Paramedical Sciences and Military Health

P-ISSN: 2423-7507 ISSN:2538-3086

Homepage: jps.ajaums.ac.ir

A Review of the Applications of Ultrasound Waves in Military Science: a Comprehensive Analysis of Defense and Security Technologies

Alireza Mohammadkarim[1,2], Akram Shahidani[1,2*], Ahlam Almanie[3]

[1] Radiation Science Research Center, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[2] Department of Radiology, Faculty of Paramedical Sciences, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[3] Department of Medical Physics, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Review Article

Article History:
Received: 2025/11/03
Received in revised form: 2025/11/09
Accepted: 2025/11/16
Published:2025/12/28

Corresponding Author:
Dr. Akram Shahidani

Email:
shahidania@gmail.com

Abstract

Introduction: Ultrasound, as one of the advanced technologies in the field of acoustics, has found widespread applications in military fields in recent decades.

Materials and Methods: This analytical approach article examines the direct and indirect applications of these waves in the defense field. In the first part, the use of ultrasound waves in subsurface detection, secure communications, and non-lethal weapons is examined. Then, the role of ultrasound in military medicine, combat training, and environmental security is analyzed as indirect applications. After that, technical challenges such as limited penetration into dense materials, interference with electronic equipment, and dependence on human analysis are raised along with ethical and legal considerations including privacy concerns and the use of waves as a means of population control. In the future research section, innovative paths have been proposed such as integration with artificial intelligence, development of wearable sensors, and application in drones and rescue robots.

Results: Using authentic scientific sources published between 2020 and 2025, this article provides a comprehensive picture of the capabilities, limitations, and prospects of ultrasound waves in the military field and it can serve as a basis for future research and strategic decision-making in the defense industries.

Conclusion: Ultrasound is recognized as a vital tool in military science. With future advancements, the applications of this technology are expected to expand even further and they contribute to improve defense capabilities of countries.

Keywords: Ultrasound, military applications, defense technologies, national security, defense and subsurface structures.

Cite this article: Mohammadkarim A, Shahidani A, Almanie A. A Review of the Applications of Ultrasound Waves in Military Science: a Comprehensive Analysis of Defense and Security Technologies. Paramedical Sciences and Military Health 2025; 20 (4) :57-67.

© Author(s) retain the copyright.

:https://doi.org/10.22034/JPSMH.20.4.57

Publisher: AJA University of Medical Sciences

علوم پیراپزشکی و بهداشت نظامی
شاپای چاپی: ۷۵۰۷-۲۴۲۳ شاپای الکترونیکی: ۳۰۸۶-۲۵۳۸
Homepage: htt://jps.ajaums.ac.ir

مروری بر کاربردهای امواج فراصوت در علوم نظامی: تحلیل جامع فناوری‌های دفاعی و امنیتی

علیرضا محمدکریم[۱،۲]، اکرم شهیدانی[۱،۲*]، احلام آل منیع[۳]

[۱] مرکز تحقیقات علوم پرتویی، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران.
[۲] گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی آجا، تهران، ایران.
[۳] گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
مقاله مروری

سابقه مقاله
دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/ ۱۲
ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵
انتشار برخط: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷

* نویسنده مسئول: **دکتر اکرم شهیدانی**

آدرس الکترونیکی:
shahidania@gmail.com

چکیده

مقدمه: امواج فراصوت، به‌عنوان یکی از فناوری‌های پیشرفته در حوزه آکوستیک، در دهه‌های اخیر کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های نظامی یافته‌اند.

مواد و روش ها: این مقاله با رویکردی تحلیلی، به بررسی کاربردهای مستقیم و غیرمستقیم این امواج در حوزه دفاعی می‌پردازد. در بخش نخست، استفاده از امواج فراصوت در شناسایی زیرسطحی، ارتباطات امن و سلاح‌های غیرکشنده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، نقش فراصوت در پزشکی نظامی، آموزش رزمی، و امنیت محیطی به‌عنوان کاربردهای غیرمستقیم مورد تحلیل قرار گرفته است. سپس، چالش‌های فنی مانند محدودیت نفوذ در مواد متراکم، تداخل با تجهیزات الکترونیکی و وابستگی به تحلیل انسانی، به‌همراه ملاحظات اخلاقی و حقوقی از جمله نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی و استفاده از امواج به‌عنوان ابزار کنترل جمعیت، مطرح شده‌اند. در بخش آینده‌پژوهی، مسیرهای نوآورانه‌ای همچون ادغام با هوش مصنوعی، توسعه حسگرهای پوشیدنی، و کاربرد در پهپادها و ربات‌های امدادی پیشنهاد شده‌اند.

یافته ها: این مقاله با بهره‌گیری از منابع علمی معتبر منتشرشده بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵، تصویری جامع از ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای آینده امواج فراصوت در حوزه نظامی ارائه می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای پژوهش‌های آتی و تصمیم‌گیری‌های راهبردی در صنایع دفاعی باشد.

نتیجه گیری: امواج فراصوت به عنوان ابزاری حیاتی در علوم نظامی شناخته می‌شود. با پیشرفت‌های آتی، انتظار می‌رود کاربردهای این فناوری بیش از پیش گسترش یافته و به بهبود قابلیت‌های دفاعی کشورها کمک کند.

کلیدواژه‌ها: امواج فراصوت، کاربردهای نظامی، فناوری‌های دفاعی، امنیت ملی، پدافند و ساختارهای زیرسطحی.

استناد: محمدکریم علیرضا، شهیدانی اکرم، آل منیع احلام. مروری بر کاربردهای امواج فراصوت در علوم نظامی: تحلیل جامع فناوری‌های دفاعی و امنیتی. علوم پیراپزشکی و بهداشت نظامی. ۱۴۰۴; ۲۰ (۴) : ۶۷-۵۷.

CC BY NC

doi:https://doi.org/10.22034/JPSMH.20.4.57

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم پزشکی ارتش.

مقدمه

امواج فراصوت[1] به امواج مکانیکی با فرکانسی بالاتر از محدوده شنوایی انسان (بیش از ۲۰ کیلوهرتز) گفته می‌شود، این امواج ابتدا در حوزه‌های پزشکی و صنعتی توسعه یافتند، اما به‌تدریج وارد عرصه‌های نظامی شدند (۱). این فناوری با ظرفیت‌های تشخیصی، ارتباطی و کنترلی می‌تواند چشم‌اندازی نوین بر مسائل امنیتی و راهبردی ارائه دهد. ویژگی‌هایی چون قابلیت تمرکز انرژی و ایمنی بالا، آن را به ابزاری مناسب برای کاربردهای دفاعی تبدیل کرده است که در دهه‌های اخیر مورد توجه صنایع نظامی قرار گرفته‌اند (۲). تحقیقات لو و همکاران نشان داد که فراصوت می‌تواند در محیط‌های با تراکم متوسط مانند خاک و شن تصویربرداری انجام دهد (۳). این قابلیت بعدها در حوزه‌های نظامی مانند شناسایی مین‌های زمینی و تونل‌های مخفی به‌کار گرفته شد (۴). کاربردهای مستقیم امواج فراصوت شامل شناسایی و تشخیص اهداف زیرسطحی، ارتباطات امن و پایدار و توسعه سلاح‌های غیرکشنده می‌باشد که نشان‌دهنده آن است که فراصوت می‌تواند گزینه‌ای مؤثر برای کاهش خسارات انسانی و بهبود کارآیی عملیات نظامی در میدان‌های نبرد، به‌ویژه در زمینه‌های شناسایی زیردریایی‌ها، ارتباطات مقاوم در مقابل شنود و ایجاد راهبردهای غیرکشنده برای مهار تهدیدها باشد (۵). بررسی نقش فراصوت در پزشکی نظامی، آموزش رزمی و امنیت محیطی به‌عنوان کاربردهای غیرمستقیم نشان دهنده آن است که فناوری فراصوت با توانایی‌های تشخیصی و حفاظتی می‌تواند به بهبود سلامت نیروها، کارآمدتر کردن آموزش‌های رزمی و افزایش ایمنی محیطی کمک کند. این جنبه‌ها نشان می‌دهد که فراصوت می‌تواند به عنوان ابزار کم‌خطر و غیربازدارنده در محیط‌های پرتنش عملیاتی به‌کار رود (۶).

محدودیت نفوذ در مواد متراکم، تداخل با تجهیزات الکترونیکی و نیاز به تحلیل دقیق انسانی از جمله عواملی هستند که می‌توانند کارایی و پایداری کاربردهای فراصوت را تحت تأثیر قرار دهند (۷). علاوه بر این، ملاحظات اخلاقی و حقوقی از قبیل حریم خصوصی، استفاده از امواج به‌عنوان ابزار کنترل جمعیت و تبعات بین‌المللی استفاده از این فناوری باید با رویکردی جامع و مسئولانه مورد توجه قرار گیرند (۸). با توجه به پیشرفت‌های فناورانه در زمینه تولید، کنترل و تحلیل امواج فراصوت، بررسی جامع این فناوری از منظر نظامی و مسیرهای نوآورانه‌ای همچون ادغام با هوش مصنوعی و کاربردهای مهم و موثر آن در علوم نظامی ضروری به نظر می‌رسد. این مقاله مروری، با هدف تحلیل چندوجهی کاربردهای نظامی فراصوت، به بررسی علمی، فنی، عملیاتی و اخلاقی این فناوری می‌پردازد و می‌تواند مبنایی برای پژوهش‌های آتی و تصمیم‌گیری‌های راهبردی در صنایع دفاعی باشد.

مواد و روش‌ها

این مقاله با رویکرد مروری نظام‌مند تدوین شده است و با بهره‌گیری از منابع علمی معتبر منتشرشده بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵، کوشیده است تصویری جامع و متوازن از ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای آینده امواج فراصوت در علوم نظامی ارائه دهد. منابع علمی، مقالات پژوهشی و گزارش‌های تخصصی در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی با کلیدواژه‌هایی مانند "ultrasound in defense"، "ultrasonic military applications"، و "ultrasonic nondestructive testing" مورد جستجو قرار گرفتند. پس از جمع‌آوری داده‌ها، منابع بر اساس اعتبار علمی و ارتباط با موضوع طبقه‌بندی و تحلیل شدند. نتایج حاصل از مطالعات موردی، پروژه‌های پژوهشی و کاربردهای عملی در بخش‌های مختلف نظامی گردآوری و در این مقاله ارائه شده است.

یافته‌ها

اصول علمی امواج فراصوت

امواج فراصوت نوعی از امواج مکانیکی هستند که برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند. از منظر فیزیکی، این امواج دارای طول موج کوتاه، انرژی بالا و فرکانس بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز، در محیط‌های مختلف مانند هوا، آب و بافت‌های زیستی منتشر می‌شوند (۹). ویژگی‌هایی مانند توانایی تمرکز انرژی در نقاط خاص، شناسایی اهداف زیرسطح و تصویربرداری دقیق، عدم تداخل با امواج الکترومغناطیسی و تحریک بافت‌های زیستی، آن‌ها را برای کاربردهای نظامی بسیار مناسب کرده است. در حوزه نظامی، این ویژگی‌ها به توسعه ابزارهایی مانند سونارهای پیشرفته، سلاح‌های صوتی و سیستم‌های ارتباطی امن کمک کرده‌اند (۱۰, ۱۱).

کاربردهای نظامی مستقیم امواج فراصوت

امواج فراصوت در حوزه‌های عملیاتی نظامی، به‌ویژه در زمینه‌های شناسایی، کنترل و ارتباطات نقش مهمی ایفا می‌کنند. در این بخش، سه کاربرد مستقیم این فناوری شامل: سلاح‌های صوتی، سیستم‌های شناسایی زیرسطحی و ارتباطات امن بررسی می‌شود (۵).

1. Ultrasound

۱. سلاح‌های اولتراسونیک غیرکشنده

در سلاح‌های اولتراسونیک غیرکشنده از امواج صوتی با فرکانس‌های بالاتر از محدوده شنوایی انسان برای ایجاد اثرهای فیزیکی یا رفتاری موقتی روی هدف، بدون آسیب بافتی دائمی استفاده می‌شود (۱۲). اهداف این سلاح‌ها شامل ایجاد درد یا ناراحتی و هدایت افراد از طریق اثرات فیزیکی مانند شلیک متمرکز، فشار هوا، یا اثرات مکانیکی بر روی فضاهای نزدیک است. پیشرفت‌ها در کاربردهای دفاعی برای کنترل جمعیت، بازدارندگی، یا عملیات‌های ایمنی عمدتاً بر روی طراحی‌های متمرکزتر مثلاً با استفاده از Arrays با Phased Array ، بهبود کارایی انرژی، محدودسازی دامنه اثر به منطقه هدف، کاهش تاثیرات ناخواسته روی انسان و زیست‌جانوران غیرهدف و ارزیابی‌های ایمنی-اخلاقی متمرکز بوده است(۱۳, ۱۴). تحقیقات فراوان در مورد استفاده از امواج فراصوت با شدت بالا برای کنترل جمعیت و بازدارندگی در شرایط بحران انجام شده است که به نگرانی‌های اخلاقی و حقوقی، از جمله تأثیرات احتمالی بر سلامت روانی و شنوایی افراد اشاره داشته‌اند(۱۵، ۱۶).

استفاده از آرایه‌های اولتراسونیک با فاز و قدرت کنترل‌شده برای تمرکز امواج در یک نقطه یا مسیر دلخواه، کاهش انتشار جانبی و افزایش کارایی در فواصل مختلف از مزیت‌های آن می‌باشد. یکی دیگر از مهم‌ترین کاربردهای فراصوت در حوزه نظامی، توسعه سلاح‌های غیرکشنده برای کنترل جمعیت، عملیات ضدشورش، و حفاظت از تأسیسات حساس است. این سلاح‌ها با تولید امواج صوتی با شدت بالا، موجب سردرد، تهوع، اختلال در تعادل و ناتوانی موقت در افراد می‌شوند (۱۷). در سال‌های اخیر، ارتش‌های مختلف از جمله ایالات متحده و روسیه، نمونه‌هایی از سلاح‌های اولتراسونیک غیرکشنده را در عملیات‌های شهری مورد آزمایش قرار داده‌اند. این آزمایش‌ها با هدف ارزیابی کارایی این سلاح‌ها در کنترل جمعیت، مهار شورش‌ها و حفاظت از تأسیسات حساس انجام شده‌اند. ایالات متحده بر توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های اولتراسونیک با تمرکز بالا و بهره‌مندی از آرایه‌های فازی جهت افزایش دقت و کاهش اثرات جانبی متمرکز شده است، در حالی که روسیه نیز با نمونه‌های پیشرفته خود در این حوزه حضور فعال دارد (۱۸). همچنین گزارش‌هایی از استفاده احتمالی از امواج فراصوت در حملات صوتی به سفارت‌خانه‌ها در کوبا و چین منتشر شده است. برتری این سلاح‌ها در آن است که بدون آسیب دائمی، توانایی کنترل جمعیت یا بازدارندگی را فراهم می‌کنند. با این حال، نگرانی‌هایی درباره اثرات بلندمدت آن‌ها بر سلامت روانی و عصبی افراد وجود دارد (۱۹).

۲. سیستم‌های شناسایی زیرسطحی سونار اولتراسونیک

سونارهای اولتراسونیک یکی از ابزارهای کلیدی در عملیات دریایی و زیردریایی هستند. فرستنده‌های اولتراسونیک برای ایجاد نبض‌های موجی و گیرنده‌های اولتراسونیک برای ثبت بازتاب‌ها و تحلیل سیگنال دو مؤلفه اصلی آن هستند. این سیستم‌ها با ارسال امواج فراصوت و تحلیل بازتاب آن‌ها، امکان شناسایی مین‌های دریایی، زیردریایی‌های دشمن و موانع را فراهم می‌کنند (۲۰). در مقایسه با سونارهای معمولی، سونارهای اولتراسونیک دارای دقت بالاتر، توان تفکیک بیشتر و قابلیت عملکرد در محیط‌های آبی هستند (۲۱). همچنین، ترکیب این فناوری با الگوریتم‌های یادگیری ماشین، موجب افزایش دقت و سرعت تحلیل داده‌ها شده است (۲۲). در اوایل دهه ۱۹۴۰، نوعی سونار توسعه یافت که از کشتی‌ها و بعدها از هواپیماها نیز قابل استفاده بود. این سونار قابلیت استفاده از روی بالن، هواپیما، هلیکوپتر، کشتی‌های سطحی و زیردریایی‌ها را داشت. اولین سونارهای مستقر شده از یک بالنK-۵، صداهای تولید شده توسط زیردریایی S-۲۰ را که برای آزمایش استفاده می‌شد، شناسایی کردند. زیردریایی تا فاصله ۳ مایلی شناسایی شد و انتقال رادیویی به بالن در محدوده ۵ مایلی بود (۲۳). در تشخیص غیرفعال، سونار با دریافت صدای پروانه و ماشین‌آلات، زیردریایی‌ها را تشخیص می‌دهد (۲۴). برای سونارها با کاربرد خاص، تشخیص‌ها شامل ناهنجاری‌های مغناطیسی و میدان‌های الکتریکی است. علاوه بر این، آن‌ها پارامترهای مختلف محیطی مانند دمای آب در امتداد عمق، فشار بارومتریک و ارتفاع امواج اقیانوس را اندازه‌گیری می‌کنند (۲۵, ۲۶). معمولاً، از سونارها برای استقرار هواپیماهای مجهز به پرتابگر استفاده می‌شود. در ناوبری و مسافت‌یابی صوتی مورد استفاده در نیروی دریایی و صنایع دریایی جهان، اصل اثر پیزوالکتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیشرفت‌های اولیه در فناوری ناوبری و مسافت‌یابی صوتی، باعث اکتشافات برجسته‌ای در سونوگرافی تشخیصی مورد استفاده افسران نظامی و محققان وزارت دفاع شد (۲۷, ۲۸).

۳. ارتباطات امن و رمزگذاری صوتی

حفاظت از محرمانگی، یکپارچگی، اصالت و دسترس‌پذیری داده‌های صوتی و سیگنال‌های اولتراسونیک در محیط‌های پیچیده از اصول مهم نظامی است. در محیط‌های نظامی که استفاده از امواج رادیویی ممکن است موجب افشای موقعیت یا تداخل شود، امواج فراصوت به‌عنوان جایگزینی مطمئن برای انتقال داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲۹). این امواج در محیط‌های بسته مانند زیردریایی‌ها یا تأسیسات زیرزمینی،

امکان ارتباط رمزگذاری‌شده و غیرقابل شنود را فراهم می‌کنند (۳۰). تبادل کلید امن بر اساس کانال‌های فراصوت، رمزگذاری داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط فرستنده‌ها و تحلیل‌گرها در گیرنده‌ها، حفاظت کانال در برابر شنود، تغییر سیگنال و دستکاری کارکردهای اعتمادسازی و احراز هویت در پایش‌های دریایی و زیرآبی از کاربردهای عمده فراصوت در علوم نظامی و امنیتی است (۳۱, ۳۲). پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهند که امکان رمزگذاری کارآمد با تأخیر کم و مصرف انرژی پایین وجود دارد، اما نیاز به استانداردسازی و پروتکل‌های یکپارچه احساس می‌شود. در این زمینه تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که با استفاده از مدولاسیون پیشرفته و الگوریتم‌های رمزنگاری، می‌توان داده‌های حساس را از طریق فراصوت منتقل کرد بدون آن‌که توسط تجهیزات شنود معمولی قابل شناسایی باشند (۳۳). در سال‌های اخیر مطالعاتی کاربرد ارتباط امواج اولتراسونیک رمزنگاری‌شده را برای مکالمات امن کوتاه‌بُرد و تبادل رمزنگاری‌شده داده بین دستگاه‌ها را نشان داد. این فناوری انتقال داده را در باند غیرقابل شنیدن (اولتراسونیک) انجام می‌دهد و بدون نیاز به بلوتوث، وای‌فای یا سخت‌افزار تخصصی، ارتباط ایمن ایجاد می‌کند. آزمایش‌ها موفقیت ارسال اطلاعات رمزنگاری‌شده و صحت این روش در محیط‌های پرجمعیت، مانند محل‌های نظامی شلوغ، را تأیید کرده‌اند (۳۴, ۳۵) سامانه‌هایی مانند Salt Communications برای میادین نظامی و فرماندهی توسعه یافته‌اند که رمزگذاری انتهابه‌انتها را برای مکالمات صوتی، پیام‌رسانی و تبادل داده‌ها اجرا می‌کنند (۳۶). این پلتفرم‌ها با پشتیبانی از استقرار در فضای ابری یا به‌صورت متمرکز، به نیروها امکان می‌دهند ارتباطات صوتی و متنی خود را با بالاترین سطح رمزگذاری و کنترل امن برقرارکنند. این نرم‌افزارها بطور خاص برای جلوگیری از شنود و نفوذ دشمنان و حفظ عملیات مخفی و فرماندهی توسعه داده شده‌اند (۳۷).

کاربردهای نظامی غیرمستقیم امواج فراصوت

اگرچه امواج فراصوت بیش‌تر به‌عنوان ابزارهای شناسایی یا بازدارنده شناخته می‌شوند، اما در حوزه‌های پشتیبانی نظامی نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. از تشخیص سریع آسیب‌های داخلی در میدان نبرد گرفته تا آموزش نیروهای رزمی، این فناوری به‌طور غیرمستقیم در ارتقاء توان دفاعی کشورها مؤثر بوده است (۳۸). کاربردهای نظامی غیرمستقیم امواج فراصوت غالباً به جای تخریب مستقیم، بر تغییر شرایط محیطی، خواص ماده و تعامل با فناوری‌های دیگر متمرکز است (۳۹). این رویکردها می‌توانند به بهبود کارایی سایر سامانه‌ها، کاهش یا کنترل نفوذ و ایجاد اثرات سطحی یا عمقی خاص در مواد منجر شوند. برای استفاده امن و مؤثر، درک دقیق از خواص مواد، شرایط محیطی و رفتار غیرخطی امواج فراصوت نیاز است و همواره باید ملاحظات ایمنی و قانونی رعایت شود (۴۰).

۱. پزشکی نظامی و امداد در میدان نبرد

حفظ جان، کاهش آسیب و بهبود بقای امدادشدگان و نیروهای نظامی در شرایط نبرد از اصول مهم و ضروری می‌باشد و ارائه خدمات پزشکی از لحظه اول تماس (casualty immediately) تا پس از بازتوانی، در قالب تیم‌های میدان نبرد، کلینیک‌های سطحی و شبکه‌های پشتیبانی پس از صحنه درگیری لازم است (۴۱). در زمینه تصویربرداری پزشکی در میدان نبرد، مطالعات و تحقیقات علمی نوین پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند که این پیشرفت‌ها حول محور تشخیص سریع و دقیق آسیب‌ها و ارتقاء مراقبت‌های پزشکی در شرایط دشوار و پرخطر میدانی است (۴۲). یکی از برجسته‌ترین کاربردهای فراصوت در پزشکی نظامی، استفاده از دستگاه‌های قابل حمل برای تشخیص سریع آسیب‌های داخلی مانند خونریزی، شکستگی، یا آسیب به اندام‌های حیاتی است (۴۳). این دستگاه‌ها به پزشکان نظامی اجازه می‌دهند بدون نیاز به تجهیزات سنگین تصویربرداری، در محل حادثه تصمیم‌گیری کنند. تحقیقات نشان می‌دهند که شبیه‌سازهای فراصوت در آموزش پزشکان رزمی و نیروهای امدادی نقش مؤثری دارند. این فناوری‌ها با ایجاد محیط‌های تعاملی، دقت و سرعت تصمیم‌گیری را بهبود بخشیده‌اند (۴۴).

مطالعه جستبی[1] و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان داد که استفاده از دستگاه‌های فراصوت قابل حمل در میدان نبرد باعث افزایش سرعت تشخیص آسیب‌های داخلی می‌شود (۴۵). مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۵ با حضور ۶۰ تکنسین پزشکی ارتش آمریکا نشان داد که کمک هوش مصنوعی به انجام ارزیابی متمرکز با سونوگرافی در تروما[2] (FAST) باعث افزایش کیفیت تصاویر و اعتمادبه‌نفس کاربران در محیط‌های جنگی می‌شد، هرچند تأثیر معنی‌داری بر زمان انجام معاینه نداشت (۴۶). همچنین با حمایت مالی وزارت دفاع آمریکا، سامانه Accuro 3S-MIL که یک دستگاه اولتراسوند پرتابل و مجهز به هوش مصنوعی است، برای هدایت تزریق‌های نخاعی (مانند تزریق استروئید اپیدورال برای درمان آسیب‌های ستون فقرات) در محیط‌های پیشرفته عملیاتی توسعه یافت. این سامانه امکان مداخله غیرتهاجمی و افزایش نرخ بازگشت سربازان به خدمت را در محیط‌هایی که دسترسی به فلوروسکوپی ممکن نیست فراهم

1. Gjesteby
2. Focused Assessment with Sonography in Trauma

می‌کند (۴۷). مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۵ نشان داد فیزیوتراپیست‌های نظامی در محیط‌های استقرار پیشرفته با کمک امواج فراصوت، آسیب‌های تاندون، رباط و عضله را به‌صورت مستقیم تشخیص داده و درباره نیاز به تخلیه یا ادامه درمان در محل تصمیم‌گیری می‌کنند. مثال‌هایی از آسیب‌های تاندون آشیل و رباط آرنج نشان می‌دهد امواج فراصوت مستقیماً بر مدیریت، بازتوانی و تصمیم‌گیری پزشکی تأثیر داشته است (۴۸). در سال ۲۰۲۱ ارتش آمریکا دستگاه‌های اولتراسوند پرتابل را در شرایط عملیاتی میدانی مورد آزمایش قرار داد تا انتخاب مناسبی برای استفاده در کیت‌های تاکتیکی پزشکی در سطح پایگاه و میدان نبرد انجام دهد. این دستگاه‌ها قادرند با صدور امواج فراصوت، تصاویر فوری از ساختارهای داخلی بدن ایجاد کنند و به سرعت حیاتی بیماران نظامی کمک نمایند (۴۹).

مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۴ نشان داد که استفاده از فراصوت در میدان نبرد باعث کاهش ۳۰٪ در زمان تشخیص و افزایش ۲۵٪ در نرخ نجات مصدومان شده است (۵۰). همچنین، فناوری‌های جدید مانند فراصوت سه‌بعدی و هوشمند، امکان تحلیل خودکار تصاویر را فراهم نموده‌اند (۵۱). استفاده از سونوگرافی متمرکز بر ناحیه شکم برای سهولت در غربالگری سریع بیماران و تعیین نیاز به جراحی اضطراری، کاربرد سی تی اسکن چند آشکارساز[1] (MDCT) که امکان تعیین دقیق انواع آسیب‌ها را برای جراحان فراهم می‌کند (۵۲) تا تصمیمات درمانی بهتر و سریع‌تر اتخاذ شود و بهره‌مندی از واقعیت افزوده[2] (AR) (۵۳)، مدل‌سازی آماری پیش‌بینی محل قرارگیری اندام‌ها برای افزایش دقت در درمان و هدایت اقدامات اورژانسی در میدان نبرد و تصویربرداری پرتابل و ادغام هوش مصنوعی در تحلیل تصاویر پزشکی برای بهبود دقت تشخیص و کاهش زمان گزارش‌دهی، به ویژه در شرایط اضطراری از جمله فناوری‌ها و روش‌های کلیدی تصویربرداری در چند سال اخیر می‌باشد (۵۴). با این حال محدودیت‌های محیطی مانند شرایط جغرافیایی، ناهنجاری‌های جوی و تهدیدات امنیتی که اغلب مانع دسترسی به تجهیزات پیشرفته می‌شود، نیاز به تجهیزات قابل حمل، مقاوم و سریع برای انجام تصویربرداری در شرایط نامناسب و بدون امکانات پزشکی گسترده، از چالش‌های تصویربرداری میدان نبرد می‌باشد (۵۵, ۵۶).

۲. آموزش و شبیه‌سازی رزمی

استفاده از امواج فراصوت در آموزش و شبیه‌سازی رزمی در سال‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی داشته است که عمدتاً بر آموزش نیروهای پزشکی رزمی و بهبود تشخیص سریع آسیب‌ها در میدان نبرد متمرکز است (۵۷). نیروهای پزشکی رزمی ویژه[3] (SOCM) از فراصوت دستی برای تشخیص سریع در محل حادثه، مانند تست‌های ارزیابی سریع شکمی و بررسی مشکلات قلبی، تنفسی و عضلانی-اسکلتی بهره می‌برند. آموزش این نیروها با شبیه‌سازهای فراصوت که مبتنی بر موارد واقعی و واقعیت افزوده هستند، تسهیل شده است و منجر به بهبود مهارت تشخیصی آن‌ها می‌شود (۵۸). سیستم‌های شبیه‌ساز فراصوت مانند SonoSim با استفاده از تصاویر واقعی و تمرین‌های مبتنی بر سناریو، آموزش‌های تخصصی و شبیه‌سازی‌شده برای نیروهای پزشکی در ارتش ارائه می‌دهند تا آن‌ها بتوانند در شرایط سخت و میدان‌های نبرد عملکرد بهتری داشته باشند (۵۹) .آموزش‌های میکرو-تدریس، ویژه کارکنان پزشکی رزمی برای انجام تصویربرداری عروقی با دستگاه‌های سبک دستی فراصوت، نشان داده که افراد با آموزش کوتاه‌مدت قادر به انجام معاینات اساسی و ثبت تصاویر قابل قبول هستند(۶۰). در آموزش نیروهای نظامی، فراصوت نقش مهمی در شبیه‌سازی شرایط واقعی ایفا می‌کند. شبیه‌سازهای پزشکی مبتنی بر فراصوت به نیروهای امدادی اجازه می‌دهند مهارت‌های تشخیصی را در محیط‌های مجازی تمرین کنند (۶۱). در سال ۲۰۲۵، ارتش کره جنوبی از شبیه‌سازهای اولتراسونیک برای آموزش پزشکان رزمی استفاده کرد که شامل بازخورد لمسی و صوتی برای افزایش دقت در تشخیص بود. این فناوری‌ها همچنین در آموزش خلبانان و غواصان برای درک بهتر شرایط فیزیولوژیکی در ارتفاع یا فشار بالا به‌کار گرفته شده‌اند (۶۲). به طور کلی افزایش سرعت و دقت تشخیص، آموزش مدیریتی موارد اضطراری، کاهش نیاز به دستگاه‌های بزرگ و سنگین و تسهیل مراقبت در مناطق دور از دسترس از مزایای آموزش و شبیه سازی رزمی است (۶۳). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده گسترده از فناوری فراصوت دستی در آموزش پزشکی نظامی به بهبود تصمیم‌گیری درمانی و کاهش مرگ و میر در عملیات‌های نظامی کمک کرده است (۶۴). شبیه‌سازی مبتنی بر واقعیت ترکیبی[4] (MR) و شبکه‌های G ۵ در آموزش از راه دور فراصوت در حال توسعه است که می‌تواند آموزش را گسترش داده و کیفیت آن را ارتقا بخشد. مطالعات همچنین به اهمیت کمّی و کیفی آموزش فراصوت به نیروهای پزشکی برای موفقیت در عملیات‌های خاص تأکید دارند و پیشنهاد می‌کنند برنامه‌های آموزشی باید تطبیقی و کاربردی باشند (۶۵, ۶۶).

1 Multidetector Computed Tomography
2 Augmented Reality
3 Special Operations Combat Medic
4 Mixed Reality

۳. امنیت محیطی و کنترل جانوران

استفاده از امواج فراصوت در امنیت محیطی و کنترل جانوران به عنوان روشی نوین و غیرشیمیایی برای دفع و مدیریت آفات و حیوانات مزاحم مورد توجه قرار گرفته است(۶۷). بررسی تغییر رفتار جانوران با استفاده از فرکانس‌های خاص فراصوت انجام می‌شود. این امواج با انتشار فرکانس‌های بالا که برای انسان قابل شنیدن نیستند اما برای بسیاری از حیوانات آزاردهنده است، موجب تغییر رفتار و دور کردن آن‌ها از محیط‌های محافظت شده می‌شوند (۱۸). امواج فراصوت می‌توانند برای دفع حشرات و حیوانات موذی در پایگاه‌های نظامی استفاده شوند. دفع حیوانات موذی در پایگاه‌های نظامی، برای جلوگیری از آسیب به تجهیزات حساس ضروری است. این سیستم‌ها بدون نیاز به مواد شیمیایی، محیطی ایمن و پایدار ایجاد می‌کنند (۶۸). از سیستم‌های پیشرفته اولتراسونیک همراه با فناوری‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء[1] (IoT) برای شناسایی و دفع حیوانات مزاحم به صورت خودکار و هوشمند در مناطق حساس و پرخطر استفاده می‌شود (۶۹). همچنین با استفاده از امواج فراصوت، نیاز به سموم و آفت‌کش‌ها کاهش یافته که این امر به حفظ محیط زیست و سلامت نیروها کمک می‌کند (۷۰). بهره‌گیری از سنسورها و دوربین‌های متصل به شبکه برای رصد مستمر محیط و فعال‌سازی دستگاه‌های اولتراسونیک در هنگام نزدیکی جانوران، باعث نظارت و کنترل دقیق محیط نظامی می‌شود (۷۱). فناوری فراصوت در حفاظت از منابع غذایی و کشاورزی نظامی نیز کاربرد دارد و به حفظ ایمنی و سلامت تجهیزات و مواد کمک می‌کند. همچنین، برخی پایگاه‌ها از این فناوری برای محافظت از تجهیزات راداری و مخابراتی در برابر آلودگی زیستی استفاده نموده‌اند (۷۲).

بحث و نتیجه‌گیری

کاربردهای اولتراسونیک در علوم نظامی بسیار متنوع و رو به گسترش است. این فناوری به دلیل قابلیت تشخیص سریع، عدم نیاز به تماس مستقیم، ایمنی بالا و هزینه پایین، جایگزین مناسبی برای بسیاری از روش‌های سنتی محسوب می‌شود (۲, ۶). با این حال، امواج فراصوت با وجود کاربردهای متنوع و پیشرفته در نظام دفاعی، با چالش‌هایی نظیر تداخل امواج در محیط‌های نویزی، محدودیت برد و اثرگذاری، مسائل اخلاقی در سلاح‌های غیرکشنده و لزوم توسعه استانداردهای بین‌المللی روبرو هستند (۷). پیشرفت در رمزنگاری، هوشمندسازی و کاهش اثرات زیست‌محیطی از محورهای آینده این فناوری محسوب می‌شوند (۶۸, ۶۹).

توسعه سامانه‌های هوشمند مبتنی بر اولتراسونیک، ادغام با فناوری‌های نوین مانند اینترنت و هوش مصنوعی، و بهبود دقت و پایداری سنسورها از جمله روندهای آینده در این حوزه است. همچنین، افزایش قابلیت حمل و مقاومت تجهیزات اولتراسونیک در شرایط سخت محیطی، زمینه را برای استفاده گسترده‌تر در عملیات‌های نظامی فراهم می‌کند(۶۹، ۴۵).

فناوری اولتراسونیک نقش اساسی در ارتقاء امنیت، کارایی و دقت سامانه‌های نظامی ایفا می‌کند. از شناسایی تهدیدات و تست غیرمخرب تجهیزات گرفته تا مراقبت‌های پزشکی میدانی و پایش سلامت سازه‌ها، اولتراسونیک به عنوان ابزاری حیاتی در علوم نظامی شناخته می‌شود. با پیشرفت‌های آتی، انتظار می‌رود کاربردهای این فناوری بیش از پیش گسترش یافته و به بهبود قابلیت‌های دفاعی کشورها کمک کند.

چالش‌ها و محدودیت‌ها

امواج فراصوت به عنوان فناوری چندمنظوره در توانمندسازی نیروهای نظامی، افزایش دقت تشخیص، بالا بردن امنیت محیطی و توسعه سلاح‌های غیرکشنده نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. گسترش تحقیقات و تکنولوژی‌های مرتبط با فراصوت می‌تواند در آینده توان عملیاتی نیروهای نظامی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. با این حال استفاده از امواج فراصوت چالش‌ها و محدودیت‌هایی نیز دارد. این امواج در محیط‌های جامد یا با تراکم بالا مانند بتن یا فلزات سنگین عملکرد ضعیفی دارند، که کاربرد آن‌ها را در برخی عملیات محدود می‌کند. در برخی موارد، امواج فراصوت به‌ویژه در فرکانس‌های بالا، ممکن است با سیستم‌های مخابراتی یا راداری تداخل ایجاد کنند. تحلیل دقیق تصاویر فراصوت هنوز به مهارت بالای انسانی نیاز دارد و هوش مصنوعی هنوز به سطح تشخیص کاملاً قابل اعتماد نرسیده است. استفاده نادرست یا بیش از حد امواج فراصوت می‌تواند موجب آسیب‌های بافتی موضعی مانند سوختگی، آسیب سلولی و اثرات منفی بر رشد جنین گردد. همچنین کارکنانی که به صورت مکرر در معرض امواج فراصوت قرار دارند، ممکن است دچار مشکلات شنوایی، سردرد، اختلالات عصبی و خستگی شوند. اثرات بلندمدت امواج فراصوت با شدت و فرکانس‌های مختلف بر سلامت نیروهای نظامی هنوز به طور کامل شناخته نشده است و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. امواج فراصوت می‌توانند باعث ایجاد اختلال در عملکرد تجهیزات الکترونیکی حساس شده و کارایی سیستم‌ها را کاهش دهند. در کاربردهای کنترل جانوران،

1 Internet of Things

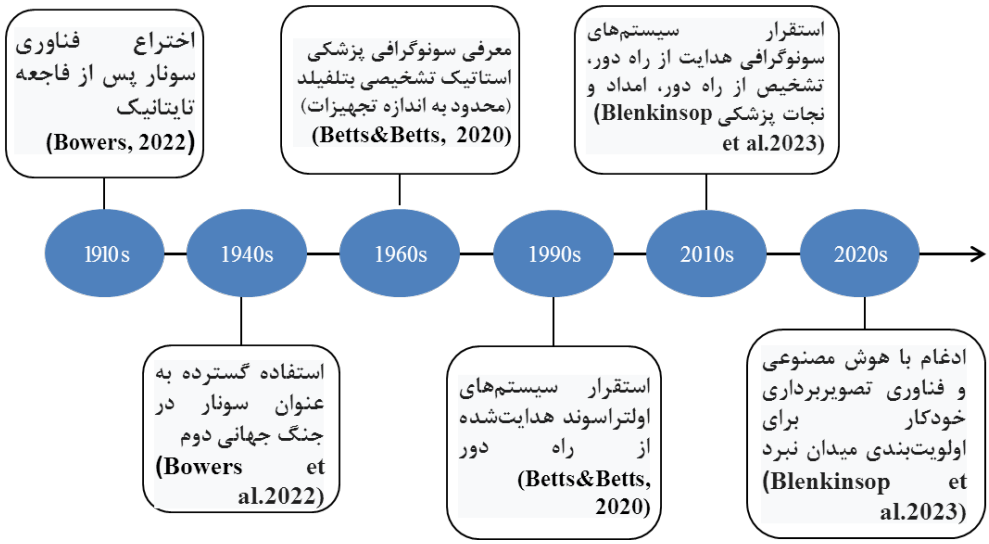
برخی از گونه‌ها ممکن است به تدریج به امواج فراصوت عادت کنند و اثربخشی روش کاهش یابد، بنابراین نیاز به تنظیم مکرر فرکانس‌ها یا استفاده ترکیبی از روش‌ها وجود دارد. در محیط‌های نظامی پر نویز، کارایی و اثربخشی فناوری فراصوت کاهش یافته و استفاده موفق از آن نیازمند روش‌ها و فناوری‌های پیشرفته برای مقابله با نویز، افزایش کیفیت سیگنال و حفاظت تجهیزات است. این چالش‌ها باعث شده‌اند تا استفاده از فناوری فراصوت در علوم نظامی نیازمند رعایت دقیق استانداردهای ایمنی، آموزش مناسب اپراتورها و توسعه فناوری‌های حفاظتی و بهینه‌ساز باشد تا خطرات احتمالی کاهش یابند و کارآیی سیستم حفظ شود.

ملاحظات اخلاقی و حقوقی

ملاحظات اخلاقی و حقوقی در استفاده از امواج فراصوت در علوم نظامی بسیار حائز اهمیت است. مانند سایر فناوری‌های نظامی، استفاده از امواج فراصوت باید تحت کنترل انسان باشد و مسئولیت نهایی درباره کاربرد آن بر عهده انسان‌ها باقی بماند تا از سوءاستفاده‌ها و تصمیمات غیرانسانی جلوگیری شود. باید اطمینان حاصل شود که استفاده از امواج فراصوت، آسیب‌های غیرضروری به نیروهای خودی، غیرنظامیان یا محیط زیست وارد نکند و به اصول عدالت و اخلاق نظامی پایبند باشد. استفاده از این فناوری‌ها باید همراه با اطلاع‌رسانی کافی به جامعه و نیروهای نظامی باشد. استفاده از فراصوت برای پایش علائم حیاتی سربازان باید با مسائل حریم خصوصی و نظارت بیش‌ازحد همراه باشد. استفاده از امواج فراصوت باید با قوانین بین‌المللی جنگ و حقوق بشردوستانه به خصوص در مورد جلوگیری از کاربردهای شکنجه‌آمیز یا استفاده نامتناسب از زور منطبق باشد. به طور کلی توسعه و به‌کارگیری فناوری امواج فراصوت در علوم نظامی باید با رعایت اصول اخلاقی و حقوقی همراه باشد تا ضمن بهره‌مندی از مزایای آن، از پیامدهای منفی و سوءاستفاده‌ها جلوگیری شود. توجه به این ملاحظات، تضمین کننده استفاده مسئولانه، انسانی و قانونی از این فناوری است و به حفظ کرامت انسانی و عدالت در عملیات نظامی کمک می‌کند.

آینده‌پژوهشی و مسیرهای توسعه

امواج فراصوت به عنوان یک فناوری پیشرفته در علوم نظامی، مسیر نوینی برای بهبود عملکرد عملیات، افزایش امنیت و ارتقاء سلامت نیروها فراهم می‌کنند. آینده‌پژوهی در این حوزه نشان می‌دهد که ترکیب فناوری‌های نوین با فراصوت، کاربردهای گسترده‌تر و اثربخشی بیش‌تری را به همراه خواهد داشت و می‌تواند نقش مهمی در تحول نظامی ایفا کند. آینده‌پژوهی استفاده از امواج فراصوت در علوم نظامی، چشم‌انداز گسترده‌ای برای توسعه فناوری‌ها و کاربردهای جدید را نشان می‌دهد. توسعه سلاح‌های ناتوان‌کننده و غیرکشنده فراصوتی که با ایجاد اختلال در عملکرد دشمن، بدون آسیب جانی شدید، امکان جنگ کم‌خونریزی را فراهم می‌کنند. پیشرفت در تصویربرداری پزشکی غیرتهاجمی نظامی با فراصوت، می‌تواند باعث تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر آسیب‌ها در میدان نبرد و بهبود مراقبت‌های درمانی شود. ادغام فناوری فراصوت با هوش مصنوعی، واقعیت افزوده، ربات‌های امدادی و شبکه‌های حسگر دقت، سرعت تصمیم‌گیری و اثربخشی عملیات نظامی را بهبود می‌بخشد. روش‌های درمانی نوین مانند سونوژنتیک برای محافظت از پرسنل و درمان



شکل ۱- روند تاریخی کاربردهای فراصوت در علوم نظامی

آسیب‌های ناشی از میدان نبرد توسعه می‌یابد. راهکارهای حفاظتی جهت کاهش اثرات زیانبار امواج فراصوت بر سلامت جسمی و روانی نیروهای نظامی طراحی شود. تجهیزات فراصوت قابل حمل و مقاوم در شرایط سخت عملیاتی بهبود یابد. پژوهش‌های دقیق برای ارزیابی ایمنی تدوین قوانین بین‌المللی انجام شود. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰، سیستم‌های فراصوت با الگوریتم‌های یادگیری عمیق ترکیب شوند تا تحلیل تصاویر به‌صورت خودکار و دقیق انجام شود. این مسیرها نشان می‌دهند که امواج فراصوت می‌توانند نقش مهمی در تحول علوم نظامی، افزایش امنیت و بهبود سلامت پرسنل ایفا کرده و باعث ارتقاء توان عملیاتی شوند. در شکل ۱ نمودار روند تاریخی توسعه کاربردهای نظامی فراصوت آورده شده است. در جدول ۱ کاربردهای نظامی امواج فراصوت در کشورهای توسعه یافته مقایسه شده است.

جدول ۱- کاربردهای نظامی امواج فراصوت در کشورهای توسعه یافته

ردیف	نویسندگان	سال انتشار	حوزه کاربرد	نوع مطالعه	یافته‌های کلیدی	کشور
۱	Guang-Dong Liu et al.(73)	۲۰۲۱	امداد در میدان نبرد	مروری	کاهش مرگ‌ومیر در عملیات‌ها	چین
۲	Tabatabai et al.(74)	۲۰۲۱	تداخل سیگنال	تجربی	اختلال در ارتباطات تاکتیکی	ایران
۳	Elizabeth Sibolboro Mezzacappa. (75)	۲۰۲۰	سلاح‌های غیرکشنده	تحلیلی	نگرانی‌های اخلاقی و روانی	آمریکا
۴	Wang et al.(76)	۲۰۲۰	امنیت محیطی	تجربی	دفع جانوران موذی در پایگاه‌ها	چین
۵	Zhao et al.(77)	۲۰۲۴	آینده پژوهشی	تحلیلی	ادغام با هوش مصنوعی و رباتیک	چین

References

1. Yuan C, Tony A, Yin R, Wang K, Zhang W. Tactile and thermal sensors built from carbon–polymer nanocomposites—A critical review. Sensors. 2021; 21:1234.
2. Imani IM, Kim HS, Shin J, Lee DG, Park J, Vaidya A, Kim C, Baik JM, Zhang YS, Kang H Advanced ultrasound energy transfer technologies using metamaterial structures. Advanced Science. 2024; 11:2401494.
3. Sung Y, Lim HG, Kim JK, Won J, Choi H A novel approach to estimate sand particle-size using convolutional neural network with acoustic sensing. Catena. 2024; 234:107639.
4. A. Nour M, M. Hussain M. A review of the real-time monitoring of fluid-properties in tubular architectures for industrial applications. Sensors. 2020; 20:3907.
5. Heys T. Sonic, infrasonic, and ultrasonic frequencies: the utilisation of waveforms as weapons, apparatus for psychological manipulation, and as instruments of physiological influence by industrial, entertainment, and military organisations. Liverpool John Moores University (United Kingdom 2011.
6. Anderson A, Theophanous RG. Point-of-care ultrasound use in austere environments: A scoping review. Plos one. 2024; 19:e0312017.
7. Ensminger D, Bond LJ Ultrasonics: fundamentals, technologies, and applications. CRC press, 2024.
8. Levy HV. Ethical, legal, and governance dimensions of responsible research and innovation: global perspectives and challenges in emerging technologies. Legal, and Governance Dimensions of Responsible Research and Innovation: Global Perspectives and Challenges in Emerging Technologies. 2025 .
9. Čáp I, Čápová K, Smetana M, Borik Š. Mechanical waves. In: Electromagnetic and acoustic waves in bioengineering applications. IntechOpen, 2021.
10. Zhang J. Sea Surface Target Detection Technology: Current Status, Challenges, and Future Development Trends. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, pp 032019.
11. Xu C, Li W (2024) Fundamentals of Ultrasonic Testing. CRC Press, 2024 .
12. Li Y, Yang G, Zhao Y, Li B. Injury of sonic weapons to human body: A narrative review. Chinese Journal of Traumatology. 2025 .
13. Sayler KM. Emerging Military Technologies: Background and Issues for Congress. 2021 .
14. Tsipis K. New Technologies and New Weapons Systems. In: Arms Control and Technological Innovation. Routledge, 2024; pp 36-51.
15. Leighton T, Lineton B, Dolder C, Fletcher M. Public exposure to airborne ultrasound and very high frequency sound. Acoustics Today. 2020; 16:17-26.
16. Klatt K, Serino R, Davis E, Grimes JO. Crowd-related considerations at mass gathering events: management, safety, and dynamics. Mass Gathering Medicine A Guide to the Medical Management of Large Events; Cambridge University Press: Cambridge, UK:268. 2024.
17. Moulin T. The phantom pain: an international law perspective on the weaponization of infrasound, ultrasound, and microwaves. Journal of Conflict and Security Law:kraf009. 2025.
18. Belous A, Saladukha V. Modern Weapons: Possibilities and Limitations. In: Viruses, Hardware and Software Trojans: Attacks and Countermeasures. Springer, 2020; pp 731-820.
19. Yost WA (2020) Was There Really a 'Sonic Attack'in Cuba and China? The Hearing Journal
20. Tang Y, Wang L, Jin S, Zaho J, Huang C, Yu Y. AUV-based side-

scan sonar real time method for underwater-target detection. J Mar Sci Eng, 2023; 11(4): 690.

21. Bae I, Hong J. Survey on the developments of unmanned marine vehicles: Intelligence and cooperation. Sensors. 2023; 23:4643.

22. Niu H, Li X, Zhang Y, Xu J. Advances and applications of machine learning in underwater acoustics. Intelligent Marine Technology and Systems. 2023; 1:8.

23. Iqbal K, Zhang M, Piao S, Ge H. Evolution of sonobuoy through history & its applications: A survey. In: 2020 17th international bhurban conference on applied sciences and technology (IBCAST). IEEE, 2020; pp 543-554.

24. Jamal S, Lakziz J, Benremdane Y, Ouaskit S. Passive SONAR detection and classification based on DEMON-LOFAR analysis and neural network algorithms. International Journal of Artificial Intelligence and Applications. 2024; 15:87-98.

25. Sun K, Cui W, Chen C. Review of underwater sensing technologies and applications. Sensors 2021; 21:7849.

26. Obembe E, Ali B. Evaluating the Applications and the Growing Importance of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) in Marine Geophysical Survey. Journal of Science Innovation and Technology Research. 2025.

27. Stifani M, Andreini M, Bazzarello L, Manzari V, Terracciano DS. Sensors, measurements, and analysis for underwater acoustic investigation. In: Measurement for the Sea: Supporting the Marine Environment and the Blue Economy. Springer, 2022; pp 129-156 .

28. Golea DG, Ștefan Cozma L. The Use of Piezoelectric Materials for the Purpose of Creating Infrasound and Ultrasound Sources for Terrorist Acts. The Use of Piezoelectric Materials for the Purpose of Creating Infrasound and Ultrasound Sources for Terrorist Acts. 2021 .

29. Shahzad MM, Saeed Z, Akhtar A, Munawar H, Yousaf MH, Baloach NK, Hussain F. A review of swarm robotics in a nutshell. Drones. 2023; 7:269.

30. Geng R, Wang J, Yuan Y, Zhan F, Zhang T, Zhang R, Huang P, Zhang D, Chen J, Hu Y. A survey of wireless sensing security from a role-based view: Victim, weapon, and shield. arXiv preprint arXiv. 2024; 241203064 .

31. Cordill B, Fang D, Xu S. A Comprehensive Survey of Security and Privacy in UAV Systems. IEEE Access. 2025 .

32. Geng R, Wang J, Yuan Y, Zhan F, Zhang T, Zhang R, Huang P, Zhang D, Chen J, Hu Y. A Survey of Wireless Sensing Security From a Role-Based View. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2025 .

33. Siddiqi MA, Beurskens RH, Kruizinga P, De Zeeuw CI, Strydis C. Securing implantable medical devices using ultrasound waves. IEEE Access. 2021; 9:80170-80182.

34. Singh AK, Kumar S. Security, Privacy, and Trust in WBANs and E-Healthcare. CRC Press, 2024.

35. Siddiky MNA, Rahman ME, Uzzal MS, Kabir HD. A comprehensive exploration of 6G wireless communication technologies. Computers. 2025; 14:15.

36. Alshamsi R, Naouss M. Communication Security for UAV in military. 2025.

37. Wilson A, Kumar A, Jha A, Cenkeramaddi LR. Embedded sensors, communication technologies, computing platforms and machine learning for UAVs: A review. IEEE Sensors Journal. 2021; 22:1807-1826.

38. Lee H, Lim JW, Kwon J, Choi S-K, Kim HS, Hwang Y-I, Kim K-B. Non-destructive ultrasonic testing for identifying concealed weapons and analyzing internal chemical substances. Scientific Reports. 2024; 14:22509.

39. Eva Z, Kamila H, Tereza K, Patrik S, Jiří Š, Ondřej A. NDT methods suitable for evaluation the condition of military fortification construction in the field. Applied Sciences. 2020; 10:8161.

40. Zezulová E, Kroupa L. On Diagnostics of Military Fortification Constructions. Challenges to national defence in contemporary geopolitical situation. 2020; 184.

41. Schauer SG, Naylor JF, Fisher AD, April MD, Hill R, Mdaki K, Becker TE, Bebarta VS, Bynum J. An analysis of 13 years of prehospital combat casualty care: implications for maintaining a ready medical force. Prehospital emergency care. 2022; 26:370-379.

42. Kaźmierski R. Brain injury mobile diagnostic system: Applications in civilian medical service and on the battlefield—General concept and medical aspects. Journal of Clinical Ultrasound. 2023; 51:1598-1606.

43. Третьяков А, Николаев В. Emergency surgery of military trauma: teaching guide= Неотложная хирургия военной травмы. In. ГомГМУ, 2021 .

44. Chen Y, Fennedy K, Zhang J, Sim YJ, Zheng C, Yen CC. Bridging Simulation and Reality: Augmented Virtuality for Mass Casualty Triage Training-From Landscape Analysis to Empirical Insights. In: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2025; pp 1-28.

45. Gjesteby LA, Pare JR, Brattain LJ. Ultrasound for the emergency department and prehospital care. In: Engineering and Medicine in Extreme Environments. Springer, 2022; pp 209-234.

46. Hartline CAD, Hartvickson MS, Perdue CMJ, Sandoval CC, Walker LJD, Soules CA, Mitchell CCA. Army Medic Performance in Trauma Sonography: The Impact of Artificial Intelligence Assistance in Focused Assessments With Sonography in Trauma—A Prospective Randomized Controlled Trial. Military Medicine:usaf. 2025; 215.

47. Rashid AB, Kausik MAK Hybrid Advances.

48. Umlauf JA, Pruitt J, Bell M, Grogan S. Feasibility and Impact of Adding Handheld Musculoskeletal Ultrasound Capabilities to Deployed Physical Therapists. Military Medicine. 2025; 190:103-108.

49. Savell SC, Baldwin DS, Blessing A, Medellin KL, Maddry JK. Military use of point of care ultrasound (POCUS). 2021.

50. Boussi Rahmouni H, Hassine NBEH, Chouchen M, Ceylan Hİ, Muntean RI, Bragazzi NL, Dergaa I. Healthcare 5.0-Driven Clinical Intelligence: The Learn-Predict-Monitor-Detect-Correct Framework for Systematic Artificial Intelligence Integration in Critical Care. In: Healthcare. MDPI, 2025; pp 2553.

51. TenAJAs R, Miraut D, Illana CI, Alonso-Gonzalez R, Arias-Valcayo F, Herraiz JL. Recent advances in artificial intelligence-assisted ultrasound scanning. Applied Sciences. 2023; 13:3693.

52. Olshaker H, Brin D, Gorenstein L, Sorin V, Klang E, Rahman N, Amitai MM. Computed Tomography Findings of Combat Casualties During the 2023-2024 Israel-Gaza Armed Conflict. Isr Med Assoc J. 2025; 27:17-22.

53. Harari RE, Schulwolf SL, Borges P, Salmani H, Hosseini F, Bailey SK, Quach B, Nohelty E, Park S, Verma Y. Applications of Augmented Reality for Prehospital Emergency Care: Systematic Review of Randomized Controlled Trials. JMIR XR and Spatial Computing (JMXR). 2025; 2:e66222.

54. Anvary M, Esmaeili A, Mohammad Karimi N, Jafari M, Zeinali F, Fallah H. The compatibility of Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) in the supine position vs FAST in the Trendelenburg position in determining free fluid in blunt abdominopelvic trauma patients. Journal of Surgery and Trayma. 2024; 11: 12-17.

55. Rattanaamporn S, Perera A, Nguyen A, Ngo TB, Chahl J. Drone Imaging and Sensors for Situational Awareness in Hazardous Environments: A Systematic Review. Journal of Sensor and Actuator Networks. 2025; 14:98.

56. Livada B, Perić D. EO/IR imaging systems countermeasures and camouflage: capabilities and new technological challenges. In: Target and Background Signatures VI. SPIE, 2020; pp 88-100.

57. Gill KM. An Exploratory Analysis of the Feasibility of Developing a Combat Medic Primary Military Occupational Specialization within the USMC. 2022.

58. Feeney KA. The Relationship Between Body Composition and Performance in Special Warfare Trainees. Concordia University Chicago. 2023.

59. Adem A, Atıcı U, Şenol MB, Dağdeviren M. The Use of Multi-Criteria Decision-Making Techniques in The Domain of Ergonomics: A Literature Review. Gazi University Journal of Science. 2025; 1-1.

60. Dietrich CF, Lucius C, Nielsen MB, Burmester E, Westerway SC, Chu CY, Condous G, Cui X-W, Dong Y, Harrison G. The ultrasound use of simulators, current view, and perspectives: Requirements and technical aspects (WFUMB state of the art paper). Endoscopic Ultrasound. 2023; 12:38-49 .

61. Haji-Hassan M, Capraș R-D, Bolboacă SD. Efficacy of handheld ultrasound in medical education: a comprehensive systematic review and narrative analysis. Diagnostics. 2023; 13:3665.

62. Shin Y, Lee M, Lee Y, Kim K, Kim T. Artificial Intelligence-Powered Quality Assurance: Transforming Diagnostics, Surgery, and Patient Care—Innovations, Limitations, and Future Directions. Life. 2025; 15:654.

63. Biswas S, Turan H, Elsawah S, Richmond M, Cao T. The future of military medical evacuation: Literature analysis focused on the potential adoption of emerging technologies and advanced decision-analysis techniques. The Journal of Defense Modeling and Simulation. 2025; 22:279-308.

64. Philip T, Harikumar VN. AI-Driven Autonomous Trauma Care: Transforming Emergency Response in Military and Civilian Settings. Health Policy, Economics and Sociology 9. 2025.

65. Kolesnykov YB, Kryzhevskiy VV, Kolomiiets NM. ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE HEALTHCARE DURING THE WAR. Publishing House “Baltija Publishing”. 2024.

66. Murala DK, Panda SK, Dash SP. MedMetaverse: Medical care of chronic disease patients and managing data using artificial intelligence, blockchain, and wearable devices state-of-the-art methodology. IEEE access. 2023; 11:138954-138985.

67. Dmello DA, Guru BR, Acharya S. A comprehensive review of ultrasonic patent strategies for mosquito repellence: a landscape analysis. International Journal of Sustainable Engineering. 2025; 18:2543114.

68. Gondhalekar AD, Appel AG, Thomas GM, Romero A. A review of alternative management tactics employed for the control of various cockroach species (Order: Blattodea) in the USA. Insects. 2021; 12:550.

69. Omotosho LO, Jimoh KO, Ogundoyin IK, Ojomuyide IO DEVELOPMENT OF AN IoT-BASED PEST SURVEILLANCE AND CONTROL SYSTEM.

70. Mutunga T, Sinanovic S, Harrison CS. Integrating wireless remote sensing and sensors for monitoring pesticide pollution in surface and groundwater. Sensors. 2024; 24:3191.

71. Kumar KP, Al-Rubaie YBH, Alassedi Z, Bavireddi V, Srikar D, Reddy R. IOT based Advanced Security System in Military for Identification of Trespassers using Ultrasonic Radar. In: 2024 International Conference on Augmented Reality, Intelligent Systems, and Industrial Automation (ARIIA). IEEE, 2024; pp 1-4.

72. Velayutham J, Mariappan SA, Manickam P. Emerging (bio) sensor technologies for monitoring vital markers of military, mining, and defense healthcare. In: Health and Environmental Applications of Biosensing Technologies. Elsevier. 2024; pp 393-412.

73. Liu G-D, Wang N, Wang H-M, Li X, Shao J-J, Liu Z-F, Jiang M, Wang L, Wang Z-K, Li M. Military medical research on internal diseases in modern warfare: new concepts, demands, challenges, and opportunities. Military medical research. 2021; 8:20.

74. Tabatabai AM, Chandler N, Frederick B, Kavanagh J. Iran’s Military Interventions. Santa Monica, CA: RAND Corporation Online: https://www rand org/pubs/research_reports/RRA444-2 html. 2021 .

75. Mezzacappa ES (2020) Human subject research protection ethics in the research and development (R&D) of non-lethal weapons. Journal of Military Ethics 19:241-258.

76. Wang Y, Zhang D, Wang Y. Evaluation analysis of forest ecological security in 11 provinces (cities) of the Yangtze River Economic Belt. Sustainability. 2021; 13:4845.

77. Zhao Z, Wu Q, Wang J, Zhang B, Zhong C, Zhilenkov AA. Exploring embodied intelligence in soft robotics: a review. Biomimetics. 2024; 9:248.