیط R توسعه یافته است. این بسته با استفاده از یک موتور شبیه‌سازی کارآمد و انعطاف‌پذیر، امکان مدل‌سازی فرایندهای پیچیده و گوناگون را فراهم می‌کند. Simmer به‌ویژه برای مدل‌سازی سیستم‌های زنجیره تأمین و فرایندهای لجستیکی مناسب است و به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا به‌سادگی سناریوهای مختلف را تعریف و تحلیل کنند. در این تحقیق، از Simmer برای مدل‌سازی منابع مختلف زنجیره تأمین دفاعی (مانند تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و حمل‌ونقل) و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بازی جنگ استفاده شده است. همچنین برای تحلیل و بصری‌سازی داده‌ها از بسته‌های ggplot2 و dplyr استفاده شده است. ggplot2 یک بسته قدرتمند برای

ایجاد گراف‌ها و نمودارهای آماری در محیط R است. این بسته با استفاده از گرامر گرافیک^۱، به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا نمودارهای پیچیده و سفارشی‌سازی شده‌ای را به راحتی تولید کنند. در این تحقیق، از ggplot2 برای ایجاد نمودارهایی که روند استفاده از منابع و زمان‌بندی فرایندها را در طول شبیه‌سازی نمایش می‌دهند، استفاده شده است. این نمودارها کمک می‌کنند تا تأثیر سناریوهای مختلف بر عملکرد زنجیره تأمین به صورت بصری و قابل فهم ارائه شود. همچنین dplyr یک بسته برای پردازش داده‌ها در R است که قابلیت‌هایی مانند فیلتر کردن، مرتب‌سازی، گروه‌بندی و خلاصه‌سازی داده‌ها را فراهم می‌کند. این بسته به‌ویژه برای مدیریت و تحلیل مجموعه‌های داده بزرگ و پیچیده بسیار کارآمد است. در این تحقیق، از dplyr برای پردازش و خلاصه‌سازی داده‌های جمع‌آوری شده از شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است تا تحلیلگران بتوانند نتایج را به‌طور مؤثر و دقیق ارزیابی کنند.

۲-۳. طراحی مدل شبیه‌سازی پژوهش

در فرایند شبیه‌سازی زنجیره تأمین دفاعی، طراحی دقیق مدل شبیه‌سازی اهمیت ویژه‌ای دارد. این مدل باید به گونه‌ای طراحی شود که تمام ابعاد مختلف زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و سیستم‌های حمل‌ونقل را به صورت جامع پوشش دهد. هدف اصلی از طراحی این مدل، تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین در مواجهه با تهدیدات و سناریوهای بحرانی مختلفی نظیر حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدهای فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا است. این سناریوها با استفاده از رویکرد بازی جنگ مدل‌سازی شده و به منظور تحلیل عملکرد و تاب‌آوری هر بخش از زنجیره تأمین به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این مرحله از تحقیق، منابع و فرایندهای کلیدی زنجیره تأمین دفاعی با توجه به ظرفیت‌ها و محدودیت‌های واقعی آن‌ها تعریف شده و سپس سناریوهای بحرانی برای بررسی واکنش زنجیره تأمین دفاعی به این تهدیدات شبیه‌سازی می‌شوند.



❖ تعریف منابع: منابع مختلفی در زنجیره تأمین دفاعی تعریف شده‌اند که شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و حمل‌ونقل می‌شوند. هرکدام از این منابع با توجه به ظرفیت‌ها و محدودیت‌های واقعی مدل‌سازی شده‌اند. این منابع شامل موارد زیر هستند:

- تأمین‌کنندگان: مواد اولیه و تجهیزات لازم را فراهم می‌کنند.

- تولیدکنندگان: فرایندهای تولیدی را انجام می‌دهند.

- انبارها: برای ذخیره‌سازی مواد و محصولات استفاده می‌شوند.

- حمل‌ونقل: مسئولیت جابه‌جایی مواد و محصولات را بر عهده دارند.

❖ تعریف فرایندها: سه فرایند اصلی در زنجیره تأمین دفاعی شامل دریافت مواد اولیه، تولید و ارسال به مشتریان تعریف شده‌اند. هرکدام از این فرایندها به تفکیک منابع مورد استفاده و زمان‌های مربوطه مدل‌سازی شده‌اند.

- فرایند دریافت مواد اولیه: شامل دریافت مواد از تأمین‌کننده، حمل‌ونقل به انبار و ذخیره‌سازی در انبار.

- فرایند تولید: شامل دریافت مواد از انبار، تولید محصول و بازگرداندن محصول به انبار.

- فرایند ارسال به مشتری: شامل دریافت محصول از انبار، حمل‌ونقل به مشتری و تحویل محصول.

❖ تعریف سناریوهای بحرانی: برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی، هفت سناریوی بازی جنگ شامل حمله سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدهای فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا تعریف شده‌اند. هر یک از این سناریوها منجر به ایجاد وقفه‌هایی در فرایندهای مختلف زنجیره تأمین دفاعی می‌شوند و تأثیرات آن‌ها بر عملکرد و تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- حمله سایبری: حمله سایبری باعث اختلال در سیستم‌های اطلاعاتی زنجیره تأمین

دفاعی می‌شود که منجر به تأخیر در هماهنگی، انتقال اطلاعات و عملیات حیاتی

می‌گردد. تاب‌آوری به امنیت سایبری و آمادگی برای مقابله با حملات وابسته است.

➤ تأخیر لجستیکی: مشکلات در حمل‌ونقل و هماهنگی می‌تواند باعث تأخیر در تأمین تجهیزات نظامی شود؛ تاب‌آوری نیازمند بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل و برنامه‌های جایگزین است.

➤ خرابی تجهیزات: خرابی تجهیزات تولیدی یا لجستیکی می‌تواند زنجیره تأمین دفاعی را مختل کند؛ تاب‌آوری با برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه و سیستم‌های پایش تجهیزات افزایش می‌یابد.

➤ تهدیدهای فیزیکی: حملات تروریستی یا خرابکاری می‌تواند زیرساخت‌های کلیدی را هدف قرار دهد؛ امنیت فیزیکی تأسیسات و برنامه‌های اضطراری برای مقابله با این تهدیدها ضروری است.

➤ بحران‌های طبیعی: بلاای طبیعی می‌تواند تولید و حمل‌ونقل نظامی را مختل کنند؛ تاب‌آوری نیازمند زیرساخت‌های مقاوم و برنامه‌های بازیابی سریع است.

➤ تحریم‌های اقتصادی: تحریم‌ها دسترسی به منابع حیاتی را محدود می‌کنند؛ تنوع‌بخشی به منابع تأمین و ذخایر استراتژیک ضروری است.

➤ تغییرات ناگهانی در تقاضا: افزایش یا کاهش ناگهانی تقاضا فشار بر زنجیره تأمین دفاعی وارد می‌کند؛ انطباق سریع و افزایش ظرفیت تولید کلید تاب‌آوری است.

۳-۳. طراحی شبیه‌سازی

شبیه‌سازی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی و تحلیل سیستم‌های پیچیده، در این تحقیق برای بررسی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی به کار گرفته شده است. این شبیه‌سازی با ترکیب فرایندهای مختلف و سناریوهای بازی جنگ طراحی شده تا تأثیر تهدیدات متنوع بر عملکرد زنجیره تأمین دفاعی بررسی شود.



۳-۳-۱. اجرای شبیه‌سازی

شبیه‌سازی با ترکیب فرایندهای تعریف شده و سناریوهای بازی جنگ اجرا می‌شود. شبیه‌سازی برای مدت زمان ۲۵۰ روز انجام شده است تا تأثیرات هر سناریو بر عملکرد و تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی بررسی شود.

۳-۳-۲. منابع، نهادها و موانع استفاده شده در شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی از منابع، نهادها و موانع مختلفی استفاده شده است که هرکدام نقش خاصی در فرایند زنجیره تأمین دفاعی ایفا می‌کنند. در ادامه تعداد و نقش هریک تشریح می‌شود:

❖ منابع مورد استفاده در شبیه‌سازی

جدول زیر منابع تعریف‌شده در شبیه‌سازی زنجیره تأمین دفاعی و نقش هر یک از آن‌ها را نمایش می‌دهد. تعداد دفعات استفاده از هر منبع در طول شبیه‌سازی در ستون «تعداد» نشان داده شده است. این منابع در فرایندهای مختلف شبیه‌سازی شده‌اند تا عملکرد زنجیره تأمین دفاعی در شرایط مختلف بررسی شود.

جدول ۱: منابع مورد استفاده در شبیه‌سازی

منابع	تعداد	نقش
تأمین‌کننده ۱	۳	تأمین مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و انتقال آن‌ها به انبار
تأمین‌کننده ۲	۲	پشتیبانی از فرایندهای تأمین و ارسال مواد
تولیدکننده	۴	تبدیل مواد اولیه به محصولات نهایی و مدیریت فرایندهای تولید
انبار	۵	ذخیره‌سازی مواد و محصولات نهایی برای توزیع به مشتریان
حمل‌ونقل	۳	حمل‌ونقل مواد اولیه و محصولات بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و انبارها

❖ نهادهای مورد استفاده در شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی، از نهادهای مختلفی استفاده شده است که هرکدام نقش خاصی در فرایند زنجیره تأمین دفاعی ایفا می‌کنند. تعداد این نهادها به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند شرایط واقعی زنجیره تأمین را به‌خوبی مدل‌سازی کنند.

جدول ۲: نهادهای مورد استفاده در شبیه‌سازی

نهاد	تعداد	نقش
نهاد دریافت ^۱	۷	دریافت مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و انتقال آن‌ها به انبار
نهاد تولید ^۲	۷	تبدیل مواد اولیه به محصولات نهایی با استفاده از تجهیزات و منابع تولیدی
نهاد ارسال ^۳	۷	تحويل محصولات نهایی به مشتریان و انتقال آن‌ها از انبار به مقصد نهایی

❖ سناریوهای بحرانی مورد استفاده در شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی، علاوه بر نهادهای مختلفی که در زنجیره تأمین دفاعی ایفای نقش می‌کنند، موانع و تهدیدات مختلفی که بر عملکرد زنجیره تأمین دفاعی تأثیر گذارند نیز شبیه‌سازی و بررسی شده‌اند. این تهدیدات با استفاده از سناریوهای بازی جنگ شبیه‌سازی شده و به‌طور مستقیم بر فرایندهای مختلف زنجیره تأمین دفاعی تأثیر می‌گذارند. جدول ۳، تهدیدات مورد بررسی در این تحقیق را نشان می‌دهد:

-
1. Receiving Entity
 2. Manufacturing Entity
 3. Shipping Entity



جدول ۳: سناریوهای بحرانی مورد استفاده در شبیه‌سازی

تهدید	تعداد	نقش
حمله سایبری ^۱	۳	ایجاد اختلال در سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی زنجیره تأمین دفاعی، تأخیر در هماهنگی و انتقال داده‌ها
تأخیر لجستیکی ^۲	۳	مشکلات در حمل‌ونقل، نقص در هماهنگی بین واحدهای مختلف، تأخیر در تحویل تجهیزات و منابع
خرابی تجهیزات ^۳	۳	توقف تولید به دلیل خرابی ماشین‌آلات یا تجهیزات کلیدی در کارخانه‌های تولید تسلیحات و انبارها
تهدید فیزیکی ^۴	۳	حملات فیزیکی مانند تروریسم یا خرابکاری که می‌تواند به تخریب تأسیسات و زیرساخت‌های کلیدی منجر شود
بحران‌های طبیعی ^۵	۳	بلایای طبیعی مانند زلزله و سیل که می‌توانند به توقف فرایندهای تولید و حمل‌ونقل تجهیزات نظامی منجر شوند
تحریم‌های اقتصادی ^۶	۳	محدودیت در دسترسی به مواد اولیه و تجهیزات حیاتی به دلیل تحریم‌های بین‌المللی
تغییرات ناگهانی در تقاضا ^۷	۳	نوسانات ناگهانی در تقاضای تجهیزات نظامی که می‌تواند باعث فشار بر زنجیره تأمین دفاعی و اختلال در فرایندهای تولید و توزیع شود

۳-۴. داده‌های استفاده شده در شبیه‌سازی

زمان‌های فرایندها: زمان‌های فرایندهای مختلف از جمله دریافت، تولید و ارسال محصولات به صورت تصادفی و با استفاده از توزیع نمایی تولید شده‌اند. توزیع نمایی برای شبیه‌سازی زمان‌های بین وقایع تصادفی بسیار مناسب است، زیرا در فرایندهای واقعی، زمان‌های بین دو رویداد معمولاً قابل پیش‌بینی نیست. به عنوان مثال، زمان دریافت مواد از تأمین‌کنندگان یا

1. Cyber Attack
2. Logistical Delay
3. Equipment Failure
4. Physical Threat
5. Natural Disasters
6. Economic Sanctions
7. Sudden Changes in Demand



زمان تولید محصول نهایی بر اساس شرایط عملیاتی می‌تواند تغییر کند و توزیع نمایی این عدم قطعیت‌ها را مدل‌سازی می‌کند. توزیع نمایی به دلیل تطابق با فرایندهای واقعی، مانند مدت زمان‌های تصادفی بین درخواست‌ها و پاسخ‌ها، برای شبیه‌سازی زنجیره تأمین دفاعی مناسب است. این توزیع به‌ویژه در شرایطی که زمان‌های وقفه بین دو رخداد دارای نرخ ثابت رخداد هستند، کاربرد دارد.

ظرفیت منابع: ظرفیت منابع مختلف از جمله تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و وسایل حمل‌ونقل بر اساس شرایط خاص زنجیره تأمین دفاعی و به‌صورت ثابت تعیین شده است. به‌عنوان مثال، تعداد ماشین‌آلات یا وسایل حمل‌ونقل در هر بخش از زنجیره ثابت است. ظرفیت‌های تعریف‌شده برای هر منبع به‌صورت دستی و با توجه به ویژگی‌های سیستم و میزان فعالیت‌ها انتخاب شده‌اند. تعیین ظرفیت‌ها به‌صورت ثابت برای شبیه‌سازی به این دلیل انجام شده است که این مقادیر در زنجیره تأمین دفاعی معمولاً در یک بازه زمانی مشخص تغییر نمی‌کنند و به عوامل داخلی سازمان و زیرساخت‌های موجود بستگی دارند. ظرفیت‌های ثابت امکان سنجش بهتر تاب‌آوری سیستم را در مواجهه با تغییرات خارجی و فشارهای ناشی از تهدیدات مختلف فراهم می‌کنند.

سناریوهای بحرانی بازی جنگ: سناریوهای مختلف بازی جنگ شامل حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدهای فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا با استفاده از توزیع‌های احتمالی متفاوت و به‌صورت دوره‌ای تولید شده‌اند. برای هر سناریو، بازه‌های زمانی خاصی تعریف شده است که سناریوها در آن زمان‌ها رخ می‌دهند. استفاده از توزیع‌های احتمالی برای تولید داده‌های این سناریوها به این دلیل است که هرکدام از این تهدیدات می‌توانند در زمان‌های غیرمنتظره رخ دهند و تأثیرات ناگهانی و شدیدی بر زنجیره تأمین دفاعی داشته باشند. اجرای این سناریوها به‌صورت دوره‌ای و تصادفی به شبیه‌سازی بهتر شرایط بحران‌زا کمک می‌کند تا سیستم بتواند تاب‌آوری خود را در شرایط واقعی نشان دهد.



راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی: با توجه به اینکه برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی در برابر سناریوهای بحرانی، لازم است راهبردهای تخصصی و هدفمندی به کار گرفته شوند که تأثیر هر سناریو را کاهش داده و زنجیره تأمین دفاعی را در برابر تهدیدات مقاوم‌تر سازند، این راهبردها با استناد به مطالعات کتابخانه‌ای و توصیه‌های متخصصان و کارشناسان حوزه لجستیک به صورت زیر تدوین شده‌اند:

❖ تحریم‌های اقتصادی

➤ تنوع در تأمین منابع: با تقویت شبکه‌های تأمین داخلی و بین‌المللی و همچنین استفاده از منابع متعدد و پایدار وابستگی به تأمین‌کنندگان خاص کاهش یافته و تاب‌آوری افزایش می‌یابد.

➤ تقویت توان داخلی تولید: توسعه فناوری‌های پیشرفته تولید داخلی و استفاده از دانش فنی ملی باعث کاهش وابستگی به مواد و تجهیزات وارداتی می‌شود.

➤ انبار استراتژیک کالاهای حیاتی: ذخیره‌سازی استراتژیک مواد حیاتی در مکان‌های امن، به زنجیره تأمین کمک می‌کند تا در برابر تحریم‌های اقتصادی مقاومت کند.

❖ خرابی تجهیزات

➤ پیش‌بینی و تعمیرات پیشگیرانه: با استفاده از سیستم‌های هوشمند و تحلیل داده‌های پیشرفته برای پیش‌بینی خرابی‌ها، این راهبرد باعث کاهش زمان خرابی و افزایش کارایی زنجیره تأمین می‌شود.

➤ مانیتورینگ پیشرفته: استفاده از سیستم‌های نظارت مستمر بر وضعیت تجهیزات و تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت لحظه‌ای، باعث کاهش زمان واکنش به خرابی می‌شود.

➤ توسعه جایگزینی سریع تجهیزات: ایجاد شبکه‌ای از تأمین قطعات یدکی و پروتکل‌های سریع جایگزینی تجهیزات باعث کاهش زمان خرابی و تداخل در زنجیره تأمین می‌شود.

❖ تأخیرهای لجستیکی

- بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل: استفاده از الگوریتم‌های هوشمند و نقشه‌های دینامیک مسیرها برای انتخاب سریع‌ترین مسیرها می‌تواند تأخیرها را به حداقل برساند.
- پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌های لجستیکی: سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با پیش‌بینی خطرات و مشکلات لجستیکی، مسیرهای جایگزین و واکنش‌های سریع را ارائه دهند.
- توسعه زیرساخت‌های لجستیکی: تقویت زیرساخت‌های حمل‌ونقل نظامی و لجستیکی و ایجاد شریان‌های جدید برای افزایش سرعت و کارایی زنجیره تأمین، از اهمیت بالایی برخوردار است.

❖ حملات سایبری

- افزایش امنیت سایبری: ایجاد پروتکل‌های امنیتی پیشرفته و استفاده از سیستم‌های رمزگذاری قوی برای حفاظت از اطلاعات و زیرساخت‌های دیجیتال دفاعی ضروری است.
- آموزش کارکنان: آموزش مستمر کارکنان در برابر تهدیدات سایبری و روش‌های مقابله با آن‌ها باعث افزایش امنیت سیستم‌ها می‌شود.
- توسعه پشتیبانی سیستم‌ها: ایجاد سیستم‌های پشتیبان و بازیابی سریع اطلاعات در صورت بروز حملات سایبری، زمان واکنش به این تهدیدات را کاهش می‌دهد.

❖ تهدیدات فیزیکی

- افزایش نظارت امنیتی فیزیکی: استفاده از تجهیزات نظارتی پیشرفته و افزایش امنیت فیزیکی در تأسیسات کلیدی زنجیره تأمین از اهمیت بالایی برخوردار است.
- توسعه مقاومت فیزیکی تأسیسات: ایجاد زیرساخت‌های مقاوم و امن در برابر تهدیدات فیزیکی و بلایای طبیعی باعث کاهش آسیب‌های احتمالی می‌شود.



➤ سیستم‌های هشدار سریع: نصب سیستم‌های هشداردهنده فوری در صورت بروز تهدیدات فیزیکی، زمان واکنش را بهبود می‌بخشد.

❖ تغییرات ناگهانی در تقاضا

- پیش‌بینی دقیق تقاضا: با استفاده از ابزارهای پیش‌بینی پیشرفته و مدل‌سازی تقاضا بر اساس داده‌های تاریخی، تغییرات ناگهانی مدیریت می‌شوند.
- انعطاف‌پذیری در تولید: تولید انعطاف‌پذیر و امکان افزایش یا کاهش سریع تولید می‌تواند به زنجیره تأمین در مواجهه با نوسانات تقاضا کمک کند.

❖ بحران‌های طبیعی

- برنامه‌های مدیریت بحران: ایجاد دستورالعمل‌های جامع برای واکنش سریع به بلایای طبیعی و مدیریت بازیابی پس از آن، باعث کاهش اختلالات می‌شود.
- توزیع جغرافیایی تأسیسات: پراکندگی جغرافیایی تأسیسات دفاعی و لجستیکی در مناطق امن و دور از بلایای طبیعی از آسیب‌های ناگهانی جلوگیری می‌کند.
- بیمه تأسیسات و تجهیزات: پوشش‌های بیمه‌ای مناسب برای تأسیسات کلیدی زنجیره تأمین به بازیابی سریع‌تر پس از بحران‌ها کمک می‌کند.

۴. یافته‌های پژوهش

این بخش به بررسی و تحلیل یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی با استفاده از سناریوهای مختلف بازی جنگ می‌پردازد. برای انجام این شبیه‌سازی، مدل‌های مختلفی از فرایندهای زنجیره تأمین دفاعی شامل دریافت، تولید و ارسال محصولات و همچنین سناریوهای حملات سایبری، تأخیرهای لجستیکی، خرابی تجهیزات، تهدیدهای فیزیکی، بحران‌های طبیعی، تحریم‌های اقتصادی و تغییرات ناگهانی در تقاضا طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند.

۴-۱. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی در زنجیره تأمین دفاعی

جدول ۴، نتایج شبیه‌سازی را شامل زمان شروع، پایان و مدت زمان فعالیت برای هر سناریوی بحرانی نشان می‌دهد.

جدول ۴: نتایج شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی در زنجیره تأمین دفاعی

سناریو	زمان شروع	زمان پایان	زمان فعالیت
حمله سایبری ۱	۵۰	۷۷,۴۷	۲۷,۴۷
حمله سایبری ۲	۱۰۰	۱۰۲,۸۵	۲,۸۵
حمله سایبری ۳	۱۵۰	۱۵۴,۸۲	۴,۸۲
تأخیر لجستیکی ۱	۶۰	۹۸,۱۰	۳۸,۱۰
تأخیر لجستیکی ۲	۱۲۰	۱۳۰,۲۶	۱۰,۲۶
تأخیر لجستیکی ۳	۱۸۰	۱۹۱,۴۰	۱۱,۴۰
خرابی تجهیزات ۱	۷۰	۱۱۱,۱۷	۴۱,۱۷
خرابی تجهیزات ۲	۱۴۰	۲۰۴,۷۳	۶۴,۷۳
خرابی تجهیزات ۳	۲۱۰	۲۲۱,۴۱	۱۱,۴۱
تهدید فیزیکی ۱	۳۰	۵۲,۳۰	۲۲,۳۰
تهدید فیزیکی ۲	۹۰	۱۰۰,۰۹	۱۰,۰۹
تهدید فیزیکی ۳	۱۵۰	۱۶۲,۹۸	۱۲,۹۸
بحران طبیعی ۱	۸۰	۸۵,۷۹	۵,۷۹
بحران طبیعی ۲	۱۶۰	۱۶۱,۵۱	۱,۵۱
بحران طبیعی ۳	۲۴۰	۲۴۰,۷۸	۰,۷۸
تحریم اقتصادی ۱	۶۰	۷۵,۱۲	۱۵,۱۲
تحریم اقتصادی ۲	۱۲۰	۱۹۲,۳۹	۷۲,۳۹
تحریم اقتصادی ۳	۱۸۰	۲۰۰,۴۰	۲۰,۴۰
تغییرات ناگهانی ۱	۴۰	۶۵,۱۵	۲۵,۱۵
تغییرات ناگهانی ۲	۱۰۰	۱۱۰,۷۵	۱۰,۷۵
تغییرات ناگهانی ۳	۱۶۰	۱۶۴,۹۳	۴,۹۳



با توجه به نتایج جدول فوق، تحریم‌های اقتصادی در صدر تهدیدها قرار می‌گیرند، چرا که می‌توانند منابع مورد نیاز برای تولید و توزیع را به شدت محدود کنند. پس از آن، خرابی تجهیزات به‌عنوان دومین تهدید مهم ظاهر می‌شود که به دلیل اختلالات فنی، زنجیره تأمین را با مشکل مواجه می‌کند. تأخیرهای لجستیکی نیز به‌عنوان یک تهدید مهم دیگر، فرایندهای حمل‌ونقل را مختل کرده و مانع از توزیع به‌موقع منابع می‌شوند. تهدیدهایی مانند حملات سایبری و تهدیدات فیزیکی هرچند زمان فعالیت کمتری دارند، اما به دلیل تأثیرات غیرمستقیم و عمیق بر زیرساخت‌ها و عملیات زنجیره تأمین، در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. تغییرات ناگهانی در تقاضا و بحران‌های طبیعی نیز تهدیدهای دیگری هستند که اثرات محدودی دارند؛ اما نیاز به آمادگی برای مدیریت آن‌ها وجود دارد. در ادامه تفسیر نتایج هر سناریو بیان می‌شود:

❖ **تحریم‌های اقتصادی:** با ۷۲,۳۸ واحد زمانی، بیشترین زمان فعالیت را دارد. تحریم‌ها می‌توانند به‌طور جدی توانایی زنجیره تأمین در تهیه مواد اولیه و اجزای حیاتی را محدود کنند. در شرایط تحریم، دسترسی به کالاها و خدمات کاهش یافته و تولید با مشکل مواجه می‌شود، که می‌تواند کل عملکرد دفاعی کشور را مختل کند.

❖ **خرابی تجهیزات:** این تهدید با ۶۴,۷۳ واحد زمانی، دومین عامل مهم در زنجیره تأمین است. خرابی تجهیزات به‌ویژه در فرایندهای حیاتی تولید و نگهداری، می‌تواند به تعطیلی خطوط تولید منجر شده و از بهره‌وری کلی زنجیره تأمین بکاهد. این اختلالات نیاز به تعمیرات سریع و پشتیبانی فنی دارد.

❖ **تأخیرهای لجستیکی:** با ۳۸,۰۹ واحد زمانی، تأخیرهای لجستیکی تأثیر قابل توجهی در رساندن منابع و کالاها به مقصد دارند. تأخیر در حمل‌ونقل باعث عدم هماهنگی میان بخش‌های مختلف زنجیره تأمین شده و موجب کاهش کارایی و بهره‌وری زنجیره تأمین می‌شود.

❖ **حملات سایبری:** این تهدید با ۲۷,۴۷ واحد زمانی، نشان می‌دهد که حملات به زیرساخت‌های اطلاعاتی و دیجیتالی زنجیره تأمین دفاعی می‌تواند به‌طور جدی عملیات

را مختل کند. عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و حملات به سیستم‌های دیجیتال می‌تواند سرعت واکنش و تصمیم‌گیری را کاهش دهد.

❖ تهدیدات فیزیکی: با ۲۲,۳۰ واحد زمانی، تهدیدهای فیزیکی می‌توانند به‌طور مستقیم به تأسیسات و زیرساخت‌های کلیدی زنجیره تأمین آسیب برسانند. این نوع تهدیدات نیاز به امنیت فیزیکی و نظارت مستمر برای کاهش خطر دارند.

❖ تغییرات ناگهانی در تقاضا: با ۲۵,۱۵ واحد زمانی، این عامل باعث ایجاد نوسانات در تولید و توزیع منابع می‌شود. عدم هماهنگی میان تقاضا و عرضه ممکن است به مشکلات ذخیره‌سازی و توزیع کالا منجر شود، که زنجیره تأمین را تحت فشار قرار می‌دهد.

❖ بحران‌های طبیعی: با زمان فعالیت ۵,۷۹ واحد زمانی، بحران‌های طبیعی کمترین تهدید را دارند. با این حال، زنجیره تأمین باید از نظر آمادگی در برابر حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان‌های شدید پیش‌بینی‌های لازم را انجام دهد تا اختلالات به حداقل برسد.

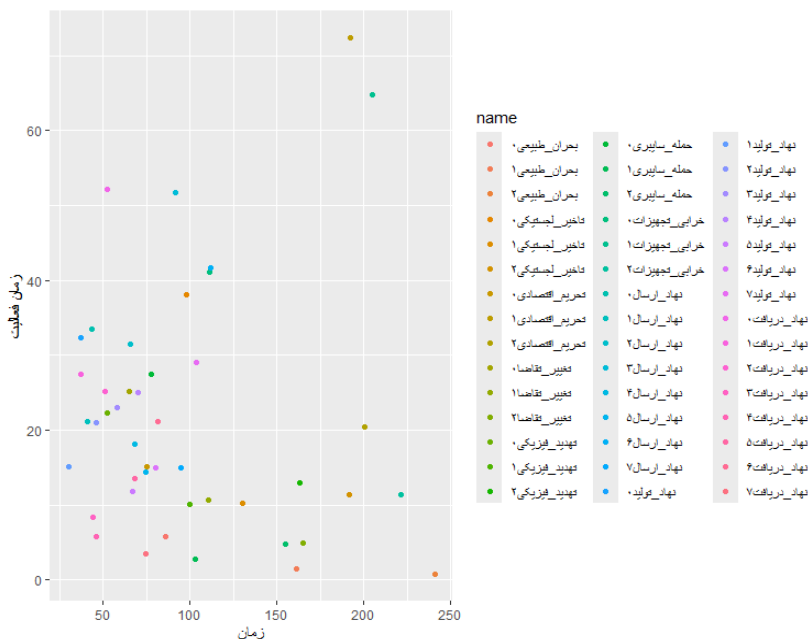
۴-۲. تحلیل نتایج شبیه‌سازی زمان فعالیت‌ها

در نمودار ۱ که بر اساس داده‌های شبیه‌سازی ارائه شده است، محور افقی (x) نشان‌دهنده زمان پایان فعالیت‌ها است. محور عمودی (y) نشان‌دهنده مدت زمان فعالیت هر نهاد است. رنگ‌ها بر اساس هر نهاد یا سناریو متمایز شده‌اند و هر نقطه نشان‌دهنده یک فعالیت خاص است که توسط یک نهاد در زمان مشخصی به پایان رسیده است؛ در ادامه به تفسیر نمودار می‌پردازیم.

❖ تنوع در مدت زمان فعالیت‌ها: نقاط روی محور عمودی نشان می‌دهند که برخی نهادها فعالیت‌های طولانی‌تری نسبت به سایرین داشته‌اند. برای مثال، نهادهایی مانند خرابی تجهیزات و تأخیر لجستیکی دارای فعالیت‌های طولانی‌تری بوده‌اند که نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر و تأثیر قابل توجه این سناریوها بر عملکرد زنجیره تأمین است.



❖ زمان پایان فعالیت‌ها: توزیع نقاط روی محور افقی نشان می‌دهد که برخی فعالیت‌ها به سرعت انجام شده و برخی دیگر مدت بیشتری به طول انجامیده‌اند. به عنوان مثال، سناریوهایی مانند بحران طبیعی و خرابی تجهیزات در بخش‌های پایانی زمان شبیه‌سازی رخ داده و تأثیرات خود را در اواخر روند شبیه‌سازی اعمال کرده‌اند.



نمودار ۱: زمان فعالیت‌های زنجیره تأمین دفاعی

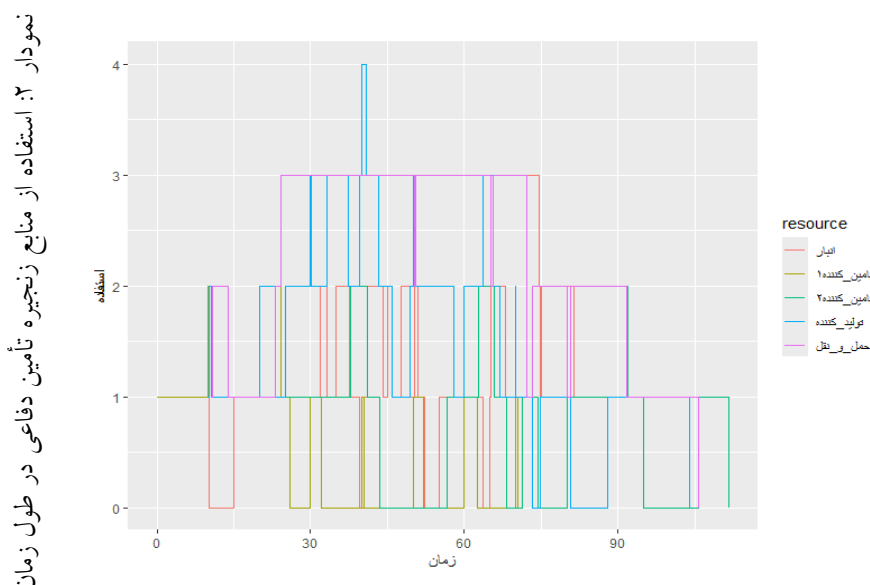
❖ نهادهای دارای فعالیت‌های طولانی‌تر: به طور خاص، نهادهای نهاد ارسال و نهاد تولید فعالیت‌های بلندمدتی را نشان می‌دهند که به پیچیدگی‌ها و تداخلات در زنجیره تأمین دفاعی اشاره دارند. همچنین، خرابی تجهیزات و تأخیرهای لجستیکی به دلیل خرابی یا مشکل در نقل و انتقالات باعث طولانی‌تر شدن زمان فعالیت این نهادها شده است.

❖ نقاط برجسته در فعالیت‌ها: برخی نقاط مانند فعالیت‌های مرتبط با حمله سایبری و تحریم اقتصادی به طور برجسته‌ای در زمان‌های مختلف تأثیر می‌گذارند که نشان دهنده وقوع و اثرات ناگهانی این سناریوها بر زنجیره تأمین دفاعی است.

به‌طور کلی این نمودار نشان می‌دهد که زنجیره تأمین دفاعی تحت تأثیر سناریوهای مختلف دچار تداخلات و تأخیرات مختلفی شده است. هر نهاد به‌طور متفاوتی به این تأثیرات واکنش نشان داده و فعالیت‌های آن‌ها در زمان‌های مختلف شبیه‌سازی به پایان رسیده است. سناریوهایی مانند خرابی تجهیزات، تأخیر لجستیکی و حمله سایبری به‌عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر زمان فعالیت نهادهای کلیدی زنجیره تأمین دفاعی شناسایی شده‌اند.

۴-۳. تحلیل روند استفاده از منابع در طول زمان

نمودار ۲، به‌خوبی تغییرات و نوسانات در مصرف منابع کلیدی زنجیره تأمین دفاعی را در طول زمان به تصویر می‌کشد. استفاده پویای منابع نشان می‌دهد که چالش‌ها و سناریوهای مختلف می‌توانند بر ظرفیت و بهره‌برداری از منابع تأثیر مستقیم داشته باشند و نقاط اوج مصرف نشان دهنده لحظات بحرانی هستند که نیاز به مدیریت بهتر منابع و ظرفیت‌سازی مناسب برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی دارند. محور افقی (x) نشان دهنده زمان است و محور عمودی (y) نشان‌دهنده تعداد سرورها یا ظرفیت مورد استفاده از هر منبع است؛ همچنین رنگ‌ها منابع مختلفی را که در شبیه‌سازی استفاده شده‌اند، مانند تأمین‌کننده ۱، حمل‌ونقل، انبار، تولیدکننده و تأمین‌کننده ۲ مشخص می‌کنند.



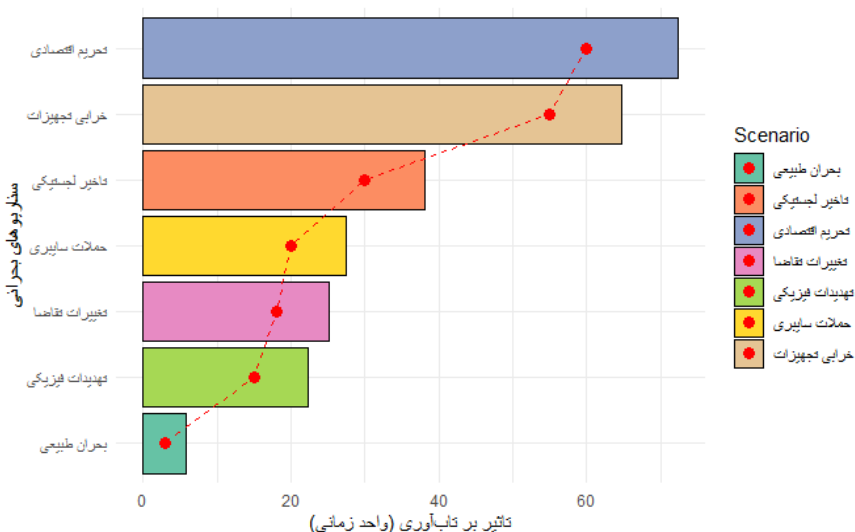


نوسانات در استفاده از منابع: نمودار به صورت خطوط پله‌ای^۱ نشان می‌دهد که استفاده از هر منبع به طور دوره‌ای تغییر می‌کند. به عنوان مثال، ممکن است برخی منابع در مقاطعی بیشتر تحت فشار قرار گیرند (استفاده بالا از ظرفیت) و سپس در مقاطعی از زمان استفاده کاهش یابد. این تغییرات نمایانگر دینامیک مصرف منابع در طی فعالیت‌های مختلف زنجیره تأمین دفاعی است.

نقاط بحرانی و اوج مصرف: برخی منابع مانند حمل و نقل و تأمین‌کننده ۱ در مقاطعی از شبیه‌سازی به شدت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به طور خاص، پله‌های بالاتر در استفاده از سرورها نشان‌دهنده نقاط اوج فعالیت در زنجیره تأمین دفاعی است که منابع به حداکثر ظرفیت خود نزدیک شده‌اند. این وضعیت‌ها می‌توانند به دلیل بروز سناریوهای مانند حمله سایبری، تأخیر لجستیکی یا خرابی تجهیزات باشد که منجر به فشار بیشتر بر منابع کلیدی می‌شوند.

۴-۴. تحلیل تأثیر اعمال راهبردهای پیشنهادی بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی

پس از اعمال راهبردهای پیشنهادی، پارامترهای شبیه‌سازی مجدداً به‌روزرسانی شده‌اند تا اثرات احتمالی بهبودهای پیشنهادی بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی مورد ارزیابی قرار گیرد. متخصصان این حوزه نظرات خود را در مورد اثربخشی راهبردهای پیشنهادی ارائه داده‌اند و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های به‌روزرسانی شده در نمودار زیر نشان داده شده است.



نمودار ۳: تأثیر سناریوهای بحرانی بر زنجیره تأمین دفاعی و کاهش زمان پس از اعمال راهبردها

نمودار ۳ نشان می‌دهد که تأثیر سناریوهای بحرانی بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی چگونه است و پس از اعمال راهبردهای مختلف، چگونه زمان هر سناریو کاهش یافته است. محور عمودی (y) نشان‌دهنده سناریوهای بحرانی است که بر زنجیره تأمین دفاعی تأثیر می‌گذارند و محور افقی (x) تأثیر این سناریوها بر تاب‌آوری (به صورت واحد زمانی) را نشان می‌دهد. نوارهای رنگی نشان‌دهنده میزان تأثیر هر سناریو قبل از اعمال راهبردها هستند و نقاط قرمز و خط‌چین‌ها میزان کاهش زمان و بهبود تاب‌آوری را پس از اعمال راهبردها نمایش می‌دهند. در ادامه به تفسیر جزئیات نمودار پرداخته شده است:

۱. تحریم اقتصادی: بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی دارد (۷۲,۳۹ واحد زمانی). پس از اعمال راهبردهای مربوط به تنوع منابع و ذخایر استراتژیک، این تأثیر به ۶۰ واحد زمانی کاهش یافته است، که نشان‌دهنده بهبود قابل توجهی در تاب‌آوری است.



۲. خرابی تجهیزات: با تأثیر ۶۴,۷۳ واحد زمانی دومین سناریوی بحرانی است. راهبردهای تعمیرات پیشگیرانه و مانیتورینگ پیشرفته توانسته‌اند این زمان را به ۵۵ واحد کاهش دهند.
۳. تأخیر لجستیکی: با تأثیر ۳۸,۱۰ واحد زمانی، راهبردهایی مانند بهینه‌سازی مسیرها و پیش‌بینی ریسک‌های لجستیکی، زمان این سناریو را به ۳۰ واحد کاهش داده‌اند.
۴. حملات سایبری: با تأثیر ۲۷,۴۷ واحد زمانی، امنیت سایبری و آموزش کارکنان توانسته‌اند این زمان را به ۲۰ واحد کاهش دهند، که نشان دهنده کاهش اثرگذاری حملات سایبری بر زنجیره تأمین دفاعی است.
۵. تهدیدات فیزیکی: تأثیر این تهدید ۲۲,۳۰ واحد زمانی است؛ اما با افزایش نظارت امنیتی و تقویت مقاومت فیزیکی تأسیسات، زمان به ۱۵ واحد کاهش یافته است.
۶. تغییرات تقاضا: تغییرات ناگهانی در تقاضا تأثیر ۲۵,۱۵ واحد زمانی دارد که با به‌کارگیری استراتژی‌های پیش‌بینی دقیق و انعطاف‌پذیری در تولید، این زمان به ۱۸ واحد کاهش یافته است.
۷. بحران طبیعی: کمترین تأثیر را با ۵,۷۹ واحد زمانی دارد. پس از اعمال راهبردهای مدیریت بحران و توزیع جغرافیایی تأسیسات، این زمان به ۳ واحد کاهش یافته است، که نشان‌دهنده بهبود تاب‌آوری در مواجهه با بحران‌های طبیعی است.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش، با هدف بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی در برابر سناریوهای بحرانی مختلف، از رویکرد شبیه‌سازی و سناریوهای بازی جنگ استفاده شد. با توجه به اهمیت زنجیره تأمین دفاعی در حفظ امنیت ملی و قابلیت‌های عملیاتی نیروهای مسلح، لازم است که این زنجیره‌ها در برابر تهدیدات متنوعی که ممکن است باعث اختلال در عملکرد آنها شوند، مقاوم و آماده باشند.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تحریم‌های اقتصادی بیشترین تأثیر را بر زنجیره تأمین دفاعی دارند و می‌توانند به‌طور جدی تأمین مواد اولیه و تجهیزات حیاتی را مختل کنند. خرابی تجهیزات نیز به‌عنوان دومین تهدید بزرگ ظاهر شد که می‌تواند به تعطیلی خطوط تولید و کاهش بهره‌وری منجر شود. علاوه بر این، تأخیرهای لجستیکی، حملات سایبری، تهدیدات فیزیکی، تغییرات ناگهانی در تقاضا و بحران‌های طبیعی نیز تأثیرات متفاوتی بر تاب‌آوری زنجیره تأمین دفاعی داشته‌اند.

اعمال راهبردهای پیشنهادی، از جمله تنوع در منابع تأمین، تقویت توان تولید داخلی، بهبود زیرساخت‌های لجستیکی و ارتقای امنیت سایبری، توانست زمان‌های اختلال ناشی از هر یک از سناریوهای بحرانی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. این بهبودها نشان داد که استفاده از روش‌های پیشگیرانه و بهینه‌سازی فرایندها می‌تواند به تاب‌آوری بیشتر زنجیره تأمین دفاعی کمک کند.

پیشنهادهای

❖ تنوع منابع تأمین و تقویت توان داخلی تولید: برای مقابله با تحریم‌های اقتصادی، ایجاد شبکه‌های تأمین چندگانه و تقویت تولید داخلی از اهمیت زیادی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود برای کاهش وابستگی به تأمین‌کنندگان خارجی و مواجهه با تهدیدات ناشی از تحریم، ظرفیت تولید داخلی توسعه یابد و فناوری‌های پیشرفته در این راستا استفاده قرار گیرد.

❖ نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه: برای کاهش تأثیر خرابی تجهیزات، ایجاد برنامه‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ پیشرفته توصیه می‌شود. با اجرای این راهبردها می‌توان از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کرد و زمان واکنش به خرابی‌ها را کاهش داد.

❖ بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل و زیرساخت‌های لجستیکی: برای کاهش تأثیر تأخیرهای لجستیکی، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل و توسعه زیرساخت‌های لجستیکی ضروری است. این راهبردها می‌توانند



به افزایش سرعت و کارایی فرایندهای لجستیکی کمک کرده و تأخیرها را به حداقل رسانند.

❖ افزایش امنیت سایبری و آموزش کارکنان: برای مقابله با حملات سایبری، ایجاد پروتکل‌های امنیت سایبری پیشرفته و ارتقای آگاهی کارکنان در مورد تهدیدات سایبری ضروری است. همچنین، توسعه سیستم‌های پشتیبانی و بازیابی اطلاعات می‌تواند زمان واکنش به این تهدیدات را کاهش دهد.

❖ تقویت زیرساخت‌های فیزیکی و امنیتی: برای کاهش تأثیر تهدیدات فیزیکی، توسعه زیرساخت‌های مقاوم در برابر حملات فیزیکی و بلایای طبیعی و افزایش نظارت و امنیت فیزیکی در تأسیسات کلیدی ضروری است.

❖ پیش‌بینی و مدیریت تغییرات تقاضا: برای مقابله با تغییرات ناگهانی در تقاضا، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی دقیق تقاضا و انعطاف‌پذیری در تولید پیشنهاد می‌شود. با ایجاد فرایندهای تولید انعطاف‌پذیر، زنجیره تأمین دفاعی می‌تواند به سرعت به نوسانات تقاضا پاسخ دهد.

❖ برنامه‌های جامع مدیریت بحران: برای کاهش تأثیر بحران‌های طبیعی، تدوین و اجرای برنامه‌های مدیریت بحران و پراکندگی جغرافیایی تأسیسات به عنوان راهبردهای کلیدی پیشنهاد می‌شود. این راهبردها می‌توانند از تأسیسات و منابع دفاعی در برابر بلایای طبیعی محافظت کنند و به بازیابی سریع پس از وقوع بحران کمک کنند.



فهرست منابع

- یمینی، سید محمد حسن؛ کازرونی، حنیف؛ طباطبایی، سیدمرتضی؛ رضائی (۱۴۰۲). *احصای فرمول محاسبه تاب آوری در زنجیره تأمین دفاعی*. فصلنامه آماد و فناوری دفاعی.
- رحیمی، اکبر؛ راد، عباس؛ عالم تبریز، اکبر؛ موتمنی، مرتضی (۱۳۹۷). *ارائه مدل ساختاری تفسیری زنجیره تأمین تاب آور در صنایع دفاعی ایران*. فصلنامه مدیریت نظامی، ۱۸ (۷۱).



References

- Lucas, R., Ekström, T., Fusaro, P., Hastings Roer, E., & Retter, L. (2024). Toward Defense Supply Chain Disruption Management: A Research Agenda for Defense Supply Chain Resilience.
- Urmston, A., Song, D., & Lyons, A. (2024). The Development of Risk Assessments and Supplier Resilience Models for Military Industrial Supply Chains Considering Rare Disruptions. *Logistics*, 8(2), 57.
- Mustafee, N., Katsaliaki, K., & Taylor, S. J. (2021). Distributed Approaches to Supply Chain Simulation: A Review. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, 31(4), 1-31.
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The international journal of logistics management*, 20(1), 124-143.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation." Pearson.
- Ekström, T., Hilletoft, P., & Skoglund, P. (2020). Differentiation strategies for defence supply chain design. *Journal of Defense Analytics and Logistics*, 4(2), 183-202.
- Sabin, P. (2012). *Simulating war: Studying conflict through simulation games*. Bloomsbury Publishing.
- Zhao, Y., Hemberg, E., Derbinsky, N., Mata, G., & O'Reilly, U. M. (2021, July). Simulating a logistics enterprise using an asymmetrical wargame simulation with soar reinforcement learning and coevolutionary algorithms. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion* (pp. 1907-1915).
- Melnyk, S. A., Schoenherr, T., Speier-Pero, C., Peters, C., Chang, J. F., & Friday, D. (2022). New challenges in supply chain management: cybersecurity across the supply chain. *International Journal of Production Research*, 60(1), 162-183.
- Coyle, J. J., Novack, R. A., Gibson, B. J., & Langley, C. J. (2021). *Supply chain management: a logistics perspective*. Cengage Learning.
- DeBerry, W. T., Dill, R., Hopkinson, K., Hodson, D. D., & Grimaila, M. (2024). The wargame commodity course of action automated analysis method. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 21(1), 17-29.
- Adenekan, O. A., Ezeigweneme, C., & Chukwurah, E. G. (2024). Strategies for protecting IT supply chains against cybersecurity threats. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(5), 1598-1606.
- Sani, S., Schaefer, D., & Milisavljevic-Syed, J. (2022). Strategies for achieving pre-emptive resilience in military supply chains. *Procedia CIRP*, 107, 1526-1532.
- Praveen, A. (2019). *Adaption Strategies For Supply Chain Recovery during Economic Sanctions* (Doctoral dissertation, Curtin University).