

## Improving the Resilience of Military Hospitals Through Self-Adaptation of Hospital Systems Using Organic Computing

Moein Khorsand Chobdar<sup>1</sup>, Moheb Ali Rahdar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Shahid Nikbakht, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

Received: 28 September 2021 Accepted: 20 March 2022

### Abstract

**Background and Aim:** Among the failures of a disaster, the disruption of the critical infrastructure of the community causes the most damage to society. Therefore, the ability of critical infrastructure such as hospitals to anticipate, absorb, adapt or rapidly recover from a devastating event is essential. The purpose of this study is to design a self-adaptive model for resilient hospital systems to improve the quality of services in military hospitals.

**Methods:** In this paper, first the vital systems of resilient hospital were identified using library studies. Then, in the selected systems, aspects of self-adaptive appropriate to each system were selected, and by applying the organic computing method, these systems were self-adapted. agent-based modeling has been used to evaluate the model of Resilient Hospital self-adaptive systems. Necessary data were obtained in the field from a military hospital.

**Results:** According to the simulation results, the self-adaptive model of resilient hospital systems in the support and resource management system has been able to reduce the average backlog of demand by 34.24% and the average waiting time to receive demand by 38.89%. This model has reduced the number of units' failures in the hospital safety system by 37.53%. In the emergency and disaster management system, the self-adaptive model has been able to reduce the evacuation time of the hospital by 42.11%. The self-adaptive model has improved the performance of the emergency medical care system by 13%.

**Conclusion:** Due to their ability to change behavior in time, self-adapting systems have the ability to improve the resilience of military hospitals in any crisis and make them more successful in their missions.

---

**Keywords:** Military Hospitals, Resilience Hospital, Self-Adaptive, Organic Computing.

## بهبود تاب‌آوری بیمارستان‌های نظامی از طریق خودتطبیقی سیستم‌های بیمارستان با استفاده از محاسبات ارگانیک

معین خورسند چوبدار<sup>۱</sup>، محبعلی رهدار<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی صنایع، دانشکده شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** از بین‌خوابی‌های یک حادثه، اختلال در زیرساخت‌های حیاتی جامعه، بیشترین آسیب را به جامعه وارد می‌کند. از این رو توانایی زیرساخت‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها در پیش‌بینی، جذب، انطباق و یا بهبود سریع از یک رویداد مخرب لازم است. هدف این پژوهش طراحی مدلی خودتطبیق برای سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، جهت ارتقای سطح کیفیت خدمات در بیمارستان‌های نظامی است.

**روش‌ها:** در این پژوهش ابتدا سیستم‌های حیاتی بیمارستان تاب‌آور، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شدند. سپس در سیستم‌های منتخب، جنبه‌هایی از خودتطبیقی متناسب با هر سیستم انتخاب گردید و با بکارگیری روش محاسبات ارگانیک این سیستم‌ها خودتطبیق شدند. جهت ارزیابی مدل سیستم‌های خودتطبیق بیمارستان تاب‌آور، از شبیه‌سازی عامل‌بنیان استفاده شده است. داده‌های لازم به صورت میدانی از یک بیمارستان نظامی تهیه گردیده است.

**یافته‌ها:** با توجه به نتایج شبیه‌سازی، مدل خودتطبیق سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع موفق شده است، میانگین تقاضاهای عقب‌افتاد را به میزان ۳۴/۲۴ درصد و میانگین مدت‌زمان انتظار دریافت تقاضا را به میزان ۳۸/۸۹ درصد کاهش بدهد. این مدل در سیستم ایمنی بیمارستان تعداد خرابی‌ها را ۳۷/۵۳ درصد کاهش داده است. در سیستم مدیریت فوریت و بلافاصله، مدل خودتطبیق توانسته است ۴۲/۱۱ درصد در مدت زمان تخلیه بیمارستان کاهش ایجاد کند. مدل خودتطبیق ۱۳ درصد عملکرد سیستم قابلیت مراقبت‌های پزشکی فوری را بهبود داده است.

**نتیجه‌گیری:** سیستم‌های خودتطبیق به دلیل قابلیت تغییر رفتار خود در زمان این توانایی را دارند که تاب‌آوری بیمارستان‌های نظامی را در هر بحران، بهبود ببخشند و این بیمارستان‌ها را در انجام مأموریتشان موفق‌تر نمایند.

**کلیدواژه‌ها:** بیمارستان‌های نظامی، بیمارستان تاب‌آور، سیستم‌های خودتطبیق، محاسبات ارگانیک.

\* نویسنده مسئول: محبعلی رهدار. پست الکترونیک: [m.ali.rahdar@eng.usb.ac.ir](mailto:m.ali.rahdar@eng.usb.ac.ir)

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹

## مقدمه

خودسازمان‌دهی کنترل‌شده در سیستم است (۱۳) که از سه جز اصلی زیر تشکیل شده است.

سیستم تحت نظارت و کنترل (System under Observation and Control): بخش "مولد" یک سیستم است که هدف خاصی را دنبال می‌کند.

ناظر (Observer): وضعیت سیستم تحت نظارت و کنترل، توسط ناظر نظارت می‌شود. ناظر وضعیت فعلی کل سیستم را در هر نقطه از زمان توصیف می‌کند.

کنترل‌کننده (Controller): بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده ناظر، کنترل‌کننده بر سیستم تحت نظارت و کنترل با توجه به اهداف کاربر، تأثیر می‌گذارد (۱۴).

در معماری ناظر/کنترل‌کننده از حسگرها و عملگرها برای نظارت و کنترل بر سیستم تحت نظارت و کنترل استفاده می‌شود. در صورتی که وضعیت سیستم تحت نظارت و کنترل به حالت‌های نامطلوب تغییر کند، ناظر داده‌های خام را از سیستم تحت نظارت و کنترل جمع‌آوری می‌نماید. این داده‌ها به‌منظور تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی سیستم و پیش‌بینی رفتار سیستم در آینده ثبت و پردازش می‌شوند. سپس مشاهدات و پیش‌بینی‌ها، جمع‌آوری شده و به کنترل‌کننده منتقل می‌شوند (۱۵). کنترل‌کننده داده‌های جمع‌آوری شده را از ناظر دریافت می‌کند و آن را با اهداف سیستم مقایسه می‌کند. این اهداف توسط کاربر برای سیستم تعریف شده است. کنترل‌کننده رفتار سیستم تحت نظارت و کنترل را به‌منظور دستیابی به رفتار موردنظر کاربر یا جلوگیری از رفتارهای نامطلوب، هدایت می‌کند. کنترل‌کننده بر اساس وضعیت سیستم تحت نظارت و کنترل، عملی را به‌وسیله محرک‌ها در سیستم اعمال می‌کند. این عمل در تاریخچه سیستم ذخیره می‌شود. از طریق مقایسه وضعیت جدید سیستم تحت نظارت و کنترل با وضعیت قبلی آن، میزان تأثیرگذاری عمل سنجیده می‌شود. بر اساس میزان تأثیرگذاری عمل، دائماً سازگاری سیستم با اهداف کاربر به‌روزرسانی می‌شود. بنابراین سازگاری سیستم از این طریق بهبود می‌یابد. الگوی ناظر/کنترل‌کننده در بالای سیستم تحت نظارت و کنترل ساخته شده است، اگر الگو ناظر/کنترل‌کننده به دلایلی قادر به انجام وظایف خود نباشند، سیستم تحت نظارت و کنترل ساختار خود را حفظ خواهد کرد و به فعالیتش ادامه خواهد داد (۱۶). در شکل ۱ معماری موردنظر نمایش داده شده است.

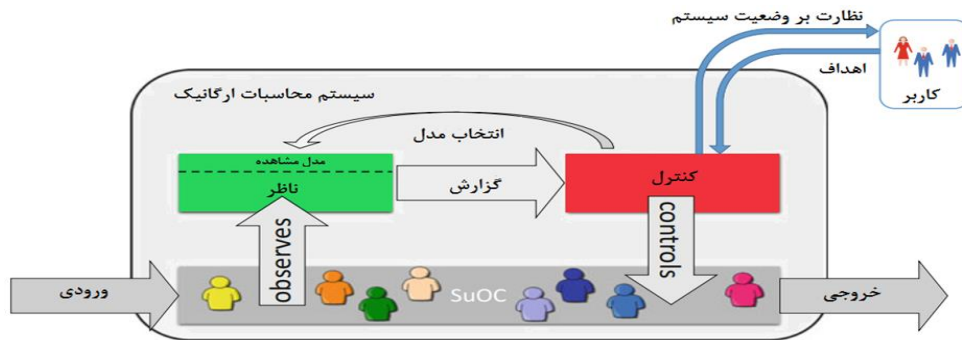
مدل‌سازی عامل‌بنیان (Agent-Based Modeling)، تکنیک قدرتمندی است که امکان مدل‌سازی پدیده‌های اجتماعی را می‌دهد (۱۸). در این مدل‌سازی می‌توان تعاملات پیچیده عامل-عامل، عامل-محیط، یادگیری و انطباق عامل را مدل کرد (۱۹). یک مدل عامل‌بنیان از سه جزء اصلی عامل (Agent)، محیط (Environment) و تعاملات تشکیل می‌شود. عامل: شخص، موجود، شیء یا نهاد خودمختار با ویژگی‌ها، اقدامات و اهداف خاص است. محیط: شامل تمام اجزای سیستم شبیه‌سازی شده به‌استثنای

همیشه در طول تاریخ بحران‌های طبیعی و یا انسان‌ساز تهدیدی جدی برای مراکز استراتژیک بوده‌اند (۱). هنگامی که وقوع بلایا نظم اجتماعی، شیوه طبیعی زندگی، ارزش‌ها و باورها را به چالش می‌کشد، یک فاجعه ایجاد می‌شود (۲). علی‌رغم اهمیت تأسیسات بهداشتی مانند بیمارستان‌ها برای یک جامعه، در زمان بروز حوادث این سازمان‌ها خود در برابر فجایع آسیب‌پذیر بوده و در صورت آسیب‌دیدن این سازمان‌ها، جان بیماران و مصدومان حادثه و کارکنان تأسیسات بهداشتی در معرض خطر قرار خواهد گرفت (۳). با توجه به تأثیر حوادث، اهمیت مفاهیمی مانند تاب‌آوری (Resilience) در برابر فجایع بیش‌ازپیش احساس می‌شود. تاب‌آوری در برابر بلایا به توانایی واحدهای اجتماعی در کاهش اثرات بلایا هنگام وقوع، اطلاق می‌شود (۴). تاب‌آوری بیمارستان، صرف‌نظر از اینکه چه نوع فاجعه‌ای رخ داده است، برای مدیریت فاجعه الزامی است (۵).

تاب‌آوری در برابر بلایای بیمارستان به توانایی بیمارستان برای تحمل، جذب و پاسخ دادن به بلایا، حین حفظ عملکردهای مهم و همچنین بهبودی در وضعیت اولیه خود یا سازگاری باحالت جدید اشاره دارد (۶). بیمارستان تاب‌آور (Resilience Hospital)، از چهار مفهوم فراوانی، توانمندی، استحکام و سرعت برای بهبود تاب‌آوری استفاده می‌کند. فراوانی و توانمندی به‌عنوان وسیله تحقق تاب‌آوری، استحکام و سرعت به‌عنوان اهداف تاب‌آوری شناخته می‌شوند (۷). برای افزایش تاب‌آوری بیمارستان در برابر بحران‌ها می‌توان سیستم‌های بیمارستان را خودتطبیق نمود.

یک سیستم خودتطبیق (Self-adaptive systems) به‌طور مداوم بر خود نظارت می‌کند و با جمع‌آوری داده از محیط و تجزیه و تحلیل آن‌ها تصمیم می‌گیرد که آیا سازگاری لازم است یا خیر. سیستم‌های خودتطبیق قادر به تغییر رفتار خود در زمان برای رسیدن به اهداف سیستم هستند (۸). یک سیستم خودتطبیق قادر است شرایط خارجی، منابع، حجم کاری، تقاضاها و شکست‌های متغیر را مدیریت کند (۹). خود پیکربندی، خود التیام، خود بهینه‌سازی، خود حفاظتی اهداف هر سیستم خودتطبیق به‌حساب می‌آیند (۱۰). محاسبات ارگانیک (Organic Computing) یکی از روش‌های پیاده‌سازی خودتطبیقی در سیستم‌ها است.

محاسبات ارگانیک روشی برای مقابله با پیچیدگی سیستم‌ها است (۱۱). سیستم محاسبات ارگانیک با حداقل دخالت کاربر در سیستم، عمل می‌کند (۱۲). مشخصه سیستم‌های محاسبات ارگانیک پاسخگویی به تغییرات خارجی و داخلی است که این خود باعث رفتار تطبیقی سیستم می‌شود. این‌گونه رفتارهای تطبیقی از طریق یک مکانیسم بازخورد نظارتی که قادر به نظارت، تجزیه و تحلیل و پاسخ به شرایط در حال تغییر است، حاصل می‌شود. محاسبات ارگانیک یک معماری عمومی مبتنی بر ناظر/کنترل‌کننده را پیشنهاد می‌دهد. این معماری روشی برای دستیابی به



شکل-۱. معماری ناظر/کنترل کننده (۱۷)

عامل‌ها است. تعاملات: شامل عمل و عکس‌العمل میان عامل‌ها و نیز میان عامل و محیط است. تعاملات از طریق تبادل اطلاعات شکل می‌گیرند (۲۰). مدل‌سازی و شبیه‌سازی عامل‌بنیان، از سایر روش‌های مدل‌سازی انعطاف‌پذیرتر است. نرم‌افزارهایی همچون AnyLogic متناسب با مدل‌سازی عامل‌بنیان توسعه یافته‌اند (۲۱). در بین مطالعاتی که در زمینه بیمارستان تاب‌آور صورت گرفته است، مطالعه‌ای که از طریق خودتطبیق‌سازی سیستم‌ها، سطح تاب‌آوری بیمارستان را ارتقا داده باشد، یافت نشد. بنابراین با مشخص شدن خلأ موجود در ادبیات موضوع، دلیل انتخاب این مبحث را می‌توان این‌گونه بیان کرد که بیمارستان‌های نظامی با توجه به تنوع مأموریت‌هایشان، یکی از مهمترین مراکز بهداشت و درمان کشور بوده و نقش ویژه‌ای را در بلایا بر عهده دارند (۲۲)؛ بنابراین بهبود سطح تاب‌آوری بیمارستان‌های نظامی در برابر حوادث جزء اصلی‌ترین وظایف مدیریت این‌گونه بیمارستان‌ها است. از این‌رو، در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از روش محاسبات ارگانیک سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور را خودتطبیق نموده تا در شرایط بروز حوادث، بیمارستان‌های نظامی با تاب‌آوری بیشتری به انجام وظایف خود ادامه دهند.

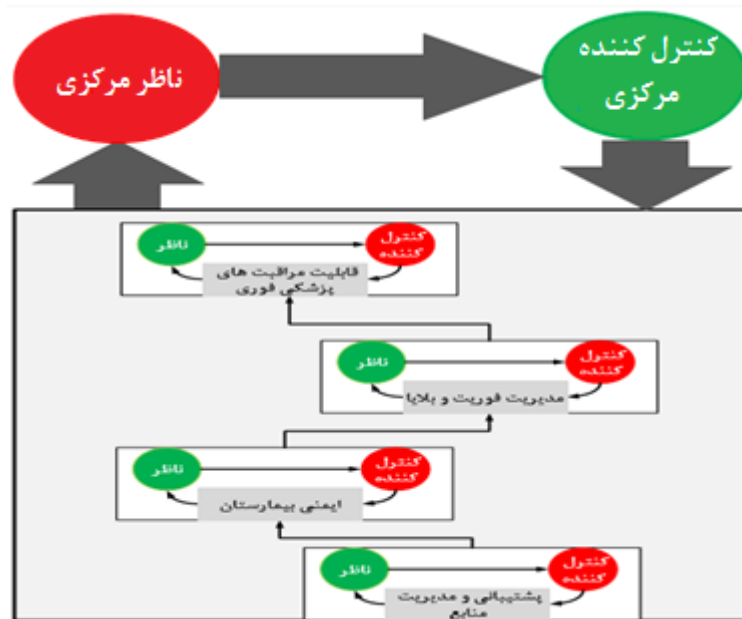
## روش‌ها

این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ روش، توصیفی-تحلیلی است. در این پژوهش ابتدا سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شدند. در سیستم‌های منتخب، جنبه‌هایی از خودتطبیقی متناسب با هر سیستم انتخاب گردید و با به‌کارگیری روش محاسبات ارگانیک این سیستم‌ها خودتطبیق شدند. سناریوهای متفاوت بحران‌ها براساس نظر خبرگان جمع‌آوری شدند و مدل خودتطبیق سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، براساس این سناریوها برای بحران‌ها و بلایا شبیه‌سازی گردیده است. داده‌های موردنیاز از یک بیمارستان نظامی به‌صورت میدانی و با استفاده از مستندات و اطلاعات موجود در بخش‌های ذی‌ربط مانند دفتر تریاژ و پذیرش اورژانس، واحد تأسیسات، واحد انبار دارو و کالا جمع‌آوری شده است. از آنجایی که مطالعه مشابهی که خودتطبیقی را در سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور و یا حتی

سیستم‌های بیمارستانی پیاده‌سازی کرده باشد یافت نشد، از طریق تعریف سناریو اعتبار مدل ارائه شده مورد سنجش قرار گرفته است. برای طراحی مدل بیمارستان تاب‌آور از مدلی که Zhong (۲۳) ارائه داده است، استفاده شده است. بر اساس این مدل بیمارستان تاب‌آور دارای ۴ سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، سیستم ایمنی بیمارستان، سیستم مدیریت فوریت و بلایا و سیستم قابلیت مراقبت‌های پزشکی فوری است. براساس نظر خبرگان زیرسیستم‌هایی مانند استراتژی مدیریت انبار و موجودی دارو، مسائل امنیتی و حفاظتی تأسیسات، استراتژی‌های تخلیه و محافظت از بیماران، خدمات اضطراری و فراطرفیت در تمامی بحران‌ها بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری بیمارستان دارند، بنابراین اگر مدل خودتطبیق بتواند عملکرد هر کدام از این زیرسیستم‌ها را در زمان وقوع بحران بهبود دهد، می‌توان نتیجه گرفت که مدل طراحی شده برای ارتقای سطح تاب‌آوری بیمارستان مدل مناسبی است.

برای مدل‌سازی بیمارستان تاب‌آور از روش مدل‌سازی عامل‌بنیان استفاده شده است. با استفاده از این روش می‌توان مدل‌های متشکل از عامل‌ها که در یک محیط با یکدیگر در تعامل هستند را ایجاد، آزمون و تحلیل کرد (۲۴). مدل خودتطبیق سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، براساس مدل خودتطبیق ارائه شده در (۲۵) طراحی شده است. در این مدل، یک ساختار سلسله‌مراتبی با پنج لایه طراحی شده است، هر سیستم بیمارستان تاب‌آور در یک لایه قرار می‌گیرد. در هر لایه یک عامل به‌عنوان مجری مکانیسم کنترلی در نظر گرفته شده است. پنجمین لایه نیز به‌عنوان لایه کنترل مرکزی در نظر گرفته شده است. اطلاعات هر لایه به‌وسیله عامل‌های کنترلی جمع‌آوری شده و به لایه‌های بالایی منتقل می‌گردد تا در نهایت به لایه کنترل مرکزی برسد. قوانین و داده‌های مورد نیاز هر لایه، به‌وسیله لایه کنترل مرکزی به لایه‌های پایینی منتقل می‌شود. عامل‌های کنترلی، وظیفه ایجاد ارتباط بین لایه‌ها و انتقال اطلاعات و قوانین در هر لایه را بر عهده دارند. در شکل ۲ مدل خودتطبیق بیمارستان تاب‌آور نمایش داده شده است.

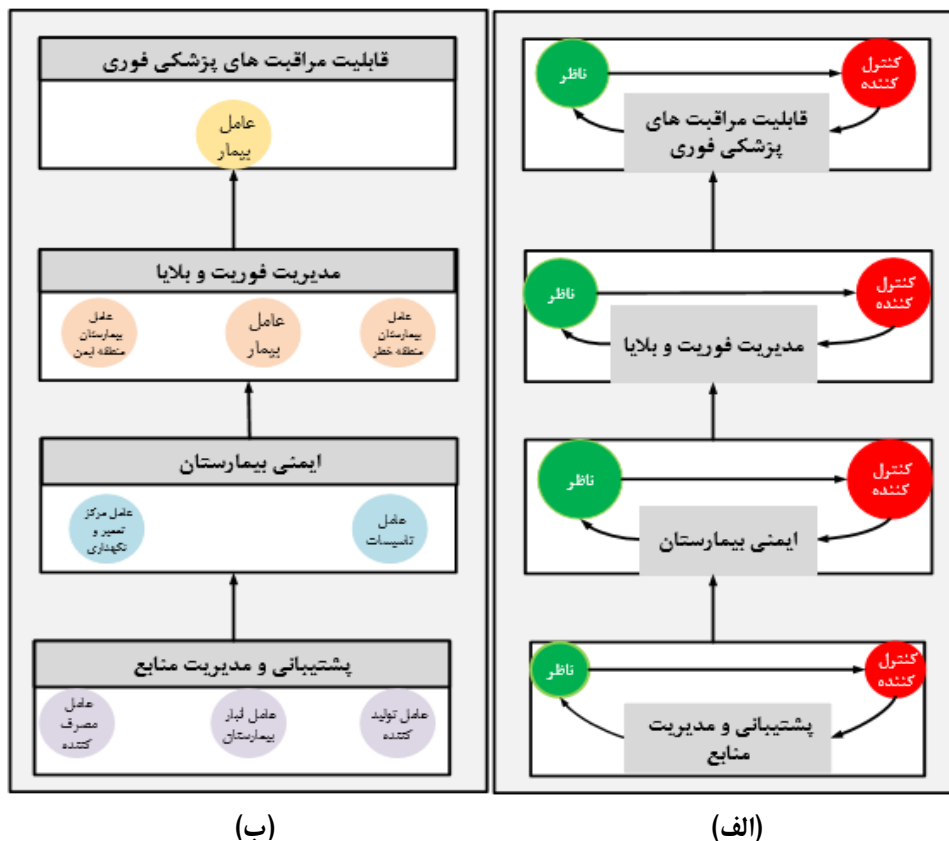
برای ارزیابی اعتبار روش پیشنهادی، نتایج مدل خودتطبیق



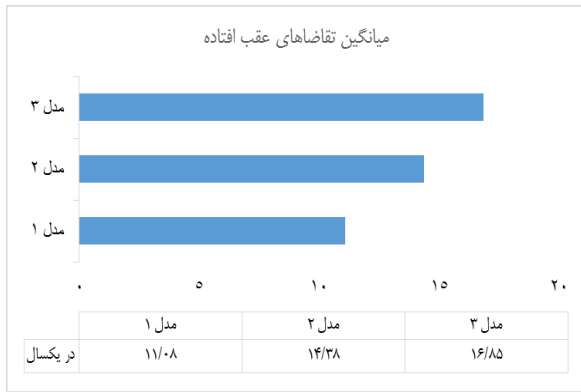
شکل-۲. مدل خودتطبیق بیمارستان تاب‌آور (۲۶)

دوم، مدل غیر خودتطبیق: در این مدل یک ساختار سلسله مراتبی با چهار لایه طراحی شده است که هر سیستم بیمارستان تاب‌آور در یک لایه قرار می‌گیرد. در این مدل مکانیسم کنترلی مرکزی و مکانیسم کنترلی هر لایه حذف شده است. در شکل (۳-الف) نمایش مدل خودتطبیق توزیع شده و در شکل (۳-ب) مدل غیر خود تطبیق نمایش داده شده است.

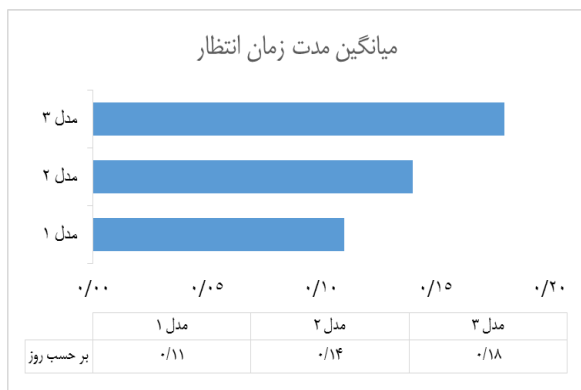
بیمارستان تاب‌آور با نتایج دو سناریو زیر، مقایسه می‌شود. سناریو اول، مدل خودتطبیق توزیع شده: در مدل خودتطبیق توزیع شده، یک ساختار سلسله مراتبی با چهار لایه طراحی می‌شود. هر سیستم بیمارستان تاب‌آور در یک لایه قرار می‌گیرد. در هر لایه یک عامل به‌عنوان مجری مکانیسم کنترلی در نظر گرفته شده است؛ اما مکانیسم کنترلی مرکزی در این مدل لحاظ نخواهد شد. سناریو



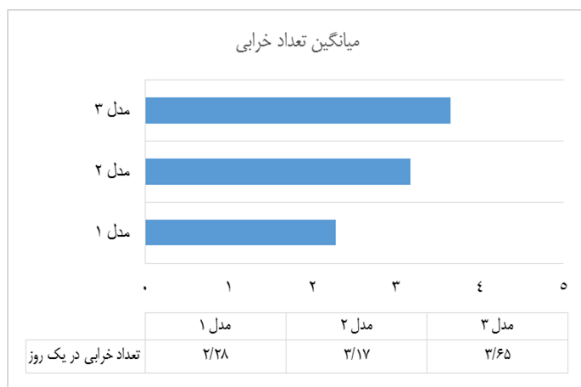
شکل-۳. مدل خودتطبیق توزیع شده بیمارستان تاب‌آور (الف) (۲۶)؛ مدل بیمارستان تاب‌آور غیر خودتطبیق (ب)



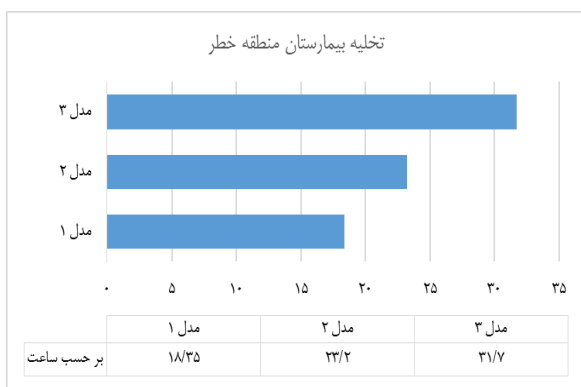
نمودار-۱. میانگین تقاضاهای عقب افتاده عامل مصرف کننده در یک سال



نمودار-۲. میانگین مدت زمان انتظار عامل مصرف کننده



نمودار-۳. میانگین خرابی سیستم غیرسازه‌ای در یک روز



نمودار-۴. مدت زمان تخلیه بیمارستان

در این پژوهش رویکرد پیشنهادی در قالب شبیه‌سازی، مدل‌سازی شده است. شبیه‌سازی یک رویکرد مناسب برای پیاده‌سازی و اعتبارسنجی مدل طراحی شده خواهد بود. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار AnyLogic نسخه ۸ استفاده شده است. این نرم‌افزار توانایی پیاده‌سازی سه نوع شبیه‌سازی سیستم‌های پویا، پیشامدهای گسسته و عامل‌بنیان را دارد. مقالات فراوانی، از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی مدل‌های عامل‌بنیان استفاده کرده‌اند.

## نتایج

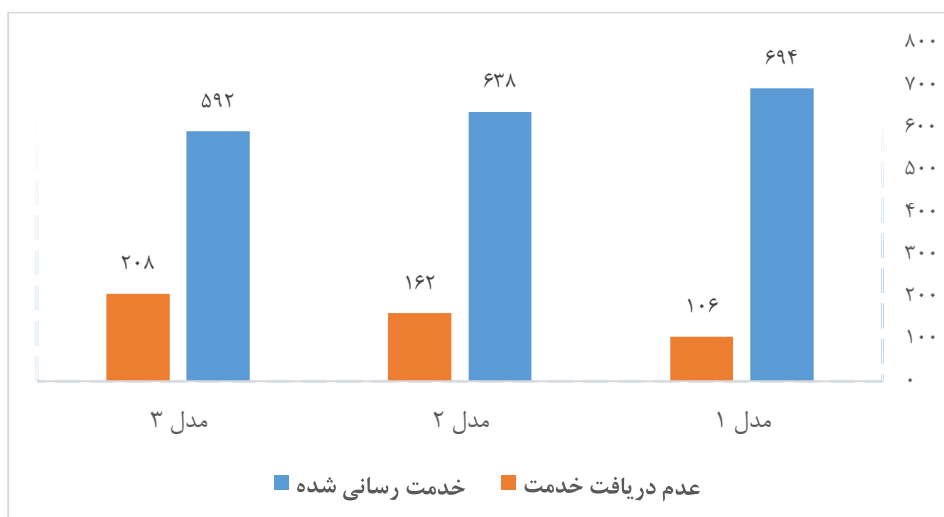
در پاسخ به اهداف پژوهش، عملکرد مدل خودتطبیق بیمارستان تاب‌آور به کمک شبیه‌سازی بررسی شد. برنوداد اجرای مدل شبیه‌سازی شده به شرح زیر است.

در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع بیمارستان تاب‌آور، مدل‌سازی کنترل موجودی انبار دارو طراحی شده است. در این مدل از سه عامل مصرف‌کننده، انبار بیمارستان و تولیدکننده استفاده شده است. عامل مصرف‌کننده نماینده تمام قسمت‌های مختلف بیمارستان است که متقاضی داروی مورد نظر هستند. مدل موجود شامل یک نوع داروی خاص است. خروجی مدل شبیه‌سازی شده، محاسبه مدت زمان انتظار عامل مصرف‌کننده برای دریافت تقاضای خود در یک روز و نیز میانگین تقاضاهای عقب‌افتاده عامل مصرف‌کننده در یک سال می‌باشد. این مدل به مدت ۳۶۵ روز شبیه‌سازی شده است، نتایج شبیه‌سازی، مدل‌های خودتطبیق (مدل ۱)، خودتطبیق توزیع‌شده (مدل ۲) و غیر خودتطبیق (مدل ۳) در نمودار ۱ و ۲ نمایش داده شده است.

در سیستم ایمنی بیمارستان به مدل‌سازی نگهداری و تعمیرات تأسیسات بیمارستان پرداخته شده است. در این سیستم هدف از مدل‌سازی، بررسی تأثیر، انجام نگهداری و تعمیرات دوره‌ای به موقع در میزان خرابی تجهیزات سیستم غیرسازه‌ای بیمارستان، با فرض وجود محدودیت در انجام سرویس به موقع است. در این مدل، سیستم غیرسازه‌ای بیمارستان با ۱۰۰ واحد تجهیزات در نظر گرفته شده است. این تجهیزات در فواصل زمانی مشخص به نگهداری و تعمیرات دوره‌ای نیاز دارند. این مدل از دو عامل تأسیسات و مرکز نگهداری و تعمیرات تشکیل شده است. این مدل برای یک بازه ۶۰ روزه شبیه‌سازی شد و میانگین تعداد واحدهای خراب در یک روز محاسبه گردید. نتایج شبیه‌سازی، مدل‌های خودتطبیق (مدل ۱)، خودتطبیق توزیع‌شده (مدل ۲) و غیر خودتطبیق (مدل ۳) در نمودار ۳ نمایش داده شده است.

در مدل‌سازی سیستم مدیریت فوریت و بلایا، هدف دست یافتن به یک زمان تخلیه بهینه است. مدل تخلیه بیمارستان از ۳ عضو بیمار، بیمارستان منطقه خطر و بیمارستان منطقه ایمن تشکیل شده است. هر عضو، نماینده یک عامل در شبیه‌سازی مدل است. بیماران در این مدل‌سازی از نوع بیماران وابسته هستند که به حمل و نقل پزشکی (آمبولانس) و کمک پزشکی در هنگام حمل و

بیمارانی که درمان به‌موقع دریافت کرده‌اند و تعداد بیمارانی که نتوانسته‌اند به‌موقع خدمت‌رسانی شوند و مجبور به ترک بیمارستان شده‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مدل تنها از یک عامل بیمار استفاده شده است. جمعیت عامل بیمار در این مدل شامل ۸۰۰ نفر است. مدل پیشنهادی به مدت ۴۰ ساعت شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی، مدل‌های خودتطبیق (مدل ۱)، خودتطبیق توزیع شده (مدل ۲) و غیر خودتطبیق (مدل ۳) در نمودار ۵ نمایش داده شده است.



نمودار ۵- میزان بیمارانی خدمت‌رسانی شده و بیمارانی خدمت‌رسانی نشده

پزشکی فوری از بین ۸۰۰ بیمار مراجعه‌کننده به بیمارستان ۶۳۸ نفر توانسته‌اند خدمت دریافت کنند و ۱۶۲ نفر نیز بدون دریافت خدمت بیمارستان را ترک نموده‌اند.

با توجه به نتایج مدل غیر خودتطبیق، در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، در مدت یک سال به‌طور میانگین ۱۶/۸۵ عدد از تقاضاهای عامل مصرف‌کننده به‌صورت تقاضای عقب‌افتاده پاسخ داده شده است؛ و میانگین مدت‌زمان انتظار عامل مصرف‌کننده برای دریافت تقاضاها برابر با ۰/۱۸ روز است. در سیستم ایمنی بیمارستان روزانه به‌طور میانگین ۳/۶۵ خرابی در بین واحدها مشاهده می‌شود. در سیستم مدیریت فوریت و بلایا، زمان تخلیه بیمارانی از بیمارستان منطقه خطر برابر با ۳۱/۷۰ ساعت است که معادل ۱ روز و ۷ ساعت و ۴۰ دقیقه می‌باشد. در سیستم قابلیت‌های پزشکی فوری از بین ۸۰۰ بیماری که به بیمارستان مراجعه کرده بودند ۵۹۲ بیمار در بیمارستان خدمت‌رسانی شده‌اند و ۲۰۸ بیمار نیز بدون دریافت خدمت بیمارستان را ترک کرده‌اند.

### بحث

از مقایسه مدل خودتطبیق با مدل غیر خودتطبیق می‌توان نتیجه گرفت که مدل خودتطبیق در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، ۳۴/۲۴ درصد، میانگین تقاضاهای عقب‌افتاده کمتری دارد و ۳۸/۸۹ درصد، میانگین مدت‌زمان انتظار دریافت تقاضا را کاهش

حمل و نقل نیاز دارند. این مدل به مدت ۴۰ ساعت و برای ۱۲۰ بیمار شبیه‌سازی گردید. نتایج زمان تخلیه کل بیمارانی در مدل‌های خودتطبیق (مدل ۱)، خودتطبیق توزیع شده (مدل ۲) و غیر خودتطبیق (مدل ۳) در نمودار ۴ نمایش داده شده است.

در مدل‌سازی سیستم قابلیت‌های مراقبت‌های پزشکی فوری هدف بررسی شاخص عملکرد بیمارستان در زمینه درمان به‌هنگام بیمارانی و یا عدم توانایی در خدمت‌رسانی به‌موقع است. در این مدل تعداد

با توجه به نتایج مدل خودتطبیق ارائه شده برای بیمارستان تاب‌آور، در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، عامل مصرف‌کننده در یک سال به‌طور میانگین ۱۱/۰۸ عدد از تقاضاهای خود را به‌صورت عقب‌افتاده دریافت کرده است و به‌طور میانگین ۰/۱۱ روز منتظر دریافت تقاضاهای خود بوده است. در سیستم ایمنی بیمارستان از ۱۰۰ واحد، در روز ۲/۲۸ عدد از واحدها دچار خرابی شده است. در سیستم مدیریت فوریت و بلایا، برای تخلیه بیمارانی از بیمارستان منطقه خطر به ۱۸/۳۵ ساعت زمان نیاز است. در سیستم قابلیت‌های مراقبت‌های پزشکی فوری ۶۹۴ نفر از بین ۸۰۰ بیمار مراجعه‌کننده موفق به دریافت خدمت شده‌اند و ۱۰۶ نفر از بیمارانی که دلیل عدم خدمت‌رسانی به‌هنگام بیمارستان را ترک کرده‌اند.

با توجه به نتایج مدل خودتطبیق توزیع شده، در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، به‌طور میانگین ۱۴/۳۸ عدد از تقاضاهای عامل مصرف‌کننده در عرض یک سال به‌صورت تقاضای عقب‌افتاده پاسخ داده شده است؛ و به‌طور میانگین ۰/۱۴ روز عامل مصرف‌کننده برای دریافت تقاضای خود منتظر مانده است. در سیستم ایمنی بیمارستان، از ۱۰۰ واحد مورد بررسی به‌طور میانگین در روز ۳/۱۷ واحد دچار خرابی شده است. در سیستم مدیریت فوریت و بلایا، تخلیه بیمارانی از بیمارستان منطقه خطر ۲۳/۲ ساعت به طول انجامیده است؛ در سیستم قابلیت‌های

خودتطبيق توزیع شده باعث عملکرد ضعیف تر این مدل نسبت به مدل خودتطبيق شده است.

در بحث تاب‌آوری بیمارستان مطالعات مختلفی صورت گرفته است؛ به عنوان نمونه، Zhong و همکاران (۲۷) به منظور سنجش تاب‌آوری در برابر بلایای بیمارستانی یک چهارچوب تاب‌آوری بیمارستان را تدوین کردند. این چهارچوب از ۸ بعد ایمنی بیمارستانی، مدیریت انبار و منابع، اطلاعات جمعیت شناختی بیمارستان، آموزش و تمرین کارکنان، فرماندهی، سیستم ارتباطات و همکاری، توانایی مراقبت‌های ویژه اضطراری، قابلیت کارکنان، بازیابی و سازگاری، افزایش ظرفیت و خدمات اورژانسی تشکیل شده است. زابلی و همکاران (۲۸) به ارائه و اعتباریابی ابزاری جهت تبیین مؤلفه‌های تاب‌آوری سازمانی در بیمارستان‌های نظامی پرداختند. در این مطالعه عوامل مؤثر بر تاب‌آوری در بیمارستان‌های نظامی در ۵ بعد اصلی آسیب‌پذیری و ایمنی بیمارستان، آمادگی در بلایا، سازگاری ظرفیتی، تداوم خدمات در بحران، باز توانی و تطابق با شرایط پس از بحران، طبقه‌بندی گردیده است. Chuang و همکاران (۲۹) با استفاده از معیارهای پاسخ، نظارت، یادگیری و پیش‌بینی در بخش اورژانس بیمارستان‌ها به ارزیابی تاب‌آوری پرداختند. صفاری دربریزی و همکاران (۳۰) هشت عامل، ثبات و پایداری، سیستم حمل‌ونقل و انتقال، سیستم ارتباطات و فناوری اطلاعات، تجهیزات و عناصر مربوط به آن، پاسخگویی، هماهنگی، لجستیک و تأمین‌کننده و آموزش را عوامل مؤثر در ارزیابی تاب‌آوری بیمارستان‌ها در برابر ویروس کرونا، معرفی کردند. دو عامل ثبات و پایداری و سیستم ارتباطات و فناوری اطلاعات در بین سایر عوامل مؤثرتر بیان شده است. فلاح علی‌آبادی و همکاران (۳۱) با استفاده از روش ANP فازی به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی تاب‌آوری بیمارستان پرداختند. در این مطالعه، سه دامنه ساختمانی، زیرساختی و اداری، ۱۷ زیر دامنه و ۷۱ شاخص برای تاب‌آوری بیمارستان شناسایی شده است. تاب‌آوری اداری از بین دامنه‌ها، مدیریت لجستیک و مالی از بین زیردامنه‌ها و قرارداد برون‌سپاری استراتژیک از بین شاخص‌ها بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. در بین مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی تاب‌آوری بیمارستان اکثراً با استفاده از ابزارهای مختلف به شناسایی معیارهای اساسی و لازم یک بیمارستان تاب‌آور پرداخته‌اند. اما در این پژوهش با استفاده از ابزار شبیه‌سازی عامل‌بنیان میزان تاب‌آوری بیمارستان در زمان وقوع بحران مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین در بین مطالعات موجود روشی جهت بهبود سطح تاب‌آوری بیمارستان ارائه نشده است؛ اما در این پژوهش، از طریق پیاده‌سازی خودتطبیقی در سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، روشی برای افزایش تاب‌آوری بیمارستان، ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری

بیمارستان‌های نظامی در زمان وقوع یک حادثه باید بتوانند علاوه

داده است. مدل خودتطبيق در سیستم ایمنی بیمارستان، ۳۷/۵۳ درصد، تعداد خرابی کمتری در بین واحدها دارد. در سیستم مدیریت فوریت و بلایا، مدل خودتطبيق به میزان ۴۲/۱۱ درصد، در زمان کمتری بیمارستان را تخلیه نموده است. در سیستم قابلیت مراقبت‌های پزشکی فوری مدل خودتطبيق قادر بوده است ۱۳ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل غیر خودتطبيق داشته باشد. از مقایسه مدل خودتطبيق توزیع شده با مدل غیر خودتطبيق می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم پشتیبانی و مدیریت منابع، مدل خودتطبيق توزیع شده ۱۴/۶۶ درصد میانگین تقاضاهای عقب‌افتاده کمتری دارد و به میزان ۲۲/۲۲ درصد میانگین مدت زمان انتظار دریافت تقاضا را کاهش داده است. در سیستم ایمنی بیمارستان، مدل خودتطبيق توزیع شده ۱۳/۱۵ درصد تعداد خرابی کمتری در بین واحدها داشته است. در سیستم مدیریت فوریت و بلایا، مدل خودتطبيق توزیع شده زمان تخلیه بیمارستان را ۲۶/۸۱ درصد کاهش داده است. در سیستم قابلیت مراقبت‌های پزشکی فوری، مدل خودتطبيق توزیع شده ۶ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل غیر خودتطبيق از خود نشان داده است.

از این رو مدل خودتطبيق در هر چهار سیستم بیمارستان تاب‌آور عملکرد بهتری نسبت به دو سناریوی دیگر داشته است؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل خودتطبيق ارائه شده، توانایی بهبود وضعیت تاب‌آوری بیمارستان را دارد. از بین دو سناریوی تعریف شده، مدل خودتطبيق توزیع شده نسبت به مدل غیر خودتطبيق عملکرد بهتری دارد.

برای توجیه کارایی بهتر مدل خودتطبيق نسبت به مدل خودتطبيق توزیع شده، باید بیان کرده که مدل خودتطبيق دارای مکانیسم کنترل مرکزی است. این مکانیسم شرایط رخ داده را تحلیل می‌نماید و آن را با شرایط لازم بیمارستان تاب‌آور مقایسه می‌کند. این مکانیسم در صورت مشاهده مغایرت وضعیت سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور با اهداف بیمارستان، قادر است با تحلیل راه‌حل‌ها، بهترین راه‌حل را برای اجرا، برنامه‌ریزی کند. مکانیسم کنترل مرکزی از طریق ایجاد ارتباط بین عامل‌های سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، باعث سازمان‌دهی بین عامل‌ها می‌شود. این سازمان‌دهی باعث می‌شود رفتار بیمارستان تاب‌آور در شرایط بحرانی بهینه شود و سریعاً به اختلالات ناشی از بحران پاسخ بدهد؛ اما در مدل خودتطبيق توزیع شده، مکانیسم کنترل مرکزی وجود ندارد. در این مدل رفتار سیستم توسط مکانیسم کنترل داخلی سیستم سازگار می‌شود. مکانیسم کنترلی هر سیستم، محیط را پایش می‌کند و با تحلیل راه‌حل‌ها یک‌راه حل مناسب را در سیستم مربوط به خود، پیاده‌سازی می‌کند. مکانیسم کنترل داخلی هر سیستم در مدل خودتطبيق توزیع شده، در صورت مشاهده اختلال در عملکرد سیستم‌های مجاور تا زمانی که عملکرد سیستم مربوط به خود تحت تأثیر قرار نگیرد، هیچ واکنشی از خود نشان نخواهد داد. عدم وجود سازمان‌دهی بین سیستم‌ها در مدل



وضعیت تاب‌آوری را بهبود ببخشد.

**تشکر و قدردانی:** بدین‌وسیله از همه عزیزانی که ما را در انجام این مطالعه یاری دادند، به‌ویژه پژوهشکده کتابخانه مرکزی آستان قدس رضوی قدردانی می‌گردد.

**نقش نویسندگان:** همه نویسندگان در ارائه ایده و طرح اولیه، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر داده‌ها و همچنین در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تأیید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

**تضاد منافع:** نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

#### نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- در زمان وقوع بلا یا به‌کارگیری خودتطبیقی می‌تواند زمان واکنش سریع بیمارستان‌های نظامی را کاهش بدهد.
- خودتطبیقی سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، تعداد خرابی‌های تجهیزات و امکانات بیمارستان‌های نظامی را کاهش خواهد داد.
- خودتطبیقی در بیمارستان تاب‌آور می‌تواند عملکرد منابع انسانی و تخصیص منابع را بهبود ببخشد.

#### منابع

1. Masoumbeigi H, Ghanizadeh G, Mirshafiee A, Raei A, Roshan Cheraghi B. Assessment of passive defense status in hospitals' food material and Pharmaceutical warehouses. *Journal of Military Medicine*. 2021;23(6):541-51. [In Persian] doi:10.30491/JMM.23.6.541
2. Kamaledini M, Azkia M. The Psychosocial Consequences of Natural Disasters: A Case Study. *Health in Emergencies and Disasters*. 2021;6(3): 179-90. doi:10.32598/hdq.6.3.323.1
3. Samsuddin NM, Takim R, Nawawi AH, Esa MR. Critical components contributing to disaster resilience hospitals. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2015;9(7):72-5.
4. Demiroz F, Haase TW. The concept of resilience: a bibliometric analysis of the emergency and disaster management literature. *Local Government Studies*. 2019;45(3):308-27. doi:10.1080/03003930.2018.1541796
5. Khademi Jolgehnejad A, Ahmadi Kahnali R, Heyrani A. Factors Influencing Hospital Supply Chain Resilience: A Qualitative Study. *Journal of Hospital*. 2019;18(2):61-73.
6. Cristian B. Hospital resilience: a recent concept in disaster preparedness. *The Journal of Critical Care Medicine*. 2018;4(3):81. doi:10.2478%2Fjccm-2018-0016
7. Moitinho de Almeida M, Van Loenhout JA, Singh

بر خدمت‌رسانی به نیروهای نظامی به مردم آسیب‌دیده نیز یاری برسانند؛ بنابراین اهمیت تاب‌آوری بیمارستان‌های نظامی بیشتر از سایر بیمارستان‌ها است. از این‌رو هدف این پژوهش خودتطبیق‌سازی سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور نظامی است. مدل خودتطبیق به دلیل نظارت و کنترل در لحظه، رویه‌ها و رفتار سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور را به‌طور پویا با شرایط بحرانی سازگار می‌کند. این فرآیند سازگاری از طریق محاسبات ارگانیک به‌طور مداوم بهبود می‌یابد، و باعث می‌شود در زمان وقوع بحران، آمادگی کارکنان بیشتر شود و بیمارستان با سرعت بیشتری عملکرد خود را ترمیم کند.

به دلیل اینکه مطالعه مشابهی در این زمینه یافت نشد. برای ارزیابی مدل بیمارستان تاب‌آور خودتطبیق نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل خودتطبیق شده با مدل خودتطبیق توزیع‌شده و مدل بیمارستان تاب‌آور غیر خودتطبیق مقایسه شد. با بررسی نتایج، این نتیجه حاصل شد که مدل خودتطبیق سیستم‌های بیمارستان تاب‌آور، نسبت به دو مدل دیگر برای ارتقاء تاب‌آوری بیمارستان مناسب‌تر است.

به دلیل ماهیت بیمارستان‌های نظامی، این بیمارستان‌ها با محدودیت بیشتری برای بهبود تاب‌آوری خود نسبت به بیمارستان‌های عمومی روبرو هستند. از آنجایی که مدل خودتطبیق ارائه‌شده سطح تاب‌آوری بیمارستان نظامی را ارتقا داده است، پس می‌توان نتیجه گرفت این مدل در سایر بیمارستان‌ها نیز، قادر است

- Thapa S, Kumar KC, Prakash Mahara D, Guha-Sapir D, et al. Hospital resilience after the 2015 earthquake in Nepal: results from semi-structured interviews with hospital staff. *Frontiers in Public Health*. 2021;9:97. doi:10.3389/fpubh.2021.602509
8. Mahdavi-Hezavehi S, Avgeriou P, Weyns D. A Classification Framework of Uncertainty in Architecture-Based Self-Adaptive Systems With Multiple Quality Requirements. *Managing Trade-Offs in Adaptable Software Architectures*. 2017;45-77. doi:10.1016/B978-0-12-802855-1.00003-4
9. Weyns D. Software Engineering of Self-adaptive Systems. In: Cha S., Taylor R., Kang K. (eds) *Handbook of Software Engineering*. Springer, Cham, 2019. doi:10.1007/978-3-030-00262-6\_11
10. Rafizadeh Mojdehi AR. A Method for Evaluation of Self-Adaptive Systems. A thesis submitted to shahid beheshti university for partial fulfillment of the degree of master of science, 2014.
11. Lamshöft K, Altschaffel R, Dittmann J. Adapting Organic Computing Architectures to an Automotive Environment to Increase Safety & Security. *Automotive-Safety & Security 2017-Sicherheit und Zuverlässigkeit für automobile Informationstechnik*, 2017.
12. Krupitzer C, Tomforde S. The Organic Computing Doctoral Dissertation Colloquium: Status and Overview in 2019. In *INFORMATIK*

- 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik–Informatik für Gesellschaft (Workshop-Beiträge) 2019. Gesellschaft für Informatik eV. doi:10.18420/inf2019\_ws57
13. Tomforde S, Müller-Schloer C. Incremental design of adaptive systems. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2014;6(2): 179-98. doi:10.3233/AIS-140252
14. Müller-Schloer C, Schmeck H, Ungerer T, editors. *Organic computing—a paradigm shift for complex systems*. Springer Science & Business Media; 2011. doi:10.1007/978-3-0348-0130-0
15. Mauser I, Hirsch C, Kochannek S, Schmeck H. Organic architecture for energy management and smart grids. 2015 IEEE International Conference on Autonomic Computing. IEEE, 2015. doi:10.1109/ICAC.2015.10
16. Lamshft K, Altschaffel R, Dittmann J. *Adapting Organic Computing Architectures to an Automotive Environment to Increase Safety & Security*. Automotive-Safety & Security, 2017.
17. Muller-Schloer C, Tomforde S. Building organic computing systems. *Organic Computing-Technical Systems for Survival in the Real World*. 2017:171-258. doi:10.1007/978-3-319-68477-2\_5
18. Retzlaff CO, Ziefle M, Calero Valdez A. The History of Agent-Based Modeling in the Social Sciences. *International Conference on Human-Computer Interaction*. 2021:304-19. doi:10.1007/978-3-030-77817-0\_22
19. Taghavi A, Khaleghparast S, Eshghi K. Optimal Agent Framework: A Novel, Cost-Effective Model Articulation to Fill the Integration Gap between Agent-Based Modeling and Decision-Making. *Complexity*, 2021. doi:10.1155/2021/6642160
20. Moosavi S, Salehnia N, Seifi A, Asgharpour Masouleh A. Using agent-based modeling to simulate the effect of price scenarios and free branching on water demand. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*. 2021;15(2):316-28.
21. Ghallehban Tekmedash M, Taheri Tizro A, Zare Abyane H. Agent based modeling framework in simulation of stakeholder's behavior for managing water resources. *Journal of Water and Sustainable Development*. 2015;2(1):87-94. doi:10.22067/JWS D.V2I1.47716
22. Otoufi M, Sharififar S, Pishgooie AH, Habibi H. Crisis Management and Preparedness of Military Hospitals in Disasters. *Journal of the School of Army Nursing*. 2020;20(1):28.
23. Zhong S. Developing an evaluation framework for hospital disaster resilience: tertiary hospitals of Shandong Province, China. PhD by Publication, Queensland University of Technology, 2014.
24. Pooralihosseini SS, Delavar M, Ghorbani A, Van Derzaag P, Morid S, Abbasi E. Development of an Agent-Based Model to simulate the behavior of Agricultural Users in Water and Land Management. *Iranian journal of Ecohydrology*. 2020;7(2):421-35. doi:10.22059/ije.2020.286216.1183
25. Rahdar M, Heydari Farahani M. Self-adaptive implementation in a single business window using organic Computing. 1st International Conference on Challenges and New Solutions in Industrial Engineering and Management and Accounting, Sari, 2020.
26. Tomforde S, Prothmann H, Branke J, Hähner J, Mnif M, Müller-Schloer C, Richter U, Schmeck H. Observation and control of organic systems. *In Organic Computing—A Paradigm Shift for Complex Systems*. Springer, Basel, 2011.
27. Zhong S, Hou XY, Clark M, Zang YL, Wang L. Disaster resilience in tertiary hospitals: a cross-sectional survey in Shandong Province, China. *In International Disaster Health Care*. Apple Academic Press, 2017.
28. Zaboli R, Seyedin H, Nasiri A, Malmoon Z. Standardization and validation of organizational resilience tools in military hospitals. *Journal of Military Medicine*. 2020;22(7):719-27. doi:10.30491/JMM.22.7.6
29. Chuang S, Ou JC, Ma HP. Measurement of resilience potentials in emergency departments: Applications of a tailored resilience assessment grid. *Safety Science*. 2020;121:385-93. doi:10.1016/j.ssci.2019.09.012
30. Malekinejad P, Ziaeiian M, Ajdari A. Designing a comprehensive model of hospital resilience in the face of COVID-19 disease. *Journal of Health Administration*. 2020;23(2):76-88. doi:10.29252/jha.23.2.76
31. Fallah-Aliabadi S, Ostadtaghizadeh A, Fatemi F, Ardalan A, Rezaei E, Raadabadi M, et al. Hospital disaster resilience: development of an assessment tool using expert panel and fuzzy analytical network process. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 2021. doi:10.1108/IJDRBE-11-2020-0119