

Ultrasound waves, Characteristic and Applications

Asma Lak^{1*}, Fereshteh Safi²

¹ Department of Electrical Engineering, Bu.C, Islamic Azad University, Boushehr, Iran

asmalak@iau.ac.ir

² Department of Nuclear Engineering, Bu.C, Islamic Azad University, Boushehr, Iran

fereshteh.safi@iau.ac.ir

Abstract: The upper limit of human hearing frequency is considered to be 20 kHz and the frequency above 20KHz are called Ultrasound. The important and vital role of ultrasound in human life has been proven to everyone. Many applications of ultrasound in medical imaging, food industrial, military applications, water disinfection, insecticide and metal and plastic fusion and such applications, all show the importance of ultrasound. In this paper at first ultrasound is defined. The applications and advantages of it are explained in detail and the application of insecticide as a special application is described. The probable biological effects of ultrasound which reported by researchers is explained too. Thermal Index (TI) and Mechanical Index (MI) and thermal effects are defined. The condition of propagation of sound wave, the level of their energy and other characteristics of them are introduced.

Keywords: Ultrasound, Biological effects, Thermal and Nonthermal effects

JCDSA, Vol. 3, No. 1, Spring 2025

Received: 2024-09-30

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-11-20

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa>

Published: 2025-06-21

CITATION

Lak, A., Safi, F., "Ultrasound waves, Characteristic and Applications", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 3, No. 1, pp. 23-31, 2025.

DOI: 10.82526/jcdsa.2025.1185527

COPYRIGHTS



©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

Ultrasound refers to sound waves that have a frequency higher than the frequency range of human hearing. This range decreases with age, but usually the highest human hearing frequency is considered to be around 20 or 25 kHz. Sound is a longitudinal mechanical wave that propagates in the material environment by creating alternating contractions and expansions (creating alternating changes in the density of the surrounding material). This wave can be received and understood by the human hearing system in a certain frequency range. Just as "visible light" is a very small part of the entire spectrum of electromagnetic waves, "sound" (in the sense of what we hear) is also a very small part of the vast spectrum of sound waves. The auditory system of human babies is sensitive to the frequency range of 20 Hz to 20 kHz, but with age, the upper limit of this range decreases gradually, so that adults can hear sounds in the range of 20 Hz to 15 kHz and sometimes 18 kHz. In this paper the production, application and biological effects of ultrasound have been introduced and reviewed.

2- Methodology

Because of the properties of ultrasound such as 1- They are very energetic. 2- Similar to light waves, sound waves are also reflected, absorbed and scattered. 3- They cover long distances without much decrease in energy level. 4- It is possible to produce standing waves in a liquid with the help of ultrasound waves. In this situation, the liquid medium will act like a diffraction grating, which is called an acoustic grating. 5- When passing through an object, they create intense thermal effects. The extent of these effects depends on the intensity of the ultrasound wave and the type of tissue. 6- Sound waves do not propagate in a vacuum because there is no substance there that wants to vibrate or move. 7- In a homogeneous environment, the speed of sound remains constant. So the application of these waves from around 28 years ago have been studied.

3- Results and discussion

Depending on the frequency and range, ultrasound beams have many and varied applications in the medical, military and industrial communities. In industrial applications, low-power, high-frequency ultrasound is used to test and measure materials and reveal cracks, fractures, and movement of parts, etc. High power ultrasound (lower frequency and higher power) for cleaning, plastic welding and metals. Cutting and shaping, separation, combination is used. Industrial imaging to detect defects of parts is also one of the other applications of ultrasound in the industry.

Ultrasonic technology is used in the processing, cooling, and preservation of food products. It is also used as a method for the heat process in removing microorganisms and enzymes without nutrients in foods, homogenization, fruit drying, fruit ripening detection, vegetable oil extraction, fruit and other food quality measurement, determination of material compositions. food and particle size, improving the quality of fried products can be mentioned too. The special application of ultrasound is in insect and pest resellers. Although Ultrasonic pest control devices are made in two models. The type that is connected to the electrical outlet and the type that is desktop. The first model is less effective in not covering the entire space due to space limitations. Its desktop model is more successful in this regard because it can be moved and adjusted with the equipment and the environment. These devices have been marketed in Iran with the insect repellence approach and in America with the rodent repellence approach. But apparently, none of them have real functionality. The reason for the inefficiency of this system is assumed to be the normalization of these waves in the environment for animal pests. It means that even in the presence of waves, they give off pests. Because they have been able to get used to the waves.

4- Conclusion

In this article, ultrasound waves and their features and specifications were described. There are many different applications for ultrasound that were introduced in detail. So far, many studies have been conducted on the biological effects of waves on the human body. Ultrasonic waves have been investigated as a part of the spectrum of waves. Researches have not reported very bad effects in the field of medical applications yet, so this problem has caused ultrasound to be used as a low-risk medical diagnosis method. Currently, sufficient experimental data for the possibility of radiation risk in the use of ultrasound devices have not been clearly presented, but studies have been conducted on body organs, cellular and molecular levels, which indicate the possibility of a biological risk of ultrasound on the human body and organisms in general. In any case, it should be noted that especially considering that the use of this system in any environment such as home or workplace means that people are exposed to ultrasound radiation all the time or at least for long hours during the day. It is necessary to consider the possibility of any danger for different ages. Also, the results of the research conducted on the effect of ultrasound waves caused by repeated ultrasounds during pregnancy, on newborn babies and then children, it is necessary to study the intensity of ultrasound waves very carefully more.





بررسی امواج فراصوت، ویژگی ها و کاربردهای آن

اسماء لک^{۱*}، فرشته صافی^۲

۱- گروه مهندسی برق، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران (asmalak@iau.ac.ir)

۲- دانشکده مهندسی هسته‌ای، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران (fereshteh.safi@iau.ac.ir)

چکیده: معمولاً حد بالای فرکانس شنوایی انسان حدود ۲۰ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود و اصوات با فرکانس بیش از ۲۰ کیلوهرتز فراصوت می‌نامند. نقش مهم و حیاتی فراصوت در زندگی انسان بر همگان اثبات شده است. کاربردهای فراوان آن در ابزارهای تصویربرداری پزشکی و سایر ادوات تشخیصی و درمانی پزشکی، صنایع غذایی، کاربردهای نظامی، گندزدایی آب و حشره‌کش‌ها و جوش فلز و پلاستیک و کاربردهای از این قبیل که در این مقاله ذکر شده است همگی بیان گر اهمیت فراصوت می‌باشد. در این مقاله در ابتدا فراصوت تعریف می‌شود. کاربردها و مزایای آن به تفصیل بیان گردیده و استفاده از فراصوت در حشره‌کش‌ها به عنوان کاربرد خاص مورد بررسی قرار گرفته است. اثرات بیولوژیکی احتمالی حاصل از فراصوت نیز که توسط محققین در منابع بررسی شده، تبیین شده است. شاخص گرمایی و شاخص مکانیکی و اثرات گرمایی معرفی شده است. همچنین شرایط انتشار امواج صوتی، میزان انرژی آنها و سایر ویژگی‌های آنها معرفی شده است.

واژه های کلیدی: فراصوت، اثرات بیولوژیکی، اثرات گرمایی و غیر گرمایی

DOI: 10.82526/jcdsa.2025.1185527

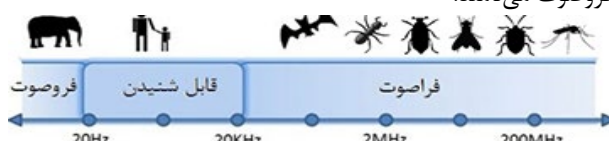
نوع مقاله: مروری

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

حدود ۲۰ یا ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود. صوت یک موج مکانیکی طولی است که با ایجاد انقباض و انبساط‌های متناوب (ایجاد تغییرات متناوب در چگالی ماده‌ی محیط) در محیط مادی منتشر می‌شود. این موج در محدوده خاص فرکانسی توسط سیستم شنوایی انسان قابل دریافت و درک است. همچنانکه "نور مرئی" بخش بسیار کوچکی از کل طیف امواج الکترومغناطیس است، "صوت" (به معنای آنچه که ما می‌شنویم) نیز بخش بسیار کوچکی از طیف وسیع امواج صوتی است. سیستم شنوایی نوزاد انسان به محدوده‌ی فرکانسی ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز حساس است اما رفته رفته، با بالا رفتن سن حد بالای این محدوده کمتر می‌شود؛ به طوری که افراد بالغ اصوات در محدوده ۲۰ هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز و گاهی ۱۸ کیلوهرتز را حس می‌کنند [۱]. این محدوده برای جانداران مختلف متفاوت است. شکل (۱) این محدوده را برای بعضی جانداران مشخص می‌کند [۲]. اصوات با فرکانس بیش از ۲۰ کیلوهرتز فراصوت و اصوات با فرکانس کمتر از ۲۰ کیلوهرتز را اصوات فروصوت می‌نامند.



شکل (۱): آستانه شنوایی جانداران مختلف در مقایسه با انسان [۲]

۱- مقدمه

امروزه، استفاده از ابزاری که در آنها منابع تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی وجود دارد، نقش مهمی در زندگی بشر دارد. اما همزمان با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از این ابزارها، نگرانی‌هایی نیز برای کاربران به جهت تأثیر این امواج بر سلامتی آنها به وجود آمده است. از حدود صد سال پیش ابتدا خطوط انتقال توان و سپس دستگاه‌های الکترونیکی پرکاربرد در منازل و محیط کار مانند بخاری برقی، تلویزیون، جاروبرقی، کامپیوتر و خشک‌کننده‌ها در فرکانس‌های ۵۰/۶۰ هرتز استفاده شده و کار می‌کنند. این فرکانس‌ها جزء طیف امواج فرکانس خیلی پایین^۲ (شکل (۱)) هستند. با گسترش صنعت برق اهمیت میدان‌های حاصل از این ابزار و سیستم‌ها در مقایسه با میدان‌های داخلی طبیعی بدن بیشتر شده است. اندام‌های بدن دارای جریان‌های داخلی و به تبع آن میدان‌های داخلی هستند که نقش کلیدی در مکانیزم‌های پیچیده کنترل فیزیکی، فعالیت‌های عصبی، رشد بافت‌ها و ترمیم آنها می‌باشد، لذا بررسی اثرات این میدان‌های خارجی باید بیشتر مطالعه شود. فراصوت یا اولتراسوند^۳ به امواج صوتی گفته می‌شود که دارای بسامدی بیشتر از بازه بسامدی شنوایی انسان هستند. با بالا رفتن سن این بازه کاهش می‌یابد، ولی معمولاً بالاترین فرکانس شنوایی انسان

* نویسنده مسئول

² Extremely low frequency fields

³ Ultrasound



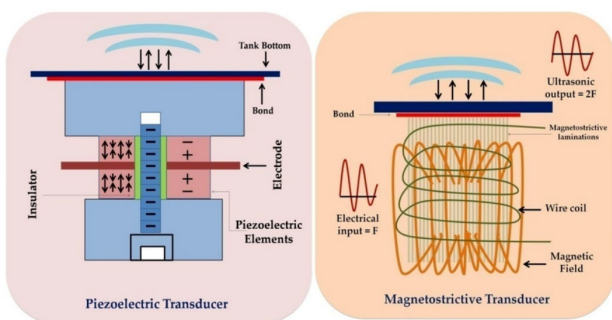
مغناطیسی^۳ -۲- مولد یا نوسانگر پیزوالکتریک [۱۱]. شکل (۲) مبدل‌های تولید فراصوت را نشان می‌دهد.

۳-۱- روش فشار مغناطیسی

هرگاه میله‌ای از یک ماده فروالکتریک - مانند آهن یا نیکل - در یک میدان مغناطیسی موازی با طول آن قرار می‌گیرد، تغییرات اندکی در طول میله ایجاد خواهد شد. این همان پدیده‌ی "فشار مغناطیسی" است. تغییر طول ایجاد شده به قدرت میدان مغناطیسی و طبیعت ماده (فروالکتریک) وابسته و از جهت میدان مستقل است. مطابق شکل، اطراف میله مورد نظر سیم پیچ‌هایی قرار داده می‌شود و میله از وسط محکم می‌شود. نوسانگر الکترونیکی میدان مغناطیسی را تولید می‌کند. خازن متغیر موجود C موازی با سیم پیچ L بسته می‌شود تا به این صورت مدار تشدید ساخته شود. فرکانس نوسانگر با کمک خازن متغیر تنظیم می‌شود. با اتصال به منبع تغذیه نوسان با فرکانس $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ نوسان خواهد کرد. با عبور این جریان از سیم پیچ، میدان مغناطیسی در طول میله ایجاد می‌شود. بدین ترتیب میله تحت تأثیر فشار مغناطیسی دچار لرزش خواهد شد. فرکانس این لرزش عبارت است از:

$$f = 1/2L \sqrt{(Y/\rho)} \quad (۱)$$

که در آن Y مدول یانگ ماده‌ی میله و ρ چگالی میله می‌باشند. اگر خازن C طوری تنظیم شود که این دو فرکانس با هم برابر باشند، تشدید رخ خواهد داد. در این حالت میله در امتداد طول خود با بیشترین دامنه دچار لرزش شده و از انتهای آن امواج فراصوت گسیل خواهد شد. مزایای این روش عبارتند از: سادگی مدار و هزینه پایین، و اینکه بدون نگرانی از تخریب مدار نوسانگر در فرکانس‌های پایین فراصوت می‌توان خروجی پر قدرت ایجاد کرد. از معایب این روش عدم توانایی تولید فرکانس بالاتر از ۳ مگاهرتز، وابسته بودن فرکانس نوسان به دما و همچنین افت انرژی به دلیل هیستریزس و جریان گردابی می‌باشد.



(ب)

(الف)

شکل (۲): مبدل‌هایی برای تولید فراصوت - الف: مبدل فشار مغناطیسی؛ ب: پیزوالکتریک [۱۱]

استفاده از امواج فراصوت در تشخیص هویت اهداف نامرئی، ابتکار بشر نیست. اسپازالونی^۱ در سال ۱۹۷۴ اظهار کرد خفاش در حال پرواز که در تاریکی می‌تواند از موانع دوری کند و صید خود را محدود کند از امواج فراصوت استفاده می‌کند. ضمن اینکه توانایی دیدن و شنیدن خفاش را بررسی کردند و متوجه شدند حتی خفاش اگر کور باشد بی‌شک می‌تواند در هوا پرواز کند [۳-۴]. پس از حادثه تایتانیک در سال ۱۹۱۲، تحقیقات برای آشکارسازی موانع زیر دریا افزایش یافت [۵]. اولین کاربرد فراصوت در جنگ جهانی اول برای شناسایی و ردیابی زیردریایی‌ها بود. بعد از آن فراصوت در محدوده وسیعی از کاربردهای پزشکی و غیر پزشکی استفاده شد [۶]. در جنگ جهانی دوم سیستم سونار^۲ برای یافتن موانع زیر دریا توسعه یافت. فراصوت انرژی است که با بافت‌های بدن برهمکنش دارد. بنابراین ممکن است به خصوص در اعضای حساس (مانند مغز، چشم، ریه و گوارش) و جنین اثرات بیولوژیکی خطرناک ایجاد کند. مکانیزم اساسی بر هم کنش شامل اثرات گرمایی و غیر گرمایی است [۷].

۲- خواص امواج فراصوت

مطالعات بسیاری بر روی اثرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی امواج فراصوت صورت گرفته است. خواص و ویژگی امواج فراصوت شامل موارد زیر است: ۱- بسیار پرانرژی هستند. ۲- مشابه امواج نوری، امواج صوتی نیز بازتاب، جذب و پراشیده می‌شوند. ۳- مسافت‌های طولانی را بدون کاهش چندان در سطح انرژی طی می‌کنند. ۴- می‌توان با کمک امواج فراصوت در یک مایع موج ایستا تولید کرد. در این شرایط محیط مایع مثل یک شبکه‌ی پراش عمل خواهد کرد که آن را شبکه آکوستیکی نامیده می‌شود. ۵- هنگام عبور از یک جسم اثرات حرارتی شدید ایجاد می‌کنند. میزان این اثرات به شدت موج فراصوت و نوع بافت وابسته است. ۶- امواج صوتی در خلاء منتشر نمی‌شوند چون ماده‌ای در آنجا وجود ندارد که بخواهد ارتعاش کند یا جابجا شود. ۷- در یک محیط همگن، سرعت صوت ثابت می‌ماند [۸-۱۰].

۳- روش‌های تولید امواج فراصوت

یک موج صوتی وقتی ایجاد می‌شود که یک حرکت گذرا مانند شوک یا حرکت تکرارشونده مانند حرکت ارتعاشی به قسمتی از جسمی که قابلیت انتشار امواج را دارد اعمال می‌شود. امواج فراصوت را به دو صورت طبیعی و مصنوعی می‌توان تولید نمود. به صورت مصنوعی می‌توان با استفاده از مبدل‌های مغناطیسی و مبدل‌های الکتریکی و در روش طبیعی از مواد دارای این خاصیت، مانند کوارتز تولید نمود. دو روش متداول در تولید امواج فراصوت شناخته شده است. ۱- مولد یا نوسانگر فشار

^۱ Spazzaloni

^۲ تغییر در ابعاد یک جسم فرومغناطیس در هنگام قرار گرفتن جسم در

میدان مغناطیسی

^۳ Magneto-striction



۲-۳- روش مولد پیزوالکتریک



شکل (۳): نمودار خلاصه‌ی کاربردهای فراصوت



شکل (۴): دستگاه جوش پلاستیک فراصوت محصول شرکت فراصوت تجهیز ایرانیان (دانش بنیان)

عرصه دیگر به کارگیری فراصوت، زمینه زیست راکتور صوتی^۲ است که با استفاده از امواج صوتی، سودمندی سوخت و ساز میکروب‌ها، گیاهان و سلول‌های حیوانی را افزایش می‌دهد [۱۹]. زمینه‌های کاربردی دیگر برای فراصوت شامل حفاظت محیط زیست و روش‌های تکنولوژیک برای برآورده کردن تقاضای صنایع در مواردی مانند جلوگیری از آلودگی یا برطرف سازی آلودگی موجود، تصفیه آب و... می‌باشد [۲۰].

هرگاه دو وجه مقابل یک بلور مانند کوارتز تحت فشار مکانیکی قرار داده شود، بارهای الکتریکی مساوی و مخالف، در وجوه متقابل دیگر آن ظاهر می‌شود. این پدیده "اثر پیزوالکتریک" نام دارد. این پدیده به صورت معکوس هم رخ می‌دهد؛ یعنی هرگاه به دو وجه متقابل این بلور یک میدان الکتریکی اعمال کنیم، تغییراتی در ابعاد جفت وجوه متقابل دیگر ایجاد خواهد شد. این پدیده همان "اثر پیزوالکتریک معکوس" است. در این روش با اعمال باتری با توان بالا، نوسان ساز ولتاژ متناوبی با فرکانس بالایی برابر $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ با به صفحات منتقل می‌شود. در این حالت اثر پیزوالکتریک معکوس ظاهر شده و بلور متناوباً فشرده و باز می‌شود. در واقع لرزش مکانیکی اتفاق افتاده که فرکانس آن برابر است با:

$$f = \frac{P}{2L} \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (۲)$$

که در آن $P=1, 2, 3, \dots$ مدول یانگ بلور و ρ چگالی بلور است. در این حالت هم خازن متغیر به گونه ای تنظیم می‌شود که دو فرکانس فوق با هم مساوی شده و امکان تشدید فراهم گردد. بدین ترتیب بلور لرزنده امواج طولی فراصوت با دامنه‌ی بزرگتر تولید خواهد کرد. مزایای این روش عبارتند از: اول اینکه با این روش به فرکانس بالای ۵۰۰ مگاهرتز هم می‌توان رسید. دوم اینکه این سیستم از دما و رطوبت تاثیر نمی‌پذیرد. دو اشکال عمده این روش هزینه‌ی بالای تهیه بلور کوارتز پیزوالکتریک و برش و شکل‌دهی بسیار سخت کوارتز می‌باشد.

۴- کاربردهای فراصوت

برای پرتوهای فراصوت بسته به فرکانس و دامنه آنها کاربردهای زیاد و متنوعی در جامعه پزشکی، نظامی و صنعت می‌توان برشمرد. شکل (۳) به طور خلاصه برخی کاربردها را نشان می‌دهد. در کاربردهای صنعتی، فراصوت کم توان با فرکانس بالا برای تست و اندازه گیری مواد و آشکارسازی شکاف، شکستگی و حرکت قطعات و... به کار می‌رود. فراصوت توان بالا (فرکانس پایین تر و توان بیشتر) برای پاک کردن، جوش پلاستیک^۱ (شکل ۴) و فلزات، برش و فرم دهی، جدا سازی، ترکیب به کار می‌رود [۱۳-۱۲]. تصویربرداری صنعتی برای تشخیص عیوب قطعات نیز از دیگر کاربردهای فراصوت در صنعت است [۱۴].

در صنعت غذا، تکنولوژی فراصوت در پردازش، سردکردن، نگهداری تولیدات غذایی به کار می‌رود، چون روشی کارا و بدون آلودگی است. همچنین به عنوان روشی برای فرآیند گرمایی در حذف میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها بدون مواد مغذی در غذاها می‌باشد [۱۵]. همچنین هموژنیزاسیون، خشک کردن میوه، تشخیص رسیدگی میوه‌ها، تاثیرگذاری روی فعالیت برخی آنزیم‌ها، تولید نانومولسیون‌های غذایی، استخراج روغن‌های گیاهی، کیفیت سنجی میوه‌ها و سایر مواد غذایی، تعیین ترکیب‌های مواد غذایی و اندازه ذرات، بهبود کیفیت فرآورده‌های سوخاری را می‌توان نام برد [۱۸-۱۶].

² Sono bioreactor

¹ Ultrasonic Welding

مزایای اصلی فراصوت تشخیص در پزشکی، تشخیص بلادرنگ، عدم وجود تشعشع، قیمت پایین و قابل حمل بودن آن است. به علاوه روشی ایمن و موفق در نمونه برداری، آسپیراسیون سوزنی ظریف در بافت‌های اصلی مانند ریه، کلیه، کبد و گره‌های لنفاوی می‌باشد [۲۱]. از جمله می‌توان به تصویربرداری پزشکی یعنی سونوگرافی اشاره نمود [۲۲]. در دهه‌های اخیر رشد شگفت‌انگیزی در استفاده از تصاویر پزشکی، به عنوان ابزار تشخیصی در پزشکی است که منجر به تولید تجهیزات تشخیصی قوی و پیچیده با بهبود رزولوشن و کیفیت تصویر شده است [۲۳]. از فراصوت تشخیصی می‌توان برای ارزیابی بافت‌های عضلانی نرمال و بیمار استفاده نمود. برای مواردی مانند رگبهرگ شدن، کشیدگی و پارگی عضلات کاربردی است [۲۴]. شکل (۵) موارد کاربرد در سونوگرافی، ابزار جراحی و درمان تومور را نشان می‌دهد. ضمناً همزمان با کاربرد پزشکی فراصوت در پزشکی، به عنوان یک روش درمانی که در آن انرژی در بافت انتقال داده می‌شود تا اثرات مختلف بیولوژیکی را ایجاد کند - برای مثال در جراحی [۲۶] - مطرح بوده و هست. از بین بردن بافت‌های سرطانی از دیگر کاربردهای درمانی است [۲۷]. جراحی‌ها به دو نوع تهاجمی و غیر تهاجمی تقسیم می‌شوند؛ کاربردهای غیرتهاجمی مانند تصویربرداری و درمان سرطان و کاربردهای تهاجمی مانند چاقوی جراحی فراصوت در عمل‌های باز می‌باشد [۲۵]. ثابت شده که به امواج فراصوت کمک کننده به رشد استخوان هستند [۲۸].

فراصوت نفوذ عمیقی در بافت‌های نرم دارد و جهت به وجود آوردن گرمای عمقی در بافت‌های نرم بدن همچون عضلات و تاندون‌ها و لیگامان‌ها^۱ کاربرد دارد. دستگاه فراصوت یکی از مهمترین دستگاه‌های فیزیوتراپی در کاهش التهاب و کلاژن سازی است. از کاربردهای درمانی این امواج فراصوت می‌توان به ارسال امواج برای خرد کردن سنگ‌های داخل کلیه و داغ کردن و از بین بردن بافت‌های بیمار اشاره کرد [۳۰-۲۹]. در دندانپزشکی، ارتعاشات صوتی با فرکانس بالا برای فرو ریختن و از بین بردن جرم دندان و پلاک در پاکسازی دندان به کار می‌رود [۲۸]. از کاربردهای جالب فراصوت استفاده در عصای ناینبایان برای راهنمایی آنها می‌باشد [۳۱]. گندزدایی آب نیز توسط فراصوت انجام شده است. اثر حرارتی امواج فراصوت موجب آسیب به کلنی باکتری‌ها می‌شود و این خاصیت می‌تواند از آن برای گندزدایی آب استفاده شود. [۳۳-۳۲]. همچنین شواهدی در مورد تأثیر امواج فراصوت بر افزایش نرخ رشد گیاهان ارائه شده است [۳۴]. شکل (۶) عصای سفید طراحی شده توسط دانشجویان دانشگاه Texas A&M را نشان می‌دهد. یکی از کاربردهای خاص فراصوت، دستگاه دفع آفات با کمک فراصوت است. امواج فراصوت تأثیرات آزاردهنده‌ای بر برخی جانوران مانند موش و یا دیگر جوندگان و همچنین حشرات دارد به نحوی که می‌تواند باعث ترک محل از جانب آنها شود. بر این اساس دستگاه‌های دفع آفات با

کمک فراصوت ساخته شده است. یکی دستگاه‌های فراصوت دفع آفات در دو مدل ساخته می‌شوند. نوعی که به پریز برق متصل می‌شوند و نوعی که رومیزی است. مدل اول به خاطر محدودیت فضایی، در پوشش ندادن کل فضا کارآمدی کمتری دارد. مدل رومیزی آن چون قابلیت جابجایی و تنظیم با وسایل و محیط را دارد، از این نظر موفق‌تر عمل می‌کند. این دستگاه‌ها در ایران با رویکرد دفع حشرات و در آمریکا با رویکرد دفع جوندگان به بازار عرضه شده است. ولی ظاهراً هیچکدام کارایی واقعی را ندارند.

در سایت‌های فروش کالاها به صورت غیرحضوری (اینترنتی) انواع نظرات کاربران ناراضی و علت عدم رضایت آنها را می‌توان دید. اغلب این گلایه‌ها با این پاسخ فروشندگان مواجه است: گذشت زمان برای ظاهرشدن اثر امواج نیاز است و وجود نقاط کور و لزوم تعبیه چند دستگاه برای پوشش تمامی فضا. البته هیچ گسیلنده‌ای کل فضا را پوشش نمی‌دهد. چون امواج را به صورت مخروطی ۱۲۰ درجه در فضا می‌تاباند. علاوه بر آن این امواج، مشابه نور، در پشت اشیاء سایه ایجاد می‌کند. یعنی در پشت اشیاء موجود در محیط با نقاط کور سیستم دفع آفات مواجه هستیم. در نظریه دیگر علت ناکارآمدی این سیستم، عادی شدن وجود این امواج در محیط برای آفات جانوری فرض می‌شود. یعنی حتی در حضور امواج هم آفات جولان می‌دهند. چون توانسته‌اند به امواج عادت کنند. صداهای بلند و صداهای فراصوتی که حیوانات موزی قادر به شنیدن آن هستند، موجب به وحشت انداختن آنها برای چند دقیقه و بعضاً تا چند هفته می‌شود. از سوی دیگر برخی از این دفع‌کننده‌ها برای یک آفت خاص طراحی شده‌اند که این فرکانس منحصر به فرد بعد از مدتی موجب سازگاری موجود با آن فرکانس می‌شود؛ بنابراین می‌بایست از تجهیزاتی استفاده نمود که به صورت کاملاً خودکار فرکانس خروجی را تغییر داده و موجب دفع موش‌ها، جوندگان، حشرات و سایر آفات گردد [۳۵]. بر اساس هر کدام از نظریات فوق سیستمی طراحی شده است تا مشکل را حل کند [۳۶]. شکل (۷) دو نمونه از حشره کش‌ها را نشان می‌دهد.

۵- اثرات بیولوژیکی امواج فراصوت

امواج فراصوت قابلیت جذب در محیط و بافت‌های گیاهی، جانوری و انسانی را دارند و بر این اساس تأثیراتی را بر این بافت‌های زنده می‌گذارند. فراصوت اثرات بیولوژیکی را از طریق دو برهمکنش با بافت‌ها تولید می‌کند: گرمایی و حفره زایی. امواج فراصوت به کار رفته در تصویر برداری پزشکی بین ۱ مگاهرتز تا ۲۰ مگاهرتز هستند. امواج صوتی فرکانس پایین نسبت به فرکانس‌های بالاتر به صورت عمیق‌تر در بافت‌ها نفوذ می‌کنند. اثرات بیولوژیکی امواج فراصوت مستقیماً با شدت و توان صوت مرتبط است [۳۷]. در سال ۱۹۹۲ کنفرانسی در آمریکا برگزار گردید که در آن دو نوع شاخص استاندارد خطر حاصل از امواج فراصوت

^۱ رباط یا لیگامان - گروهی از بافت‌های فیبر مانند هستند که در محل مفاصل، استخوانی را به استخوان دیگر متصل می‌کنند.



در هنگام انتشار امواج فراصوت و برخورد آن با موادی مانند بافت‌های بدن با توجه به حرکت موج در بافت موجودات زنده که محیطی تلفاتی است دامنه آن کاهش می‌یابد که دلیل آن جذب موج در بافت‌ها یا پراکندگی^۱ آن است. جذب امواج فراصوتی در ساختارهای بیولوژیکی تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود و بنابراین دمای بافت افزایش می‌یابد. اگر گرمای تولید شده در بافت با "Q"، شدت میدان فراصوت با "I" نشان داده شود ارتباط بین آنها به صورت زیر است:

$$Q = \alpha * I \quad (3)$$

که α ضریب جذب و وابسته به نوع ماده و بافت است. برای مثال α برای خون ۰/۱۵، برای قلب ۰/۵۲، برای کلیه ۱، برای استخوان ۱۵ و برای ریه ۴۰ می‌باشد. طبق (۳)، با افزایش شدت دامنه موج فراصوت میزان جذب گرمایی بیشتر می‌شود. گرمای ایجاد شده به طور خطی با جذب محیط افزایش می‌یابد. به طور کلی، غلظت پروتئین، میزان جذب فراصوت را افزایش می‌دهد. بنابراین بافت‌های با کلژن بالاتر، انرژی بیشتری را جذب می‌کنند [۴۰-۴۱]. به علاوه α تابع فرکانس "f" انرژی فراصوت است و از (۴) تعریف می‌شود:

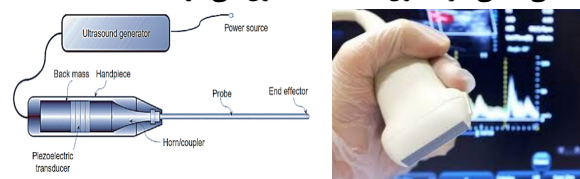
$$\alpha = af^b \quad (3)$$

که در آن a و b ثوابت ویژه بافت هستند
برای اثرات بیولوژیکی فراصوت تحقیقات گوناگون با شرایط مختلف انجام شده است. در ادامه به برخی اثرات موجود در تحقیقات اشاره می‌شود. یکی از تحقیقات بیانگر این است که فراصوت می‌تواند باعث ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال شده و منجر به مرگ سلول شود [۴۲]. جوامع ملی و بین‌المللی در مورد استفاده از فراصوت در پزشکی زنان به خصوص در مورد احتمال اثرات گرمایی اخطار می‌دهند [۴۳]. مغز انسان ضریب گونه‌های اکسیژن فعال شده و منجر به مرگ سلول شود [۴۲]. جوامع ملی و بین‌المللی در مورد استفاده از فراصوت در پزشکی زنان به خصوص در مورد احتمال اثرات گرمایی اخطار می‌دهند [۴۳]. مغز انسان ضریب نفوذ کمی دارد. با این حال دمای مجامه حین پرتوگیری از فراصوت بالا می‌رود، دمای مغز در مجاورت مجامه از طریق مکانیزم رسانش افزایش می‌یابد. این پدیده در جنین به خصوص وقتی از فراصوت داپلر استفاده می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۴۴]. همچنین ممکن است فراصوت موقتاً یادآوری شنیداری را محدود کند. آسیب به میلین-ها^۲ و آسیب‌های عصبی نیز می‌تواند ایجاد شود. اثر روی ریه، چشم، قلب و ماهیچه‌های بدن نیز گزارش شده است [۴۰]. امواج فراصوتی ناشی از سونوگرافی‌های مکرر در دوران بارداری، بر روی نوزادان تازه متولد شده و سپس کودکان، لازم است که بررسی‌های خیلی دقیق و بیشتری شدت امواج فراصوت سونوگرافی مورد مطالعه قرار گیرد.

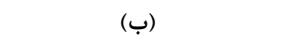
۶- نتیجه

در این مقاله امواج فراصوت و ویژگی‌ها و مشخصات آن بیان گردید. کاربردهای متنوع و مختلفی برای فراصوت وجود دارد که به تفصیل

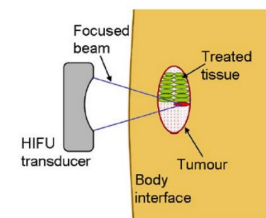
تعریف شد: ۱- شاخص گرمایی و ۲- شاخص مکانیکی [۳۸]. سازمان غذا و دارو آمریکا نیز خطوط راهنمایی برای استفاده از امواج فراصوت قابل قبول تهیه کردند [۳۹-۴۰]. در تحقیقات نشان داده شده که در انسان‌ها تماس با امواج فراصوت بر روی الگوی خواب تأثیر می‌گذارند و همچنین تغییرات تعادل الکترولیتی در بافت عصبی می‌شود. امواج با فرکانس‌های ۲۰ کیلوهرتز و با شدت ۱۴۰ تا ۱۵۰ دسیبل باعث تولید حرارت در سطح پوست و نیز ایجاد شکاف‌هایی بر سطح پوست می‌شوند. این امواج در انسان‌ها باعث تغییراتی در آستانه شنوایی شده و از لحاظ ذهنی، درد و رنج و خستگی غیرمعمول می‌شود و همچنین موجب ضایعاتی بافتی در گلبول‌های سفید خون می‌شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۵): الف- دستگاه سونوگرافی، ب- ابزار جراحی فراصوت، ج- نمایش درمان فراصوت شدت بالا بر روی یک تومور [۲۵].



شکل (۶): نمونه‌ای از عصای سفید که با فراصوت کار می‌کند (اختراع شده توسط دانشجویان دانشگاه Texas A&M)



شکل (۷): دستگاه دفع حشرات پریزی و رومیزی

- [9] CMI Quarato, D. Lacedonia, M. Salvemini, G. Tuccari, G. Mastrodonato, R. Villani, L.A. Fiore, G. Scioscia, A. Mirijello, A. Saponara, et al. "A Review on Biological Effects of Ultrasounds: Key Messages for Clinicians", *Diagnostics*. 2023; 13(5):855. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050855>.
- [10] Ali, "Local Sound Speed Estimation for Pulse-Echo Ultrasound in Layered Media," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 69, no. 2, pp. 500–511, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/tuffc.2021.3124479>.
- [11] D.B.Moyano, D.A. Paraiso, R.A. González-Lezcano, "Possible Effects on Health of Ultrasound Exposure, Risk Factors in the Work Environment and Occupational Safety Review". *Healthcare (Basel)*. 2022 Feb 24;10(3):423. doi: <https://doi.org/10.3390/healthcare10030423>.
- [۱۲] جعفری، مهدی، رودباری، ساره و جعفری، کبری، امواج فراصوت و تأثیر آن بر روی انسان و اثرات بیولوژیکی آن بر روی حیوانات، گیاهان و محیط، اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط زیست پایدار، همدان، ۱۳۹۴. <https://civilica.com/doc/440579/>.
- [13] F. Ahmad, Z.H. Mohammad, S. Zaidi and S. A Ibrahim, "A comprehensive review on the application of ultrasound for the preservation of fruits and vegetables", *Journal of food process engineering*, vol. 46, no. 6, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14291>.
- [14] C. Wiernicki, W.J. Karoly, "Ultrasound: Biological Effects and Industrial Hygiene Concerns", *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2010, 46, 488–496.
- [15] F. Villegas, "Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites", *Frontiers in Materials*, vol. 6, Nov. 2019, doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00291>.
- [۱۶] طوسی‌ساندیز، حیدر، تصویربرداری از بتن با استفاده از امواج فراصوت و آلگوریتم SAFT با بکارگیری موجک، دومین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر، تهران
- [17] M. Gallo, L. Ferrara, D. Naviglio, "Application of Ultrasound in Food Science and Technology: A Perspective". *Foods* 2018, 7, 164. doi: <https://doi.org/10.3390/foods7100164>.
- [۱۸] فرقانی، معین الدین. بررسی عملکرد فناوری امواج فراصوت و کاربرد آن در صنایع غذایی، کنفرانس ملی دستاوردهای فن آوران علوم و صنایع غذایی ایران. <https://sid.ir/paper/824244/fa> SID.
- [۱۹] یوسف زاده ثانی سپیده، مرتضوی سید علی، شیخ الاسلامی زهرا، کریمی مهدی، الهامی‌راد امیر حسین، ۱۳۹۶، کاربرد های امواج فراصوت در صنایع غذایی و نقش آن در بهبود کیفیت فرآورده های سوخاری، "مجله علمی صوت و ارتعاش، دوره ۱۲، صص ۱۰۵-۱۱۹، ۱۳۹۴.
- [۲۰] تاج الدین، بهجت، رفیعی، زهرا، استفاده از امواج فراصوتی در خشک کردن مواد غذایی (مطالعه موردی تولید چیپس سیب، نشریه علمی ترویجی صوت و ارتعاش، دوره ۷، شماره ۱۴، ۹۷-۹۰، ۱۳۹۷.
- [21] Y. Chisti, "Sonobioreactors: using ultrasound for enhanced microbial productivity," *Trends in Biotechnology*, vol. 21, no. 2, pp. 89–93, Feb. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-7799\(02\)00033-1](https://doi.org/10.1016/s0167-7799(02)00033-1).
- [22] T.D. Pham, R.A. Shrestha, J. Virkutyte, M. Sillanpää, "Recent studies in environmental applications of ultrasoundA paper", submitted to the *Journal of Environmental Engineering and Science*. *Can. J. Civ. Eng.* 2009, 36, 1849–1858. <https://doi.org/10.1139/L09-068>.
- [23] M.L. Oelze, "Quantitative ultrasound successes: Past, present and future", In Byram BC, Ruitter NV, editors, *Medical Imaging 2020: Ultrasonic Imaging and*

معرفی شدند. تاکنون، مطالعات زیادی روی اثرات بیولوژیکی امواج بر روی بدن انسان انجام شده است. امواج فراصوت هم به عنوان یک بخش از طیف امواج مورد بررسی قرار گرفته است. تاکنون تحقیقات اثرات خیلی سوء در حوزه کاربردهای پزشکی را گزارش نکرده‌اند، بنابراین این مسأله موجب شده فراصوت به عنوان یک روش تشخیص پزشکی کم خطر مورد استفاده قرار گیرد [۴۵-۴۶]. اعلام کرده‌اند که مقادیر توان صوتی رایج استفاده شده در فراصوت تشخیصی ایمن هستند. در حال حاضر داده‌های تجربی کافی برای احتمال خطر پرتوگیری در استفاده از ادوات فراصوت بطور واضح ارائه نشده است، اما مطالعات روی اعضای بدن، سطوح سلولی و مولکولی انجام شده است که نشان دهنده احتمال خطر بیولوژیکی فراصوت روی بدن انسان و به طور کلی موجودات زنده را اثبات می‌کند. در کاربردهای حساس فراصوت مانند حشره کش‌ها و دستگاه دفع آفات جانوری با کمک فراصوت چند نکته قابل توجه و تأمل است: قطعاً دستگاه‌های موجود در بازار کارآمد نیستند، سیستم حشره کش مبتنی بر فرکانس متغیر به علت سودجستن از کریستال و نیز قطعات الکترونیکی ویژه دارای قیمت تمام شده ی بالایی خواهد بود لذا در طراحی‌ها باید مد نظر قرار گیرد. در هر حال باید دقت داشت که به خصوص با توجه به اینکه استفاده از این سیستم در هر محیطی مثل منزل یا محیط کار به معنای آن است که تمام مدت و یا حداقل برای ساعاتی طولانی در طول روز افراد در معرض تابش امواج فراصوت قرار می‌گیرند. لازم است امکان هر گونه خطر و آسیب برای اقشار و سنین مختلف، با تأمل بیشتری بررسی گردد. همچنین نتایج تحقیقات انجام شده بر روی اثر امواج فراصوتی ناشی از سونوگرافی‌های مکرر در دوران بارداری، بر روی نوزادان تازه متولد شده و سپس کودکان، لازم است که بررسی‌های خیلی دقیق و بیشتری شدت امواج فراصوت سونوگرافی مورد مطالعه قرار گیرد.

مراجع

- [1] M. Wereski, "The Threshold of Hearing", *The STEAM Journal*: Vol. 2: Iss. 1, Article 20, 2003.
- [2] <https://doi.org/10.5642/steam.20150201.20>.
- [۳] سیستم فراصوت چیست؟، ۱۳۹۸، برگرفته از سایت <https://www.irandh.ir/>
- [4] K.A. Kaproth-Joslin, R. Nicola and V. S. Dogra, "The History of US: From Bats and Boats to the Bedside and Beyond:RSNA Centennial Article". *RadioGraphics*, vol. 35, no. 3, pp. 960–970, May 2015, doi: <https://doi.org/10.1148/rg.2015140300>.
- [5] R. Galambos and D. R. Griffin, "Obstacle avoidance by flying bats: The cries of bats" *Journal of Experimental Zoology*, vol. 89, no. 3, pp. 475–490, Apr. 1942, <https://doi.org/10.1002/jez.1400890308>.
- [6] A. van Dalen, "The Use of Ultrasounds in Military Traumatology". *Central Military Hospital & University Hospital Utrecht*, 1996.
- [7] A. van Dalen, "The Use of Ultrasounds in Military Traumatology". *Central Military Hospital & University Hospital Utrecht*, 1996.
- [8] P. G. Newman and G.S. Rozycki, "The History of Ultrasound," *Surgical Clinics of North America*, vol. 78, no. 2, pp. 179–195, Apr. 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/s0039-6109\(05\)70308-x](https://doi.org/10.1016/s0039-6109(05)70308-x).



- [۳۵] فخمی حور، فریبا، زارع، ناصر، اصغری، رسول، مهدی‌زاده، محمد و فیروزی، بهنام. تأثیر امواج فراصوت، دما، نور، کیتوسان و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر کالوسزایی زعفران (*Crocus sativus*) (L. زراعت و فناوری زعفران، ۳۷۵-۳۶۱، ۱۳۹۹). Doi: 10.22048/jsat.2020.215454.1376
- [36] M.I. Simeon, A.S. Mohammed and S.E Adebayo, "Development and preliminary testing of an electronic pest repeller with automatic frequency variation", *International Journal of Plasma*, 2013.
- [37] K. Nithiyananthan, N Pratap, P. Dhinakar, "Design and Development of Variable Frequency Ultrasonic Pest Repeller", *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 2017, 12(1):22-34.
- [38] Kelsey C.A., Ph.H. Heintz, D.J. Sandoval, G. D. Chambers, N.L. Adolphi, K. S. Paffett, "Biological Effects of Ultrasound", 2014, *Radiation Biology of Medical Imaging*, 269-280. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118517154.ch16>.
- [39] AIUM/NEMA. Standard for Real-Time Display of Thermal and Mechanical Acoustic Output Indices on Diagnostic Ultrasound Equipment. American Institute of Ultrasound in Medicine and the National Electrical Manufacturers Association; Rockville, MD, USA: 2009.
- [40] CMI. Quarato, D. Lacedonia, M. Salvemini, G. Tuccari, G. Mastrodonato, R. Villani, L.A. Fiore, G. Scioscia, A. Mirijello, A. Saponara, et al. "A Review on Biological Effects of Ultrasounds: Key Messages for Clinicians". *Diagnostics*. 2023; 13(5):855. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050855>.
- [41] G. Basta, L. Venneri, G. Lazzerini, E. Pasanisi, M. Pianelli, N. Vesentini, S. Del Turco, C. Kusmic, E. Picano. "In vitro modulation of intracellular oxidative stress of endothelial cells by diagnostic cardiac ultrasound". *Cardiovasc. Res.* 2003, 58, 156-161. 10.1016/s0008-6363(02)00665-x
- [42] E. Vyskocil, S. Pfaffenberger, C. Kollmann, A. Gleiss, G. Nawratil, S. Kastl, E. Unger, K. Aumayr, O. Schuhfried, K. Huber, J. Wojta, M. Gottsauner-Wolf, "Thermal effects of diagnostic ultrasound in an anthropomorphic skull model", *Ultraschall Med.* 2012 Dec;33(7):E313-E320. doi: 10.1055/s-0032-1312924.
- [43] C. Kollmann, K.V. Jenderka, Moran, C.M. Draghi, Jimenez Diaz F., R. Sande, "EFSUMB Clinical Safety Statement for Diagnostic Ultrasound-(2019 revision)". *Ultraschall. Med.* 2020, 41, 387-389. DOI: 10.1055/a-1010-6018
- [44] AIUM. How to Interpret the Ultrasound Output Display Standard for Diagnostic Ultrasound Devices: Version 3. J. *Ultrasound Med.* 2019, 38, 3101-3105.
- Tomography, SPIE. 2020. 113190X. (Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE). doi: 10.1117/12.2557150.
- [۲۴] عزیزیان غلامرضا، سرکار سعید، ابوالحسنی محمدجواد، ایجاد تصویر سه بعدی با استفاده از سیستم های فراصوت دو بعدی معمولی. مجله پزشکی بالینی ابن سینا. ۹ (۲)، ۱۳۸۱.
- [25] S.B. Barnett, G.R. Ter Haar, M.C. Ziskin, H.D. Rott, F.A. Duck, K. Maeda, "International recommendations and guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine". *Ultrasound Med. Biol.* 2000, 26, 355-366. [https://doi.org/10.1016/S0301-5629\(00\)00204-0](https://doi.org/10.1016/S0301-5629(00)00204-0).
- [26] A. Guermazi, F.W. Roemer, P. Robinson, J.L. Tol, R.R. Regatte, M.D. Crema, "Imaging of muscle injuries in sports medicine: Sports imaging series". *Radiology*, 2017. DOI: 10.1148/radiol.2017160267.
- [۲۷] عابدینی، رضوان، جهرمی، محمدصابر، مروری بر کاربردهای نوین فناوری فراصوت توان بالا در جراحی پزشکی، نشریه علمی صوت و ارتعاش / سالدوم / شماره بیستم / صفحات ۱۵۷-۱۷۳، ۱۴۰۰.
- [۲۸] علیان نژادی، مریم، و فائز، معصومه، درمان سرطان با امواج فراصوت متمرکز با شدت بالا (HIFU). علوم پزشکی رازی (مجله دانشگاه علوم پزشکی ایران)، ۲۴ (۱۶۲)، ۴۰-۵۳، ۱۳۹۶.
- [۲۹] حیدرنژاد اصل، مهران، بررسی تأثیر امواج فراصوت بر روند استخوان سازی، اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در علوم برق و کامپیوتر و علوم پزشکی، ۱۳۹۸.
- [۳۰] رقیب دوست، سینا و حاجی محمد باقر، سمانه، کاربردهای Ultrasound در پزشکی و صنایع، اولین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در علوم پزشکی و بهداشت با رویکرد ارتقای سلامت، ایران، قزوین، ۱۴۰۱.
- [۳۱] مقیم نژاد سرحمامی، مهدی و شهیدیان، آزاده، کاربرد امواج فراصوتی در درمان سنگ کلیه. مجله مهندسی مکانیک ۵۶-۴۹ (۲)، ۲۷، ۱۳۹۷.
- [32] D.L. Miller, N.B. Smith, M.R. Bailey, G.J. Czarnota, K. Hynynen, I.R.S. Makin, "Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety Considerations". *J. Ultrasound Med.* 2012. doi: 10.7863/jum.2012.31.4.623.
- [۳۳] زمانی بابگهری، میلاد، رضانی فرد، مهدی، زمانی بابگهری، مهدی، طراحی و ساخت عصای سفید هوشمند به منظور هدایت و راهنمایی نابینایان و کم بینایان، سومین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در برق و کامپیوتر و صنایع، ۱۳۹۶.
- [۳۴] فائز، معصومه و حمیدی اصفهانی، زهره، ضد عفونی کردن آب و پساب با فراصوت، دومین کنگره بین المللی و بیست و پنجمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ساری، ۱۳۹۷.