

# سونوگرافی دربالین

## POCUS

برای متخصصین مراقبت‌های ویژه نوزادان و کودکان  
راهنمای عملی در زمینه به کارگیری سونوگرافی دربالین بیمار

ترجمه

دکتر فرهاد ابوالحسن چوبدار

فوق تخصص نوزادان، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

دکتر زهرا سلطانی

فوق تخصص نوزادان، استادیار دانشگاه علوم پزشکی ایران

## فهرست مطالب

|     |                                                                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9   | قسمت اول: مبانی پایش اولتراسوند در نقطه مراقبت (POCUS) در مراقبت‌های ویژه و نوزادان                       |
| 10  | مقدمه: مقدمه‌ای بر سونوگرافی در محل مراقبت                                                                |
| 15  | فصل 1: فیزیک، کاربری و ترانسدوسرها: بهینه‌سازی تصویر                                                      |
| 35  | قسمت دوم: ارزیابی سیستم کاردیوواسکولار                                                                    |
| 36  | فصل 2: نماهای پایه‌ای اکوکاردیوگرافی برای متخصص مراقبت‌های ویژه                                           |
| 52  | فصل 3: POCUS در شوک و افت فشار خون                                                                        |
| 65  | فصل 4: ارزیابی اکوکاردیوگرافیک عملکرد بطن چپ و وضعیت همودینامیک                                           |
| 81  | فصل 5: ارزیابی متمرکز اولتراسوند بر عملکرد بطن راست و فشار خون ریوی                                       |
| 95  | فصل 6: ارزیابی هدفمند افیوژن پریکارد و تامپوناد قلبی                                                      |
| 106 | فصل 7: نماهای پیشرفته اکوکاردیوگرافی عملکردی شامل ارزیابی مجرای شریانی باز (PDA) و بررسی وضعیت همودینامیک |
| 120 | فصل 8: اکوکاردیوگرافی جامع و تشخیص ناهنجاری‌های مادرزادی شایع و عمده قلب                                  |
| 141 | قسمت سوم: ارزیابی قفسه سینه                                                                               |
| 142 | فصل 9: اصول پایه سونوگرافی ریه برای پزشکان بخش مراقبت‌های ویژه                                            |
| 151 | فصل 10: سونوگرافی راه‌های هوایی                                                                           |
| 159 | فصل 11: اولتراسونوگرافی دیافراگم                                                                          |
| 174 | فصل 12: کاربردهای بالینی اولتراسوند در محل مراقبت (POCUS) ریه در نوزادان                                  |
| 189 | قسمت چهارم: ارزیابی شکم                                                                                   |
| 190 | فصل 13: اولتراسوند در محل مراقبت از شکم در جمعیت نوزادان و کودکان                                         |
| 219 | قسمت پنجم: نوروسونولوژی                                                                                   |
| 220 | فصل 14: اولتراسوند متمرکز کرانیال برای مراقبت‌های بحرانی عصبی                                             |
| 241 | فصل 15: اولتراسونوگرافی کرانیال                                                                           |
| 255 | قسمت ششم: استفاده از اولتراسوند در محل مراقبت در محیط ترانسپورت                                           |
| 256 | فصل 16: نقش اولتراسوند در محل مراقبت در محیط ترانسپورت برای ارزیابی نوزادان و کودکان مبتلا به شوک         |

263.....  **قسمت هفتم: اولتراسوند مداخله‌ای**

264..... فصل 17: ملاحظات مربوط به دسترسی عروقی در کودکان و نوزادان

287..... فصل 18: پروسیجرهای هدایت‌شده با اولتراسوند فراتر از دسترسی عروقی

301..... فصل 19: کاربرد اولتراسوند در ECMO

309.....  **قسمت هشتم: ملاحظات برنامه‌ای و گام‌های آتی**

310..... فصل 20: دستورالعمل‌ها، کوریکولوم آموزشی و آموزش POCUS

317..... فصل 21: چالش‌های فعلی و آینده پذیرش اولتراسوند در عمل بالینی

328..... فصل 22: پیامدهای یادگیری

artinteb.com

در دنیای پرشتاب پزشکی نوین، جایی که زمان می‌تواند مرز میان سلامت و آسیب را تعیین کند، بهره‌گیری از ابزارهای تشخیصی که در "بالین بیمار (Point-of-Care)" در دسترس هستند، از یک انتخاب به یک ضرورت بدل شده است. در حیطه طب نوزادان و کودکان، که حساسیت‌های بیولوژیک و آسیب‌پذیری بیماران، رویکردهای تشخیصی را به سوی روش‌های کم‌تهاجمی و سریع سوق می‌دهد، «سونوگرافی بالینی (POCUS)» به عنوان چشم سوم پزشک، جایگاهی بی‌بدیل یافته است. اگرچه دهه‌هاست که سونوگرافی به عنوان یک ابزار پاراکلینیکی شناخته می‌شود، اما گذار از پارادایم «سونوگرافی به عنوان یک مشاوره» به «سونوگرافی به عنوان بخشی از معاینه فیزیکی نوزاد»، تحولی است که در سال‌های اخیر در مراکز پیشرو جهان شکل گرفته است. این رویکرد، پزشک را قادر می‌سازد تا در لحظات بحرانی، پاسخ پرسش‌های بالینی کلیدی خود را بدون نیاز به انتقال نوزاد به بخش تصویربرداری و مواجهه با خطرات ناشی از جابه‌جایی، دریافت نماید. در ایران عزیز، اگرچه دانش طب نوزادان با تکیه بر همت اساتید و پژوهشگران گام‌های بلندی برداشته است، اما بهره‌برداری جامع و سیستماتیک از سونوگرافی بالینی در NICU و بخش‌های کودکان، هنوز در آغاز راه است. خلأ وجود منابع آموزشی مدون و تخصصی در این زمینه، مشوق اصلی ما برای برگردان این اثر به زبان فارسی بود. کتاب حاضر با هدف پر کردن همین شکاف دانشی و با نگاهی کاربردی تدوین شده است. تلاش بر این بوده است تا ضمن حفظ اصالت علمی متن اصلی، راهنمایی گام‌به‌گام برای همکاران عزیز فراهم آید تا بتوانند با تسلط بر تکنیک‌ها و تفسیر صحیح یافته‌های سونوگرافی، کیفیت مراقبت از نوزادان و کودکان را به سطحی بالاتر ارتقا دهند. این مجموعه نه تنها برای فوق تخصص‌های نوزادان و فلوشیپ‌های مراقبت‌های ویژه کودکان، بلکه برای دستیاران و متخصصان کودکان و نوزادان که در خط مقدم مراقبت از بیماران قرار دارند، منبعی راهگشا خواهد بود. باور دارم که ترویج این دانش در مراکز درمانی کشور، گامی موثر در جهت کاهش عوارض و ارتقای استاندارد خدمات درمانی در نظام سلامت کشورمان خواهد بود. در انتها از زحمات و تلاش ستودنی سرکار خانم دکتر سلطانی که بار اصلی تدوین این کتاب به دوش ایشان بوده کمال سپاسگزاری را داشته و آرزوی مداومت و موفقیت در این راه را برای ایشان دارم.

دکتر فرهاد ابوالحسن چوبدار

فوق تخصص نوزادان، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی ایران



## مقدمه‌ای بر سونوگرافی در محل مراقبت

تومای کونلون، سسیل تیسوت، ماریا ویکتوریا فراکا، یوگن سینک

### سونوگرافی در محل مراقبت (Point-of-Care Ultrasound; POCUS) آیا زمان ادغام آن در اقدامات بالینی روزمره فرا رسیده است؟

کرده و چالش‌های مرتبط با آموزش و توسعه برنامه‌های آموزشی را معرفی کنند. در آغاز باید اذعان کرد که ما در ابتدای مسیر سونوگرافی در طب کودکان قرار داریم. بسیاری از کاربردهای سونوگرافی که می‌توانند تأثیر چشمگیری بر پیامدهای بیماران داشته باشند، هنوز کشف نشده یا در چارچوب مراقبت‌های بالینی استانداردسازی نشده‌اند. ما آگاهییم که ادغام فناوری‌های نوین و ایده‌های جدید، پیش از دستیابی به پذیرش گسترده، مستلزم زمان و شکیبایی است.

«اینکه آیا این روش، علیرغم ارزشش، روزی به طور عمومی مورد استفاده قرار خواهد گرفت، بسیار جای تردید دارد؛ زیرا کاربرد مفید آن به زمان زیادی نیاز دارد و هم برای بیمار و هم برای پزشک دردسر زیادی ایجاد می‌کند؛ زیرا رنگ و ماهیت آن بیگانه و مغایر با تمام عادات و تداعی‌های ماست»

جان فوربس، پزشک ملکه ویکتوریا، این سخنان را در سال 1821 در مقدمه ترجمه خود از کتاب سال 1816 رنه-تئوفیل-هیاکنت لاینک، که در آن وسیله‌ای جدید به نام «گوشی پزشکی» معرفی شده بود، نگاشت. بیش از دوپست سال بعد، این وسیله همچنان یکی از ارکان اصلی تشخیص پزشکی محسوب می‌شود؛ آویخته بر گردن هر دانشجوی پزشکی در هنگام ادای سوگند بقراط و حاضر بر بالین هر کودک بدحال تحت مراقبت. آیا داستان گوشی پزشکی با توجه به جایگاه والای آن در میان دستگاه‌های پزشکی، داستان موفقیت‌آمیزی است؟ یا تداوم اتکالی ما به فناوری‌ای با قدمت دوپست سال، نشانگر ناکامی ما در توسعه یا پذیرش فناوری‌های دیگر است؟

در طول دو دهه گذشته، دستگاه‌های سونوگرافی قابل حمل به تدریج در کنار تخت کودکان مبتلا به بیماری‌های حاد و بحرانی جای گرفته‌اند. به کارگیری کاربردهای تشخیصی و مداخله‌ای سونوگرافی توسط ارائه‌دهندگان خدمات خارج از حوزه‌های کاردیولوژی و رادیولوژی—به ویژه در طب اورژانس کودکان، مراقبت‌های ویژه کودکان و نوزادان—الگوهای سنتی عمل بالینی را به چالش کشیده و دگرگون ساخته است. اکنون که دستگاه‌های سونوگرافی قابل حمل در محیط‌های مراقبت حاد کودکان به طور گسترده در دسترس هستند، جامعه طب کودکان با این پرسش بنیادین روبه روست که چگونه می‌توان این فناوری را به صورت بهینه در مراقبت بالینی ادغام کرد.

این کتاب با هدف ارائه ارزیابی جامع از کاربردهای کنونی سونوگرافی در مراقبت از نوزادان و کودکان مبتلا به بیماری‌های بحرانی تنظیم شده است. متخصصانی از سراسر جهان دانش و تجربه خود را در زمینه تکنیک‌های اجرایی ارائه کرده و با تلفیق شواهد علمی مرتبط، پرسش‌های «چرا استفاده از سونوگرافی» و «چرا عدم استفاده از سونوگرافی» را پاسخ می‌دهند. فصول پایانی تلاش می‌کنند فراتر از کاربردهای صرفاً بالینی حرکت

که دامنه فعالیت آن جهانی بوده و به «تسریع اقدامات و دستیابی به تأثیر» اختصاص دارد. در سال 2001، این سازمان کتاب «عبور از شکاف کیفیت: یک سیستم بهداشتی جدید برای قرن بیست و یکم» را منتشر کرد و شش هدف را برای مراقبت ایده آل تعریف کرد: ایمنی، اثربخشی، بیمار محوری، به موقع بودن، کارایی و عدالت [11]. هر فناوری جدیدی که ما در پی معرفی آن در عمل بالینی خود هستیم، باید توانایی ما را در ارائه مراقبت ایده آل و مبتنی بر ارزش به بیماران تقویت کند.

فناوری سونوگرافی با فرهنگ/ایمنی همسو است. نخست آنکه ارائه دهندگان خدمات می توانند از سونوگرافی برای ارزیابی موقعیت کاتترها یا انجام بررسی های تشخیصی که پیش تر با استفاده از فناوری های پرتوزا مانند سی تی اسکن یا رادیوگرافی ساده انجام می شدند، استفاده کنند. افزون بر این، شواهد قابل توجهی وجود دارد که نشان می دهد ادغام سونوگرافی موجب بهبود عملکرد ارائه دهندگان خدمات و کاهش عوارض در طیف وسیعی از اقدامات انجام شده توسط پزشکان حوزه مراقبت حاد کودکان می شود [12-18]. در نهایت، و شاید مهم تر از همه، سونوگرافی می تواند هم از ما و هم از بیمارمان در برابر خطاهای انسانی محافظت کند. با افزایش دقت تشخیص، می توان درمان ها را به گونه ای هدفمند و متناسب با تشخیص مشخص تنظیم کرد. مدیران و نهادهای ناظر ممکن است درباره حفاظت سازمانی در برابر عملکردهای خارج از چارچوب توسط ارائه دهندگان غیررادیولوژیست/غیرکاردیولوژیست که POCUS را در بالین انجام می دهند، ابراز نگرانی کنند؛ با این حال، تاکنون موردی از قصور پزشکی مرتبط با استفاده از سونوگرافی در محل مراقبت گزارش نشده است. در واقع، تنها موارد حقوقی-پزشکی گزارش شده در ادبیات علمی در ارتباط با POCUS مربوط به عدم استفاده از این فناوری در شرایطی بوده است که تجهیزات در دسترس بوده و ارائه دهنده نیز توانایی استفاده از آن را در حیطه مراقبت خود داشته است [19-21]. از این رو، در صورت پیاده سازی مؤثر، سونوگرافی ایمنی را برای بیماران، ارائه دهندگان خدمات و مؤسسات درمانی فراهم می آورد.

این کتاب در پی پاسخ گویی به این پرسش ها نیست و مهم تر آنکه قصد ندارد برتری سونوگرافی را نسبت به فناوری ها یا روش های رایج کنونی اعلام کند. هدف این کتاب آشنا ساختن خوانندگان با سونوگرافی و ارائه استدلال هایی در موافقت و مخالفت با ادغام آن در عمل بالینی کودکان توسط ارائه دهندگان غیررادیولوژیست و غیرکاردیولوژیست است. در دستورالعمل های تخصصی POCUS در حوزه مراقبت های ویژه نوزادان و کودکان، اکثریت توصیه های اختصاصی کودکان از سطح شواهد متوسط، پایین یا بسیار پایین (B,C,D) برخوردارند.

با وجود محدودیت های موجود در شواهد جمع آوری شده، استفاده از POCUS در محیط های مختلف طب کودکان رو به گسترش است. این فناوری از اعتبار صوری بالایی برخوردار است؛ فرآیندهای پاتوفیزیولوژیک اکنون به صورت لحظه ای و بلادرنگ قابل مشاهده اند، نشانه ها، علائم و مجموعه داده هایی که تفسیر آن ها فراتر از توانایی های صرف انسانی است، می توانند در قالب یک تصویر واحد خلاصه شوند. «هنر» طبابت اکنون به پیکسل های دیجیتال بر صفحه نمایش تبدیل شده است. توانایی ثبت این پیکسل ها توسط خود ما در کنار تخت بیماران بدحال، مکمل مهارت و تجربه بالینی ماست. این پیکسل ها ارزیابی های ما را تغییر می دهند، تصمیمات درمانی را دگرگون می کنند و بر پیامدهای بیماران اثر می گذارند.

نگرانی هایی موجه در معرفی هر فناوری جدید در عمل بالینی وجود دارد. موفقیت استتوسکوپ در برابر افول کاتتر شریان ریوی — به دلیل پیاده سازی نامناسب و آسیب های پیش بینی نشده — نمونه ای آموزنده است. فراگیری سونوگرافی مستلزم آموزش جامع در حوزه دانش نظری، مهارت های روانی حرکتی و توانایی تفسیر است. این امر زمان بر بوده و در مراحل اولیه ادغام فناوری که زیرساخت های آموزشی محدود هستند، بار مضاعفی ایجاد می کند. بنابراین، آیا صرف این تلاش ارزشمند است؟

نخست باید بررسی کنیم که آیا سونوگرافی با اهداف و ارزش های پزشکی مدرن همسو است یا خیر، مؤسسه پزشکی (اکنون آکادمی ملی پزشکی) یک سازمان مشاوره علمی غیرانتفاعی مبتنی بر شواهد در ایالات متحده است

[25]، مؤید آن است که داده‌های سونوگرافیک هم برای بیماران منفرد و هم برای جمعیت‌های گسترده ارزشمندند و می‌توانند عملکرد بالینی ما را بهبود بخشند.

فناوری سونوگرافی بهنگام است، دستگاه‌های سونوگرافی اکنون قابل حمل‌تر شده‌اند، در حالی که بسیاری از قابلیت‌های تصویربرداری دستگاه‌های بزرگ‌تر و قدیمی‌تر را حفظ کرده‌اند، برخی از آن‌ها به اندازه جیبی هستند و تصاویر می‌توانند به صورت لحظه‌ای توسط ارائه‌دهندگان ارزیابی شوند یا در سرورهای سازمانی ذخیره گردند تا تقریباً به صورت بی درنگ توسط متخصصان دوردست بررسی شوند، سونوگرافی در محل مراقبت نه تنها در زمان مراجعه بیمار در دسترس است، بلکه می‌تواند در طول سیر بیماری به طور مکرر برای ارزیابی پاسخ به مداخلات درمانی یا بازبینی وضعیت‌های فیزیولوژیک متغیر انجام شود. شواهد نشان می‌دهند که زمان دستیابی به درمان مناسب با پیامدهای بیماران مرتبط است؛ چه در تجویز زود هنگام آنتی‌بیوتیک‌ها در سپسیس [26، 27] و چه در بازگشایی عروق در سکته مغزی یا سندرم‌های حاد کرونری [28، 29]. سونوگرافی تشخیص را در کنار تخت تسهیل می‌کند، مدیریت درمان را هدایت می‌کند و امکان ارزیابی مجدد در مراقبت‌های مستمر را فراهم می‌آورد.

فناوری سونوگرافی کارآمد است، کوچک‌تر شدن اندازه دستگاه‌ها به افزایش قابلیت حمل و گسترش کاربرد آن‌ها در محیط‌های متنوع بالینی انجامیده است. سونوگرافی حتی در فضا نیز مورد استفاده قرار گرفته است [30]. اما فراتر از صرفه جویی ناشی از حضور دستگاه، کارآمدی سونوگرافی با توجه به بستر کاربرد آن بهینه می‌شود. پزشکانی که در کسب و تفسیر تصاویر آموزش دیده‌اند، دیگر وابسته به ثبت درخواست، حضور تکنسین در کنار تخت برای تصویربرداری، و تفسیر توسط متخصص تصویربرداری مستقر در مکانی دیگر نیستند، افزون بر این، اطلاعات لحظه‌ای به دست آمده نه در اتاق‌های تاریک گزارش خوانی، بلکه در حضور بیمار و در بستر داده‌های بالینی پیرامونی پردازش می‌شود. مطالعات حوزه طب اورژانس به طور مداوم کاهش مدت اقامت بیماران و خانواده‌ها در بیمارستان، همراه با افزایش رضایت آنان را نشان داده‌اند [31].

فناوری سونوگرافی از اثربخشی برخوردار است. هرچند ممکن است شواهد اختصاصی POCUS در رشته‌های مراقبت حاد کودکان محدود باشد، اما در حوزه‌های کاردیولوژی و رادیولوژی، ادبیات علمی و تجربه عملی گسترده‌ای در حمایت از مزایای بالینی این فناوری وجود دارد. گرچه برای بسیاری، سونوگرافی فناوری «نوین» تلقی می‌شود، اما در واقع بخش عمده‌ای از یک قرن گذشته را در پزشکی حضور داشته است. چه در کاربردهای فیزیوتراپی در دهه 1920، چه در نورورادیولوژی دهه 1940، و چه در کاردیولوژی دهه‌های 1950 و 1960، تخصص در استفاده از این فناوری هم در بستر کلی پزشکی و هم در میان همکاران رادیولوژی و کاردیولوژی ما وجود داشته است [22]. کاربردهای اختصاصی در سایر زیرتخصص‌ها همچنان در حال ظهور است؛ از جمله ارزیابی پاسخ‌دهی به مایعات در شوک در مراقبت‌های ویژه کودکان یا تعیین اندیکاسیون تجویز سورفاکتانت در نوزادان مبتلا به سندرم زجر تنفسی. تجربه کافی با این فناوری در جامعه جهانی پزشکی وجود دارد، به گونه‌ای که پرسش‌های جدید را می‌توان با بهره‌گیری از مهارت‌ها و چارچوب‌های متدولوژیک پیشین پاسخ داد.

فناوری سونوگرافی بیمارمحور است. محیط کنونی عمل بالینی ما مبتنی بر مسیرها و الگوریتم‌هایی است که غالباً بر داده‌های جمعیت محور استوارند. استانداردسازی مراقبت‌ها مزایایی برای اکثریت بیماران نشان داده و راهبردهای بهبود کیفیت در طب کودکان نیز از این اصول پیروی می‌کنند [23]. با این حال، بیماری که به بخش اورژانس کودکان مراجعه می‌کند یک «جمعیت» نیست، بلکه یک کودک منحصر به فرد است. معاینه فیزیکی، نتایج آزمایشگاهی و داده‌های پایش همگی در کاربرد بالینی دارای محدودیت‌هایی از نظر دقت، صحت، حساسیت و ویژگی هستند. استانداردسازی رویکردها تنها زمانی با اصل بیمارمحوری همسو است که آمادگی بازنگری مستمر در داده‌های مورد استفاده برای بهینه‌سازی تشخیص‌ها و درمان‌های بعدی وجود داشته باشد. پذیرش سونوگرافی در ارزیابی‌های استاندارد همودینامیک، که اکنون توسط متخصصان بزرگسال و کودکان پذیرفته شده است [24]،

طیفی از درجات خاکستری در میان آن هاست. به نوعی، خود این فناوری تجسمی از احترام به اصل عدالت است. با این حال، نحوه ادغام این فناوری و ترجمه آن به عمل بالینی، همچنان نیازمند ارزیابی در راستای تحقق این هدف مهم بالینی است.

به روشنی، سونوگرافی می تواند مراقبتی ارائه دهد که با اهداف و ارزش های بالینی ما همسو باشد. بنابراین بار دیگر می پرسیم: آیا تلاش برای یادگیری سونوگرافی ارزشمند است؟ پاسخ ما قطعاً مثبت است ... و دقیقاً به همین دلیل است که این کتاب را نگاشته ایم.

کاربرد سونوگرافی عادلانه است. جامعه بزرگ تر ما و نیز حرفه پزشکی در تلاش اند نظام هایی ایجاد کنند و مراقبتی ارائه دهند که برای افراد منصفانه و عادلانه باشد. می دانیم که نابرابری هایی در پزشکی وجود دارد که به پیامدهای نامتناسب میان گروه ها بر اساس جنسیت، نژاد، قومیت و وضعیت اجتماعی-اقتصادی منجر می شود [32-34]. سونوگرافی می تواند به حذف بخشی از سوگیری های ریشه دار و نظام مند—چه آگاهانه و چه ناآگاهانه—که در مراقبت بالینی ما تنیده شده اند، کمک کند. سونوگرافی صرفاً متشکل از نقاط سفید و سیاه با

artinteb.com



## فیزیک، کاربری و ترانسدیوسرها: بهینه سازی تصویر

جاسون استولر، یوگن سینگ، سسیل تیسوت

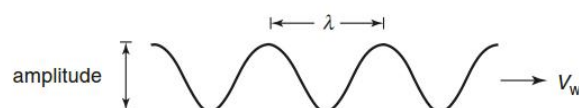
### اصول سونوگرافی

#### صدا یک موج است

بنیادی ترین ویژگی های صدا، ویژگی های موج آن هستند. همانند همه امواج، امواج صوتی دارای دامنه (Amplitude)، طول موج (Wavelength) و فرکانس (Frequency) هستند و با سرعت مشخصی منتشر می شوند (شکل 1). دامنه موج صوتی با انرژی یا «توان» آن متناسب است. طول موج به فاصله ای گفته می شود که موج در یک چرخه کامل طی می کند و فرکانس تعداد چرخه ها در واحد زمان است که معمولاً بر حسب سیکل بر ثانیه یا هرتز (Hz) اندازه گیری می شود. طول موج ( $\lambda$ ) با فرکانس ( $f$ ) نسبت معکوس دارد:

$$\lambda \propto \frac{1}{f}$$

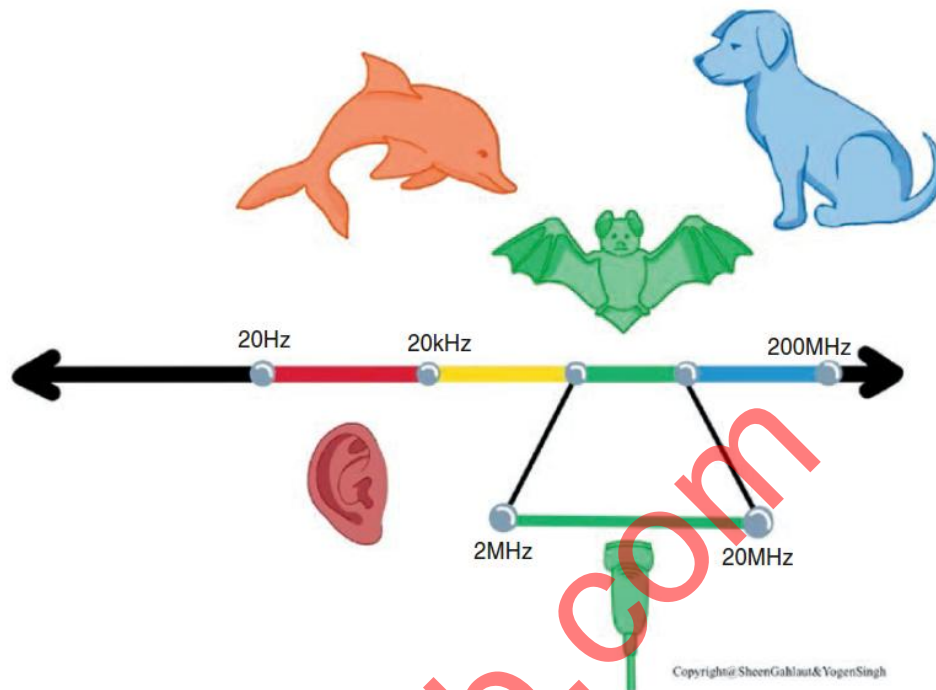
بدین معنا که با افزایش فرکانس، طول موج کاهش می یابد. این رابطه در انتخاب پروب (ترانسدیوسر) سونوگرافی و تنظیمات تصویربرداری اهمیت ویژه ای دارد، زیرا مستقیماً بر وضوح تصویر (Resolution) و عمق نفوذ امواج صوتی در بافت تأثیر می گذارد.



**شکل شماره 1:** ویژگی های یک موج صوتی: تمام امواج صوتی دارای طول موج ( $\lambda$ )، دامنه و سرعت انتشار ( $v_w$ ) هستند. فرکانس ( $f$ ) با طول موج نسبت معکوس دارد.

### فرکانس های صوتی

امواج صوتی به طور معمول به سه دسته تقسیم می شوند: فروصوت (Infrasound)، محدوده شنوایی (Acoustic Range) و فراصوت (Ultrasound) (شکل 2). فروصوت شامل فرکانس های کمتر از 20 هرتز است که برای انسان قابل شنیدن نیست. محدوده شنوایی انسان بین 20 هرتز تا 20 کیلوهرتز (kHz) قرار دارد. فرکانس های بالاتر از 20 کیلوهرتز در دسته فراصوت قرار می گیرند. این امواج برای گوش انسان قابل درک نیستند، اما توسط حیواناتی نظیر خفاش ها، سگ ها و گرازهای دریایی قابل تشخیص اند. در سونوگرافی پزشکی، معمولاً از فرکانس هایی در محدوده 2 تا 20 مگاهرتز (MHz) استفاده می شود و برخی پروب های جدید تا 70 مگاهرتز نیز عمل می کنند. فرکانس ترانسدیوسر سونوگرافی قابل تنظیم است و به طور مستقیم بر وضوح تصویر و عمق نفوذ امواج صوتی اثر می گذارد.



**شکل شماره 2:** طیف فرکانس های صدا، محدوده قابل درک برای انسان (با رنگ قرمز) بین 20 هرتز تا 20 کیلوهرتز است. محدوده فراصوت، بالاتر از 20 کیلوهرتز، برای برخی حیوانات قابل درک است. این محدوده شامل بازه تقریبی 2 تا 20 مگاهرتز (با رنگ سبز) است که در سونوگرافی پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد. فرکانس های کمتر از 20 هرتز در دسته فراسوت قرار می گیرند. (با سپاس از: Sheen Gahlaut و Yogen Singh).

### تصویر چگونه تشکیل می شود؟

امواج فراصوت ساطع شده از ترانسدایوسر پس از برخورد با بافت های مختلف بازتاب می یابند، مجدداً توسط ترانسدایوسر دریافت می شوند و توسط دستگاه سونوگرافی پردازش می گردند. برای تشکیل تصویر، اکوهای بازگشتی به دو روش بنیادین تحلیل می شوند: تعیین عمق و اندازه گیری دامنه موج.

**عمق:** عمق ساختارهای مختلف با استفاده از اصل «پالس-اکو» (Pulse-Echo Principle) تعیین می شود. در نظر گرفتن معادله سرعت:

$$v = \frac{x}{t}$$

که در آن  $v$  سرعت،  $x$  مسافت و  $t$  زمان است (از ترانسدایوسر تا ساختار موردنظر و بازگشت مجدد). سرعت انتشار امواج فراصوت در اغلب بافت های انسانی مشابه سرعت آن در آب، یعنی حدود 1540 متر بر ثانیه است.

### اثر پیزوالکتریک

اساس عملکرد دستگاه سونوگرافی بر پدیده ای موسوم به «اثر پیزوالکتریک» استوار است. اثر پیزوالکتریک به توانایی ایجاد نوسان در بلورها برای تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی (امواج فراصوت) و بالعکس اطلاق می شود. دستگاه سونوگرافی یک سیگنال الکتریکی به آرایه ای از بلورها در نوک ترانسدایوسر ارسال می کند. این سیگنال الکتریکی به امواج فراصوت تبدیل شده و از ترانسدایوسر منتشر می شود. امواج بازتابی (اکوها) که از ساختارهای زیرجلدی و سایر بافت ها بازمی گردند، مجدداً توسط همان بلورها دریافت شده و به سیگنال های الکتریکی تبدیل می شوند. سپس این سیگنال ها پردازش می گردند تا به تصویر سونوگرافیک تبدیل شوند (شکل 3).