

The role of artificial intelligence in the triage of the injured in war conditions: A systematic review

Fatemeh Borzooee¹   , Narjes Heshmatifar²   , Yeganeh Salehi^{3*}   

1. PhD Candidate of nursing, Faculty Member, School of Paramedics, Sabzevar University of medical Sciences, Sabzevar, Iran
2. Assistant Professor of Nursing, Nursing and Midwifery School, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
3. Student Research Committee, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

Received: 2025/09/22

Accepted: 2026/04/20

Abstract

Background and Objective: In modern warfare characterized by high-velocity weapons, explosive devices, and missile attacks, the large number of casualties can overwhelm medical infrastructures far beyond their operational capacity. In recent years, there has been growing interest in the application of artificial intelligence (AI) to improve the efficiency and effectiveness of healthcare delivery. Therefore, this systematic review aims to evaluate the effectiveness, challenges, and future directions of AI in casualty triage by synthesizing the existing evidence.

Materials and Methods: In this systematic review, English-language articles were searched in PubMed, Scopus, Web of Science, Embase, IEEE Xplore, and the Cochrane Library using the keywords “Artificial Intelligence,” “Triage,” “Armed Conflict,” and their related terms, covering the period from 2015 to 2025. English-language observational studies, clinical trials, modeling studies, and algorithm-development research that examined the use of AI in military triage or analogous conflict-related settings were included. After duplicate removal using Rayyan.ai, a total of 189 articles were screened by title, abstract, and full text. Ultimately, 17 studies were included. Screening was performed independently by two reviewers, and discrepancies were resolved through consensus. Study quality was evaluated using CASP tools, and the selection process was reported according to the PRISMA flow diagram.

Results: Among the 17 included studies, AI was primarily applied through machine-learning algorithms (such as Random Forest and XGBoost) and deep-learning methods in military triage and war-related crisis environments. Models based on vital signs demonstrated high accuracy in predicting massive transfusion requirements (AUC 0.98–0.987), detecting shock/hypovolemia (sensitivity up to 94%), and identifying the need for life-saving interventions (AUC 0.81). In medical imaging, YOLOv3/v7 and U-Net models improved the detection and segmentation of shrapnel/foreign bodies, achieving an mIoU of 0.73 and high diagnostic precision. Large language models (LLMs) such as ChatGPT and Google Bard showed 60–64% accuracy when applying START protocols in simulated mass-casualty incidents (MCIs), although they exhibited limited reproducibility and strong dependence on prompting. Overall, AI substantially enhances the accuracy and speed of triage; however, most studies rely on laboratory or simulated datasets, highlighting the need for real-world field validation.

Conclusion: The responsible and ethical implementation of these technologies can significantly increase the speed, objectivity and accuracy of triage decisions. This is especially important in critical and short-term war situations, where large numbers of casualties can quickly overwhelm traditional medical systems.

***Corresponding Author:** Yeganeh Salehi

Address: Department of Nursing, School of Nursing and Midwifery, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.

Tel: +9809150102504

E-mail: yeganeh.sl2002@gmail.com

Keywords Artificial Intelligence, Triage, War, Armed Conflict.

How to cite this article: Borzooee F, Heshmatifar N, Salehi Y., The role of artificial intelligence in the triage of the injured in war conditions: A systematic review, *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, 2026; 33(3):1052-1068. DOI: 10.30468/jsums.2026.8427.3419.

INTRODUCTION

Triage in trauma, particularly in wartime conditions, involves prioritizing injured individuals based on injury severity and resource availability, serving as a cornerstone of emergency medical response in conflict zones and mass casualty incidents (MCIs). In modern warfare, characterized by high-velocity weapons, explosives, and missile attacks, the volume of casualties can overwhelm medical infrastructure. Traditional triage protocols like Simple Triage and Rapid Treatment (START) and Sort, Assess, Lifesaving Interventions, Treatment/Transport (SALT) rely on manual vital sign assessments and clinical judgment, which are prone to human error in high-stress, resource-limited environments. Studies report undertriage rates up to 28.13%, leading to delays in critical care, especially for hemorrhage-related injuries accounting for 20-40% of battlefield deaths.

Recent advancements in artificial intelligence (AI), including machine learning (ML), deep learning, and large language models (LLMs), offer potential to enhance triage speed, accuracy, and objectivity. AI applications in military triage stem from investments by major powers to maintain battlefield superiority, integrating unmanned systems for remote assessment and casualty evacuation. This systematic review evaluates AI's role in wartime triage, focusing on effectiveness, challenges, and future directions, with relevance to conflicts like the 12-day Iran-Israel war in June 2025, which resulted in over 3,500 injuries and 430 deaths amid disrupted infrastructure and misinformation. Objectives include mapping AI technologies for casualty prioritization, assessing outcomes on survival rates and efficiency, identifying ethical and operational barriers, and providing recommendations for integration in similar conflicts.

METHODOLOGY

This systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines and employed the PICO framework: Population (trauma casualties in wartime or mass-casualty incidents), Intervention (artificial intelligence-based algorithms including machine learning, deep learning, and large language models), Comparator (conventional triage protocols such as START and SALT), and Outcomes (triage accuracy, speed, survival rates, and operational efficiency). A comprehensive literature search was performed in PubMed, Scopus, Web of Science, Embase, and IEEE Xplore from January 2015 to December 2025 using the search terms "Artificial Intelligence," "Triage," "Armed Conflict," and their synonyms. The review protocol was prospectively registered in the PROSPERO international prospective register of systematic reviews under the identifier CRD420251243119.

Inclusion criteria encompassed observational studies, trials, modeling, or algorithm development studies on AI applications in military triage or similar crises, limited to English-language publications. Exclusion criteria included reviews, editorials, duplicates, non-AI triage focus, non-medical aspects, or inaccessible full texts. Results were managed in Rayyan.ai for duplication. Initial screening of titles and abstracts was collaborative among three authors, followed by full-text review by two authors. Disagreements were resolved through discussion or consultation with a third researcher. A PRISMA flow diagram documented the process.

Key data extracted included author, year, country, study type, AI technology, application context (military/civilian), outcomes, and limitations. Quality and bias risk were assessed using the Critical Appraisal Skills Programme (CASP) tool, adapted by study type, with independent evaluations by two researchers and resolution by a third.

RESULTS

The review identified 17 studies demonstrating AI's multifaceted applications in wartime triage, enhancing casualty assessment and resource prioritization through physiological monitoring, risk classification, and imaging analysis.

AI via ML algorithms detects critical conditions like internal hemorrhage and shock. For remote hypovolemia assessment, Rickards et al. (2014) developed an ML algorithm with 73% sensitivity in distinguishing hypovolemia from exercise-induced changes. Nemeth et al. (2021) applied ML for shock detection in military casualties, supporting tactical care decisions. Lammers et al. (2022) used Random Forest (RF) ML to predict massive transfusion needs with 94% accuracy and AUC 0.98. Stallings et al. (2023) validated APPRAISE-HRI, an AI tool yielding a 5.75 likelihood ratio for high-risk hemorrhage. Weidman et al. (2025) created a hybrid ML model predicting lifesaving interventions (AUC 0.81). Senda et al. (2022) developed THETA for hybrid operating room needs (AUC 0.59).

Image-based AI aids in detecting hidden injuries. Snider et al. (2022) evaluated YOLOv3 for shrapnel detection via ultrasound (mIoU 0.73). Holland et al. (2024) compared YOLOv7 and U-Net, with U-Net superior for segmentation and proximity assessment to neurovascular structures.

In specific populations and MCIs, AI shows promise. Gan et al. (2024) compared LLMs: Google Bard (60% accuracy) outperformed ChatGPT (26.67%) in START triage simulations. Franc et al. (2024) reported ChatGPT's 63.9% accuracy with 32.9% overtriage. Lammers et al. (2024) used RF for pediatric warzone mortality prediction (AUC 0.97). Potter et al. (2019) employed Bayesian Belief Networks for fungal infection risk (AUC 0.70-0.68). Bai et al. (2024) introduced GRU-Informer deep learning for prehospital triage (F1 score 0.911). Xu et al. (2024) validated ML tools with 73% sensitivity for priority patients. For CBRNE incidents, Nanini et al. (2024) tested ML models (e.g., XGBoost, LSTM) for hypoxemia severity (high accuracy). Achkoski

et al. (2017) proposed a fuzzy logic algorithm correlating 0.928 with physician decisions.

Advantages include high predictive accuracy (e.g., AUC > 0.9 in transfusion models) and rapid data processing. Limitations encompass reliance on simulated data, data quality issues, generalizability challenges, and ethical concerns like black-box interpretability.

DISCUSSION

AI's implications are evident in short, intense conflicts like the 2025 Iran-Israel war, where missile and drone strikes caused mass casualties and infrastructure disruptions. AI enables rapid hemorrhage detection and resource allocation, reducing undertriage and supporting remote triage amid misinformation. Operational integration faces challenges such as real-world validation in chaotic environments, data incompleteness, and ethical issues (e.g., accountability in life-or-death decisions). Opportunities include augmenting human capabilities, enhancing training simulations, and post-conflict analysis for protocol refinement. Future efforts should prioritize explainable AI, diverse datasets, and collaborations between military medicine and AI developers to ensure robustness against adversarial attacks and biases.

CONCLUSIONS

Responsible AI implementation can significantly enhance triage speed, objectivity, and accuracy in wartime, crucial for overwhelming scenarios like MCIs. While promising in physiological monitoring, imaging, and specialized contexts, AI requires rigorous real-world testing, improved data quality, and ethical frameworks to address limitations. In conflicts akin to the 12-day war, AI could optimize resource use, reduce mortality, and transform casualty care. Ongoing interdisciplinary collaboration is essential to harness AI for humanitarian outcomes.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their gratitude to the reviewers and editors of the journal for helping publish this article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

نقش هوش مصنوعی در تریاژ مجروحان در شرایط جنگی: مرور سیستماتیک

فاطمه برزویی^۱، نرجس حشمتی فر^۲، یگانه صالحی^{۳*}

۱. گروه آموزشی اتاق عمل، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۲. گروه آموزشی پرستاری داخلی جراحی، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۳. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

چکیده

زمینه و هدف: در جنگ‌های مدرن با سلاح‌های پرسرعت، انفجاری و حملات موشکی، تعدد مجروحان ظرفیت سیستم‌های درمانی را تحت فشار قرار می‌دهد. باتوجه به افزایش استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی در سال‌های اخیر، این مطالعه مروری با تحلیل شواهد موجود، اثربخشی، چالش‌ها و مسیرهای آینده هوش مصنوعی را در تریاژ مجروحان ارزیابی می‌کند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، مقالات انگلیسی از پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of Science، Embase و IEEE Xplore و با کلیدواژه‌های "Artificial Intelligence" و "Armed Conflict.Triage" و مترادف‌ها در بازه ۲۰۱۵-۲۰۲۵ جستجو شد. مطالعات مشاهده‌ای، کارآزمایی بالینی، مدل‌سازی و توسعه الگوریتم با کاربرد هوش مصنوعی در تریاژ نظامی وارد شدند. پس از حذف موارد تکراری با Rayyan.ai، از ۱۸۹ مقاله، در نهایت ۱۷ مقاله پس از غربالگری دو نفره مستقل تحلیل شدند. ارزیابی کیفیت مطالعات با ابزار CASP و گزارش‌دهی با PRISMA انجام شد.

یافته‌ها: الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مانند Random Forest و XGBoost) و یادگیری عمیق در تریاژ نظامی و محیط‌های مشابه بحران جنگی غالب بودند. مدل‌های مبتنی بر علائم حیاتی در پیش‌بینی انتقال خون گسترده (AUC ۰/۹۸-۰/۹۸)، تشخیص شوک/هیپوولمی (حساسیت ۰/۹۴) و مداخلات نجات‌بخش (AUC ۰/۸۱) دقت بالایی داشتند. در تصویربرداری، مدل‌های YOLOv3/v7 و U-Net تشخیص و تقسیم‌بندی ترکش اجسام خارجی را با mIoU ۰/۷۳ بهبود دادند. مدل‌های زبان بزرگ (Google Bard، ChatGPT) در سناریوهای شبیه‌سازی شده دقت ۶۴-۶۰٪ مطابق پروتکل START داشتند، اما تکرارپذیری پایین و وابستگی به پرامپت نشان دادند. به‌طور کلی، هوش مصنوعی دقت و سرعت تریاژ را به‌طور قابل‌توجهی ارتقا می‌دهد، اما بیشتر مطالعات بر داده‌های آزمایشگاهی/شبیه‌سازی شده متکی بوده و نیاز به اعتبارسنجی میدانی دارند.

نتیجه‌گیری: اجرای مسئولانه و اخلاقی هوش مصنوعی، می‌تواند سرعت، عینیت و دقت تریاژ را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. این امر به‌ویژه در جنگ‌های کوتاه‌مدت با هجوم گسترده مصدومان، که سیستم‌های پزشکی سنتی را تحت الشعاع قرار دهند، حیاتی است.

* نویسنده مسئول: یگانه

صالحی

نشانی: کمیته تحقیقات

دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی

و خدمات بهداشتی درمانی

بیرجند، بیرجند، ایران

تلفن: +۹۸۰۹۱۵۰۱۰۲۵۰۴

رایانامه:

yeganeh.sl2002@gmail.com

شناسه ORCID:

0000-0003-1954-4801

شناسه ORCID نویسنده

اول: 0000-0003-1064-

3483

DOI:

10.30468/jsums.2026.84

کلیدواژه‌ها:

هوش مصنوعی، تریاژ،

جنگ.

۱. مقدمه

تریاز تروما، فرایند اولویت‌بندی مجروحان بر اساس شدت آسیب و منابع در دسترس است و یکی از اجزای حیاتی پاسخ پزشکی اضطراری در جنگ‌ها و حوادث با تلفات جمعی (MCIs^۱) محسوب می‌شود (۱). در این شرایط، تعداد مجروحان اغلب از ظرفیت سیستم درمانی فراتر می‌رود و اهمیت تریاز مؤثر، به‌ویژه در میدان‌های جنگی با منابع محدود، افزایش می‌یابد (۲). شناسایی سریع بیماران پرخطر، علاوه‌بر تسهیل تصمیم‌گیری درمانی و بهبود بقا، کارایی عملیاتی نیروهای نظامی را نیز تقویت می‌کند (۳، ۴).

جنگ‌های مدرن با سلاح‌های پرسرعت و انفجاری، حجم بالایی از مجروحان ایجاد می‌کنند که زیرساخت‌های درمانی را تحت فشار قرار می‌دهد (۵). پروتکل‌های سنتی تریاز مانند START^۲ و SALT^۳ به ارزیابی دستی علائم حیاتی وابسته‌اند (۶). پروتکل START، بیماران را در چهار گروه رنگی تقسیم می‌کند که طراحی ساده آن، امکان ادغام با فناوری‌های نوین را فراهم می‌سازد (۷). با این حال، این پروتکل‌ها که عمدتاً برای شرایط غیرجنگی تدوین شده‌اند، در میدان نبرد مستعد خطای انسانی هستند و میزان خطا تا ۲۸/۱۳٪ گزارش شده است (۸-۱۰). این مسئله در آسیب‌های خونریزی‌دهنده، که ۲۰ تا ۴۰ درصد مرگ‌های ترومایی جنگ را تشکیل می‌دهند، بسیار خطرناک است؛ زیرا تأخیر در مداخله به شوک، نارسایی چندعضوی و افزایش مرگ‌ومیر منجر می‌شود (۱۱). این تأخیرها اغلب ناشی از مشکلات تخلیه مجروحان است (۱۲). در چنین شرایطی سیستم‌های پایش داده‌های فیزیولوژیک می‌توانند تریاز از راه دور را تسهیل کنند (۱۳).

پیشرفت‌های هوش مصنوعی (AI)، مانند یادگیری ماشین (ML^۴) و یادگیری عمیق، می‌تواند سرعت و دقت تریاز را افزایش دهد (۱۴). استفاده از هوش مصنوعی در تریاز نظامی، قدرت‌های بزرگ را به سرمایه‌گذاری بر ادغام آن در سیستم‌های بدون سرنشین برای تخلیه و ارزیابی اولیه سوق

داده است. این اقدام، از یک سو خطرات متوجه امدادگران را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، کارایی آن‌ها را در شرایط بحرانی افزایش می‌دهد (۱۵، ۱۶). مطالعاتی مانند لیو^۵ و همکاران (۱۷) اثربخشی الگوریتم‌های ML در اولویت‌بندی بیماران بحرانی در اورژانس را نشان داده‌اند. با این حال، سیستم‌هایی مانند پژوهش ایستریج^۶ و همکاران (۱۸) و جورما و همکاران (۲۰۱۳) (۱۹)، که به پروتکل‌های ثابت مانند START یا فناوری RFID^۷ وابسته‌اند، فاقد قابلیت ارزیابی پویا هستند. مدل‌های زبانی بزرگ (LLMs) مانند ChatGPT و Google Bard در تریاز بحران، با دقت ۶۰٪ برای Bard در مقایسه با ۲۶/۶۷٪ برای ChatGPT در شبیه‌سازی‌های مبتنی بر پروتکل START، عملکردی نسبتاً مطلوب نشان داده‌اند. با این حال، قابلیت اطمینان آن‌ها در بحران‌های واقعی هنوز نامشخص است (۲۰، ۲۱). نمونه‌ای از اهمیت این موضوع، جنگ ۱۲ روزه ایران و اسرائیل در ژوئن ۲۰۲۵ بود که با بیش از ۳۵۰۰ مصدوم و ۴۳۰ کشته همراه بود. در این جنگ، علاوه بر اختلال زیرساخت‌ها، انتشار اطلاعات نادرست توسط سامانه‌های AI نیز چالش‌های جدی ایجاد کرد (۲۲).

این مطالعه مروری با بهره‌گیری از شواهد موجود، به ارزیابی اثربخشی، چالش‌ها و مسیرهای آینده هوش مصنوعی در تریاز می‌پردازد تا هم‌راستایی فناوری‌های نوین با اهداف بشردوستانه را تضمین نماید.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نوع مرور سیستماتیک است که بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 و با هدف بررسی کاربرد هوش مصنوعی در تریاز مجروحان نظامی و بحران‌های مشابه با تمرکز بر جنگ ایران و اسرائیل (۲۰۲۵-۲۰۱۵) انجام شده است. پروتکل مطالعه با شناسه CRD420251243119 در سامانه PROSPERO ثبت شد. به منظور واضح سازی هدف و استراتژی جستجوی مطالعه از چارچوب PICO استفاده شد. Population (P): مجروحان تروما در شرایط جنگی یا حوادث با تلفات جمعی، Intervention (I): الگوریتم‌ها و سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی (یادگیری ماشین،

¹ Mass casualty incidents

² Simple Triage And Rapid

³ sorting, assessment, life-saving interventions, treatment / transport

⁴ Machine Learning

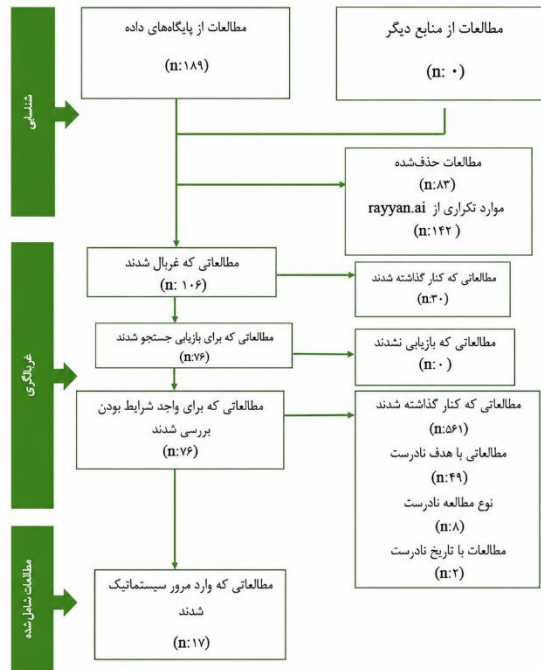
⁵ Liu

⁶ Eastridge

⁷ Radio Frequency Identification

با نوع مطالعه (کارآزمایی بالینی، مشاهده‌ای یا مدل‌سازی) به کار گرفته شد. ارزیابی توسط دو پژوهشگر به‌طور مستقل انجام و موارد اختلافی با مشورت نفر سوم حل گردید.

نمودار ۱. فرایند غربالگری و انتخاب مطالعات بر اساس دستورالعمل PRISMA



۳. نتایج

یافته‌های مرور سیستماتیک حاضر که شامل ۱۷ مطالعه بود، نشان داد که هوش مصنوعی در تریاژ مجروحان در شرایط جنگی و حوادث با تلفات جمعی، کاربردهای زیر را دارد. استفاده از هوش مصنوعی برای تریاژ در شرایط جنگی شامل روش‌های مختلفی است که با هدف افزایش سرعت و دقت ارزیابی تلفات و اولویت‌بندی منابع انجام می‌شود. این رویکردها شامل نظارت‌های فیزیولوژیکی، طبقه‌بندی میزان خطر و تحلیل روش‌های تصویربرداری هستند که هر یک به چالش‌های خاص اقدامات پزشکی در جنگ می‌پردازند.

یادگیری عمیق، مدل‌های زبانی)، Comparator (C)، پروتکل‌های تریاژ سنتی (مانند START یا SALT)، Outcome (O): دقت و سرعت تریاژ، نرخ بقا، کارایی عملیاتی.

استراتژی جستجو

جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of Science، Embase و IEEE Xplore در بازه زمانی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌ها بر اساس اصطلاحات MeSH و با استفاده از عملگرهای بولی طراحی شدند. کلیدواژه‌ها شامل "Artificial Intelligence"، "Triage"، "Armed Conflict" و عبارت‌های مترادف آن‌ها بودند. معیارهای ورود به مطالعه شامل مطالعات انگلیسی زبانی بود که به صورت مشاهده‌ای، کارآزمایی، مدل‌سازی یا توسعه الگوریتم به کاربرد هوش مصنوعی در تریاژ نظامی یا شرایط مشابه بحران‌های جنگی طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۲۵ پرداخته بودند. معیارهای خروج عبارت بود از: مقالات مروری، نامه به سردبیر، مطالعات تکراری، مقالاتی که صرفاً به تریاژ غیرهوش مصنوعی یا جنبه‌های غیر پزشکی تمرکز داشتند و مقالاتی که دسترسی به متن کامل آن‌ها ممکن نبود.

غربالگری اولیه برای ارزیابی عناوین و چکیده‌ها به‌صورت مشارکتی توسط هر سه نویسنده انجام شد تا مطالعات مرتبط شناسایی شوند. پس از آن، متن کامل مطالعات شناسایی‌شده توسط دو نفر از نویسندگان ارزیابی شد تا دقت و جامعیت فرایند تضمین گردد. هرگونه اختلاف‌نظر در مراحل غربالگری اولیه و بررسی کامل متن از طریق بحث و توافق میان نویسندگان برطرف شد. مدیریت غربالگری و حذف موارد تکراری، با استفاده از ابزار Rayyan انجام شد. نمودار PRISMA برای گزارش تعداد مطالعات در هر مرحله تهیه گردید (نمودار یک). استراتژی کامل جستجوی انجام‌شده، شامل رشته جستجوی دقیق، عملگرهای بولی و تعداد رکوردهای به‌دست‌آمده برای هر پایگاه داده، در جدول ۱ ارائه گردیده است. اطلاعات کلیدی شامل نویسنده، سال انتشار، کشور، نوع مطالعه، الگوریتم یا فناوری هوش مصنوعی، بستر کاربرد (نظامی/غیرنظامی)، پیامدها و محدودیت‌ها بود. کیفیت و خطر سوگیری مطالعات واردشده با استفاده از ابزار ارزیابی انتقادی (CASP^۱) مورد بررسی قرار گرفت. این ابزار متناسب

^۱ Critical Appraisal Skills Programme

جدول ۱. مشخصات مطالعات وارد شده در مرور سیستماتیک

شماره	نویسنده اول (سال انتشار)	کشور	نوع مطالعه	روش هوش مصنوعی	بستر/زمینه	یافته‌های کلیدی	محدودیت ها	ارتباط با جنگ ایران-اسرائیل	جمعیت مورد مطالعه	حجم نمونه
۱	ریکاردز (۲۰۱۴)	آمریکا	دقت تشخیصی	ML	نظامی (تریاز از راه دور)	تشخیص افت حجم خون؛ حساسیت ٪۷۳	نیازمند اعتبارسنجی میدانی	کاربردی برای تریاز خونریزی در جنگ	بزرگسالان سالم	۲۴ نفر
۲	آچکوسکی (۲۰۱۷)	مقدونیه	گزارش	فازی	نظامی (میدان نبرد)	همبستگی ۰/۹۲۸ بین آسیب‌های جنگی با تصمیمات پزشکان	فاقد تست میدانی	پتانسیل بالا برای تریاز جنگی	پزشکان نظامی	۵۰ پزشک
۳	پاتر (۲۰۱۹)	آمریکا	توسعه/ اعتبارسنجی	BBN	نظامی (عقون)	پیش‌بینی IFI ؛ AUC ~0.7	نیازمند اعتبارسنجی بالینی	قابل کاربرد برای عقون‌های جنگ	مجروحان نظامی	۵۷۷ بیمار
۴	نمت (۲۰۲۱)	آمریکا	توسعه/ اعتبارسنجی	ML	نظامی (مراقبت)	٪۷۳ حساسیت با ویژگی ٪۸۰ در تشخیص شوک	خاص شوک	مهم برای خونریزی جنگی	بیماران ICU	۱۸,۳۴۹
۵	آبه (۲۰۲۲)	ژاپن	کوهورت گذشته‌نگر	XGBo ost	غیرنظامی (تروما سر)	حساسیت ٪۷۴، ویژگی ٪۷۵	تک‌مرکز	قابل کاربرد در آسیب‌های انفجاری	بیماران تروما سر	۲,۱۲۳
۶	لامرز (۲۰۲۲)	آمریکا	مشاهده‌ای	RF ML و	نظامی (انتقال خون)	AUC 0.987 دقت ٪۹۴	محدود به رجیستری	کمک به تخصیص خون در جنگ	بزرگسالان جنگی	۲۲,۱۵۸
۷	سندا (۲۰۲۲)	ژاپن	مشاهده‌ای	ML	غیرنظامی (اتاق هیبریدی)	AUC 0.59	نیازمند چندمرکزی	کمک در انتخاب بیماران جراحی فوری	بیماران تروما	۱۱۷,۷۷۱
۸	اسنایدر (۲۰۲۲)	آمریکا	دقت تشخیصی	YOL Ov3	نظامی (ترکش)	تشخیص ترکش mIoU 0.73	مبتنی بر فانتوم	مرتبط با ترکش جنگی	تصاویر اولتراسوند	۱۸,۱۳۸
۹	استالینگز (۲۰۲۳)	آمریکا	توسعه/ اعتبارسنجی	AI	نظامی (خونریزی)	تشخیص خونریزی؛ LR=5.75.	فقط علائم حیاتی	کلیدی در جنگ	بزرگسالان تروما	۱,۶۵۹
۱۰	ژو (۲۰۲۴)	انگلستان	گذشته‌نگر	ML	غیرنظامی (MCI)	حساسیت ٪۷۳؛ AUC 0.817	داده ناقص	بهبود تریاز جنگی	بزرگسالان تروما	۱۹۹,۲۱۷
۱۱	لامرز (۲۰۲۴)	آمریکا	مشاهده‌ای	RF ML و	نظامی (اطفال)	پیش‌بینی مرگ (AUC 0.9752)	محدود به کودکان	کاربردی در تریاز کودکان جنگی	مجروحان <18	۲,۷۰۰
	گان (۲۰۲۴)	اسپانیا	مقطعی	LLMs	غیرنظامی (شبیه‌سازی)	Bard=%60 ChatGPT=%26 .7	وابسته به پرامپت	مفید برای جنگ	ChatGPT, Bard	۳۱۵ دانشجو
۱۳	فرانک (۲۰۲۴)	کانادا	شبیه‌سازی	ChatG PT	غیرنظامی (بحران)	اعتبار پاسخ‌دهی ٪۹۹/۷ با تکرارپذیری ٪۱۴، بازتولیدپذیری ٪۴/۱ و دقت کلی ٪۶۳/۹	محدود به وینیت‌ها	قابل کاربرد در تریاز هوایی جنگ	۳۹۱ سناریو	۳۵,۱۹۰ پاسخ
۱۴	نانینی (۲۰۲۴)	کانادا	کوهورت گذشته‌نگر	ML, LSTM	CBRNE	دقت ٪۹۶ برای تشخیص هیپوکسمی در برخی مدل‌ها اما بهترین مدل RF با زمان آموزش کمتر و بدون پیچیدگی	محدود به MIMIC	حیاتی در حملات شیمیایی	بیماران ICU	۴۲,۵۹۹
۱۵	هلند (۲۰۲۴)	آمریکا	دقت تشخیصی	YOL Ov7, U- Net	نظامی (جسم خارجی)	U-Net با دقت ٪۹۹ بهتر بود	مبتنی بر فانتوم	بهبود تشخیص ترکش جنگی	تصاویر اولتراسوند	۱۲,۱۴۴

۱۶	بای (۲۰۲۴)	چین	توسعه/ اعتبارسنجی	GRU, Informer	غیرنظامی (پیش بیمارستانی)	F1=0.911	محدود به eICU	مفید برای بحران جنگی	بیماران ICU	۱,۹۶۵
۱۷	ویدمن (۲۰۲۵)	آمریکا	گذشته‌نگر	Ensemble ML	انتقال بحرانی	AUC=0.810	محدود به داده اولیه	کاربردی در پیش بیمارستانی جنگ	بیماران بحرانی	نامشخص

کاربردهای مهم است که امکان تخصیص فرآورده‌های خونی را فراهم می‌کند. Lammers و همکاران، در یک مطالعه مشاهده‌ای در ایالات متحده با استفاده از یادگیری ماشین و به‌کارگیری الگوریتم RF^۳، به پیش‌بینی نیاز به انتقال خون گسترده در بزرگسالان مجروح در مناطق جنگی پرداختند. مدل RF آن‌ها از دقت بالا (۰/۹۴) و مساحت زیر منحنی (AUC^۴) برابر ۰/۹۸ برخوردار بود که نشان‌دهنده قابلیت پیش‌بینی مطلوبی برای نیازهای انتقال خون بر اساس داده‌های ثبت تروما در وزارت دفاع است (۲۷). این امر مستقیماً بر مدیریت منابع در طول حوادث با تلفات بالا تأثیر می‌گذارد. Stallings و همکاران، یک الگوریتم هوش مصنوعی (APPRAISE-HRI) را با استفاده از رگرسیون خطی برای تشخیص خطر خونریزی، طراحی و اعتبارسنجی کردند. این ابزار، بر اساس علائم حیاتی، نسبت احتمال ۵/۷۵ را برای خونریزی پرخطر در بزرگسالان مجروح نشان داد که یک نشانگر اولیه از خونریزی شدید را فراهم می‌کند (۲۸). چنین ابزارهایی برای کنترل سریع خونریزی در مناطق جنگی حیاتی هستند.

• الگوریتم‌های پیشرفته برای طبقه‌بندی خطر تروما

فراتر از شاخص‌های فیزیولوژیکی فوری، هوش مصنوعی می‌تواند به طبقه‌بندی جامع خطر تروما، پیش‌بینی نیاز به مداخلات حیاتی و شناسایی جمعیت‌های خاص پرخطر کمک کند (۲۹، ۳۰).

• پیش‌بینی مداخلات درمانی

پیش‌بینی ضرورت مداخلات نجات‌بخش (LSIs^۵) یا نیازهای جراحی خاص می‌تواند شرایط بیمار و تخصیص منابع را بهینه کند. Weidman و همکاران یک مدل ML ترکیبی برای انتقال مراقبت‌های ویژه توسعه دادند که شاخص شدت آسیب LSI را با سطح زیر منحنی (AUC) معادل ۰/۸۱

۱- الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ML) برای

تشخیص و پیش‌بینی شرایط حیاتی (خونریزی داخلی، شوک و هیپوولمی)

• خونریزی داخلی و شوک

تشخیص زودهنگام و دقیق خونریزی داخلی و شوک برای بهبود نتایج در آسیب‌های جنگی حائز اهمیت است (۲۳). الگوریتم‌های یادگیری ماشین، روش‌های امیدبخشی را برای شناسایی شرایط تهدیدکننده زندگی، حتی در محیط‌های دورافتاده یا سخت، ارائه می‌دهند (۲۴).

• ارزیابی از راه دور و تشخیص هیپوولمی

کنترل فیزیولوژیک از راه دور برای علائم هیپوولمی یک دستاورد قابل توجه در جنگ می‌باشد. نتایج مطالعه Rickards و همکاران در ایالات متحده نشان داد، یک الگوریتم ML می‌تواند هیپوولمی را از تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از ورزش تشخیص دهد. این الگوریتم در بزرگسالان سالم از حساسیت ۷۳٪ برای هیپوولمی ناشی از فشار منفی قسمت‌های تحتانی بدن (LBNP^۲) برخوردار بود (۲۵). این مطالعه، اگرچه مبتنی بر آزمایشگاه بود، اما پتانسیل تریاژ از راه دور را در مناطق جنگی با تشخیص خونریزی شدید ناشی از فعالیت بدنی، به‌عنوان یک عامل مخدوش‌کننده رایج در محیط‌های نظامی، نشان می‌دهد. Nemeth و همکاران به بررسی کاربرد یادگیری ماشین (ML) در تشخیص شوک طی مراقبت از تلفات جنگ نظامی پرداختند. آن‌ها حساسیت ۷۳٪ و ویژگی ۸۰٪ را برای تشخیص انواع شوک گزارش کردند (۲۶). نتایج این مطالعه نشان‌دهنده قابلیت کاربرد این رویکرد در تصمیم‌گیری‌های محیط‌های مراقبت تاکتیکی است، هرچند انجام مطالعات گسترده‌تر ضروری به‌نظر می‌رسد.

• انتقال خون گسترده و شناسایی شوک اولیه

پیش‌بینی نیاز به انتقال خون وسیع، یکی دیگر از

³ Random Forest

⁴ Area under the Curve

⁵ Lifesaving Intervention

¹ Machine Learning

² Lower Body Negative Pressure

موشک یا پهپاد کمک کند و تصمیمات پزشکی فوری را هدایت نماید.

• تقسیم‌بندی، مکان‌یابی و ارزیابی شدت آسیب

توانایی هوش مصنوعی، در تقسیم‌بندی، مکان‌یابی آسیب‌ها از تصاویر پزشکی و ارزیابی عینی‌تر شدت آسیب کمک می‌کند (۳۵). این امر به‌ویژه برای موارد ترومای شدید که در آن اطلاعات سریع و دقیق برای برنامه‌ریزی جراحی و تخصیص منابع مورد نیاز است، مرتبط است (۳۶). تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند روابط آناتومیکی مهم را نشان دهد و میزان آسیب را کمی‌سازی کند. همچنین می‌تواند با نشان دادن فوریت و نوع مداخله مورد نیاز، به آگاه‌سازی تصمیمات تریاژ کمک کند. در حالی که مطالعات خاص در حال تکامل تقسیم‌بندی شدت آسیب عمومی در تریاژ میدان جنگ هستند؛ دقت ارائه‌شده توسط این مدل‌ها، کاربرد گسترده‌تری را برای ارزیابی جامع آسیب-های نظامی نشان می‌دهد (۳۷).

۳- کاربرد هوش مصنوعی در جمعیت‌های خاص و

سناریوهای تلفات انبوه

• هوش مصنوعی در زمینه‌های غیرنظامی و حوادث

با تلفات انبوه غیرنظامیان

در حالی که تمرکز اصلی بر تریاژ در شرایط جنگی است، استفاده از هوش مصنوعی در حوادث غیرنظامی با تلفات انبوه (MCIs^۲) و واکنش به بلایا، کاربردهای ارزشمند را ارائه می‌دهد. این زمینه‌ها اغلب ویژگی‌های مشترکی با جنگ‌های مسلحانه مانند حجم بالای بیماران، کمبود منابع و اهمیت تصمیم‌گیری‌های فوری دارند (۳۸).

• تریاژ مبتنی بر هوش مصنوعی برای حوادث بزرگ

و بلایا

سرعت بالای پردازش داده‌ها توسط هوش مصنوعی، آن را به ابزاری مناسب برای بهینه‌سازی تریاژ در شرایط فوریت‌های بزرگ تبدیل کرده است؛ شرایطی که روش‌های سنتی معمولاً در آن‌ها کارایی لازم را ندارند (۳۹).

• مدل‌های زبان بزرگ در سناریوهای شبیه‌سازی

شده با تلفات انبوه

پیش‌بینی می‌کند و در زمینه مدیریت راه‌هوایی و انتقال خون عملکرد مطلوبی نشان داده است (۳۱). این مدل، که برای بیماران ترومایی با وضعیت وخیم طراحی شده است، می‌تواند به تریاژ پیش‌بیمارستانی در بحران با پیش‌بینی آسیب شدید و نیازمند مداخله فوری کمک کننده باشد. برای تصمیمات جراحی پیچیده، Senda و همکاران، الگوریتم THETA را بر پایه یادگیری ماشین توسعه دادند تا پیش‌بینی کند کدام بیماران ترومایی نیاز به اتاق عمل هیبریدی دارند (۳۲). اگرچه AUC معادل ۰/۵۹ بود، اما این الگوریتم از سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشت و روشی کارآمد برای تریاژ سریع بیماران در جراحی‌های فوری و تخصصی در محیط‌های پرتراکم ارائه کرد.

۲- کاربرد هوش مصنوعی مبتنی بر تصویربرداری

• مدل‌های مبتنی بر تصویربرداری و تشخیص اشیاء

هوش مصنوعی مبتنی بر تصویربرداری، مزایای قابل توجهی را برای شناسایی آسیب‌های پنهان، به‌ویژه ترکش یا اجسام خارجی ناشی از جنگ‌های انفجاری ارائه می‌دهد.

• هوش مصنوعی در شناسایی اجسام خارجی و

ترکش

تشخیص اجسام خارجی مانند ترکش، برای ارزیابی شدت آسیب و برنامه‌ریزی مداخلات جراحی مهم است. Snider و همکاران، با استفاده از تصاویر اولتراسوند، یک الگوریتم تشخیص اشیاء (YOLOv3) را برای تشخیص ترکش ارزیابی کردند (۳۳). این مدل به میانگین تقاطع بر روی اجتماع $0.73 (mIoU)$ دست یافت و یک ابزار تریاژ بالقوه برای ارزیابی نزدیکی ترکش به ساختارهای عصبی-عروقی معرفی کرد. Holland و همکاران، مدل‌های تقسیم‌بندی هوش مصنوعی (YOLOv7, U-Net) را برای بهبود تشخیص اجسام خارجی از تصاویر سونوگرافی بررسی کردند. U-Net با دقت اعتبارسنجی نهایی ۹۹٪، عملکرد بهتری در تقسیم‌بندی نسبت به YOLOv7 با دقت ۸۲/۲٪ از خود نشان داد. این مدل با امکان اندازه‌گیری دقیق فاصله ساختارهای عصبی-عروقی، به ارتقاء فرایند تریاژ کمک شایانی نمود (۳۴). این فناوری می‌تواند به‌طور قابل توجهی به تریاژ زخم‌های ناشی از

² Mass Casualty Incident

¹ Mean Intersection over Union

مدل‌های یادگیری عمیق برای بهینه‌سازی تریاژ پیش‌بیمارستانی

تکنیک‌های یادگیری عمیق می‌توانند کیفیت تریاژ پیش‌بیمارستانی را با پردازش داده‌های فیزیولوژیکی افزایش دهند. Bai و همکاران، یک مدل یادگیری عمیق ترکیبی (GRU-Informer) را برای تریاژ اورژانس پیش‌بیمارستانی طراحی نمودند (۴۱). این مدل دقت، فراخوانی و امتیاز F1 را به ۰/۹۱۱ بهبود بخشید که نشان‌دهنده افزایش دقت تریاژ برای آسیب‌های جدی و بخشی از داده‌های بیماران ICU است. این مدل‌ها، به‌طور قابل‌توجهی تخصیص مجدد منابع را در حوادث با تلفات بالا و شروع سریع از طریق ارزیابی‌های اولیه دقیق‌تر بهبود می‌بخشند. Xu و همکاران، به توسعه و اعتبارسنجی ابزارهای تریاژ اولیه و ثانویه حاصل از یادگیری ماشین برای حوادث پرداختند (۴۲). حساسیت ابزار اولیه آن‌ها برای تشخیص بیماران اولویت ۱، ۷۳٪ به دست آمد که از ابزارهای موجود برتر بود. این نشان‌دهنده پتانسیل ML برای بهبود کارایی و دقت تریاژ MCI است؛ حتی زمانی که نقاط داده در دسترس نیستند.

۴- کاربرد در حوادث CBRNE و شرایط خاص

• **تریاز در حوادث شیمیایی، میکروبی، پرتوزا، هسته‌ای (CBRNE^۳) و خطرات ویژه**
حوادث شیمیایی، میکروبی، پرتوزا و هسته‌ای به دلیل الگوهای خاص آسیب و خطرات آلودگی، چالش‌های منحصر به فردی را برای تریاژ ایجاد می‌کنند. هوش مصنوعی می‌تواند به ارزیابی تخصصی در این محیط‌های پیچیده کمک کند (۴۳).

• یادگیری ماشین برای هیپوکسمی و تریاژ خاص

CBRNE

در رویدادهای CBRNE، تریاژ و تشخیص بیماران مبتلا به هیپوکسمی یا سایر پاسخ‌های فیزیولوژیکی خاص، از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین شامل XGBoost (Extreme Gradient Boosting)، LightGBM، CatBoost RF، (Random Forest)، LSTM، GRU توسط Nanini و

مدل‌های زبان بزرگ پیشرفته (LLMs) در سال‌های اخیر، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود معطوف کرده‌اند تا کارایی آن‌ها را در تریاژ حوادث با تلفات جمعی (MCI) مورد بررسی قرار دهند. گان و همکاران، کارایی Google Bard و ChatGPT را برای تریاژ MCI شبیه‌سازی‌شده تحت پروتکل START مقایسه کردند. دقت Google Bard، ۶۰٪ و دقت ChatGPT، ۶۷٪/۲۶ به دست آمد؛ در حالی که عملکرد ChatGPT با عملکرد انسانی برابر بود (۲۱). فرانک و همکاران نیز دقت ChatGPT را با انجام شبیه‌سازی‌های تریاژ بلایا سنجیدند و به عدد ۶۳٪/۹ با پروتکل START دست یافتند؛ در حالی که ۳۲٪/۹ تریاژ بیش از حد و ۳٪/۱ تریاژ کمتر ثبت شد و در ۱۴٪ موارد تکرارپذیری مشاهده شد (۲۰). علیرغم اینکه پژوهش‌های موجود، پتانسیل LLMs را در تریاژ اولیه حوادث با تلفات انبوه نشان می‌دهد، حساسیت این مدل‌ها به پرامپت و وابستگی آن‌ها به سناریوهای شبیه‌سازی‌شده، لزوم انجام اصلاحات و اعتبارسنجی میدانی را پیش از هرگونه استقرار عملیاتی ایجاب می‌کند.

• ابزارهای تریاژ برای حوادث بزرگ و تلفات کودکان

هوش مصنوعی، جمعیت‌های آسیب‌پذیر خاص و سناریوهای تلفات انبوه را مورد توجه قرار داده است Lammers و همکاران یادگیری ماشین از جمله RF را برای پیش‌بینی مرگ‌ومیر کودکان مجروح در مناطق جنگی به کار بردند. در مدل Random Forest، دقت کلی ۶۳٪/۹ و AUC ۰/۹۷ بود (۴). این تحقیق، در حالی که بر پیش‌بینی مرگ‌ومیر به جای تریاژ مستقیم، متمرکز است، از شناسایی کودکان پرخطر در آسیب‌های انفجاری یا سایر تروماهای جنگی حمایت می‌کند و امکان اولویت‌بندی آنان را فراهم می‌کند. Potter و همکاران یک شبکه موسوم به BBN^۱ را برای طبقه‌بندی خطر عفونت قارچی مهاجم مرتبط با جنگ (IFI^۲) طراحی کردند. BBN، خطر IFI را با AUC های ۷۰٪ (THEATER) و ۶۸٪ (MEDCEN) پیش‌بینی کرد و ابزاری برای طبقه‌بندی خطر اولیه عفونت‌های پس از تروما ارائه داد (۴۰). این کاربرد برای برنامه‌ریزی مراقبت‌های طولانی‌مدت و همچنین تخصیص منابع به پرسنل مجروح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

³ Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, Explosive

¹ Bayesian Belief Network

² Invasive Fungal Infection

همکاران برای تریاژ شدت هیپوکسمی در رویدادهای CBRNE^۱ استفاده از داده‌های MIMIC^۱ به کار گرفته شد (۴۴). در بین مدل‌ها، Random Forest با دقت ۰/۹۶، دقیق‌ترین مدل در شناسایی شدت هیپوکسمی بود. این مدل که فاقد پیچیدگی است، به زمان کمتری برای آموزش نیاز دارد. این ویژگی به‌ویژه در تریاژ بیمارانی که به‌دنبال مواجهه با عوامل شیمیایی یا بیولوژیکی دچار اختلال تنفسی شده‌اند (که خود رخدادی شایع در چنین شرایطی است)، نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند. Achkoski و همکاران، یک الگوریتم تریاژ لاجیک را برای جنگ طراحی کردند که همبستگی ۰/۹۲۸ بین آسیب‌های جنگی با تصمیمات پزشکان را طبقه‌بندی کرد (۴۵). رویکرد لاجیک یک الگو برای پشتیبانی تریاژ از راه دور در موقعیت‌های خطرناک با استفاده از علائم حیاتی برای طبقه‌بندی ریسک و تریاژ ارائه می‌دهد. به‌کارگیری ابزارهای هوش مصنوعی هدفمند می‌تواند کارایی و ایمنی پاسخ پزشکی به حوادث مواد خطرناک یا سایر اورژانس‌های خاص را افزایش دهد.

۵- مزایا و محدودیت‌های روش‌های هوش مصنوعی

مطالعات مختلف، طیف گسترده‌ای از به‌کارگیری روش‌های هوش مصنوعی در تریاژ را نشان می‌دهد که از الگوریتم‌های یادگیری ماشین سنتی تا مدل‌های یادگیری عمیق پیشرفته و مدل‌های زبان بزرگ را شامل می‌شود. یادگیری ماشین، در قالب Random Forest و XGBoost، دقت بالایی در پیش‌بینی حالات فیزیولوژیکی حاد مانند نیاز گسترده به تزریق خون (AUC 0.987) و تشخیص شوک دارد (۲۷). این مدل‌ها در شناسایی الگوهای پیچیده در داده‌های فیزیولوژیکی ساختاریافته برتری دارند و ارزیابی‌های عینی و سریعی را ارائه می‌دهند که می‌تواند در شرایط استرس‌زا از هوش انسانی پیشی بگیرد. به‌عنوان مثال، الگوریتم APPRAISE-HRI دارای احتمال نسبت بالا (۵/۷۵) برای تشخیص خونریزی است که امکان درمان زودهنگام را فراهم می‌کند (۲۸).

الگوریتم‌های تشخیص شیء نظیر YOLOv3 و U-Net، با بهره‌گیری از تفسیر تصاویر، توانایی بالایی در بهبود تشخیص، به‌ویژه در زمینه شناسایی ترکش و اجسام خارجی (با mIoU

معادل ۰/۷۳) دارند (۳۳). این قابلیت در محیط‌های جنگی که آسیب‌های ناشی از انفجار شایع است، کاربرد عملی و راهبردی دارد. اگرچه مدل‌های زبان بزرگ مانند Google Bard و ChatGPT، فناوری‌های جدیدی محسوب می‌شوند، اما در حال حاضر کاربرد آن‌ها برای استفاده در تریاژ مصدومان در حوادث پرتلفات غیرنظامی در دست بررسی است. دقت این دو مدل با پروتکل START در یک محیط شبیه‌سازی شده به ترتیب ۶۰٪ و ۶۳/۹٪ به دست آمد. محدودیت‌های کنونی این مدل‌ها در زمینه تکرارپذیری و حساسیت به نحوه نگارش پرامپت نشان می‌دهد که آن‌ها احتمالاً تنها به‌عنوان ابزارهایی برای تصمیم‌گیری در مداخلات درمانی کارایی دارند و برای انجام تریاژ مستقل، هنوز قابل اعتماد نیستند (۲۰).

این مطالعه به‌طور کلی ارزش هوش مصنوعی را در بهبود تصمیم‌گیری انسانی و ارائه عملکردهای سریع و مبتنی بر داده که اولویت‌بندی و تخصیص منابع را بهبود می‌بخشد، نشان می‌دهد. توانایی هوش مصنوعی در غربالگری حجم عظیمی از داده‌ها و شناسایی نشانه‌های بالینی ظریف، این فناوری را در شرایط بحرانی - که با ازدحام بیماران و بار ذهنی شدید بر کادر درمان همراه است - به ابزاری بسیار ارزشمند تبدیل می‌کند. در حالی که رویکردهای مختلف هوش مصنوعی نقاط قوت متفاوتی دارند، به نظر می‌رسد این ابزارها ظرفیت بالایی برای ساده‌سازی و تسریع فرآیند تریاژ و ارتقای اثربخشی مراقبت‌های درمانی دارند.

با وجود پیشرفت‌های گسترده در علم هوش مصنوعی، محدودیت‌هایی در اجرای فعلی این تکنولوژی برای تریاژ وجود دارد. یکی از محدودیت‌های مهم، استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده یا آزمایشگاهی برای اثبات مفهوم است (۲۵). اگرچه آزمایش‌های مربوط به تشخیص هیپوولمی و تریاژ منطقی (Logic Triage) در شرایط کنترل‌شده یا سناریوهای شبیه‌سازی شده رایانه‌ای انجام شده‌اند، اما برای ارزیابی دقیق، انجام آزمایش‌های میدانی در مقیاس بزرگ تحت شرایط واقعی جنگ ضروری است (۴۶). به‌طور مشابه، دقت تریاژ توسط مدل‌های زبانی بزرگ (LLM) در تلفات انبوه غیر نظامیان، نه تنها تکرارپذیر و وابسته به شیوه پرامپت نویسی است، بلکه تاکنون صرفاً به سناریوهای شبیه‌سازی شده محدود بوده است (۲۰). کیفیت و تعمیم‌پذیری داده‌ها نیز چالش‌های مهمی ایجاد می‌کنند. مدل‌های آموزش‌دیده بر روی

^۱ Medical Information Mart for Intensive Care

پارامترهای فیزیولوژیکی را برای تشخیص هیپوولمی در پرسنل خسته - حتی بدون علائم واضح - را بررسی کند. استفاده از هوش مصنوعی مبتنی بر تصویربرداری، برای تشخیص ترکش و اجسام خارجی در مورد انواع آسیب‌های ناشی از مواد منفجره، اعمال می‌شود. چنین ابزارهایی می‌توانند تیم‌های جراحی را در تشخیص سریع تهدیدات بحرانی راهنمایی نموده و در اولویت‌های درمان را تعیین کنند. علاوه بر این، توانایی هوش مصنوعی در پیش‌بینی خطرات خاص، مانند عفونت‌های مهاجم قارچی، می‌تواند در پیشگیری و مدیریت منابع برای مراقبت‌های پس از تروما کمک کند. در بحران‌های با تلفات جمعی همچون جنگ ۱۲ روزه، مدل‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی در مرحله پیش‌بیمارستانی و نیز مدل‌های زبانی بزرگ برای غربالگری اولیه، نقشی حیاتی ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها ضمن کاستن از فشارهای روانی شناختی طاقت‌فرسا بر کادر اورژانس، امکان تریاژ دقیق‌تر و مدیریت بهینه منابع را فراهم می‌آورند. ماهیت پویا و مقیاس وسیع این سوانح، هوش مصنوعی را به یک ابزار اجتناب‌ناپذیر در پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های بالینی تبدیل کرده است.

مزایا و محدودیت‌های مطالعه:

این مرور سیستماتیک با بررسی نظام‌مند مطالعات دو دهه اخیر، چندین مزیت کلیدی دارد. اولاً، این مطالعه یکی از اولین مرورهای جامعی است که به‌طور خاص به نقش هوش مصنوعی در تریاژ مجروحان در شرایط جنگی می‌پردازد و شکاف موجود در ادبیات را که عمدتاً بر کاربردهای غیرنظامی یا بالینی متمرکز بوده، پر می‌کند. ثانیاً، رویکرد ما در استفاده از چارچوب PICO و دستورالعمل PRISMA 2020، جامعیت و قابلیت تکرار جستجو و انتخاب مطالعات را تضمین کرده است. همچنین این مرور، با تحلیل کیفی مزایا، محدودیت‌ها و زمینه‌های کاربرد هر فناوری، به نقشه راه عملی دست یافته است که راهنمای پژوهشگران و سیاست‌گذاران پزشکی نظامی در تصمیم‌گیری‌های آتی خواهد بود. در نهایت، تمرکز ویژه بر سناریوی کاربردی جنگ ایران و اسرائیل، یافته‌های این مرور را از حالت تئوری خارج کرده و کاربردی‌پذیری آن را در یک بحران واقعی و به‌روز در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد. گرچه این مرور طیف وسیعی از کاربردهای هوش مصنوعی در تریاژ

جمعیت‌های خاص بیماران، مانند تریاژ ضربه مغزی، نیامند اعتبارسنجی چندمرکزی با جمعیت‌های متنوع هستند (۴۷). همچنین، تعمیم‌پذیری مدل‌های توسعه‌یافته از داده‌های ثبت تروما در وزارت دفاع به سایر موقعیت‌های جنگی یا شرایط گسترده‌تر، باید به دقت بررسی شود. داده‌های فیزیولوژیکی ناقص یا با نمونه‌برداری کم در محیط پیش‌بیمارستانی، می‌تواند بر عملکرد مدل تأثیر بگذارد (۲۷). علاوه بر این، مدل‌های مبتنی بر تصویربرداری فانتوم‌محور بوده و فاقد تصاویر بالینی واقعی با ناهای مختلف از آسیب هستند (۳۳). چالش قابل‌توجه دیگر، ملاحظات اخلاقی و قانونی در کاربرد هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری‌های پزشکی حیاتی (مرگ و زندگی) است، به‌ویژه در مناطق جنگی که پاسخگویی و شفافیت از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شوند (۴۷). از سوی دیگر، ماهیت «جعبه سیاه» برخی الگوریتم‌های پیشرفته، تفسیرپذیری را با مانع مواجه می‌سازد و چالش‌هایی را برای پزشکان و مراجع قانونی پدید می‌آورد (۴۸). در نهایت، هرچند هوش مصنوعی توانایی پیش‌بینی نتایج را دارد، اما تأثیر مستقیم آن بر بقا و مرگ‌ومیر بیماران در بلندمدت در محیط‌های جنگی پویا و با تلفات بالا، تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است. بنابراین، انجام تحقیقات آینده‌نگر با کیفیت بالا که اثربخشی هوش مصنوعی را در شرایط واقعی پزشکی نظامی ارزیابی کنند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پیامدهای تریاژ در سناریوی جنگ ۱۲ روزه

شواهد موجود پیرامون به‌کارگیری هوش مصنوعی در تریاژ، پیامدهای راهبردی مهمی برای جنگ کوتاه مدت و پرتنش (مانند درگیری ۱۲ روزه) دارد. این نوع جنگ‌ها احتمالاً با نرخ بالای تلفات، تنوع گسترده آسیب‌ها (نظیر جراحات ناشی از انفجار، ترومای نافذ و سوختگی) و چالش‌های جدی در زیرساخت‌های درمانی همراه خواهند بود. هوش مصنوعی در تشخیص سریع خونریزی و شوک، پیش‌بینی نیاز به تزریق خون و انجام مداخلات حیاتی دارای توانایی‌هایی می‌باشد. این امر می‌تواند به پزشکان خط مقدم کمک کند تا تصمیمات سریع‌تری در مورد اقدامات نجات‌بخش اتخاذ نمایند. به عنوان مثال، یک سیستم کنترل از راه دور مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به‌طور مداوم

جنگی را نقشه‌برداری کرده است، اما با یک محدودیت مهم روبرو است؛ تمرکز جغرافیایی نامتوازن مطالعات موجود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، اکثر مطالعات در زمینه نظامی و پژوهشی ایالات متحده انجام شده است. این امر به طور اجتناب‌ناپذیری تعمیم‌پذیری یافته‌ها را به شرایط جنگی در دیگر مناطق، به‌ویژه خاورمیانه، با چالش مواجه می‌سازد. دلایل متعددی برای این محدودیت وجود دارد:

۱. تفاوت در پروفایل تهدید: الگوهای آسیب در درگیری‌های خاورمیانه (مانند حملات موشکی و پهپادی با مقیاس وسیع که در سناریوی جنگ ایران و اسرائیل فرض شد) ممکن است با الگوهای آسیب در مأموریت‌های نظامی ایالات متحده متفاوت باشد.

۲. تفاوت در زیرساخت‌ها: مدل‌های هوش مصنوعی که بر اساس داده‌های ثبت تروما و سیستم‌های پزشکی پیشرفته ارتش ایالات متحده آموزش دیده‌اند، ممکن است در محیط‌های با منابع محدود، زیرساخت‌های مخابراتی ضعیف‌تر، و بار بیمارستانی بسیار متفاوت، عملکرد یکسانی نداشته باشند.

۳. تفاوت جمعیت‌شناختی: با توجه به آموزش این مدل‌ها بر روی جمعیت عمدتاً جوان و نظامی، تعمیم‌پذیری آن‌ها به گروه‌های غیرنظامی نظیر کودکان و سالمندان در جنگ‌های شهری خاورمیانه، با دقت پایین‌تر همراه خواهد بود.

بنابراین، در حالی که یافته‌های این مرور چارچوب ارزشمندی را ارائه می‌دهد، کاربرد عملی آن در جوامع دیگر مستلزم احتیاط است. برای غلبه بر این شکاف، تحقیقات آینده باید بر توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های هوش مصنوعی با استفاده از داده‌های متنوع‌تر جغرافیایی و جمعیتی متمرکز شوند تا از قابلیت اطمینان این سیستم‌ها در میادین نبرد گوناگون اطمینان حاصل شود.

ادغام عملیاتی در محیط‌های درگیری: چالش‌ها و

فرصت‌ها

ادغام هوش مصنوعی با مداخلات پزشکی در زمان جنگ، با چالش‌های منحصر به فردی همراه است. مسئله اصلی، اعتبارسنجی و تضمین قابلیت اطمینان سیستم‌های هوش مصنوعی در محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی و بحرانی است. اعتبارسنجی آزمایشگاهی اگرچه پیش‌نیازی ضروری است، اما

عواملی چون گردوغبار، نویز، گرمای زیاد و اتصال محدود اینترنت در منطقه جنگی را بازنمایی نمی‌کند و این شکاف، کارایی میدانی مدل‌ها را با تردید مواجه می‌سازد. جمع‌آوری داده‌ها در این موقعیت، اغلب جزئی و ناقص است که می‌تواند بر عملکرد مدل هوش مصنوعی تأثیر بگذارد (۴۹). حافظت از امنیت و حریم خصوصی داده‌های مجروحان در محیط نظامی، با چالش‌های اخلاقی و موانع لجستیکی همراه است (۵۰). با این حال، مزایای حاصل از ادغام قابل توجه است. سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند قابلیت‌های محدود کادر درمان را افزایش دهند. به‌عنوان مثال، تشخیص از راه دور هوش مصنوعی می‌تواند به پزشکان در موقعیت‌های خط مقدم کمک کند و آن‌ها را در ارزیابی‌های اولیه راهنمایی نماید. همچنین می‌تواند شبیه‌سازی‌های آموزشی را افزایش دهد و سناریوهای واقع‌بینانه‌ای را برای متخصصان پزشکی ارائه دهد تا تصمیمات تریاژ را در شرایط استرس تمرین کنند. علاوه بر این، تحلیل پس از بحران داده‌های تریاژ با کمک هوش مصنوعی، می‌تواند رویکردهای ارزشمندی را برای اصلاح رویه‌ها و بهبود پاسخ‌های پزشکی در آینده ارائه دهد (۵۱-۵۳). طراحی سخت‌افزار و نرم‌افزار قوی هوش مصنوعی، همراه با روش‌های استاندارد جمع‌آوری داده‌ها در مراکز پزشکی نظامی، برای بهره‌برداری از این فرصت‌ها ضروری است. همکاری بین مؤسسات تحقیقاتی پزشکی نظامی و طراحان هوش مصنوعی برای حرکت از مفاهیم نظری به عملی بسیار مهم است.

تحقیقات آینده باید بر دو محور متمرکز شود: توسعه مدل‌های مبتنی بر داده‌های متنوع ترومای جنگی برای افزایش تاب‌آوری در برابر ناهنجاری‌ها و حملات خصمانه، به‌کارگیری هوش مصنوعی قابل تفسیر برای شفاف‌سازی منطق تصمیم‌گیری و جلب اعتماد کادر پزشکی.

هوش مصنوعی رویکردی امیدوارکننده برای بهبود تریاژ مصدومان در شرایط چالش‌برانگیز جنگ ارائه می‌دهد. این مطالعه، بر نقاط قوت کاربرد هوش مصنوعی در ارزیابی فیزیولوژیکی از راه دور، تشخیص زودهنگام خونریزی و شوک، ارزیابی مداخله مراقبت‌های ویژه و شناسایی دقیق اجسام خارجی در مجروحان جنگی تأکید می‌کند. این کاربردها می‌توانند سرعت، عینیت و دقت تصمیمات تریاژ را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. این امر در موقعیت‌های جنگی که

کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

ملاحظات اخلاقی

با توجه به ماهیت مطالعه، نیازی به دریافت کد اخلاق وجود نداشت.

سهم نویسندگان

در این مطالعه، نویسندگان سهم یکسانی در مشارکت و همکاری داشتند.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ گونه حمایت مالی از مؤسسات یا سازمان های دولتی و خصوصی دریافت نکرده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ گونه تضاد منافی در ارتباط با انتشار این مقاله ندارند. هیچ یک از مراحل تحقیق، تحت تاثیر منافع شخصی یا سازمانی انجام نشده است.

ازدحام مصدومان می تواند سیستم های پزشکی سنتی را تحت الشعاع قرار دهد، حائز اهمیت است. اگرچه پتانسیل هوش مصنوعی در این زمینه قابل توجه است؛ اما محدودیت هایی نیز وجود دارد: نیاز به آزمایش کامل در دنیای واقعی، پرداختن به مسائل مربوط به کیفیت داده ها و اطمینان از کاربرد یافته ها در جمعیت ها و محیط های جنگی مختلف، نگرانی های اخلاقی در مورد استقلال هوش مصنوعی، پاسخگویی و درک تصمیم گیری آن. کاربرد متفکرانه هوش مصنوعی در سیستم های پزشکی نظامی در جنگ های آینده، می تواند منجر به پیشرفت های عمده ای شود. این امر به بهینه سازی استفاده از منابع، کاهش مرگ و میر و تغییر رویه مراقبت از مصدومان جنگی کمک می کند. همکاری مداوم بین مهندسين هوش مصنوعی، متخصصان پزشکی نظامی و سیاست گذاران برای به کارگیری هوش مصنوعی در نجات جان انسان ها در زمان جنگ ضروری می باشد.

تشکر و قدردانی

از کلیه کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند،

References

- [1]. Bazzyar J, Farrokhi M, Salari A, Safarpour H, Khankeh HR. Accuracy of Triage Systems in Disasters and Mass Casualty Incidents; a Systematic Review. Arch Acad Emerg Med. 2022;10(1):e32. doi:10.22037/aaem.v10i1.1526
- [2]. Shin K, Lee T. Emergency medical service resource allocation in a mass casualty incident by integrating patient prioritization and hospital selection problems. IJSE Transactions. 2020;52(10):1141-55. doi:https://doi.org/10.1080/24725854.2020.1727069
- [3]. Epstein A, Lim R, Johannigman J, Fox CJ, Inaba K, Vercruysse GA, et al. Putting Medical Boots on the Ground: Lessons from the War in Ukraine and Applications for Future Conflict with Near-Peer Adversaries. Journal of the American College of Surgeons. 2023;237(2):364-73. doi:10.1097/xcs.0000000000000707
- [4]. Lammers D, Williams J, Conner J, Francis A, Prey B, Marengo C, et al. Utilization of Machine Learning Approaches to Predict Mortality in Pediatric Warzone Casualties. Military Medicine. 2022;189(1-2):345-51. doi:10.1093/milmed/usac171
- [5]. April MD, Bridwell RE, Jones J, Oliver J, Long B, Schauer SG. Descriptive Analysis of Casualties Rapidly Returned to the Fight after Injury: Reverse Triage Implications for Large Scale Combat Operations. Med J (Ft Sam Houst Tex). 2022;Per 22-04-05-06(Per 22-04-05-06):3-9.
- [6]. Pikoulis E, Doucet J. Emergency medicine, trauma and disaster management: from prehospital to hospital care and beyond: Springer Nature; 2021.
- [7]. Franc JM, Kirkland SW, Wisnesky UD, Campbell S, Rowe BH. METASTART: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Diagnostic Accuracy of the Simple Triage and Rapid Treatment (START) Algorithm for Disaster Triage. Prehospital and Disaster Medicine. 2022;37(1):106-16. doi:10.1017/S1049023X2100131X
- [8]. Kim GH, Kim JH, Kim H, Kim SH, Park SJ, Lee SB, et al. Assessment of the Suitability of Trauma Triage According to Physiological Criteria in Korea. Journal of Acute Care Surgery. 2022;12(3):120-4. doi:https://doi.org/10.17479/jacs.2022.12.3.120
- [9]. Montagner G, de Sousa KKI, dos Santos MVF. Acurácia do algoritmo Simple Triage and Rapid Treatment (START) na triagem de acidentes e desastres: uma revisão integrativa. Research, Society and Development. 2022;11(15):e314111537234-e. doi:https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37234
- [10]. Remondelli MH, Remick KN, Shackelford SA, Gurney JM, Pamplin JC, Polk TM, et al. Casualty care implications of large-scale combat operations. Journal of Trauma and Acute Care Surgery. 2023;95(2S):S180-S4. doi: 10.1097/TA.0000000000004063
- [11]. Williamson A. Innovations in preoperative control of exsanguination in major trauma. Journal of Paramedic Practice. 2022;14(6):234-41. doi:https://doi.org/10.12968/jpar.2022.14.6.234

- [12]. Moghaddam PS, Jahangiri K, Sohrabizadeh S, Hassani N, Moghaddam MH, Tehrani GM. Challenges of emergency evacuation of residential areas caused by chemical release due to the earthquake: a Natech event scenario. *Journal of injury and violence research*. 2022;14(1):33. doi: 10.5249/jivr.v14i1.1698
- [13]. Achkoski J, Koceski S, Bogatinov D, Temelkovski B, Stevanovski G, Kocev I. Remote triage support algorithm based on fuzzy logic. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 2017;163(3):164-70. doi:10.1136/jramc-2015-000616
- [14]. Adebayo O, Bhuiyan ZA, Ahmed Z. Exploring the effectiveness of artificial intelligence, machine learning and deep learning in trauma triage: A systematic review and meta-analysis. *DIGITAL HEALTH*. 2023;920552076231205736. doi:10.1177/20552076231205736
- [15]. Rakhilin N, Morris HD, Pham DL, Hood MN, Ho VB. Opportunities for Artificial Intelligence in Operational Medicine: Lessons from the United States Military. *Bioengineering*. 2025;12(5):519. doi:https://doi.org/10.3390/bioengineering12050519
- [16]. Surman K, Lockey D. Unmanned aerial vehicles and pre-hospital emergency medicine. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*. 2024;32(1):9. doi:10.1186/s13049-024-01180-7
- [17]. Liu Y, Gao J, Liu J, Walline JH, Liu X, Zhang T, et al. Development and validation of a practical machine-learning triage algorithm for the detection of patients in need of critical care in the emergency department. *Scientific Reports*. 2021;11(1):24044. doi:10.1038/s41598-021-03104-2
- [18]. Eastridge BJ, Butler F, Wade CE, Holcomb JB, Salinas J, Champion HR, et al. Field triage score (FTS) in battlefield casualties: validation of a novel triage technique in a combat environment. *The American Journal of Surgery*. 2010;200(6):724-7. doi:https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2010.08.006
- [19]. Jorma J, Heli L, Janne E, Ville H. Experiences of using a mobile RFID-based triage system. *J Aeronaut Aerosp Eng*. 2013;2117. doi: http://dx.doi.org/10.4172/2168-9792.1000117
- [20]. Franc JM, Hertelendy AJ, Cheng L, Hata R, Verde M. Accuracy of a commercial large language model (ChatGPT) to perform disaster triage of simulated patients using the simple triage and rapid treatment (START) protocol: gage repeatability and reproducibility study. *Journal of Medical Internet Research*. 2024;26e55648.
- [21]. Gan RK, Ogbodo JC, Wee YZ, Gan AZ, González PA. Performance of Google bard and ChatGPT in mass casualty incidents triage. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2024;7572-8. doi:https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.10.034
- [22]. Nations U. UN chief 'gravely alarmed' by bombing of Iranian nuclear sites: UN News; 2025
- [23]. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, Cantrell J, Tops T, Uribe P, et al. Death on the battlefield (2001-2011): implications for the future of combat casualty care. *Journal of trauma and acute care surgery*. 2012;73(6):S431-S7. doi:10.1097/TA.0b013e3182755dcc
- [24]. Peng HT, Siddiqui MM, Rhind SG, Zhang J, da Luz LT, Beckett A. Artificial intelligence and machine learning for hemorrhagic trauma care. *Military Medical Research*. 2023;10(1):6. doi:10.1186/s40779-023-00444-0
- [25]. Rickards CA, Vyas N, Ryan KL, Ward KR, Andre D, Hurst GM, et al. Are you bleeding? Validation of a machine-learning algorithm for determination of blood volume status: application to remote triage. *Journal of Applied Physiology*. 2014;116(5):486-94. doi:10.1152/jappphysiol.00012.2013
- [26]. Nemeth C, Amos-Binks A, Burris C, Keeney N, Pinevich Y, Pickering BW, et al. Decision Support for Tactical Combat Casualty Care Using Machine Learning to Detect Shock. *Military Medicine*. 2021;186(Supplement_1):273-80. doi:10.1093/milmed/usaa275
- [27]. Lammers D, Marengo C, Morte K, Conner J, Williams J, Bax T, et al. Machine Learning for Military Trauma: Novel Massive Transfusion Predictive Models in Combat Zones. *Journal of Surgical Research*. 2022;270369-75. doi:https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.09.017
- [28]. Stallings JD, Laxminarayan S, Yu C, Kapela A, Frock A, Cap AP, et al. APPRAISE-HRI: an artificial intelligence algorithm for triage of hemorrhage casualties. *Shock*. 2023;60(2):199-205.
- [29]. Joseph B, Pandit V, Zangbar B, Kulvatunyou N, Hashmi A, Green DJ, et al. Superiority of Frailty Over Age in Predicting Outcomes Among Geriatric Trauma Patients: A Prospective Analysis. *JAMA Surgery*. 2014;149(8):766-72. doi:10.1001/jamasurg.2014.296
- [30]. Ventura CAI, Denton EE, David JA. Artificial intelligence in emergency trauma care: a preliminary scoping review. *Medical Devices: Evidence and Research*. 2024;191-211. doi:https://doi.org/10.2147/MDER.S467146
- [31]. Weidman AC, Malakouti S, Salcido DD, Zikmund C, Patel R, Weiss LS, et al. A Machine Learning Trauma Triage Model for Critical Care Transport. *JAMA Network Open*. 2025;8(6):e259639-e. doi:10.1001/jamanetworkopen.2025.9639
- [32]. Senda A, Endo A, Kinoshita T, Otomo Y. Development of practical triage methods for critical trauma patients: machine-learning algorithm for evaluating hybrid operation theatre entry of trauma patients (THETA). *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2022;48(6):4755-60. doi:10.1007/s00068-022-02002-0
- [33]. Snider EJ, Hernandez-Torres SI, Avital G, Boice EN. Evaluation of an Object Detection Algorithm for Shrapnel and Development of a Triage Tool to Determine Injury Severity. *Journal of Imaging*. 2022;8(9):252. doi: https://doi.org/10.3390/jimaging8090252
- [34]. Holland L, Hernandez Torres SI, Snider EJ. Using AI Segmentation Models to Improve Foreign Body Detection and Triage from Ultrasound Images. *Bioengineering*. 2024;11(2):128. doi:10.3390/bioengineering11020128
- [35]. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*. 2017;4260-88. doi:https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005
- [36]. Zhou Z, Jin Y, Ye H, Zhang X, Liu J, Zhang W. Classification, detection, and segmentation performance of image-based AI in intracranial aneurysm: a systematic review. *BMC Medical Imaging*. 2024;24(1):164. doi:10.1186/s12880-024-01347-9

- [37]. Abramson HG, Curry EJ, Mess G, Thombre R, Kempinski-Leadingham KM, Mistry S, et al. Automatic detection of foreign body objects in neurosurgery using a deep learning approach on intraoperative ultrasound images: From animal models to first in-human testing. *Frontiers in Surgery*. 2022;9:1040066. doi:10.3389/fsurg.2022.1040066
- [38]. Cross KP, Petry MJ, Cicero MX. A better START for low-acuity victims: data-driven refinement of mass casualty triage. *Prehospital emergency care*. 2015;19(2):272-8. doi:10.3109/10903127.2014.942481
- [39]. Cone DC, MacMillan DS. Mass-casualty triage systems: a hint of science. *Acad Emerg Med*. 2005 Aug;12(8):739-41. doi: 10.1197/j.aem.2005.04.001.
- [40]. Potter BK, Forsberg JA, Silvius E, Wagner M, Khatri V, Schobel SA, et al. Combat-Related Invasive Fungal Infections: Development of a Clinically Applicable Clinical Decision Support System for Early Risk Stratification. *Military Medicine*. 2018;184(1-2):e235-e42. doi:10.1093/milmed/usy182
- [41]. Bai S, Ye L, Liu L, Liang T, Qin C, Bu J, et al. Emergency triage based on deep ensemble learning and ICU physiological time series. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2024;96:106518. doi:https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106518
- [42]. Xu Y, Malik N, Chernbumroong S, Vassallo J, Keene D, Foster M, et al. Triage in major incidents: development and external validation of novel machine learning-derived primary and secondary triage tools. *Emerg Med J*. 2024;41(3):176-83. doi:10.1136/emmermed-2022-212440
- [43]. Seyedin H, Moslehi S, Tavan A, Narimani S. The role of artificial intelligence in protecting frontline forces in CBRNE incidents. *Progress in Disaster Science*. 2025;26:100443. doi:https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2025.100443
- [44]. Nanini S, Abid M, Mamouni Y, Wiedemann A, Jouvét P, Bourassa S. Machine and Deep Learning Models for Hypoxemia Severity Triage in CBRNE Emergencies. *Diagnostics* (Basel). 2024;14(23). doi:10.3390/diagnostics14232763
- [45]. Achkoski J, Stevanovski G. Remote triage support algorithm based on fuzzy logic. *BMJ Military Health*. 2017;163(3):164-70. doi:10.1136/jramc-2015-000616
- [46]. Salman OH, Aal-Nouman MI, Taha ZK. Reducing waiting time for remote patients in telemedicine with considering treated patients in emergency department based on body sensors technologies and hybrid computational algorithms: Toward scalable and efficient real time healthcare monitoring system. *Journal of Biomedical Informatics*. 2020;112:103592. doi:https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103592
- [47]. Abe D, Inaji M, Hase T, Takahashi S, Sakai R, Ayabe F, et al. A prehospital triage system to detect traumatic intracranial hemorrhage using machine learning algorithms. *JAMA Network Open*. 2022;5(6):e2216393-e. doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.16393
- [48]. London AJ. Artificial intelligence and black-box medical decisions: accuracy versus explainability. *Hastings Center Report*. 2019;49(1):15-21. doi: https://doi.org/10.1002/hast.973
- [49]. Cummings M. Artificial intelligence and the future of warfare: Chatham House for the Royal Institute of International Affairs London; 2017.
- [50]. Lin P, Bekey G, Abney K. Robots in war: issues of risk and ethics. 2009.
- [51]. Nguyen AT. Benefits and Challenges of Utilizing Artificial Intelligence in Decision Making for US Military Leaders: Alliant International University; 2022.
- [52]. Da Costa A, Teke J, Origbo JE, Osonuga A, Egbon E, Olawade DB. AI-driven triage in emergency departments: A review of benefits, challenges, and future directions. *Int J Med Inform*. 2025;197:105838. doi:10.1016/j.ijmedinf.2025.105838
- [53]. Bovet Emanuel P. Exploring Decision Advantages: Improving Speed, Precision and Efficiency in Military Targeting by Applying Artificial Intelligence: Försvarshögskolan (FHS); 2025.