**بسمه تعالی**

# فیزیک اولتراسوند و سونوگرافی

**گردآوری وتألیف:**

**سمانه حاجی محمدباقر**

**کارشناس ارشد مهندسی پزشکی**

**۱۳۹۹**

**مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان**

**پیشگفتار ناشر:**

**به نام ایزد دانا که آغاز و انجام از آن اوست**

هرگز دل من زعلم محروم نشد  کم ماند زاسرار که مفهوم نشد
اکنون که به چشم عقل در می نگرم  معلومم شد که هیچ معلوم نشد

ای دانای بی همتا، ای بخشنده ایی که ناخواسته عطا فرمایی و هر نیازمندی را به عدالت بی‌نیاز گردانی، مگر اینکه نالایق باشد و آن عنایت را به باژگونه از دست دهد. در عرصه پیشرفت تکنولوژی در هزاره سوم، هنوز نیاز بر مطالعه کتاب در کنار استفاده از منابع کامپیوتری و اینترنت احساس می شود. از این بابت خوشحالیم که می توانیم در جهت اعتلای علم، دانش و فرهنگ کشور قدمی هر چند کوچک برداریم.

**و من الله التوفیق**
**دکتر شمس الدین یوسفیان**
**مدیر مسئول انتشارات ارشدان**

## فهرست مطالب


**فصل اول: پیشگفتار ..... ۱۱**

مقدمه ..... ۱۲
تاریخچه ..... ۱۴
نقش اولتراسوند در پزشکی ..... ۱۶

**فصل دوم: مبانی امواج صوتی ..... ۱۹**

ویژگی‌های امواج فراصوت ..... ۲۰
سرعت گسیل موج ..... ۲۰
انواع امواج صوتی ..... ۲۱
طولی موج ..... ۲۱
عرضی موج ..... ۲۲
سطحی موج ..... ۲۳
موج صفحه ای ..... ۲۳
بازتابش ..... ۲۴
برخورد امواج فراصوتی به مرز میان دو محیط ..... ۲۷
قانون‌های اسنل ..... ۲۷
ضریب بازتابش و گذر ..... ۲۸
جذب ..... ۲۹
حوزه های صوتی ..... ۲۹
تضعیف ..... ۳۰

**فصل سوم: مبانی آلتراسوند و کاربردهای آن ..... ۳۳**

آلتراسونیک ..... ۳۴
تولید امواج التراسونیک ..... ۳۷
مبدل‌های الکتریکی ..... ۳۸
حسگرهای آلتراسونیک ..... ۴۰
نحوه‌ی اثر دهی امواج فراصوت ..... ۴۱

طبقه بندی اولتراسونیک ..... ۴۱
اولتراسوند حرارتی ..... ۴۴
اولتراسوند مکانیکی ..... ۴۴
اثر داپلر ..... ۴۶
انواع پروب های فراصوتی ..... ۴۷
اثر پیزوالکتریسیته ..... ۴۸
انواع پروب های پیزوالکتریک ..... ۵۰
پروب تک کریستال عمودی یا نرمال ..... ۵۰
پروپ دو کریستاله عمودی یا نرمال (پروپ T/R) ..... ۵۰
پروب زاویه‌دار (angle- beam probe or transducer) ..... ۵۱
اثر پیزوالکتریک مستقیم ..... ۵۲
پیزوالکتریک معکوس ..... ۵۳
مواد پیزوالکتریک ..... ۵۴
محرک‌های پیزوالکتریک ..... ۵۶
درایورهای پیزو ..... ۵۷
مگنتواستریکسیون ..... ۵۸
ساختمان ترانسدیوسر (مبدل) ..... ۵۸
میدان فراصوتی و گونه‌های ترانسدیوسر ..... ۶۰
ترانسدیوسرهای کانونی ..... ۶۰
کانونی کردن الکترونیکی ..... ۶۲
انتخاب نوع ترانسدیوسر ..... ۶۲
چگونگی ساخت نگاره فراصوتی ..... ۶۳
روش‌های یک موج یا روش بازتاب تپ ..... ۶۴
اسکن دامنه ..... ۶۴
پردازش سیگنالها ..... ۶۷
اسکن روشنایی ..... ۶۷
اسکن حرکتی ..... ۷۰
ترانسدیوسرهای فراصوتی ویژه ..... ۷۰
روش داپلر ..... ۷۱

۱- موج پیوسته ..... ۷۱
۲- موج ناپیوسته ..... ۷۲
تصاویر در اولتراسوند ..... ۷۳
تهیه تصاویر اولتراسوند از بدن ..... ۷۴
دستگاه داپلر رنگی ..... ۷۴
دستگاه داپلکس ..... ۷۵
خطرات فراصوت: ..... ۷۶

**فصل چهارم: سونوگرافی ..... ۷۷**

سونوگرافی ..... ۷۸
تاریخچه ..... ۸۰
سیرتحولی در رشد ..... ۸۰
سونوگرافی داپلر ..... ۸۱
سونوگرافی چهاربعدی ..... ۸۲
اجزای یک دستگاه سونوگرافی ..... ۸۲
واحد پردازش مرکزی (CPU) ..... ۸۲
مبدل ..... ۸۳
سایر اجزاء ..... ۸۳
پروپ‌های فراصوت در پزشکی ..... ۸۴
پروب چیست؟ ..... ۸۵
چند مدل پروب مختلف وجود دارد؟ ..... ۸۶
پروب منحنی شکل یا کانوکس ..... ۸۶
پروب خطی خطی یا لینیر LINER ..... ۸۷
پروب فازی ..... ۸۸
سایر انواع پروب‌های سونوگرافی ..... ۸۸
دسته بندی پروب‌های سونوگرافی ..... ۸۹
تفاوت پروب‌های دو بعدی و سه بعدی و چهار بعدی در چیست؟ ..... ۹۰
اندازه‌های مختلفی پروب‌های سونوگرافی ..... ۹۱
کاربرد امواج فراصوت ..... ۹۱
کاربرد تشخیصی (سونوگرافی) ..... ۹۱

کاربرد درمانی (سونوتراپی) ..... ۹۲
کاربرد گرمایی ..... ۹۲
میکروماساژ مکانیکی ..... ۹۲
کاربرد امواج فراصوت پر قدرت ..... ۹۲
کنترل کیفی تجهیزات سونوگرافی ..... ۹۳
تصویربرداری سونوگرافی با موبایل ..... ۹۵

**فصل پنجم: سونوگرافی دو بعدی، سه بعدی و چهار بعدی ..... ۹۷**

سونوگرافی دو بعدی ..... ۹۸
سونوگرافی چطور انجام میشود؟ ..... ۹۸
لزوم سونوگرافی دو بعدی ..... ۹۹
سونوگرافی در بارداری ..... ۹۹
صدمات سونوگرافی ..... ۱۰۰
تفاوت سونوگرافی دو بعدی، سه بعدی و چهار بعدی ..... ۱۰۰
سونو گرافی سه بعدی ..... ۱۰۱
تست سونوگرافی سه بعدی ..... ۱۰۵
زمان سونوگرافی سه بعدی ..... ۱۰۵
مزایای سونوگرافی سه بعدی چسیت؟ ..... ۱۰۷
معایب سونوگرافی سه بعدی ..... ۱۰۷
سونوگرافی چهار بعدی ..... ۱۰۸
ضرورت انجام سونوگرافی چهار بعدی ..... ۱۰۸
سونوگرافی چهار بعدی چگونه عمل می‌کند؟ ..... ۱۰۹
زمان سونوگرافی چهار بعدی ..... ۱۰۹
کاربرد جدید سونوگرافی چهار بعدی ..... ۱۱۰
خطرات سونوگرافی چهار بعدی ..... ۱۱۰

**فصل ششم: سونوگرافی داپلر ..... ۱۱۱**

سونوگرافی داپلر ..... ۱۱۲
تصویربرداری داپلر از راه جمجه ..... ۱۱۵
عروق خونی ..... ۱۱۸

کلیه‌ها ..... ۱۱۸
قلب ..... ۱۱۹
مانیتور جنین داپلر ..... ۱۲۰
انواع سونوگرافی داپلر ..... ۱۲۰
داپلر موج پیوسته و یا beside ..... ۱۲۰
داپلر داپلکس ..... ۱۲۰
داپلر رنگی ..... ۱۲۰
داپلر پاور (قدرتی) ..... ۱۲۱
چگونه انجام سونوگرافی داپلر ..... ۱۲۱
محدودیت‌های سونوگرافی داپلر ..... ۱۲۲
چرا به سونوگرافی داپلر نیاز داریم؟ ..... ۱۲۲
هنگام انجام سونوگرافی داپلر ..... ۱۲۳
تفسیر نتایج آزمایش سونوگرافی داپلر ..... ۱۲۴

**منابع ..... ۱۲۵**

**واژنامه ..... ۱۲۷**

# فصل اول

## پیشگفتار

## مقدمه

موج فراصوت موجی از دسته امواج مکانیکی است که با دو اثر خود بر روی سیستم‌های زنده و غیر زنده، یعنی اثرات گرمائی و اثرات مکانیکی، تاکنون در بسیاری از مطالعات پایه و کاربردی، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

اولترا سونوگرافی، یک روش تصویری تشخیصی بر مبنای امواج ماورای صوت است که برای نمایان کردن عضلات و اعضای داخلی بدن، اندازه، ساختمان و پاتولوژی‌های احتمالی آنها به کار می‌رود. سیستم‌های تصویر برداری فراصوتی همه منظوره با کاربرد عمومی یا همان دستگاه‌های سونوگرافی در سطح بین الملل عناوین مختلفی دارد که بسته به نواحی مورد نظر از بدن، می‌توان به اسکنرهای فراصوتی شکمی (سونوگرافی شکم)، تجهیزات فراصوتی آرتریوگرافی (سونوگرافی عروق خونی)، تجهیزات فراصوتی آرایه خطی، سیستم‌های فراصوتی داپلر، اسکنرهای فراصوتی زنان و زایمان (سونوگرافی جنین)، اسکنرهای فراصوتی سینه (سونوگرافی سینه)، اسکنرهای فراصوتی کلیوی (سونوگرافی کلیه)، اسکنرهای فراصوتی اورولوژی (سونوگرافی مثانه) و... اشاره کرد. این نوع سیستم‌ها بدون استفاده از تشعشع، تصاویر دو بعدی از اکثر بافت‌های نرم بدن فراهم می‌کنند و بیشتر در بخش تصویربرداری مراکز درمانی، بیمارستان ها، کلینیک ها، مطب‌ها و موسسات پزشکی جهت تکمیل سیستم‌های دیگر تصویربرداری موجود اعم از سی تی اسکن، ام آر آی، رادیوگرافی و... به منظور معاینه‌های زنان و زایمان و نواحی مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرند. وجود چنین مزایایی باعث شده فناوری سونوگرافی از آنالوگ به دیجیتال به سرعت انجام شود. به طوری که تصاویر سه بعدی از اندام‌های داخلی بدن یکی از ویژگی‌های این روش در کنار دیگر قابلیت‌های آن نظیر اندازه گیری اندازه گیری طول، سطح و حجم اندام‌ها مورد توجه قرار گیرد. از طرفی ظهور تکنیک داپلر و به‌کارگیری روشهای کد بندی رنگ در مشاهده‌ی سرعت خون عروق بر روی تصاویر سیاه و سفید و زنده‌ی اندام‌ها سبب افزایش اطلاعات تشخیصی گردیده است. چنین مزیت هایی به قدر کافی پرجاذبه هستند تا همکاران رادیولوژیست بیشترین وقت و همت خود را مصروف مشاهده تصاویر سونوگرافی و ارائه گزارشات تشخیصی آن نمایند و تفسیر رادیوگرافی آنالوگ و دیجیتال در مرتبه دوم علاقه مندی آنان قرار گیرد.

کتاب حاضر برای گستره بزرگی از کاربران مانند رادیولوژیست‌ها و تخصص‌های دیگر پزشکی مانند: زنان و زایمان و غیره و همچنین کارشناسان رادیولوژی و دانشجویان زمینه علمی یاد شده قابل کاربرد است.

در این کار کوشش شده که از واژگان فارسی بهره گرفته شود و طبیعی است که در ساختار جمله‌ها هم این کوشش انجام شده باشد. در خاتمه از نظرات اصلاحی کلیه همکاران و دانشجویان عزیز پیشاپیش تشکر و قدردانی می‌شود.

**سمانه حاجی محمدباقر**
**کارشناس ارشد مهندسی پزشکی**

## تاریخچه

استفاده از علم موج و صدا در تاریخ بشری سابقه ای دیرینه دارد. اما مسلما کارکرد بهینه و درست این علوم نیاز به توجه و آزمایش متخصصین داشته و خواهد داشت. از آنجا که استفاده از امواج اولتراسونیک[1] در بازرسی فنی و آزمون‌های غیر مخرب کاربرد بسیاری دارد، لازم دانستم با مقدمه ای مختصر از استفاده اولتراسونیک در علوم و آغاز بهره برداری از آن در آزمون‌های مخرب همراه شما عزیزان باشم.

در سال ۱۸۷۶ میلادی، فرانسیس گالتون برای اولین بار پی به وجود امواج فراصوت برد. گالتون با ساخت و آزمایش صوتی توانست اصواتی با بسامدی بالاتر از محدوده شنوایی انسان (فراصوت) تولید نماید. در زمان جنگ جهانی اول کشور انگلستان برای کمک به جلوگیری از غرق شدن غم انگیز کشتی هایش توسط زیر دریایی‌های کشور آلمان در اقیانوس آتلانتیک شمالی دستگاه کشف‌کننده زیر دریایی‌ها به کمک امواج صوتی به نام سونار ابداع کرد. این دستگاه امواج فراصوت تولید می‌کرد که در پیدا کردن مسیر کشتی‌ها استفاده می‌شد. این تکنیک در زمان جنگ جهانی دوم تکمیل گردید و بعدها به‌طور گسترده ای در صنعت این کشور برای آشکارسازی شکاف‌ها در فلزات و سایر موارد مورد استفاده قرار می‌گرفت.

از کاربرد بخصوصی که انعکاس صوت در جنگ و صنعت داشت سونار به علم پزشکی وارد شد و تبدیل به یک وسیله تشخیصی بزرگ در علم پزشکی گردید. از جمله ضعف‌ها و محدودیت‌های این روش، عدم عبور این امواج از استخوان و گاز و هوا می‌باشد که باعث شده روش ایده آلی برای تصویر برداری از سینه و ریه و روده (بخاطر وجود گازهای روده‌ای) و ساختمان‌های داخلی تر، همچون آئورت و لوزالمعده، نباشد. همچنین به علت تضعیف این امواج در بافت‌های بدن، این روش برای تصویر برداری از اعضای داخلی بدن افراد بسیار چاق، غیر قابل استفاده می‌باشد.

قبل از جنگ جهانی دوم، تکنیک ارسال امواج صوتی در آب و تشخیص اکو بازگشتی آن امواج مورد مطالعه و به انجام رسیده بود. این تکنیک پایه کشفیات راه‌های جدید استفاده از این امواج در سایر علوم شد. در سالهای ۱۹۲۹ و ۱۹۳۵ به همت دانشمندی به نام سوکولوف بررسی امواج اولتراسونیک در تشخیص اشیاء فلزی به انجام رسید. همچنین با تلاش

[1] Ultrasonic

Mulhauser در سال ۱۹۳۱ استفاده از امواج اولتراسونیک با بکار بردن دو مبدل جهت شناسایی معایب در جامدات به ثبت رسید. در سالهای ۱۹۴۰ و ۱۹۴۵ به ترتیب با تلاش Firestone و Simonsآزمایش اولتراسونیک ضرباندار به وسیله تکنیک ضربان، اکو توسعه یافت.اندکی بعد از پایان جنگ جهانی محققان ژاپنی به بررسی و کشف توانایی‌های اولتراسونیک در علم پزشکی نمودند. اولین ابزار اولتراسونیک مورد استفاده از نوع نمایشی A با اکو بود که روی صفحه اسیلوسکوپ[1] دیده می‌شد. در ادامه مدل نمایشی B با دو بعد و تصویر سیاه و سفید به وجود آمد. این تحقیقات تا دهه ۱۹۵۰ در آمریکا و اروپا ناشناخته باقی ماند. بعد از آن بود که محققین ژاپنی در مقالات بین المللی یافته‌های خود از تشخیص به روش اولتراسونیک در بیماریهایی مثل سنگ کیسه صفرا، توده‌های پستانی و تومورها را به جامعه پزشکی نشان دادند.

همچنین ژاپن به عنوان اولین کشوری بود که تکنولوژی داپلر[2] اولتراسونیک را استفاده نمود. با استفاده از داپلر اولتراسونیک قدرت حرکت اشیاء داخلی بدن مثل گردش خون در قلب و عروق را برای تحقیقات قلبی عروقی می‌توان تشخیص داد. بعد از آن بود که سایر محققین دنیا از جمله محققین آمریکایی به کشفیات بزرگی در حوزه انواع تکنیک‌ها و توانایی‌های اولتراسونیک در دهه‌های اخیر نایل آمدند. به طور مثال می‌توان به تصویر برداری به نگام و در لحظه از سوژه، داپلر طیفی، داپلر رنگی و سایر تجهیزات کلینکی و پیشرفته در حوره استفاده از امواج اولتراسونیک را اشاره نمود.

آزمون‌های غیرمخرب برای دهه‌های متمادی مورد مطالعه و بررسی بوده اند. این شناخت و بررسی در طی جنگ جهانی دوم و تلاشهای بعد از آن با رشد و توسعه شگرفی همراه بود. در ابتدا هدف اصلی تشخیص معایب و مشکلات بود. از آنجا که طراحی یک زندگی ایمن نیاز به توجه خاص به حذف معایب کار داشت، در نتیجه علاقه فراوانی نسبت به شناسایی عیوب بزرگ و قابل رویت جهت حذف قطعه از ساخت و ساز بیشتر مد نظر قرار می‌گرفت. اما با توجه به هدف اصلی از بازرسی که شناسایی عیوب کار می‌باشد و نیز توسعه علوم پیچیده و استفاده از آنها در تشخیص عیوب و بازرسی‌های فنی مثل اولتراسونیک، جریان گردابی، اشعه ایکس[3]، نفوذ مایع و ذرات مغناطیسی باعث به وجود آمدن جریان‌های نو ظهوری در حوزه بازرسی فنی شد. در ابتدای دهه ۱۹۷۰ دو رویداد مهم باعث تغییر شگرفی در زمینه

[1] Oscilloscope
[2] Doppler
[3] X- Ray

آزمون‌های غیرمخرب یا همان NDT شد. ابتدا پیشرفت در تکنولوژی‌های مورد استفاده باعث افزایش توان در تشخیص عیوب کوچک شد. این امر به نوبه خود نپذیرفته شدن حجم بیشتری از قطعات کار شده در ساخت و سازها را منجر شد. از این رو مباحث و نظم و ترتیب جدیدی در مکانیک شکست به وجود آمد که به متخصصین امکان پیش بینی آن را می‌دهد که با دانستن خصوصیات سختی شکست مواد بتوانند تشخیص دهند که یک تَرک با اندازه مشخص به واسطه چه میزان بار شکسته خواهد شد. سایر قوانین برای پیش بینی نرخ رشد شکست‌ها تحت چرخه بارگذاری بخاطر خستگی به وجود آمد. در نهایت با توجه به این پیشرفت‌های نظری امکان پذیرفتن تفاوت عیوب حاصل از این محاسبات به نسبت سایر عیوب مشاهده شده در بازرسی قابل تشخیص و تفکیک شد. اما در آزمونهای غیر مخرب چالش جدیدی به وجود آمد. تشخیص دیگر کافی نبود. صنعت نیاز به داشتن اطلاعات کمی بیشتری از اندازه و خصوصیت عیب را نیاز داشت تا با توجه به دانش نظری مکانیک شکست بتواند باقیمانده عمر قطعه را تخمین و پیش بینی نماید. این نیاز باعث حرکتی از سمت ابزارهای فعلی همچون اولتراسونیک به سمت توان صنعت هسته ای شد. به منظور داشتن اطلاعات کمی مشخص از خصوصیات و جزئیات عیوب مورد بازرسی دانش نو ظهور ارزیابی کمی غیرمخرب به وجود آمد و تا به امروز تحقیقات زیادی در آزمایشگاه‌های متعددی در گوشه و کنار دنیا در این زمینه به انجام رسیده است.

## نقش اولتراسوند در پزشکی

اولتراسوند درمانی یک روش درمانی است که از سال ۱۹۴۰ در پزشکی استفاده می‌شده است. اگرچه مدت زیادی است که این روش در زمینه پزشکی، برای اهداف گوناگون به کار گرفته شده است، تکنولوژی فراصوت بیشتر به خاطر نقش آن به عنوان یک ابزار تشخیصی، شناخته شده است تا به خاطر مزایای درمانی اش.

امواج اولتراسوند از طریق تماس مستقیم یک پروب سر دستگاه اولتراسوند بر پوست به ناحیه مورد نظر انتقال می‌یابند. یک ژل واسط ما بین پروب دستگاه و پوست استفاده می‌شود. درمان متمرکز اولتراسوند می‌تواند بصورت سرپایی برای بیماران انجام شود، نیاز به هیچ برشی بر روی بدن ندارد. با کمترین میزان ناراحتی و عوارض جانبی برای بیمار، آثار مفیدی دارد و به بیمار اجازه می‌دهد به سرعت دوره بهبودی را طی نماید.

مثلا در رادیولوژی، پرتو می‌تواند ساختمان‌های نهان بدن را آشکار سازد. در آشکارسازی ساختمان‌های درونی گاهی از موادی به نام حاجب استفاده می‌شود. زیان هایی که درتابش پرتو رونتگن[1] و کاربرد مواد حاجب وجود دارد، دانشمندان را به فکر انداخت تا تابش‌ها و روش‌های دیگری برای پی بردن به آناتومی ساختمان‌های نهان بکارگیرند.

یکی از روشها کاربرد تشخیصی امواج فراصوت است. در کاربرد امواج الکترومغناطیسی رونتگن از نفوذپذیری آن و همچنین اختلاف جذب پرتو در برخوردش با اتم‌های سر راه سود برده می‌شود درحالی که ویژگی بازتاب امواج مکانیکی فراصوت در برخورد با مرز مشترک بافتها به کار گرفته می‌شود. فراصوت یا اولتراسوند تشخیصی یکی از رشته‌های دانش پزشکی است که گاهی می‌تواند داده‌های بیشتری را در مقایسه با رادیولوژی فراهم سازد. از سوی دیگر برای جنین هم خطر کمتری دارد.

برای پی بردن به ساز و کار یا مکانیزم کار امواج فراصوتی، آشنایی با فیزیک آن نیاز است از این رو در این جا ویژگی‌های فراصوت بررسی می‌شود.

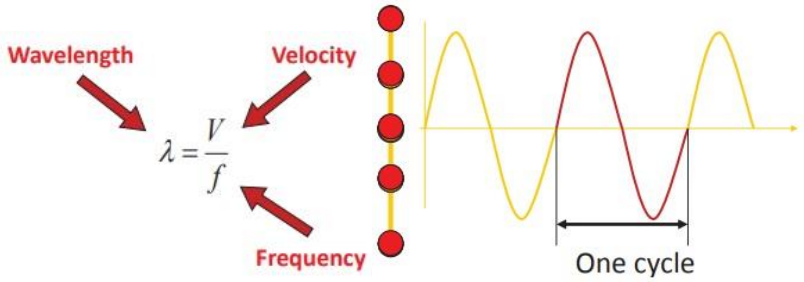
[1] Roontgen

# فصل دوم

# مبانی امواج صوتی

## ویژگی‌های امواج فراصوت

یکی از مهم ترین مشخصه‌های موج، طول موج (Wavelength) بوده که با عکس فرکانس متناسب است، یعنی:




**شکل ۱- ۲: مشخصات صوت**

طول موج: فاصله میان دو نقطه در موج که ویژگی فیزیکی یکسانی را داشته باشند. برای نمونه دو مرکز فشردگی را طول موج می‌گویند.

بسامد (f): شمار تکرار کامل موج در یک ثانیه را بسامد یا فرکانس می‌گویند یکای بسامد مانند دیگر امواج، هرتز است. پس یک هرتز یک نوسان در یک ثانیه است.

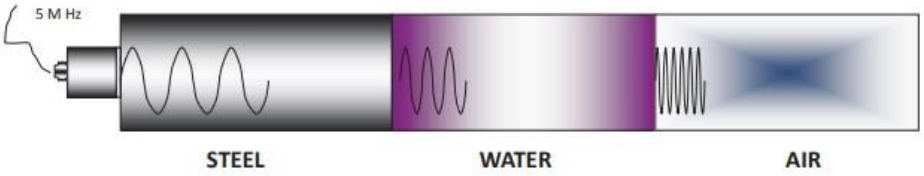
پریود (T): پریود یا دوره تناوب طول زمانی است که موج یک زنش کامل انجام می‌دهد. بنابراین وابستگی میان پریود و بسامد چنین است:

$T= 1/f$ یا $f=1/T$ (۱ -۱)

## سرعت گسیل موج

فاصله ای که موج در یکای زمان می‌پیماید سرعت گسیل موج است. سرعت امواج فراصوتی (همه پارامترهای فیزیکی برای صوت شنوایی و فراصوت و یا اینکه همه نوسانهای مکانیکی همانند است) با چگالی گسیل موج و چگونگی فشردگی محیط چنین رابطه دارند: هر چه ماده متراکم تر باشد سرعت بیشتر است یعنی هر چه مولکول‌ها کوچکتر باشد جابجا کردن آنها ساده تر است. هر چه توانایی فشردگی ماده بیشتر باشد، سرعت فراصوت کمتر است. در حقیقت فشردگی کسری از تغییر حجم ایجاد شده بوسیله تغییر فشار است. البته کار به سادگی گفته بالا نیست زیرا وابستگی وارونه دارند. یعنی با افزایش یکی دیگری کاهش

می‌یابد (سرعت ثابت). سرعت گسیل موج فراصوت به بسامد بستگی ندارد. دیده می‌شود که سرعت موج در بافت‌های نرم به هم نزدیک است ولی سرعت امواج در استخوان بسیار بزرگتر است (نزدیک چهار برابر). فراصوتی با بسامد یک میلیون هرتز ( ۱MHZ) در آب با سرعت۱۵۰۰ m/sec دارای طول موج ۰/۱۵ cm است.




**شکل ۲- ۲: سرعت گسیل موج**

## انواع امواج صوتی

### طولی موج[1]

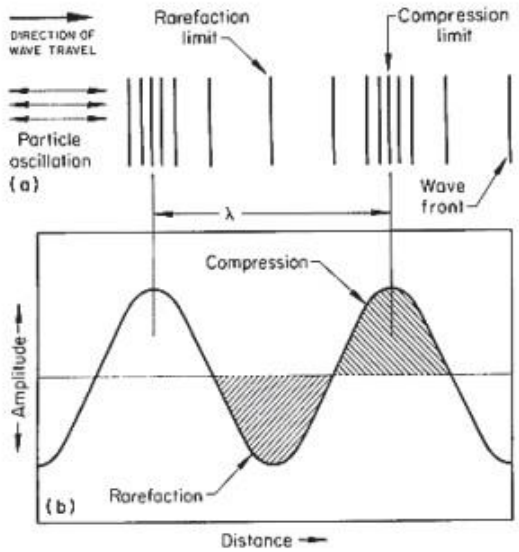
سرعت انتشار موج طولی در محیطی که ضخامت آن بزرگتر از طول موج حرکت ارتعاشی است:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \qquad (۱-۲)$$

سرعت انتشار موج طولی در محیطی که ضخامت آن کمتر از طول موج حرکت ارتعاشی است:

$$V_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (۱-۳)$$

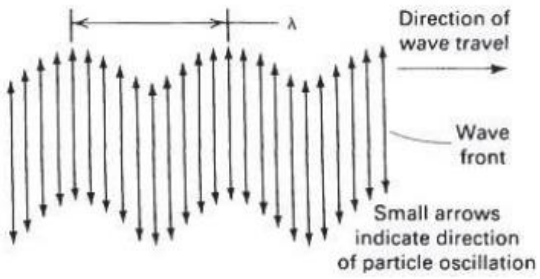
[1] Longitudinal waves




**شکل ۳- ۲: سرعت انتشار موج طولی**

## عرضی موج[1]

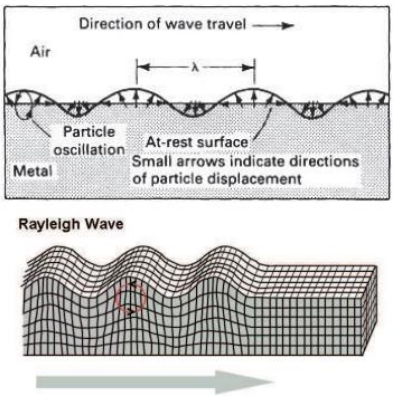
$$V_T = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad V_T = V_L\sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} \qquad (۱-۴)$$




**شکل ۴- ۲: سرعت انتشار موج عرضی**

[1] Transversal waves

## سطحی موج[1]

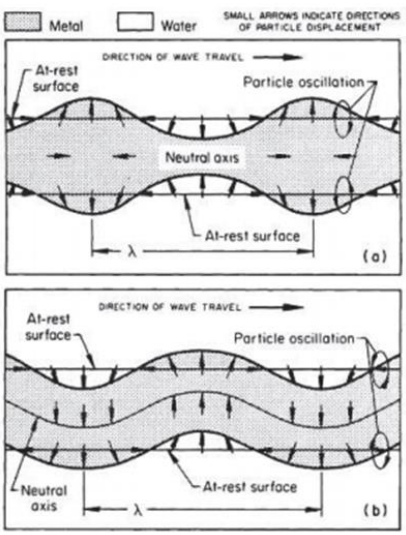



**شکل ۵- ۲: سرعت انتشار موج سطحی**

## موج صفحه ای[2]

۱ موج صفحه ای متقارن

۲ موج صفحه ای نامتقارن




**شکل ۶- ۲: سرعت انتشار موج صفحه ای**

[1] Rayleigh waves
[2] Lamb or plate waves

## بازتابش

امواج مکانیکی که فراصوت نیز نمونه ای از آن است. دربرخورد با اجسام سر راه بازتاب می‌یابند. این بازتابش چند گونه دارد. در بازتابش آینه ای (SPECULAR) که در رویه تخت و صیقلی انجام می‌گیرد، راستای تابش و بازتاب یکی است. در بازتابش نا آینه ای موج به رویه ناصاف برخورد می‌یابد. گونه دیگر از بازتابش، پراکندگی است که مانند بازتابش نا آینه است تنها در این بازتابش موج به ذره کوچک برخورد می‌کند و این ذره خود مانند چشمه فراصوت کارمی کند و در همه راستاها، موج گسیل می‌شود.

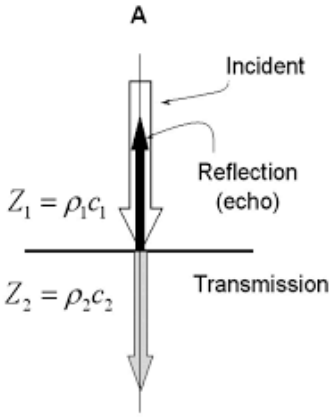
شدت انرژی موج صوتی یا فراصوتی (I) اندازه انرژی است که از یک متر مربع در یک ثانیه می گذرد و با وات بر متر مربع نشان داده می شود. برای یک موج تخت اندازه شدت انرژی (I) از برابری زیر به دست می آید.

$$I=1/2\rho CA^2 (2\pi f)^2=1/2\ \rho CA^2 \omega^2=1/2\ Z(A\omega)^2 \quad (۱-۵)$$

$$\rho\ C = Z \quad (۱-۶)$$

$$P=\sqrt{2}\rho CI \quad (۱-۷)$$

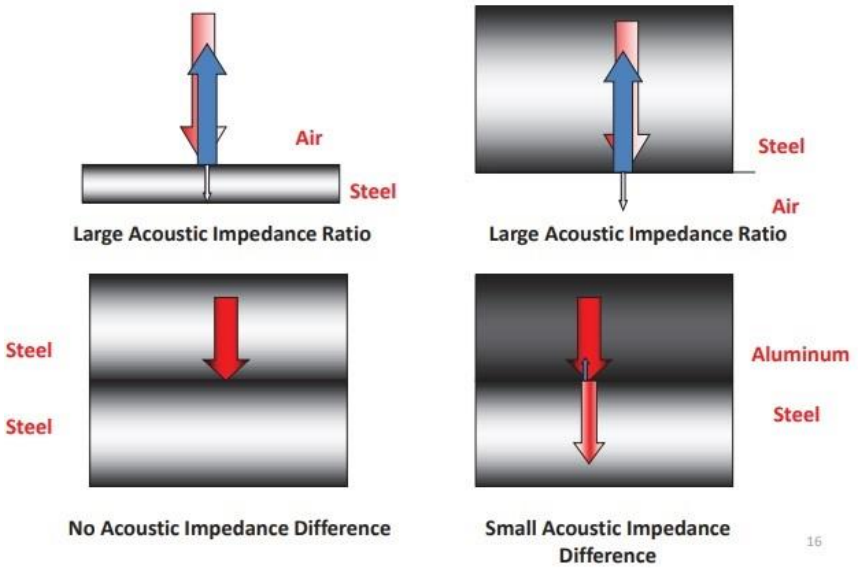
هنگامی که موجی با زاویه عمود به مرز مشترک دو بافت برخورد میکند، بدون هیچ انحرافی از محیط دوم و در راستای تابش عبور میکند و نیز انعکاس موج فراصوتی به علت اختلاف در امپدانس اکوستیک مرز مشترک بافتها اتفاق می افتد.




**شکل ۷- ۲: رفتار صوت در مرز مشترک دو محیط**

و نیز موجی با زاویه عمود به مرز مشترک دو بافت برخورد می کند، بدون هیچ کج شدنی از محیط دوم و در راستای تابش گذر می‌کند البته بخشی در همان راستا بازتاب می شود. اگر تابش امواج به گونه مایل به مرز مشترک بافت‌ها انجام گیرد و سرعت صوتC در دو محیط یکسان نباشد، موج در محیط دوم شکسته می شود. تابش و بازتابش و شکست از قانون‌های اسنل پیروی می‌کنند.

$$\theta i = \theta r \quad \frac{\sin \theta i}{\sin \theta r} = \frac{C1}{C2} \qquad (۱ -۸)$$




**شکل ۸- ۲: رفتار صوت در مرز مشترک دو محیط**

در این رابطه (۸- ۱) $\theta_i$ زاویه تابش التراسوند به مرز دو محیط و عمود بر مرز، $\theta_r$ زاویه انعکاس با خط عمود بر سطح و $\theta_i$ زاویه شکست می‌باشد.

$$\theta_t = {}^{\pi}/_{2} \qquad \text{Sin } \theta_t = ۱ \qquad (۱ -۹)$$

$\text{Sin}^{-1}\ \theta_{ic}={}^{c1}/_{c2}$ برای وقتی که $c_2 > c_1$ برای هر زاویه تابش از $\theta_{ic}$ انتقالی وجود نخواهد داشت و لذا مواجه با انعکاس کامل خواهیم شد. ضریب انعکاس فشار (r) و عبور فشار (t) به شرائط مرزی که بر اساس آنها فشار و سرعت ذرات بایستی دو طرف مرز پیوسته باشد:

$$r = \frac{p_r}{p_i} = \frac{Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t} \quad (۱-۱۰)$$

$$t = \frac{p_r}{p_i} = \frac{2 Z_2 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t} \quad (۱-۱۱)$$

امواج هنگامی که به مرز مشترک دو محیط مادی می‌رسند، می‌توانند از آن گذر کنند، از دید فیزیکی چنین حالتی هنگامی رخ می‌دهد که دو محیط درتماس کامل باشند. اگر امپدانس صوتی دو محیط برابر باشد، امواج بدون اینکه زیر تاثیر دو محیط باشند از آن می‌گذرند. البته شکست می‌تواند صورت بگیرد ولی زمانی که امپدانس‌های صوتی دو محیط با هم برابر نباشند، موج تابنده به پیروی از شرایط فیزیکی دو محیط سرعت و فشار ذرات درمرز مشترک به دو بخش بازتابشی و گذری تقسیم می‌شود. پایای بازتابش انرژی: نسبت انرژی بازتابش به انرژی تابنده می‌باشد، چنین به دست می‌آید. برای حالت تابش عمودی ۰ =$\theta_i = \theta_r$ و طبق معادله (۱۰- ۱) و (۱۱- ۱) خواهیم داشت:

$$r = \frac{p_r}{p_i} = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1) \quad (۱-۱۲)$$

$$t = \frac{p_r}{p_i} = 2 Z_2 / (Z_2 + Z_1) \quad (۱-۱۳)$$

به علت آنکه P=Z u و $I = \frac{p_0^2}{2z}$ است از معادله (۱۱- ۱) و (۱۲- ۱) می‌توان نتیجه گرفت:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left[\frac{Z_2 \cos\theta_i - Z_1 \cos\theta_t}{Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_t}\right] \quad (۱-۱۴)$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2 \cos\theta_i}{(Z_2 \cos\theta_i + Z_1 \cos\theta_i)^2} \quad (۱-۱۵)$$

در این روابط Rو Tضرائب انعکاس و انتقال انرژی در محل تماس می‌باشند. در حالت تابش عمودی داریم

۰ =$\theta_i = \theta_t$ و معادلات (۱۴- ۱) و (۱۵- ۱) عبارت خواهند بود از:

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2 \quad (۱-۱۶)$$

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (۱-۱۷)$$

## برخورد امواج فراصوتی به مرز میان دو محیط

هنگامی که موجی با زاویه عمود به مرز مشترک دو بافت برخورد می‌کند، بدون هیچ انحرافی از محیط دوم و در راستای تابش گذر می‌کند. البته بخشی در همان راستا بازتاب می‌شود. اگر تابش امواج به گونه مایل به مرز مشترک بافتها انجام گیرد و سرعت صوت c در دو محیط یکسان نباشد موج در محیط دوم شکسته می‌شود.

### قانون‌های اسنل

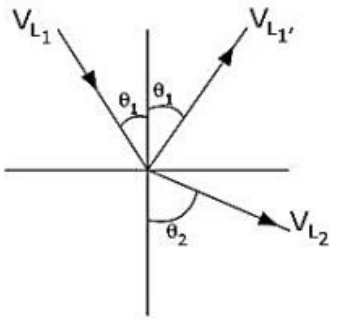
هنگامی که موج فراصوتی به مرز مشترک دو محیط برای نمونه هوا، بافت برخورد نماید، بخشی از آن بازتاب پیدا کرده و بخشی به درون آن راه می‌یابد. برابر قانون‌های اسنل:

a) موج تابشی و بازتابشی و گذری در یک صفحه اند.

b) زاویه تابش با زاویه بازتابش برابر است.

اگر تابش به اندازه ای برسد که زاویه شکست ۹۰ درجه شود، یعنی مماس بر مرز مشترک دو محیط، زاویه تابش در این حالت زاویه بحرانی نامیده می‌شود. در این حالت موج وارد محیط دوم نخواهد شد و بازتاب کلی داریم. نمونه سرعت فراصوات در بافت نرم ۱۵۴۰ m/s است. اگراین سرعت در استخوان ۴۰۸۰ m/s باشد و زاویه بحرانی نزدیک به ۲۲ درجه باشد، هیچ گونه انرژی فراصوت وارد استخوان نخواهد شد.

$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L_1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L_2}} \qquad (۱-۱۸)$$



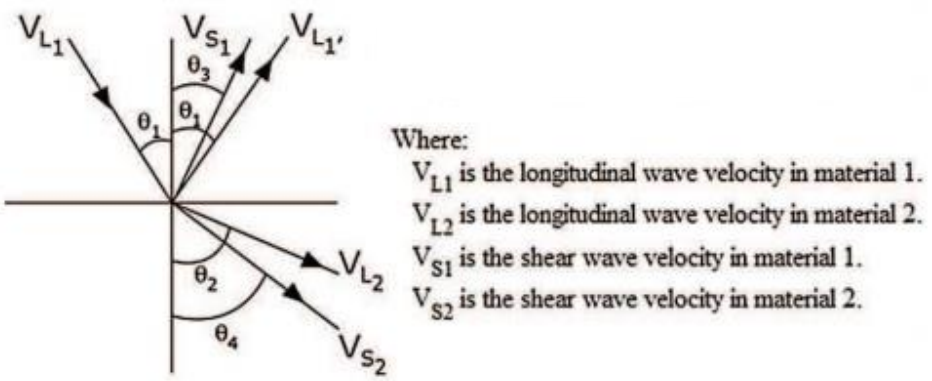

Where:

$V_{L_1}$ is the longitudinal wave velocity in material 1.

$V_{L_2}$ is the longitudinal wave velocity in material 2.

**شکل ۹- ۲: رفتار صوت در مرز مشترک دو محیط (بازتاب و شکست)**

$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L_1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L_2}} = \frac{\sin\theta_3}{V_{S_1}} = \frac{\sin\theta_4}{V_{S_2}} \qquad (۱۹-۱)$$




**شکل ۱۰- ۲: رفتار صوت در مرز مشترک دو محیط (بازتاب و شکست)**

- حالت تبدیل: به تبدیل موج صوتی از حالتی به حالت دیگر گفته میشود.
- زاویه بحرانی اولیه[1]: زاویه تابشی در که بیش از آن فقط موج عرضی وارد محیط دوم شود.
- زاویه بحرانی ثانویه[2]: زاویه تابشی در که آن، زاویه موج برشی عبور کرده به ۹۰ درجه برسد.

## ضریب بازتابش و گذر

امواج هنگامی که به مرز مشترک دو محیط مادی می‌رسند می‌توانند از آن گذر کنند. از دید فیزیکی چنین حالتی هنگامی رخ می‌دهد که دو محیط در تماس کامل باشند. اگر امپدانس صوتی دو محیط برابر باشد امواج بدون اینکه تحت تاثیر دو محیط باشند از آن محیط می‌گذرند (البته شکست می‌تواند صورت بگیرد) ولی زمانی که امپدانس‌های صوتی دو محیط با هم برابر نباشند موج تابنده به پیروی از شرایط فیزیکی دو محیط، سرعت و فشار ذرات، در مرز مشترک به دو بخش بازتابشی و گذری تقسیم می‌شود. هنگامی که امواج صوتی به دیواره سخت برخورد می‌کنند (برخورد امواج صوتی به کوه) بازتاب می‌یابند. در این جا بازتاب یا اکو یا پژواک هنگامی بوجود می‌آید که اندازه‌های دیواره سخت (رویه بازتاب

[1] angle critical first
[2] angle critical second

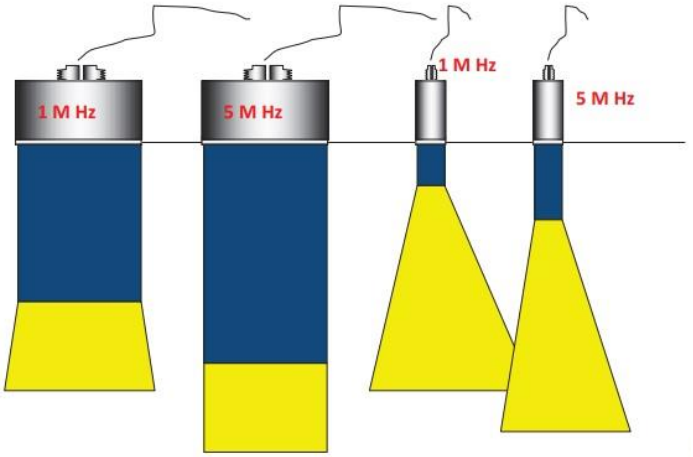
کننده) نسبت به طول موج امواج تابشی بسیار بزرگتر باشد. هر اندازه که دانسیته یا چگالی محیط دوم (رویه بازتاب کننده) بیشتر باشد دامنه بازتابش بلندتر و امواج شنیدنی آشکارتر خواهد بود. (برخورد فریاد با سنگهای کوه). از سوی دیگر هر چه طول موج تابنده کوچکتر باشد بازتاب اکو بهتر انجام می‌شود (مانند این است که رویه بازتاب دهنده بزرگتر است). از گفته‌های بالا پیداست که پدیده باز تابش درباره امواج فراصوت که طول موج کوتاه تری دارند، بهتر انجام خواهد گرفت. برای نمونه اگر غده یا توموری به اندازه‌های 4 x 4 x 4 سانتی متر در بافت کبد وجود داشته باشد، به علت اختلاف امپدانس صوتی میان بافت سالم کبد و بافت توموری و همچنین اختلاف بزرگ میان طول موج فراصوت (نزدیک به ۱ میلیمتر) و اندازه‌های تومور (نسبت ۴۰/۱) امکان بازتاب در مرز مشترک غده و بافت سالم وجود خواهد داشت و بازتابش در این مرز مشترک به بهترین صورت نمایان می‌شود.

## جذب

هنگام گذر موج فراصوتی در محیط انرژی آن جذب محیط می‌شود. در این پدیده انرژی گرفته شده از موج تابشی آغازین، پس از زمان ویژه ای به نام زمان دیرکرد به موج تابشی نخستین می‌پیوندد. جذب شدید انرژی موج فراصوتی تابشی، هنگامی انجام می‌گیرد که در پدیده رهایی از فشار، موجی که به موج تابشی آغازین می‌پیوندد در برابر آن باشد (اختلاف فاز) در اینجا اندازه انرژی جذب شده به اندازه انرژی تابشی آغازین که تغییر شکل داده بستگی خواهد داشت. در بسامدهای پایین فراصوتی، زمان دیرکرد که انرژی تغییر شکل یافته به موج تابشی آغازین می‌پیوندد کوچک و نادیده گرفتنی است، پس جذب شدید نیست ولی اندازه جذب با افزایش بسامد افزایش می‌یابد و هنگامی به بیشترین اندازه خود میرسد که انرژی تغییر شکل یافته برای پیوستن به موج تابشی آغازین درست در برابر آن جا گیرد (اختلاف فاز کامل). اگر بسامد از این اندازه بالاتر رود زمان برای تغییر شکل انرژی کوچک شده و در اینجا اندازه جذب، باز کاهش می‌یابد.

## حوزه های صوتی

- تاثیر عوامل مختلف بر زاویه گسترش




**شکل ۱۱- ۲: انواع مختلف زاویه‌های فرکانسی پروپ**

مثال: محاسبه طول منطقه نزدیک و زاویه انتشار در فولاد برای یک پروب فشاریMHz ۵ با قطر کریستال ۱۰mm:

$$\text{Near Zone} = \frac{D^2 f}{4V} = \frac{10^2 \times 5{,}000{,}000}{4 \times 5{,}920{,}000} == 21.1mm$$

(۱ -۲۰)

$$Sine\frac{\theta}{2} = \frac{KV}{Df} = \frac{1.08 \times 5920}{5000 \times 10} = 0.1278 \Rightarrow \theta = 7.35^o$$

## تضعیف

تضعیف جمع انرژی هایی است که بعلت جذب و پراکندگی از موج تابشی برداشته می‌شود. این کاهش با جنس ماده (ویسکوزیته)[1] و بسامد تابش بستگی دارد. اگر شدت و دامنه موج تابشی آغازین پیش از برخورد به بافت Io و Ao در فاصله (x=o) و در ژرفای x سانتی متر I و A باشد میان دو شدت و دو دامنه بستگی زیر وجود دارد. و $A = AO\ e^{-\mu x}$ ضریب تضعیف $I = Io\ e^{-\mu x}$ موج فراصوتی در یک ماده یا بافت است. در گذر انرژی فراصوتی از یک محیط برای نمونه یک بافت. اگر dB[2] را بر سانتیمتر بخش کنیم پایای بگونه dB/cm بدست می‌آید. این پایا به امپدانس صوتی، ویسکوزیته محیط و بسامد بستگی دارد. بنابراین می‌توان

[1] viscosity
[2] decibel

آنرا dB/cm/MHZ هم نشان داد. نام دیگر این یکا Neper/cm است. دیده می‌شود که هرچه محیط فشرده تر باشد کاهش بیشتر است. برای نمونه این ضریب برای ماهیچه بیشتر از خون است و این در سونوگرافی با ارزش است. برای نمونه اگر نگاره سونوگرافی را بررسی کنیم نقطه‌های روشن نشان دهنده بافت‌های نرم است، زیرا در اینجا کاهش کوچکتری نسبت به نقطه‌های تاریک انجام گرفته است و موج فراصوتی با انرژی بیشتری همراه است (یک کیست هیداتیک) در جایگاه‌های نقطه‌های تیره بافت‌های سخت تر وجود دارد و در این نقطه‌ها کاهش بیشتری داریم (مانند یک تومور). تغییرهای شدت موج فراصوتی بگونه ای نمائی (اکسپوتانسیل)[1] انجام می‌شود. نگاره‌های صوتی یا سونوگرام بر پایه بازتابش و کاهش انرژی بدست می‌آیند. برای نمونه اگر ۹۰٪ شدت فراصوت در گذر از یک سانتی متر بافت کاهش یابد، پس از پیمایش یک سانتیمتر تنها ۱۰٪ از شدت آن باقی می‌ماند و پس از پیمایش cm ۲ این اندازه به ۱٪ و پس از cm ۳ به ۰٫۰۱٪ و... می‌رسد. این کار را با بکارگیری دسی بل می‌توان نشان داد. پس از یک سانتیمتر:

$$dB = 10 \log_{10}{}^{۲}\ I۱/I$$

(۱ -۲۱)

$$(-1) = -10 \Rightarrow dB = -10\ {}^{*}dB = 10 \log_{10} 10/100 = 10$$

نشانه منفی، نمایشگر این است که با گذر موج از ماده از شدت آن کاسته می‌شود. با همین روش می‌توان دسی بل را پس از ۲ سانتیمتر به ترتیب - 2 dB و - 3dB به دست آورد. برای به دست آوردن اندازه کاهش انرژی فراصوت در گذر از یک فاصله در یک محیط ضریب تضعیف محیط را در فاصله گذر آن ضرب می‌کنند.کاهش انرژی در یک بافت در حالت‌های مختلف متفاوت است ولی در کاربرد آن را یکسان می‌گیرند.

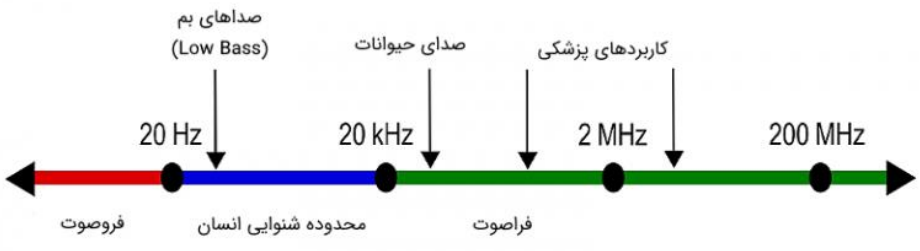
[1] Expotential

# فصل سوم

# مبانی آلتراسوند و کاربردهای آن

## آلتراسونیک

کلمه آلتراسونیک[1] به معنای ما فوق صوت است. محدوده فرکانس قابل شنیدن برای انسان ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز می‌باشد. محدوده فرکانس گفتاری نیز ما بین ۳۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز است. اما گوش انسان نسبت به اصوات با فرکانس‌های ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز حساسیت بیشتری دارد. به فرکانس صوتی پایین تر از ۲۰ هرتز فروصوت و به فرکانس‌های صوتی بالاتر از ۲۰ هزار هرتز فراصوت اطلاق می‌گردد.




**شکل ۱- ۳: طیف امواج مکانیکی صوتی، امواج صوتی با فرکانس‌های بیشتر از ۲۰ کیلوهرتز به فراصوت**

با اینکه فراصوت و فروصوت توسط انسان قابل شنیدن نمی‌باشند، اما فردی که در معرض آنها قرار می‌گیرد دچار احساس سرگیجه، تهوع و سردرد میگردد. اصوات به انواع دایمی وپیوسته (بلندی ثابت است مثل صدای سیستم تهویه هوا)، نوسانی (بلندی و یا فرکانس متغییراست مثل آژیر)، منقطع (مثل زنگ تلفن) و انفجاری (مثل شلیک گلوله) تقسیم بندی می‌گردند. سرعت صوت در هوا ۳۴۵ متر در ثانیه، در آب ۱۵۰۰ متر در ثانیه و در فلزات ۵۰۰۰ متر در ثانیه می‌باشد. هر قدر رطوبت هوا بیشتر باشد سرعت صوت نیز بیشتر است. کاهش قدرت شنوایی با عدم توانایی در تشخیص فرکانس‌های بالا (صدای زنان و کودکان) آغاز می‌شود. شدت و بلندی صدا با مقیاس دسی بل اندازه گیری می‌شود. شدت صوت به بزرگی نوسانات در فشار هوا که توسط امواج صوتی ایجاد می‌گردند، اطلاق می‌گردد. پایین ترین حد آن ۰ دسی بل است که آستانه شنوایی نامیده می‌گردد. مقیاس دسی بل لگاریتمی می‌باشد. به طوری که با افزایش هر ۱۰ دسی بل، شدت سر و صدا ۱۰ برابر می‌گردد. ادراک بلندی صدا نیز در انسان لگاریتمی است بطوری که به ازای هر ۱۰ دسی بل افزایش شدت، ادراک بلندی صدا نیز دو برابر می‌گردد. بنابراین شدت ۸۰ دسی بل یک میلیون بار شدید تر

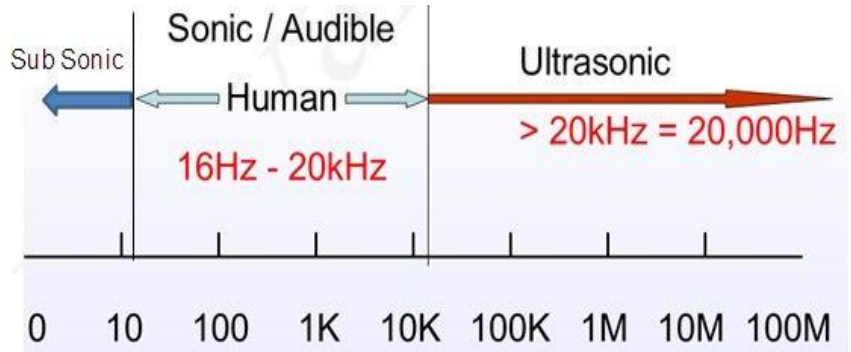
[1] ultrasonic

از ۲۰ دسی بل بوده و ۶۴ بار بلندتر می‌باشد. در غیاب هرگونه شیب از تابنده، سطح موثر دسی بل به میزان ۶ دسی بل به ازای ۲ برابر شدن فاصله، کاهش می‌یابد. برای مثال شدت صدای ۱۰۰ دسی بل در فاصله ۱۰ متری، در فاصله ۲۰ متری به ۹۴ دسی بل و در فاصله ۴۰ متری به ۸۸ دسی بل کاهش می‌یابد. به ازای هر ۳ دسی بل افزایش شدت صوت، میزان فشاری که به پرده صماخ گوش وارد می‌شود، ۲ برابر میگردد. دو فاکتور شدت صوت و طول مدت قرارگیری در معرض منبع صدا در آسیب به شنوایی انسان موثر می‌باشند. شدت صوت به ازای دو برابر شدن فاصله از منبع صوت به میزان ۶ دسی بل کاهش می‌یابد. عبارت موج التراسونیک برای امواج فراصوتی با دامنه‌های بسیار زیاد اعمال می‌شود. امواج هایپرسونیک امواج صوتی در فرکانس‌های بیشتر از ۱۰۱۳ هرتز است.

در چنین فرکانس‌های بالایی، انتشار موج به میزان زیادی مشکل می‌شود؛ در واقع، در فرکانس‌های بیش از ۱،۲۵ × ۱۰۱۳ هرتز، حرکت امواج طولی حتی در جسم مایع یا جامد غیرممکن است، زیرا مولکول‌های ماده ای که امواج در آن حرکت می‌کنند، نمی‌توانند ارتعاش را با سرعت مورد نظر انتقال دهند.

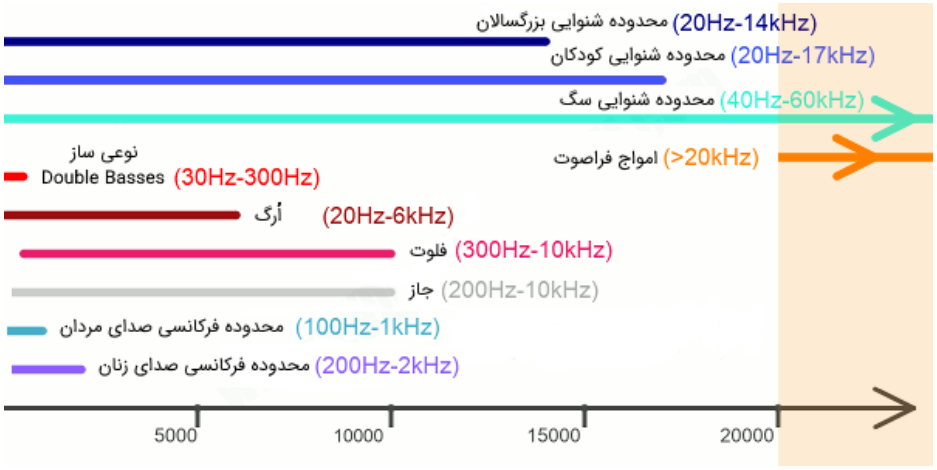
شکل فوق طیف ساده صوتی را نمایش می‌دهد. این طیف برخلاف طیف الکترو مغناطیسی که کمی پیچیده به نظر می‌رسد، بسیار ساده بوده و به صورت کلی می‌توانیم آن را به ۳ ناحیه زیر دسته بندی کنیم.

- امواج فرو صوت (Infrasound) با فرکانس‌های کمتر از 20 Hz 20 Hz
- ناحیه شنوایی (Hearing Range) انسان با فرکانس‌های بین 20 Hz20 Hz و 20 kHz20 kHz
- امواج فرا صوت (Ultrasound) با فرکانس‌های بیشتر از 20 kHz




**شکل ۲- ۳: امواج صوتی با فرکانس‌های بیشتر از ۲۰ کیلوهرتز به فراصوت**

همان‌طور که در شکل (۱- ۳) مشاهده کردید، سیستم شنوایی انسان تنها قادر است، امواج صوتی با فرکانس های بین 20 Hz تا 20 kHz را تشخیص دهد. البته این بازه با افزیش سن محدودتر شده و به طور میانگین یک انسان بالغ می‌تواند فرکانس هایی بین 20 Hz تا 14 kHz، را بشنود. از این حیث برخی مراجع آغاز ناحیه فراصوت را از حدود 14 kHz می‌دانند.
می‌توان گفت قبل از بررسی دقیق امواج در علم آکوستیک، صدا یا صوت را چیزی معنا کردند که انسان می‌شنید یا با آن حرف می‌زد. با پیشرفت این حوزه از علم و تعیین محدوده شنوایی انسان‌ها، دانشمندان امواج صوتی با فرکانس‌های کمتر از حد پایین شنوایی انسان را فرو صوت و فرکانس‌های بیشتر از حد بالای شنوایی انسان را فرا صوت نامیدند.




**شکل ۳- ۳: طیف فرکانسی امواج صوتی مختلف در محدوده شنوایی انسان**

فرض کنید که بر یک طبل به گونه‌ای ضربه می‌زنید که پوسته روی آن بیش از ۲۰ هزار مرتبه در ثانیه ارتعاش (نوسان) می‌کند. در این صورت شما علی رغم دیدن نوسان پوسته طبل، هیچ گونه صدایی نمی‌شنوید. بدیهی است که امواج مکانیکی صوتی با فرکانس ارتعاش پوسته طبل در حال انتشار هستند. فقط ساختار گوش شما قادر به شنیدن این صدا (صوت) نیست. اما ممکن است که حیواناتی نظیر سگ یا دلفین و ... این صدا را بشنوند.
محدوده فرکانس‌های مختلف امواج صوتی را نشان می‌دهد. همان طور که پیش تر اشاره کردیم، امواج صوتی که فرکانسی پایین تر از محدوده شنوایی انسان‌ها دارند، امواج فروصوت نامیده می‌شوند. امواج زمین لرزه از این دست امواج به حساب می‌آیند. هر موج شنوایی یا فراصوتی یک آشفتگی مکانیکی در یک محیط گاز، مایع و یا جامد است که به سوی بیرون

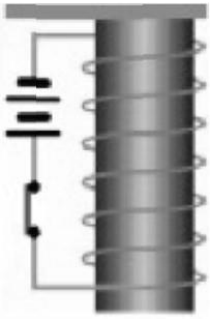
از چشمه صوتی و با سرعتی یکنواخت و معین حرکت می‌کند. در حرکت یا گسیل موج مکانیکی ماده منتقل نمی‌شود. اگر نوسان‌های ذره‌ها در راستای عمود بر گسیل موج باشد موج عرضی است، که بیشتر در جامدها رخ می‌دهد و اگر نوسان امواج در راستای گسیل امواج باشد موج طولی است. انتشار امواج در بافت‌های بدن به گونه امواج طولی است از این رو ما در پزشکی با این گونه امواج سرو کار داریم. اگر نوسان‌های پرده یک بلندگو را بررسی کنیم که با بسامد f نوسان می‌کند، می‌تواند چگونگی رفتار صوت را ارزیابی کرد. نوسان باعث ایجاد افزایش و کاهش موضعی فشار نسبت به فشار در محیط هوا می‌گردد. نقطه‌های با فشار بیشتر فشردگی و نقطه‌های کم فشار انبساط نامیده می‌شود. هنگام عبور امواج از ماده، ذره‌های موجود در ماده در اثر امواج در محل شان به پس و پیش و لرزه در می‌آیند، بگونه ای که انرژی تابیده در سوی موازی با لرزه ذره‌ها از ماده گذر می‌کند. ذره‌ها در درون ماده تنها حرکات پس و پیش را به پیروی از انرژی موج انجام می‌دهند. این ذره‌ها حرکت آزاد در درون ماده را پیدا نخواهد کرد. انرژی موجی که باعث حرکت ذره‌ها می‌گردد، هنگام گذر باعث به هم خوردن نظم و تعادل در ماده می‌شوند. ذره مادی در اثر نیرو از حالت آرامش یا تعادل در ماده خارج می‌شود.

## تولید امواج التراسونیک

امواج آلتراسونیک را به دو صورت طبیعی و مصنوعی می‌توان تولید نمود. بصورت مصنوعی می‌توان با استفاده از مبدل‌های مغناطیسی و مبدل‌های الکتریکی و در روش طبیعی از مواد دارای این خاصیت، مانند کوارتز تولید نمود. در این روش از مواد مغناطیسی استفاده می‌کنیم، که خصوصیات آنها به گونه ایی است که هنگامی که داخل میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، تغییر طول می‌دهند و با تغییر طول خود میدان مغناطیسی تولید می‌کنند و با این روش امواج التراسونیک تولید می‌کنند. برای مثال اگر بخواهیم نوسانی با فرکانس بیشتر از ۲۰ khz تولید کنیم، باید ۲۰۰۰۰ بار در ثانیه برق را قطع و وصل کنیم.

بدین صورت ۲۰۰۰۰ نوسان صورت می‌گیرد و امواج التراسونیک تولید می‌شود. این امواج با ذرات برخورد می‌کنند و موجب نوسان ذرات می‌شوند و امواج صوتی تولید می‌کنند. تولید امواج فراصوت از طریق روش‌های تولید امواج صوتی معمولی، نظیر ضربه زدن، دمیدن ساز و... غیرممکن است.

چرا که ما نمی‌توانیم به اندازه کافی سریع عمل کنیم تا موج با فرکانسی بیشتر از ۲۰ هزار بار در ثانیه منتشر شود. امروزه تولید امواج فراصوت به وسیله ادوات الکترونیکی موسوم به پیزوالکتریک[1] صورت می‌گیرد. به هنگام عبور جریان الکتریکی از پیزوالکتریک‌ها، کریستال (نظیر کوارتز) موجود در آنها با فرکانس بسیار زیادی ارتعاش می‌کند.



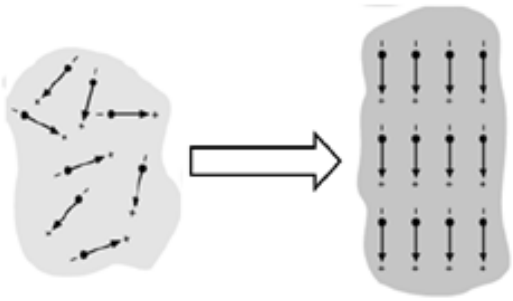
**شکل ۴- ۳: استفاده از مبدل‌های مغناطیسی جهت تولید امواج التراسونیک**

## مبدل‌های الکتریکی[2]

اولین بار جاس و بیرکوری کوارتز را در آزمایش‌های خود استفاده کردند، امروزه از سرامیک‌های پلاریزه بجای کریستال‌های کوارتز استفاده می‌شود. مواد الکترواستریکتیو[3] موادی هستند که هنگامی که داخل میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، تغییر طول می‌دهند و همچنین با تغییر طول آنها میدان الکتریکی ایجاد می‌شود مانند پیزو الکتریک ها. در واقع پیزو الکتریک‌ها انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی (ارتعاش) تبدیل می‌کند.

این وضعیت بخاطر وجود دوقطبی‌های مثبت و منفی ایی (Dipole) است که در حالت عادی در جهت خاصی قرار گرفته‌اند و با اعمال میدان الکتریکی، جهت می‌گیرند که باعث افزایش یا کاهش طول می‌شود.

[1] Piezoelectric
[2] Electro- Strictive Transducer
[3] Electrostatic

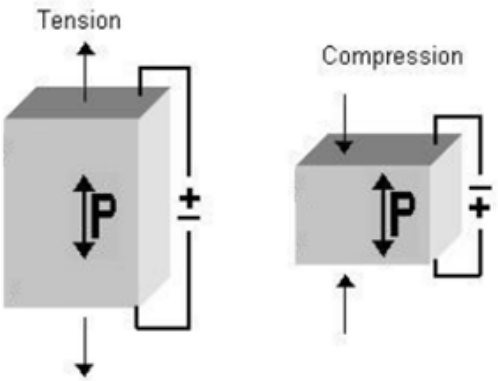


**شکل ۵- ۳: استفاده از مبدل‌های مغناطیسی جهت تولید امواج التراسونیک**

با تغییر در ضخامت و در معرض جریان الکتریسیته قرار دادن کریستال‌ها می‌توان ارتعاشاتی با فرکانس‌های متفاوت بدست آورد. فرکانس بستگی به ضخامت کریستال و سرعت صوت در آن دارد. با فرمول زیر نیز می‌توان ضخامت کریستال را محاسبه کرد:

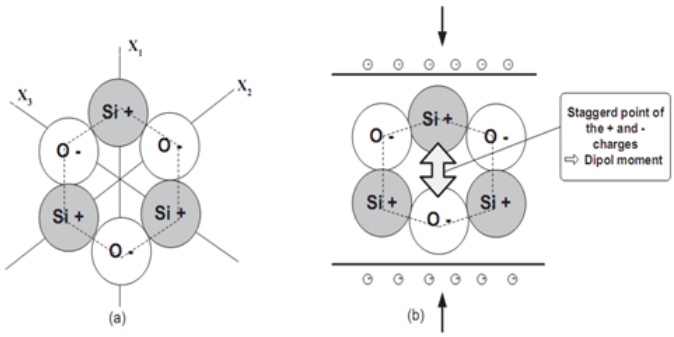
T: ضخامت کریستال/ V: سرعت صوت در کریستال/ F: فرکانس امواج التراسونیک

در تست‌های التراسونیک امواج تولید شده توسط پیزوالکتریک داخل قطعه با سرعت مشخص منتشر می‌شود که این سرعت بستگی به چگالی و الاستیسیته‌ی ماده دارد.




**شکل ۶- ۳: استفاده از مبدل‌های پیزوالکتریک جهت تولید امواج التراسونیک**

لیتیم سولفات، تیتانات باریم، سرب زیرکونیوم تیتانات و سرامیکهای پلاریزه شده نمونه هایی از پیزوالکتریک‌های مصنوعی می‌باشند. بصورت طبیعی جهت تولید امواج التراسونیک بصورت طبیعی می‌توان از پیزوالکتریک‌های طبیعی مانند کوارتز ($SiO_2$) استفاده کرد.در کریستال کوارتز سه محور قطبی وجود دارد (X1,X2,X3) که دارای ساختار هگزاگونال است. بار هر اتم سیلیکون ۴+ و بار هر اتم اکسیژن ۲- می‌باشد.




**شکل ۷- ۳: ساختار کوارتز**

## حسگرهای آلتراسونیک

برای استفاده از امواج فراصوت از حسگرهایی استفاده می‌شود که این حسگرها بر اساس محدوده فرکانسی خود به دو دسته صنعتی و غیر صنعتی تقسیم بندی می‌شوند. حسگرهای فراصوت غیر صنعتی در محدوده فرکانسی ۴۰ کیلو هرتز و حسگرهای صنعتی در حد مگا هرتز هستند. حسگرهای آلتراسونیک معمولا دارای یک فرستنده و یک گیرنده آلتراسونیک هستند. امواج فرستاده شده از حسگر پس از برخورد با یک مانع به حسگر بر می‌گردند و توسط گیرنده حسگر دریافت می‌شوند. از این طریق و با در نظر گرفتن زمان بازگشت موج و کیفیت امواج بازتابی می‌توان به اطلاعاتی راجع به عمق، نوع و سرعت مانع به دست آورد. حسگرهای فراصوت مزیت‌های فراوانی دارند مانند نویز پذیری کم، استفاده در شرایط نوری مختلف و..... یک سنسور التراسونیک غالبا دارای یک فرستنده و یک گیرنده امواج التراسونیک می‌باشد، که این امواج بعد از برخورد با یک مانع منعکس شده و به طرف سنسور برمی گردند و با توجه به زمان بازگشت و همچنین کیفیت امواج بازتابش شده به فاکتورهایی همچون فاصله تا مانع، نوع مانع و سرعت مانع دست پیدا می‌کنیم. لازم به ذکر است که هر ماده ای به یک کیفیت خاص امواج التراسونیک را از خود عبور و مقداری از آن را باز تابش می‌دهد. سنسور آلتراسونیک یا ماوراء صوت یکی دیگر از سنسورهای غیر تماسی و مجاورتی یا پراگسیمیتی میباشد در کاربردهای گوناگون آشکار سازی اجسام تا اندازه گیری فاصله یا سطح سنجی به کار میرود. به طور معمول سنسورهای آلتراسونیک با ارسال یک پالس صوتی کوتاه در فرکانس فراصوت به سمت هدفی که این پالس را منعکس میکند و دریافت و شناسائی این امواج به شکل یک ترانسیور عمل کرده و در مدل هایی که فاصله

را محاسبه میکنند با اندازه گیری اختلاف زمانی ارسال و دریافت پالس میتوانند به فاصله یاب تبدیل شوند. مزایای تشخیص اولتراسونیک عبارتند از: بدون درد، آسیب، روش ساده، تصویر واضح و دقت بالا تشخیص بنابراین، آن را آسان به محبوب و استقبال از کارگران پزشکی و بیماران است. تشخیص اولتراسونیک می‌تواند بر مبنای اصول مختلف پزشکی باشد که متشکل از روش نوعی به اصطلاح است. این روش استفاده از انعکاس اولتراسونیک است. هنگامی که امواج التراسونیک در بدن انسان برای دیدار با امپدانس آکوستیک دو لایه رابط رسانه‌های مختلف، این رابط تولید انعکاس انعکاس می‌دهد. هر بار که منعکس کننده مواجه می‌شود،Echo روی صفحه ای از اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود، و اختلاف امپدانس دو رابط، دامنه اکو را تعیین می‌کند. برای شناسایی اجسام با سطح صاف و ناصاف، زاویه سنسور التراسونیک با سطح جسم باید ۹۰ درجه با تلورانس ۳ درجه باشد. از سوی دیگر جسم ناصاف می‌تواند انحراف زاویه بیشتری داشته باشد. برای سنسور آلتراسونیک جسم ناصاف به جسمی اطلاق می‌شود که ارتفاع پستی و بلندی آن بزرگتر یا مساوی طول موج سیگنال ارسالی باشد. در این حالت امواج منعکس شده در گستره بیشتری منعکس می‌شوند بنابراین رنج کاری کمتر می‌شود. درحالتی که جسم مورد نظر ناصاف باشد ماکزیمم انحراف زاویه قابل قبول و بیشترین محدوده شناسایی ممکن باید با آزمون و خطا مشخص شود.

## نحوه‌ی اثر دهی امواج فراصوت

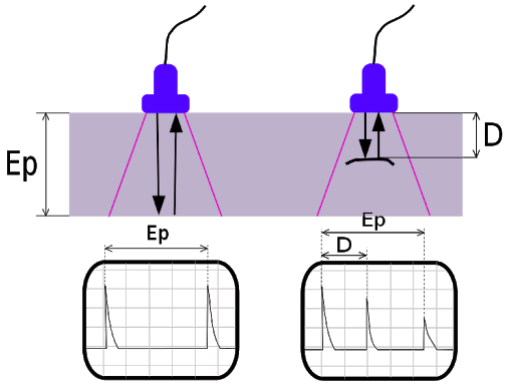
مستقیم[1]: که در آن پروب مستقیما در نمونه مورد نظر قرار می‌گیرد.
غیرمستقیم[2]: که در آن پروب در تماس مستقیم نیست و انرژی آن از طریق یک محیط واسطه به نمونه انتقال می‌یابد. این روش برای نمونه‌های با حجم خیلی کم به کار می‌رود تا نمونه به بیرون پاشیده نشود.

## طبقه بندی اولتراسونیک

معمولا برای طبقه بندی کاربردهای اولتراسوند میزان انرژی ایجاد شده ناشی از آن مد نظر قرار میگیرد.

[1] Directly
[2] Indirectly

- اولتراسوند کم انرژی یا غیرمخرب[1] (فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ کیلوهرتز): معمولا تغییرات فیزیکی و شیمیایی زیاد و شدیدی ایجاد نمی‌کند و انرژی زیر $1\ W/cm^2$ ایجاد می‌کند.
- اولتراسوند با انرژی بالا یا مخرب[2] (فرکانس‌های بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز): که تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن تا حدی است که حتی ساختار را نیز می‌تواند تغییر دهد. با افزایش فرکانس انرژی امواج صوتی کم می‌شود. معمولا با کوچک کردن قطر نوک پروب می‌توان شدت فرکانس را افزایش و انرژی حاصل را کم کرد. امواج اولتراسوند توسط اثر پیزوالکتریک ناشی از ارتعاشات کریستال‌های قرار داده شده در سر دستگاه ایجاد می‌شوند.




**شکل ۸- ۳: مکانیزم عملکرد امواج التراسوند**

امواج التراسوند از پوست عبور کرده و باعث لرزش بافت‌های نرم می‌شوند. این ارتعاشات می‌تواند باعث گرم شدن عمقی بافت‌ها شود، هرچند بیمار این گرما را حس نخواهد کرد. در شرایطی که حرارت دیدن یک عضو برای بیمار مناسب نمی‌باشد. مثل آسیب‌های تازه که دچار التهاب حاد شده‌اند. امواج اولتراسوند می‌توانند به‌صورت متناوب بر بافت دلخواه اثر بگذارند. رایج‌ترین شرایطی که در آن‌ها از درمان اولتراسوند استفاده می‌شود، صدمات بافت‌های نرم بدن می‌باشد، مانند التهاب تاندون‌ها (تاندونیت)، تورم غیر حاد مفاصل و اسپاسم یا گرفتگی عضلات. اولتراسوند درمانی در درمان اغلب آسیب‌های وارده به عضلات و رباط‌ها می‌تواند مؤثر باشد. همچنین می‌توان از امواج التراسوند بهره گرفت تا داروهای خاصی را به بافت‌های عمیق بدن انتقال داد. در این روش داروها را به بافت‌های زیرپوست

[1] Non destructive
[2] Destructive

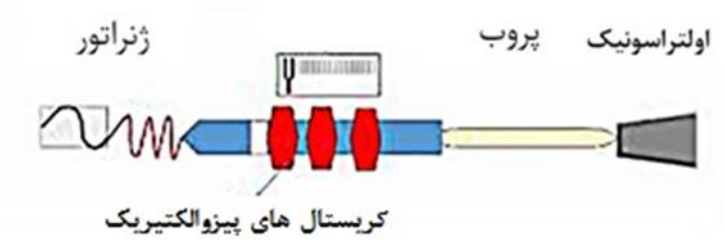
انتقال می‌دهند. این روش برای بیمارانی که نمی‌خواهند تزریق انجام بدهند، یا منعی برای تزریق دارند، بسیار مناسب است. از طریق این روش، انرژی ما فوق صوت، دارو را از طریق پوست به بخش‌های عمقی زیرپوست می‌رساند. داروهای کورتونی که برای کاهش التهاب استفاده می‌شوند، می‌توانند از این طریق به بافت‌های عمیق زیرپوست انتقال یابند. امروزه از نیروی فراصوت به عنوان یک تکنولوژی جدید ( از ابتدای قرن بیستم ) و امید بخش برای فراوری مواد غذایی در صنعت بهره برداری می‌شود.

این دستگاه مولد امواج فراصوت دارای سه قسمت اصلی است:

- ژنراتور: در ژنراتور نیروی الکتریکی لازم و فرکانس جریان الکتریکی که پارامترهای موثر بر شدت امواج فراصوت می‌باشد تنظیم میشود بایستی توجه داشت که جریان الکتریکی از نوع متناوب یا AC می‌باشد. در واقع ژنراتور ولتاژ لازم را برای فرکانس‌های بالاتر از ۲۰ کیلو هرتز فراهم می‌کند و آن را به سمت مبدل انتقال می‌دهد

- مبدل: در واقع شامل پیزوالکتریک یا المنت‌های کریستالی است که با اتصال جریان الکتریکی مرتعش می‌شوند و درواقع نیروی الکتریکی را به نیروی مکانیکی تبدیل میکنند

- پروب: پروب در واقع رابط بین مبدل و محیط انتشار دهنده امواج فراصوت است که به مبدل متصل شده و بوسیله آن امواج تقویت می‌شوند.




**شکل ۹- ۳: دستگاه مولد امواج فراصوت**

دو نوع اصلی اولتراسوند تراپی وجود دارد، حرارتی و مکانیکی:

در هر دو مورد، امواج صوتی تولیدشده از طریق سر مبدل دستگاه (که کمی شبیه یک میکروفون است) در بافت‌های نرم نفوذ می‌کنند. تفاوت بین این دو روش، نرخ نفوذ امواج صوتی در بافت‌ها می‌باشد.

## اولتراسوند حرارتی

در اولتراسوند حرارتی انتقال متناوب امواج صوتی بیشتر است. امواج صوتی باعث ارتعاشات میکروسکوپی در مولکول‌های بافت‌های عمیق می‌شوند، این امر باعث افزایش حرارت و جنب وجوش مولکول‌ها می‌شود. در اثر گرم شدن بافت، فرایندهای ترمیمی تحریک شده و سوخت و ساز در سطح سلول‌ها افزایش می‌یابد. زمانی که امواج اولتراسوند از سر دستگاه به پوست منتقل می‌شوند، باعث لرزش بافت‌های مجاور می‌گردند، به خصوص بافت هایی که حاوی کلاژن هستند. این افزایش ارتعاش، منجر به تولید گرما در داخل بافت‌ها می‌شود. در اغلب موارد این گرما توسط خود بیمار حس نخواهد شد. این افزایش دما می‌تواند باعث افزایش بهبود سازه هایی مانند رباط ها، تاندون ها، بافت‌های اسکار و کپسول لیفی مفاصل شود. علاوه بر این، گرمای تولیدشده می‌تواند موجب کاهش درد و اسپاسم عضلات و افزایش سرعت ترمیم بافت‌ها شود.

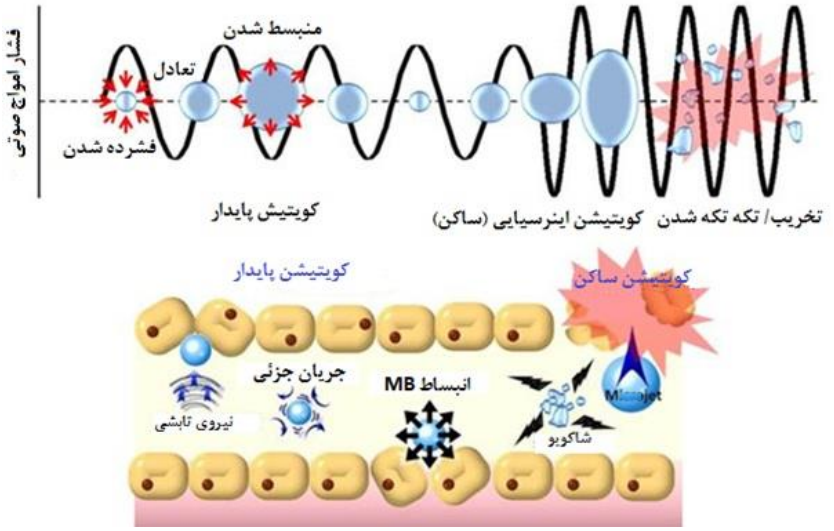
## اولتراسوند مکانیکی

در اولتراسوند مکانیکی امواج صوتی به‌صورت پالس هایی از انرژی، جهت نفوذ در بافت‌ها به منطقه هدف ارسال می‌شوند. در عین حالی که این روش باعث گرم شدن جزئی بافت می‌شود، حباب‌های میکروسکوپی ایجاد شده درون بافت‌ها دچار انقباض و انبساط‌های پی در پی می‌شوند. این کار باعث می‌شود التهاب و تورم بافت کاهش یافته و در نتیجه درد فروکش کند.

فراصوت امواج مکانیکی مانند صوت ۲ است که بسامد آن بیش از ۲۰ هزار هرتز است. این امواج را می‌توان با استفاده از نوسانگر پیزوالکتریک[1] یا نوسانگر مغناطیسی تولید کرد. خاصیت پیزوالکتریک عبارت است از ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو طرف یک بلور هنگامی که آن بلور تحت فشار یا کشش قرار گیرد و نیز انبساط و انقباض آن بلور هنگامی که تحت تاثیر یک میدان الکتریکی واقع شود. بنابراین هرگاه از یک بلور کوارتز تیغه متوازی السطوحی عمود بر یکی از محورهای بلور تهیه کنیم و این تیغه را میان دو صفحه نازک فولادی قرار دهیم و آن دو صفحه را به اختلاف پتانسیل متناوبی وصل کنیم، تیغه کوارتز با همان بسامد جریان منبسط و منقبض می‌شود و به ارتعاش درمی آید و در نتیجه امواج

[1] Piezoelectric

فراصوت تولید می‌کند. پدیده پیزوالکتریک در سال ۱۸۸۰ به وسیله پیرکوری کشف شد و از آن علاوه بر تولید امواج فراصوتی، در میکروفن‌های کریستالی و فندک استفاده می‌شود.
امواج فراصوتی دارای انرژی بسیار زیاد است و می‌تواند سبب بالا رفتن دمای بافت‌های بدن انسان، سوختگی و تخریب سلول‌ها شود. از این امواج در دریانوردی، صنعت و پزشکی استفاده می‌شود. در پزشکی برای تشخیص، درمان و تحقیقات این امواج را به کار می‌برند. دستگاهی که برای عکسبرداری به کار می‌رود اکوسکوپ یا سونوسکوپ است. اساس کار عکسبرداری با امواج فراصوت بازتابش امواج است در این عمل دستگاه گیرنده و فرستنده موجود است و از بسامدهای میان یک میلیون تا پانزده میلیون هرتز استفاده می‌کنند. دستگاه مولد ضربه‌های موجی در زمان‌های بسیار کوتاه یک تا پنج میلیونیم ثانیه را در حدود ۲۰۰ ضربه در ثانیه می‌فرستد و این ضربه‌ها در بدن نفوذ می‌کند و چنانچه به محیطی برخورد کند که غلظت آن با محیط قبلی متفاوت باشد پدیده بازتابش روی می‌دهد و با توجه به غلظت نسبی دو محیط مقداری از انرژی ضربه‌های فراصوت بازتابش می‌شود. دستگاه گیرنده این امواج را دریافت می‌کند و به کمک دستگاه الکترونی و یک اسیلوسکوپ آن را به نقطه یا نقاط نورانی به تصویر تبدیل می‌کند. عکسبرداری با فراصوت را برای تشخیص بیماری‌های قلب، چشم، اعصاب، پستان، کبد و لگن انجام می‌دهند.
امواج فراصوت از طریق مکانیسم‌های فیزیکی مکانیکی و شیمیایی باعث غیرفعال شدن باکتری‌ها می‌گردد در طی انفجار حباب‌ها مقدار زیادی انرژی تولید می‌شود که فشارها و گرادیان فشار حاصل از آن به طریق مکانیکی باعث تضعیف و در نتیجه تخریب دیواره سلولی باکتری‌ها میشود. البته اثر رادیکال‌های تولیدی بر روی عوامل بیولوژیکی نیز وجود دارد رادیکال‌ها ساختار شیمیایی دیواری سلول باکتریایی حمله کرده و باعث تضعیف و تخریب دیواره سلولی می‌گردند. اما عمده ترین اثر برای از بین بردن عوامل بیولوژیک اثرات مکانیکی است که به علت انفجار، حباب هایی ایجاد می‌شود که غشای سلولی ارگانیسم‌ها در اثر شدت ایجاد شده متلاشی می‌شود این اثرات شامل تخریب کامل و یا مرگ میکرو ارگانیسم‌ها و موجودات زنده بزرگتر و پارگی و از اضمحلال غشای سلول است که موجب مرگ سلول می‌گردد.



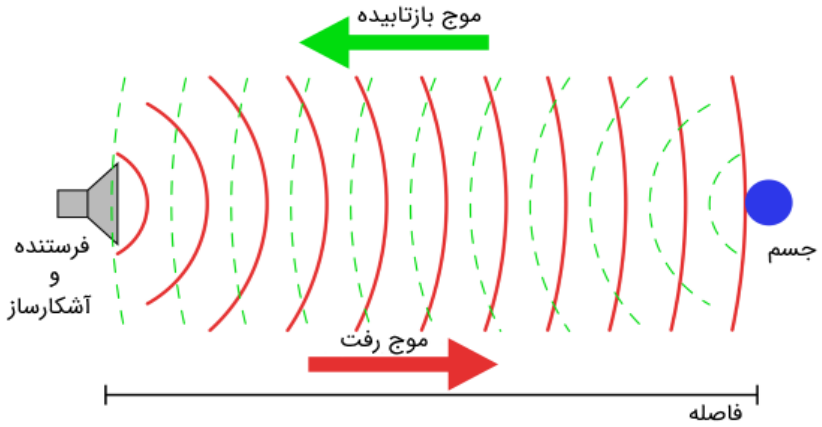

**شکل ۱۰- ۳: فشار امواج صوتی بر روی تخریب دیواره سلولی**

## اثر داپلر

هنگامی که امواج صوتی یا فراصوتی به یک دیواره سخت برخورد نمایند بازتاب می‌کنند. در این بازتاب چنانچه چشمه تابش صوت و گیرنده ثابت باشند بسامد امواج تابنده و بازگشتی با هم برابرند. اگر گیرنده به سوی چشمه موج حرکت کند و یا چشمه موج به سوی گیرنده حرکت نماید. چشمه موج و گیرنده به هم نزدیک شوند. طول موج بازتاب یافته فشرده شده و بسامد آن افزایش می‌یابد. بر عکس اگر گیرنده یا چشمه موج حرکت کرده و فاصله آنها زیاد شود بسامد موج بازتاب کاهش می‌یابد. با توجه به این که سرعت گسیل فراصوت ثابت است، تغییر در طول موج به گونه ای مستقیم بر بروی بسامد اثر خواهد گذاشت. این اثر داپلر خوانده می‌شود. هنگامی که قطاری با سرو صدای زیاد به شما نزدیک و سپس دور می‌شود تغییر بسامد بوق قطار که بگونه پیوسته نواخته می‌شود، به علت اثر داپلر به آسانی تشخیص دادنی است. پدیده داپلر در تشخیص پزشکی با به کارگیری فراصوت ارزش فراوانی دارد که پس از این درباره آن گفتگو خواهد شد.

جهت برقراری تساوی باید سرعت موج را به عنوان ضریب تناسب انتخاب کنیم. از آنجایی که فرکانس امواج فراصوت بیشتر از امواج صوتی معمولی (ناحیه شنوایی انسان‌ها) است، طبق رابطه فوق، نتیجه می‌شود که طول موج امواج مذکور کوتاه‌تر از امواج صوتی معمولی

است. کوتاه بودن طول موج به منزله بازتاب بهتر از سطوح مختلف است که همین امر باعث کاربرد این امواج در زمینه‌های مختلف شده است. شاید بدون اغراق به توان گفت، بیشترین کاربرد امواج فراصوت در علم پزشکی در دستگاه‌های سونوگرافی است.




**شکل ۱۱- ۳: امواج صوتی با طول موج کوتاه (فرکانس بالا) بیشتر از امواج صوتی معمولی بازتاب می‌شوند**

تولید امواج فراصوت از طریق روش‌های تولید امواج صوتی معمولی، نظیر ضربه زدن، دمیدن ساز و... غیرممکن است. چرا که ما نمی‌توانیم به اندازه کافی سریع عمل کنیم تا موج با فرکانسی بیشتر از ۲۰ هزار بار در ثانیه منتشر شود. فراصوت به روش‌های گوناگونی تولید می‌شود که از آنها می‌توان دو روش پیزوالکتریسیته[۱] و مگنتواستریکسیون[۲] را نام برد.

## انواع پروب های فراصوتی

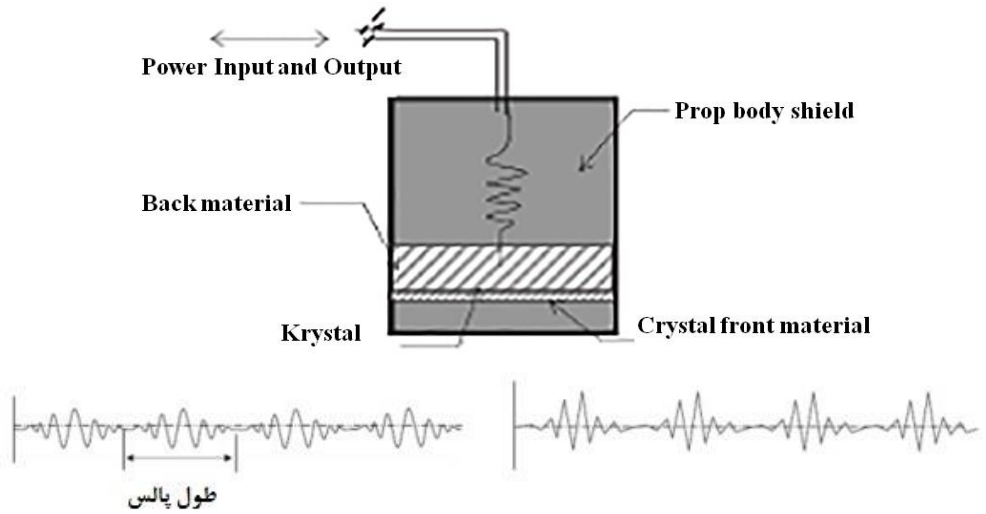
- پیزوالکتریک[۳]
- مگنتوستریکشن[۴]
- فازی آرایه های[۵]
- خازنی[۶]
- الکترومغناطیس- آکوستیک[۱]

[1] Piezoelectricity
[2] Magnetostriction
[3] piezoelectric
[4] Magnetostriction
[5] phased arrays
[6] capacitive

- لیزر

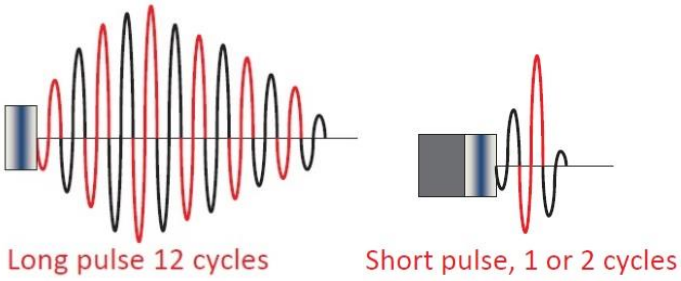
## اثر پیزوالکتریسیته

اثر فشاربرقی یا پیزوالکتریسیته در سال ۱۸۸۰ توسط دو برادر و دانشمند فرانسوی، ژاک کوری و پیر کوری کشف شد. آن‌ها برای نخستین بار دریافتند که فشار وارد شده به کوارتز یا حتی برخی از بلورهای خاص باعث ایجاد بار الکتریکی در آن ماده خاص می‌شود. این پدیده عجیب و علمی بعدها به عنوان اثر پیزو الکتریک شناخته شد. بر هم کنش فشار مکانیکی و نیروی الکتریکی را در یک محیط اثر پیزو الکتریسیته می‌گویند. فشردن برخی از بلورها در راستای ویژه ای از بلور نیروی الکتریکی ایجاد می‌کند و بر عکس ایجاد اختلاف پتانسیل درد و سوی همین بلور و در همان راستا، باعث فشردگی و یا انبساط آن میگردد یا به زبان دیگر تغییر بعد در آن به وجود می‌آورد.اثر پیزوالکتریسیته تنها در بلورهایی که دارای تقارن مرکزی نیستند وجود دارد. راستایی که در آن کشش یا فشار پلاریزاسیونی به موازات نیروی وارده پدید می‌آورد، محور پیزوالکتریک یا محور الکتریکی بلور نامیده می‌شود و مواد دارای این ویژگی را مواد پیزوالکتریک می‌گویند.




**شکل ۱۲- ۳: ساختمان پروب پیزوالکتریک**

[1] EMAT




**شکل۱۳- ۳: پالس پیزوالکتریک**

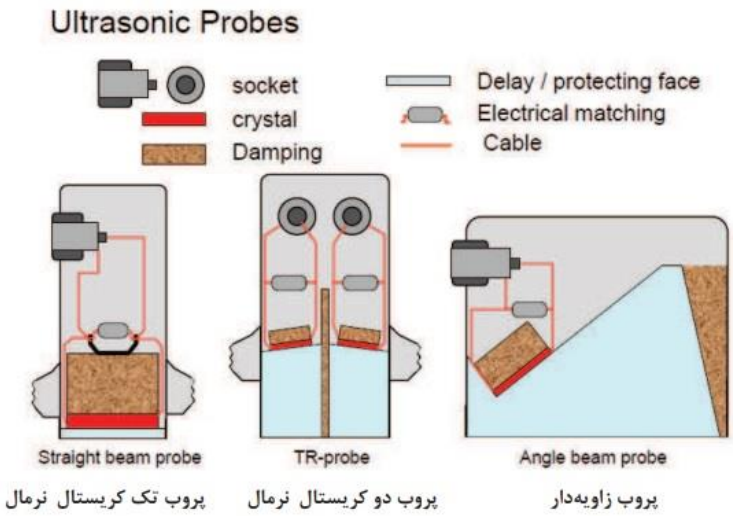
امروزه تولید امواج فراصوت به وسیله ادوات الکترونیکی موسوم به پیزوالکتریک (Piezoelectric) صورت می‌گیرد. به هنگام عبور جریان الکتریکی از پیزوالکتریک ها، کریستال (نظیر کوارتز) موجود در آنها با فرکانس بسیار زیادی ارتعاش می‌کند. کریستال‌های پیزوالکتریک در جهت معکوس نیز توانایی کار کردن را دارند. در کارهای تشخیصی همیشه پرتوهای باریکی از امواج فراصوتی نیاز می‌باشند چنین پرتو هایی به وسیله یک صفحه پیزوالکتریک که با دو الکترود صفحه ای موازی انگیخته می‌شوند تولید می‌گردند. یک بلور را می‌توان با بکارگیری یک ولتاژ با بسامد بسیار بالا انگیخته نموده و مجبور به نوسان کرد.در بلور بسامدی که بیشترین شدت را تولید می‌کند بسامد تشدید گفته می‌شود. تشدید یک ویژگی موج است که در آن شدت موج در حقیقت به علت هم آمیزی موجهای همانند افزایش می‌یابد.تشدید هنگامی رخ می‌دهد که کلفتی بلور برابر نیمی از طول موج و یا شمار فردی از نیم طول موج باشد.

به عبارت دیگر، با برخورد امواج فراصوت به کریستال‌های پیزوالکتریک، به سطح کریستال‌های مذکور فشار وارد شده و در نتیجه جریان کوچکی تولید می‌شود. بدین ترتیب با استفاده از مبدل‌های پیزوالکتریک[1]، می‌توانیم چشمه تولید امواج فراصوت و آشکار ساز این امواج را در اختیار داشته باشیم. همان طور که بیان کردیم، مبدل‌های پیزوالکتریک در پاسخ به جریان الکتریکی می‌توانند امواج فراصوت را تولید کنند. نوعی دیگر از کریستال‌ها وجود دارند که در پاسخ به میدان مغناطیسی می‌توانند امواج فراصوت را تولید کنند. چنین کریستال هایی به کریستال‌های مغناطیسی موسوم هستند و عبارت کلی‌تر

[1] Piezoelectric transducers

magnetostrictive transducers به معنی تحت الفظی مبدل‌های مغناطیسی، برای آنان به کار می‌رود.

## انواع پروب های پیزوالکتریک




**شکل ۱۴- ۳: انواع پروب های پیزوالکتریک**

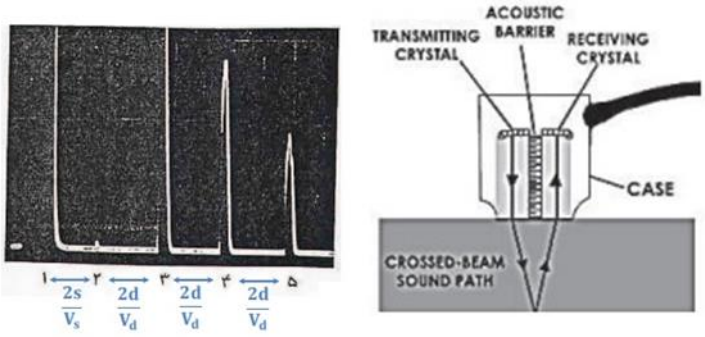
### پروب تک کریستال عمودی یا نرمال (normal probe, normal- beam transducer)

**شکل ۱۵- ۳: ساختمان پروپ تک کریستال**

### پروپ دو کریستاله عمودی یا نرمال (پروپ T/R) (double crystal probe or transducer)

۱. شناسایی عیوب نزدیک یه سطح

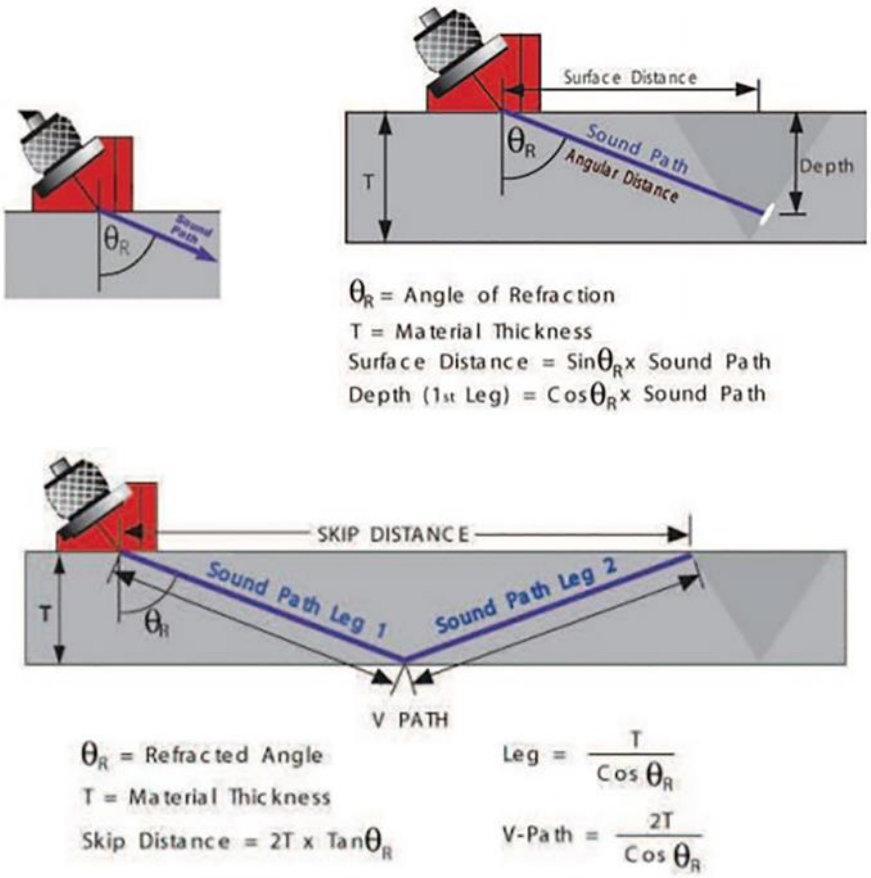
۲. ضخامت سنجی




**شکل ۱۶- ۳: ساختمان پروپ دو کریستال**

## پروب زاویه دار (angle- beam probe or transducer)

۱. ایندکس پروب: محور پرتو صوتی که نشان دهنده حداکثر فشار صوت است در کنار پروب حک می‌شود.
۲. زاویه پروب ($R_T$) و فاکتور $\tan(R_T)$ فقط در موادی با سرعت 3230 s/m برای امواج عرضی معتبر است.
۳. نتایج روی صفحه CRT وقتی معتبر است که زاویه $R_T$ بزرگتر از ۳۳/۲° باشد.
۴. معمولا زوایای پروب ۳۵°، ۴۵°، ۶۰°، ۷۰°، ۸۰°، ۹۰° (پروب امواج سطحی) مورد استفاده قرار میگیرد.
۵. یک فاکتور مهم در استفاده از پروبهای زاویه دار فاصله جهش است.

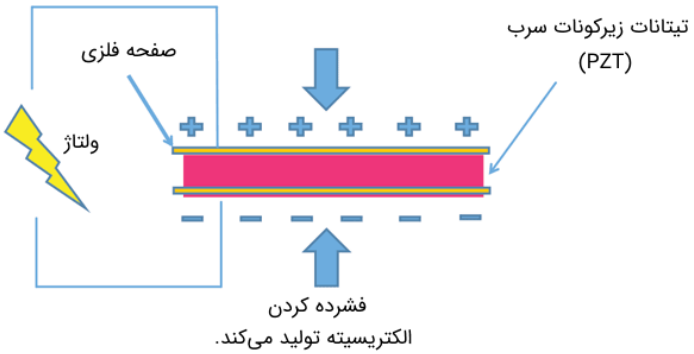



**شکل ۱۷- ۳: پروب زاویه دار و فاصله جهش آنها**

## اثر پیزوالکتریک مستقیم

فشرده کردن یک ماده پیزوالکتریک، الکتریسیته (پیزوالکتریسیته) تولید می‌کند. مواد پیزوسرامیک، بلور یا سرامیک پیزوالکتریک نارسانا، بین دو صفحه فلزی قرار داده می‌شوند. برای اینکه پیزوالکتریسیته ایجاد گردد، لازم است ماده فشرده شود. فشار مکانیکی وارد شده به مواد سرامیکی پیزوالکتریک باعث تولید الکتریسیته می‌شود. یک اختلاف پتانسیل الکتریکی در سراسر این ماده وجود دارد. بلور پیزو بین دو صفحه فلزی قرار دارد. صفحات فلزی با جمع کردن بار الکتریکی، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کنند (پدیده پیزوالکتریسیته). به این ترتیب، اثر پیزوالکتریک به دلیل تولید الکتریسیته، همانند یک

باتری کوچک عمل می‌کند (اثر پیزوالکتریک مستقیم). درمیکروفون ها، سنسورهای فشار، هیدروفون‌ها و بسیاری از دیگر انواع وسایل حسگر، از اثر پیزوالکتریک مستقیم استفاده می‌شود.

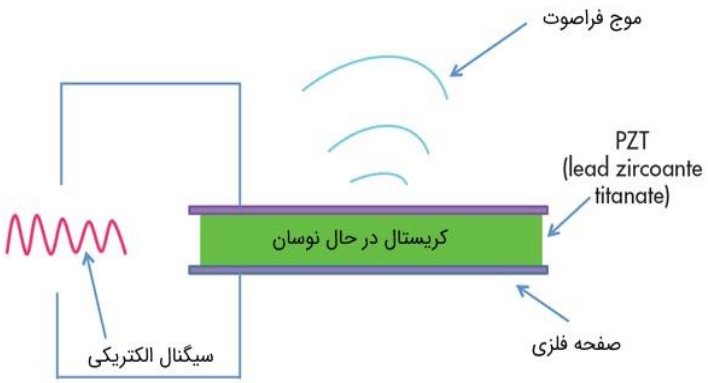



**شکل ۱۸- ۳: وارون اثر پیزوالکتریک با اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به بلور پیزوالکتریک**

## پیزوالکتریک معکوس

اثر پیزوالکتریک می‌تواند به صورت وارونه نیز اتفاق بیفتد. در واقع، می‌توان با اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به بلور پیزوالکتریک، آن را منقبض یا منبسط کرد (شکل۱۷- ۳) که در این صورت، انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود. این پدیده اثر پیزوالکتریک معکوس[1] نامیده می‌شود.

[1] Inverse Piezoelectric Effect




**شکل ۱۹- ۳: اثر پیزوالکتریک معکوس کریستال در حال نوسان**

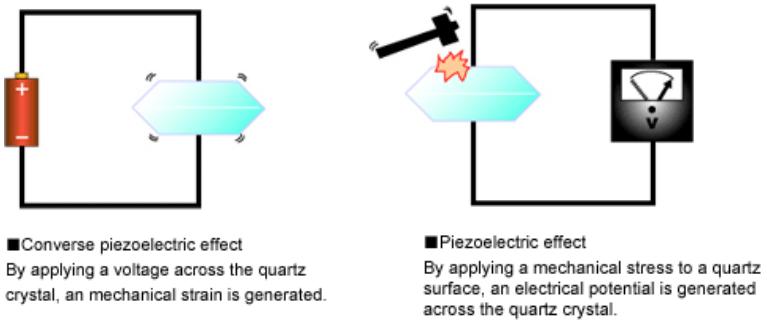
استفاده از اثر پیزوالکتریک معکوس می‌تواند به توسعه ابزاری کمک کند که امواج صوتی تولید می‌کنند. بلندگوها (که عموماً در وسایل دستی یافت می‌شوند) یا زنگ اخبارها، نمونه‌هایی از ابزار صوتی پیزوالکتریک هستند. مزیت چنین بلندگو هایی این است که بسیار نازک هستند و باعث می‌شوند در گستره تلفن‌ها مفید واقع شوند. در مبدل‌های فراصوت پزشکی و سونار (ردیاب صوتی) نیز از اثر پیزوالکتریک معکوس استفاده می‌شود. موتورها و محرک‌ها نیز از جمله ابزارهای غیرصوتی هستند که در آن‌ها اثر پیزوالکتریک معکوس حائز اهمیت است.

## مواد پیزوالکتریک

مواد پیزوالکتریک موادی هستند که به واسطه فشار مکانیکی، می‌توانند الکتریسیته تولید کنند. همچنین، هنگامی که اختلاف پتانسیل الکتریکی (الکتریسیته) به آن‌ها اعمال می‌شود، این مواد تغییر شکل می‌دهند. تمام مواد پیزوالکتریک نارسانا هستند و می‌توان آن‌ها را به دو گروه بلورها و سرامیک‌ها تفکیک کرد. تیتانات زیرکونات سرب (PZT)، تیتانات باریم و نیوبات لیتیم نمونه هایی از مواد پیزوالکتریک هستند. این مواد مصنوعی، اثر چشمگیرتری نسبت به کوارتز و سایر مواد پیزوالکتریک طبیعی دارند. تیتانات زیرکونات سرب در مقایسه با کوارتز (نخستین ماده پیزوالکتریک شناخته شده) اختلاف پتانسیل بیشتری را به ازای همان مقدار فشار مکانیکی اعمال شده، تولید می‌کند. همچنین، اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به PZT تحرک بیشتری را فراهم می‌سازد. تیتانات زیرکونات

سرب در سال ۱۹۵۲ توسط مؤسسه فناوری توکیو[1] تولید شد. این ماده از دو عنصر شیمیایی سرب و زیرکونیوم و یک ترکیب شیمیایی به نام تیتانات در دماهای بالا ساخته و تولید می‌شود و فرمول شیمیایی آن به صورت:

(Pb [Zr(x) Ti (1- x)] O3Pb [Zr(x) Ti (1- x)] O3) است. معمولاً برای ساخت مبدل‌ها فراصوت، خازن‌های سرامیکی و سایر سنسورها و محرک‌ها از PZT استفاده می‌شود. تیتانات باریم یک ماده سرامیکی فِروالکتریک[2] است که ویژگی‌های یک ماده پیزوالکتریک را دارد. به همین دلیل، نسبت به اکثر مواد پیزوالکتریک، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. فرمول شیمیایی این ماده BaTiO3BaTiO3 است و در سال ۱۹۴۱ در طول جنگ جهانی دوم کشف شد. نیوبات لیتیم نیز همانند تیتانات باریم یک ماده سرامیکی فروالکتریک است که خواص مواد پیزوالکتریک را دارد. این ماده ترکیبی از اکسیژن، لیتیم و نیوبیوم است (LiNbO3LiNbO3). بر هم کنش فشار مکانیکی و نیروی الکتریکی را در یک محیط اثر پیزو الکتریسیته می‌گویند. فشردن برخی از بلورها در راستای ویژه ای از بلور نیروی الکتریکی ایجاد می‌کند و بر عکس ایجاد اختلاف پتانسیل در دو سوی همین بلور و در همان راستا باعث فشردگی و انبساط آن می‌گردد یا به زبان دیگر تغییر بعد در آن به وجود می‌آورد.




**شکل ۲۰- ۳: اثر پیزوالکتریسیته**

می‌توان گفت که تغییر پلاریزاسیون الکتریکی در یک بلور باعث تغییر حالت کشسانی بلور می‌شود و تغییر حالت کشسانی بلور باعث دپلاریزاسیون آن می‌گردد. اثر پیزوالکتریسیته تنها در بلورهایی که دارای تقارن مرکزی نیستند وجود دارد. راستایی که در آن کشش یا

[1] Tokyo Institute of Technology
[2] Ferroelectric

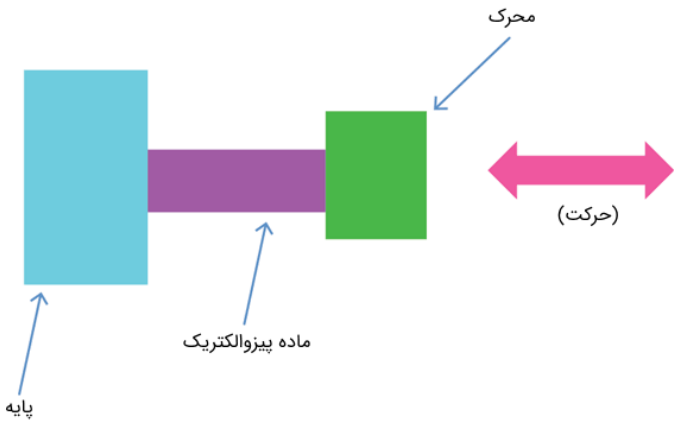
فشار پلاریزاسیونی به موازات نیروی وارده پدید می‌آورد، محور پیزوالکتریک یا محور الکتریکی بلور نامیده می‌شود و مواد دارای این ویژگی را مواد پیزوالکتریک می‌گویند. مواد پیزوسرامیک، بلور یا سرامیک پیزوالکتریک نارسانا، بین دو صفحه فلزی قرار داده می‌شوند. برای اینکه پیزوالکتریسیته ایجاد گردد، لازم است ماده فشرده شود. فشار مکانیکی وارد شده به مواد سرامیکی پیزوالکتریک باعث تولید الکتریسیته می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۱۹-۳) نشان داده شده است، یک اختلاف پتانسیل الکتریکی در سراسر این ماده وجود دارد. بلور پیزو بین دو صفحه فلزی قرار دارد. صفحات فلزی با جمع کردن بار الکتریکی، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کنند (پدیده پیزوالکتریسیته). به این ترتیب، اثر پیزوالکتریک به دلیل تولید الکتریسیته، همانند یک باتری کوچک عمل می‌کند (اثر پیزوالکتریک مستقیم) دمیکروفون‌ها، سنسورهای فشار، هیدروفون‌ها و بسیاری از دیگر انواع وسایل حسگر، از اثر پیزوالکتریک مستقیم استفاده می‌شود. بلور کوارتز از این دسته مواد است و از نخستین اجسامی است که این ویژگی در آن کشف گردید و هم اکنون هم برای تولید امواج فراصوت بکار برده می‌شود. موادی مانند بلور کوارتز، واسطه ای برای واگردانی انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی و بالعکس می‌باشند و مبدل یا ترانسدیوسر نام دارند.

بلوری از کوارتز به بزرگی یک سانتیمتر اگر زیر فشار یک اتمسفر باشد، اختلاف پتانسیل الکتریکی یک ولت را بوجود می‌آورد (از این رو می‌توان این پدیده را در سنجش فشار بکار برد). اگر چه مواد بلوری طبیعی که دارای اثر پیزوالکتریسیته باشند، فراوان هستند ولی در بکارگیری فراصوت در تشخیص پزشکی، کریستال‌هایی بکار گرفته می‌شود که سرامیکی بوده و به گونه‌ی مصنوعی تهیه می‌شوند. نمونه این کریستال ها، آمیخته ای از زیر کونیت سرب و تیتانیت سرب است که در هنگام ساخته شدن می‌توانند پلاریزه شده و به شدت دارای ویژگی پیزو الکتریسیته گردند. همه این فراورده‌ها وابسته به گروهی از مواد که فروالکتریک نامیده می‌شوند، هستند.

## محرک‌های پیزوالکتریک

عملکرد یک محرک (Actuator) پیزوالکتریک را نشان می‌دهد که در آن پایه ثابت می‌ماند و مانند صفحه فلزی که ماده پیزوالکتریک را احاطه کرده است عمل می‌کند. در اینجا میدان الکتریکی حاصل از اعمال ولتاژ به ماده پیزوالکتریک سبب می‌شود ماده منبسط و منقبض

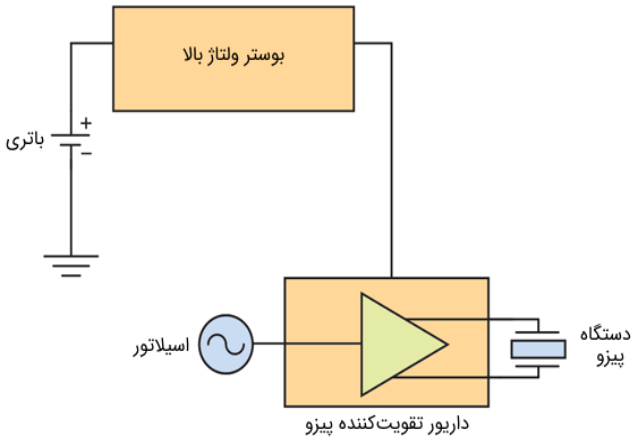
شود. بنابراین، ماده یا بلور پیزو حرکت بسیار اندکی به سمت جلو یا عقب خواهد داشت که باعث می‌شود محرک به آرامی به حرکت در آید.




**شکل ۲۱- ۳: در محرک پیزوالکتریک، ولتاژ اعمال شده به ماده پیزوالکتریک باعث انبساط و انقباض ماده می‌شود.**

## درایورهای پیزو

درایورهای پیزو می‌توانند ولتاژ پایین باتری را به ولتاژ بالا تبدیل کنند تا نیروی وسایل پیزوالکتریک تأمین شود. درایورهای پیزو اهمیت زیادی دارند، زیرا به مهندسان کمک می‌کند ولتاژ بیشتری را برای ایجاد امواج سینوسی بزرگتر تولید کنند.




**شکل ۲۲- ۳: یک نمودار بلوکی، عملکرد درایور پیزو**

درایورهای پیزو ولتاژ پایین باتری را می‌گیرند و برای تبدیل آن به ولتاژ بالاتر از یک بوستر استفاده می‌کنند. ولتاژ بالاتر برای تأمین توان تقویت‌کننده استفاده می‌شود. تقویت کننده (که هدایت وسیله پیزو را بر عهده دارد)، امواج سینوسی کوچک ورودی توسط نوسانگر یا اسیلاتور را به امواج سینوسی بزرگتر تبدیل می‌کند.

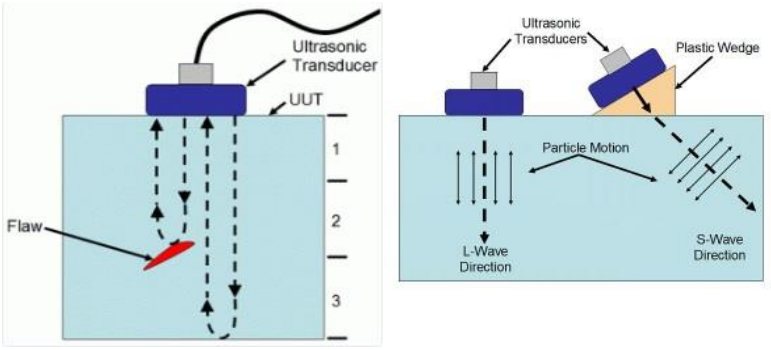
## مگنتواستریکسیون

این ویژگی در اجسام فرومنیتیک تحت تأثیر میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. اجسام یاد شده در این میدان‌ها تغییر طول می‌دهند و بسته به بسامد جریان متناوب به نوسان در می‌آیند و می‌توانند امواج فراصوتی تولید کنند. شدت امواج تولید شده به این روش کم است و این مواد در پزشکی کاربرد ندارند و بیشتر کاربرد آزمایشگاهی دارند.

## ساختمان ترانسدیوسر (مبدل)

در کارهای تشخیصی همیشه پرتوهای باریکی از امواج فراصوتی نیاز می‌باشند. چنین پرتوهایی به وسیله یک صفحه پیزوالکتریک،که با دو الکترود صفحه ای موازی برانگیخته می‌شوند، تولید می‌گردند. یک بلور را می‌توان با به کارگیری یک ولتاژ با بسامد بسیار بالا انگیخته نموده و مجبور به نوسان کرد. در بلور، بسامدی که بیشترین شدت را تولید می‌کند بسامد تشدید گفته می‌شود. تشدید یک ویژگی موج است که در آن شدت موج در حقیقت به علت هم آمیزی موج‌های همانند افزایش می‌یابد. می‌توان ثابت کرد که تشدید هنگامی رخ میدهد که ضخامت بلور برابر نیمی از طول موج و یا مضرب فردی از طول باشد. اگر دو رویه بلور ترانسدیوسر را بگونه دو رویه نوسان کننده در نظر بگیریم، چنانچه فاصله این دو رویه باندازه موج ایجاد شده باشد، موج ایجاد شده به وسیله رویه پشتی، موج ایجاد شده بوسیله رویه جلوئی را تقویت می‌کند. این تقویت که بیشترین شدت موج را در بلور بوجود می‌آورد همان رزونانس طبیعی یا تشدید است. بلور در ترانسدیوسرها می‌تواند هم به گونه فرستنده امواج فراصوت و هم گیرنده اموا ج کار کند. در حالت گیرنده تپ‌های ایجاد شده بوسیله بازتابش را دریافت می‌نماید. این بازتابش است که در ساختن نگاره سونوگرافی بکار می‌رود. حالت دلخواه هنگامی است که وقتی یک تپ کوتاه مدت موج فراصوت از بلور گسیل شد، بلور در زمانی بسیار بزرگتر پس از آن اماده دریافت بازتابش باشد، در اینجاست که بهترین نگاره برای کارهای بالینی ساخته می‌شود. اگر بخواهیم الکتریسیته را به بلور وارد

کنیم و یا الکتریسیته تولید شده را از آن بیرون ببریم، باید بوسیله یک رسانا این کار انجام شود. دو طرف بلور دارای پوشش فلزی است که بسیار نازک بوده و برای بردن ولتاژ از آن انجام می‌شود. الکترودها بوسیله یک پیوند دهنده کابلی به ترانسدیوسر وصل است. بخش نوسانی ترانسدیوسر بلور است. بلور انرژی فراصوتی را برای انتقال به محیط تولید می‌کند. بزرگی این بلورها می‌تواند به رویه دلخواه به هر اندازه ای اختیار شود، ولی هر چه نازکتر باشد با بسامد بیشتری نوسان می‌کند. بخش پشتی بلور با یک ماده میراکننده یا خفه کننده و برای جلوگیری از تابش انرژی بلور در رویه پشتی پر شده است. مواد میراکننده باعث بهتر شدن نگاره فراصوتی می‌شوند. این مواد دارای امپدانس اکوستیک بسیار زیادی هستند. ترانسدیوسرها دارای یک بخش جلویی یا رویه جلویی هستند که با پوست بیمار تماس می‌یابد. این رویه لایه جفت کننده یک چهارم موج نام دارد. امپدانس ویژه این لایه میان امپدانس کریستال و امپدانس بافت نرم جا دارد تا انرژی موج به آسانی به بدن بیمارگذر کند و بازتاب اندکی داشته باشد.




**شکل ۲۳- ۳: ساختمان ترانسدیوسر (مبدل)**

بسامد ترانسدیوسر به ویژگی‌های مکانیکی بلور وابسته است. بلوری که به وسیله پالس الکتریکی انگیخته می‌شود تغییر بعد داده و امواج فراصوتی را تولید می‌کند. بهترین عامل تعیین کننده بسامد ترانسدیوسر، ضخامت بلور می‌باشد. به گونه ای تئوریک هماهنگی که یک بلور به وسیله یک تپ الکتریکی انگیخته می‌شود، تنها با یک بسامد آغاز به نوسان می‌کند ولی کامل نبودن بلور تاثیر مواد میراکننده و ... باعث می‌شوند که بلور بیش از یک بسامد تابش کند. برای نمونه هنگامی که بلور دارای بسامد مگا هرتز است در حقیقت

بسامدهای کمتر و بیشتر از مگاهرتز را (که بسامد اصلی یا طبیعی آن است) نیز تولید می‌کند. به گستره بسامدهای تولید شده از ترانسدیوسر پهنای باند گفته می‌شود. ترانسدیوسری که بسامدهای گوناگون در دو طرف بسامد اصلی تولید می‌کند دارای پهنای باند بزرگی است. پهنای باند بسامدهای ترانسدیوسر در کیفیت نگاره ای که به وجود می‌آورد اثر دارد. هر چه این پهنای باند کوچکتر باشد کیفیت نگاره بهتر است ولی ترانسدیوسرها بهر حال دارای پهنای باند چشمگیری هستند.

## میدان فراصوتی و گونه‌های ترانسدیوسر

ترانسدیوسر فراصوتی، بگونه یک چشمه فراصوت کارکرده و امواج فراصوتی را گسیل می‌کند. این امواج در آغاز بگونه ای موازی راهی را می‌پیماید و سپس واگرا شده و از یکدیگر دور میشوند. بنابراین دو ناحیه بوجود می‌آید: یکی میدان نزدیک و دیگری میدان دور. در میدان نزدیک امواج فراصوتی پرتوهایی یکنواخت و موازی هستند و پهنه برش پرتو یا نیم رخ بانداره رویه ترانسدیوسر است. ناحیه گذری مرز میان میدان نزدیک و میدان دور است. باید گوشزد کرد که در میدان نزدیک بیشترین تعداد انترفرانس بنابراین نا یکنواختی شدت فراصوت دیده می‌شود در حالیکه در ناحیه میدان دور سطوح جبهه‌های موج موازی هستند. در این ناحیه انترفرانس کمتر و یکنواختی شدت انرژی فراصوتی بیشتر است.

بعلت اینکه میدان نزدیک باریکترین مرزهای موازی را برای پرتو فراصوتی دارد در این ناحیه بهترین جداسازی کناری یا عمود بر محور بدست می‌آید. پس قطر پرتوها روی جداسازی (رزولوشن) کناری اثر می‌گذارد: یعنی هر چه قطر ترانسدیوسر کوچکتر باشد توان جداسازی کناری بیشتر است، در ضمن ژرفایی که از آن نگاره می‌گیریم کوچکتر می‌شود. این برابری اگر کاهش یابد بسامد افزایش یافته و شدت پرتوی که باید به یک ژرفای خاصی برسد کاهش می‌یابد. برای رسیدن به هدف افزایش، می‌توانیم بدون تغییر بسامد و یا قطر ترانسدیوسر قطر پرتوها را کاهش دهیم. در این کار از کانونی کردن کمک گرفته می‌شود.

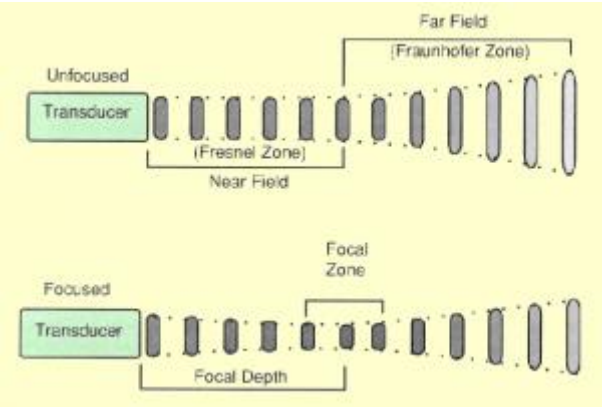
## ترانسدیوسرهای کانونی

در ترانسدیوسرهای کانونی نه تنها کاهش اندازه بلور در یک بسامد معین باعث ایجاد جبهه‌های موج تخت در دامنه گسترده ای از ژرفای ماده نمی‌شود بلکه برعکس هر چه رویه بلور کوچکتر باشد واگرایی پرتوها بیشتر می‌شود. از سوی دیگر بسامد ترانسدیوسر روی

واگرایی پرتوها اثر می‌گذارد. هر چه بسامد افزایش یابد واگرایی پرتو فراصوتی کمتر می‌شود و با این افزایش بسامد، ژرفای نفوذ پرتوهای فراصوتی نیز کوچکتر می‌شود. از این رو ترانسدیوسرهایی را که با توان جداکنندگی بزرگ و سطح بلور کوچک و بسامد بالا برای معاینه ساختمانهای سطحی بدن ساخته‌اند نمی‌توان برای ساختمانهای عمقی به کار برد. برای معاینه ساختمانهای عمقی بدن همگرا کردن پرتوهای فراصوت بکار گرفته می‌شود. کار همگرا کردن پرتوهای فراصوتی در ژرفای بدن با بکارگیری ترانسدیوسرهای کانونی انجام می‌گردد. ترانسدیوسرهای کانونی با به کارگیری عدسی‌های صوتی یا به وسیله شکل دادن بلور ساخته می‌شوند. اثر کانونی کردن پرتوهای فراصوتی (چه به صورت تراش بلور یا به کار بردن عدسیهای صوتی) جابه جا کردن ناحیه گذری میدان دور و میدان نزدیک و به سوی رویه بلور است. این کار باعث باریک شدن پهنای دسته پرتو می‌گردد. نقطه کانونی را در این ترانسدیوسرها می‌توان با شعاع انحنا ء عدسی مشخص کرد. نقطه کانونی در باریکترین بخش دسته پرتو جا دارد و به فاصله آن تا سطح کریستال فاصله کانونی گفته می‌شود. همچنین باریکترین ناحیه دو طرف نقطه کانونی را ناحیه کانونی[1] می‌گویند. در پزشکی چون بافتهای گوناگون بدن آدمی در ژرفای گوناگونی از پوست جا گرفته اند، برای کاربردهای تشخیص پزشکی و همچنین برای رساندن انرژی دلخواه به ژرفای دلخواه، بهتر است عدسی‌های کانونی مختلف را که دسته پرتو فراصوت را اندک اندک باریک می‌کنند بکار گرفت.

سازندگان این دستگاه بیشتر شماره هایی مانند (۸ – ۴) و یا (۱۱– ۷) را برای نمایش بزرگی ناحیه کانونی بکار می‌برند که کوچکترین شماره، فاصله آغاز کانونی شدن است. روشن است که با تغییر قطر دسته پرتو با وسایل مکانیکی (عدسی) یا الکتریکی شدت فراصوت درسطح‌های گوناگون برش دسته پرتو تغییر می‌کند. این تغییر باعث ایجاد بیشترین شدت در ناحیه کانونی شده و خود این کار باعث می‌شود که بازتابهای بدست آمده از برخورد ناحیه کانونی به مرز مشترک بافتها، بزرگترین دامنه را نسبت به بازتابهای دیگر داشته باشد.

[1] focal zone




**شکل ۲۴- ۳: اثر کانونی کردن پرتوهای فراصوتی**

## کانونی کردن الکترونیکی

در این روش با بکارگیری زمان تاخیر، می‌توان امواج را بگونه ای همزمان از شماری از کریستال‌ها گسیل داشت. در این کار، امواج گرد هم آمده، سپس بازتاب‌های دریافتی بوسیله دستگاهی بنام تقویت کننده با هم یکی شده و بازتاب‌های دریافتی را بوجود می‌آورند. برتری این دستگاه این است که می‌توان جایگاه نقطه ای که امواج روی آن کانونی می‌شود را تغییر داد و امواج را روی نقطه ای دیگر کانونی کرد.

### انتخاب نوع ترانسدیوسر

الف) میدان دید

ب) عمق ساختمان مورد آزمایش

ج) خصوصیات ساختمان های ماکروسکوپیک

براساس ورودی های مختلف و میدان دید متفاوت می توان ترانسدیوسرها را به انواع زیر تقسیم بندی کرد:

**۱- ترانسدیوسر خطی:** این نوع پروب‌ها چهارگوشه ای هستند؛ در نتیجه مورفولوژی میدان دید چهارگوشه‌ای است.

معمولا از تعداد زیادی کریستال (تا ۴۰۰ عدد) کاملا مشابه ساخته شده‌اند و به طور الکترونیکی یکی پس از دیگری فعال می شوند. برای این که بتوان خطوط دید بی‌شماری را به دست آورد، باید کریستال های خیلی کوچک به کار برد.

مزایای پروب: محاسن ترانسدیوسرهای خطی عبارتند از: میدان دید وسیع (که به طول پروب بستگی دارد)، فوکالیزاسیون دینامیکی که تفکیک خوبی حتی در سطوح سطحی ارائه می دهد، شرایط بسیار مناسب برای بیماران لاغر و مطالعه ساختمان‌ها و مکان‌های سطحی.
معایب این پروب: از مشکلات این پروب، بزرگی آن است، که در بعضی نواحی آناتومیک مشکل آفرین است، خصوصا در فضاهای بین دنده ای(Intercostal) و ناحیه اپی‌گاستریک (در بیمارانی که زاویه Xiphoidآن‌ها کوچک است). علاوه بر آن، به دلیل وسعت سطح تماس پروب با بدن، رد نکردن قوس های روده ای موجود بین پوست و فضای مورد نظر، از مشکلات پروب است.

**۲- ترانسدیوسر کانوکس:**[1] نوع متغیری از ترانسدیوسر خطی است. سرامیک های پیزوالکتریک به شکل محدب چیده شده‌اند و امواج صوتی به طور شعاعی از میدان ژئومتری خارج می شود.
محاسن پروب: آنچه در مورد پروب های خطی و (Sector) ورودی کوچک امواج، فوکالیزاسیون دینامیکی، وسعت بیشتر در سطوح سطحی بیان شد، در این مورد نیز صدق می کند.
معایب پروب: از دست دادن قدرت تفکیک جانبی در قسمت های سطحی تر میدان دید.

**۳- ترانسدیوسر درون حفره‌ای:** برای بررسی بعضی از حفره های داخلی بدن استفاده می شود.

## چگونگی ساخت نگاره فراصوتی

امواج فراصوتی با گذاشتن ترانسدیوسر در تماس با بدن و با به کارگیری موادی که هوا را میان ترانسدیوسر و بدن از میان بر می‌دارد (مانند آب، روغن و یا ژل) به بدن فرستاده می‌شوند. همین تراسدیوسر که تپ را تولید میکند (فرستنده) بگونه گیرنده یا آشکارساز نیز کار می‌کند. در اثر برخورد بازتاب‌ها به ترانسدیوسر و به علت نوسان آن ولتاژی تولید می‌شود که پس از تقویت این ولتاژ برای ساخت نگاره بکار می‌رود. تشخیص با فراصوت بر پایه بازتابی که امواج در بدن و بر روی مرز میان دو بافت متفاوت پیدا می‌کنند استوار است. این بازتاب هنگامی بوجود می‌آید که اختلاف در امپدانس صوتی دو محیط وجود داشته باشد.

[1] Convex

اگر چه امواج پژواک با دامنه بسیار کوچک (نزدیک به ۶/۰ درصد انرژی تابیده به مرز میان کلیه و چربی بازتاب می‌یابد) می‌توانند بوسیله گیرنده‌های حساس نمایان شوند ولی، هنگامیکه موجی نتواند بازتاب پیدا کند از مرزهای سر راه گذر نموده و ممکن است در بخشهای ژرفتر به وسیله مرز میانی دیگری که تفاوت امپدانس را دارا باشد بازتاب یابد. گذر و نفوذ امواج فراصوت به علت کاهش بافتی، در بافتهای نرم محدود می‌شود.

همه انرژی امواج فراصوت در برخورد با مرز میان گاز یا هوا بکلی بازتاب می‌یابد و این خود سد بزرگی برای گذراندن فراصوت از راه گاز یا هر عضوی است که دارای گاز باشد. وجود لایه هوا میان ترانسدیوسر و سطح پوست را که می‌تواند سد بزرگی برای گذر انرژی فراصوت باشد با واسطه هایی مانند روغن زیتون، پارافین، آب ویا گلیسیرین از میان می‌برند. از سوی دیگر اندازه جذب و سرعت فراصوت در استخوان بسیار بیشتر از بافت نرم است. در نتیجه سونوگرافی از راه استخوان با مشکل روبروست و نتایج رضایت بخش به دست نمی‌آید. روش به کارگیری بازتاب‌های بدست آمده از تابش پرتوهای فراصوت متفاوت است. در اینجا برخی از آنها را بررسی می‌کنیم.

## روش‌های یک موج یا روش بازتاب تپ

تک موجی که از ترانسدیوسر گسیل میشود پس از برخورد به مرز میان دو محیط I و II که دارای اختلاف امپدانس صوتی هستند، بازتاب می‌یابد. زمانی که موج از ترانسدیوسر گسیل شده و پس از بازتاب به ترانسدیوسر می‌رسد یا به زبان دیگر ترانسدیوسر بازتاب را دریافت می‌کند زمان دیرکرد نام دارد.

اندازه چنین زمانی بستگی به سرعت صوت در محیط و طول راه پیموده شده به وسیله موج دارد. بر پایه این همبستگی که میان زمان و فاصله وجود دارد، روشی برای اندازه گیری به نام دستگاه اندازه گیری برد، وجود دارد که به صورت گسترده ای در تشخیص پزشکی امواج فراصوتی بکار می‌رود.

### اسکن دامنه

A- Scan از واژه Amplitude scan گرفته شده است که ساده ترین گونه نمایش فراصوت می‌باشد و با دامنه امواج بازگشتی سروکار دارد. می‌توان از یک موج فراصوت برای اندازه گیری ژرفای مرز مشترکی که بتواند بازتاب ایجاد کند سود برد. اگر فرایندی که گفته شد با

سرعت کافی و بیش از بیست بار در ثانیه تکرار شوند، برای بیننده احساس بینایی یکنواخت ایجاد می‌گردد. این روش را میتوان برای بررسی بسیاری از مرز مشترکهایی که سرراه امواج فراصوت هستند بکار گرفت. اسکن دامنه تنها فاصله دو مرز بازتابنده و اندازه بازتابش را به ما نشان میدهد.

بخش‌های پایه ای یک دستگاه فراصوتی بازتاب تپ در کارهای تشخیصی که تپ‌های فراصوتی را گسیل کرده و سپس آنها را دریافت می‌کند از این قرارند:

## ۱- تپ ساز

تپ ساز، تپ‌های مورد نیاز را تولید می‌کند. در این بخش بسامد تکرار تپ تولید می‌شود. PRF باعث ایجاد منظم و پی درپی تپ‌ها می‌گردد، سپس تپ‌های مورد نیاز از دید کوتاهی زمان و همچنین دامنه بوجود می‌آیند. ولتاژی که این دستگاه برای برانگیختن بلور ترانسدیوسر، بصورت تپ، ایجاد می‌کند میان ۲۰۰ تا ۶۰۰ ولت و با آهنگ PRF فرستاده می‌شود. سیگنالهای یاد شده پس از رسیدن به بلور ترانسدیوسر آن را انگیخته کرده و امواج فراصوتی تابش می‌شوند.

## ۲- گیرنده

گیرنده دستگاه، همان بلور فرستنده است؛ یعنی بلور هم به صورت فرستنده و هم به صورت گیرنده کار می‌کند. در فاصله زمانی فرستادن یک تپ تا فرستادن تپ بعدی، که زمانی طولانی است (msec) ۳۰- ۱۵ موج بازتابشی به کریستال یا گیرنده می‌رسد. این تپ مکانیکی با اثر پیزوالکتریک به یک تپ الکتریکی تبدیل می‌شود. تپ‌های الکتریکی گسیلی دامنه بسیار بزرگی دارند و به بخش دیگری که محدود کننده دامنه می‌باشد فرستاده می‌شوند. زیرا تپ‌های شدید می‌توانند باعث از میان رفتن بخشهای الکتریکی دستگاه شود.

تپهای باز تابشی گستره دامنه ای از mv ۱ تا یک ولت دارند. پس دستگاه دارای یک گستره دینامیکی است. گستره دینامیکی در هر دستگاه نسبت کوچکترین تپ قابل آشکارسازی دریافتی به بزرگترین تپ دریافتی است که در هم ریختن تپ‌ها یا سیگنالها را به همراه ندارد و با dB اندازه گرفته می‌شود. DR = 120 db یعنی گستره ای دینامیکی است که تغییر دامنه یک تا یک میلیون وجود دارد و دستگاه می‌تواند دریافت کند بدون اینکه در هم ریختگی بوجود آید. پس حساسیت بسیار بزرگی برای تپ‌های بسیار کوچک دارد.

### ۳- تقویت

بازتابش هایی که از مرزهای مشترک دور می‌آیند کوچکتر از آنهایی هستند که از فاصله‌های نزدیک بازتاب می‌شوند. بهترین حالت این است که تپ الکتریکی بدست آمده از این بازتابش‌های بسیار کوچک به گونه ای نابرابر تقویت گردند که تپ‌های دور بیشتر و تپ‌های نزدیک کمتر تقویت شوند. تپ‌های بازتابشی فراصوتی ازدید شدت بسیار متفاوت هستند. برای نمونه شدت‌های بازتاب از صفر تاdb ۹۰ تغییر می‌کند. این اختلاف دسی بل برابر اختلاف در شدتی نزدیک به یک میلیاردم (DR=1/1) است. برای این کار تقویت کننده‌های لگاریتمی بکار گرفته می‌شوند. دستگاه تقویت کننده تفاوت تپ‌های الکتریکی بسیار کوچک و بسیار بزرگ را بسیار کم می‌کند. دستگاه الکترونیکی که این کار را انجام می‌دهد جبران زمانی یا .T.G.C است. ضریب بهره در اینجا ضریب جبران بهره زمانی است. این .T.G.C دارای منحنی ویژه ای است. کنترل .T.G.C در اختیار کاربر دستگاه سونوگرافی است. این منحنی دارای بخشهای زیر است.

۱- تقویت یا بهره نزدیک: که نشان دهنده اندازه بهره برای نزدیکترین بازتابش‌ها است.

۲- تاخیر: زمان یا ژرفایی را تنظیم می‌کند که در آن .T.G.C آغاز به کار می‌کند؛ یعنی برای نمونه در چه ژرفایی بهره انجام می‌شود.

۳- شیب:.T.G.C شیب .T.G.C درجه بهره تپ‌های بدست آمده از بازتابش را که از ژرفاهای بیشتر می‌آید تنظیم می‌کند. این دگمه در دست کاربر است و کاربر می‌تواند تنظیم درجه بهره را برای کاهش‌های بافتی انجام دهد.

۴- بهره دور: بهره ای است که تنها برای تپ هایی که از ژرفای زیاد می‌آیند بکار می‌رود.

۵- افزایش: افزایش تپ‌ها را از یک بخش از منحنی .T.G.C تقویت می‌کند (برای نمونه تقویت از ناحیه دریچه میترال در بررسی کار قلب بوسیله سونوگرافی). باید یادآور شد که هر کدام از بخشهای یاد شده دارای دگمه کنترل ویژه خود هستند تا با تغییر آنها سونوگرام دلخواه بدست آید.

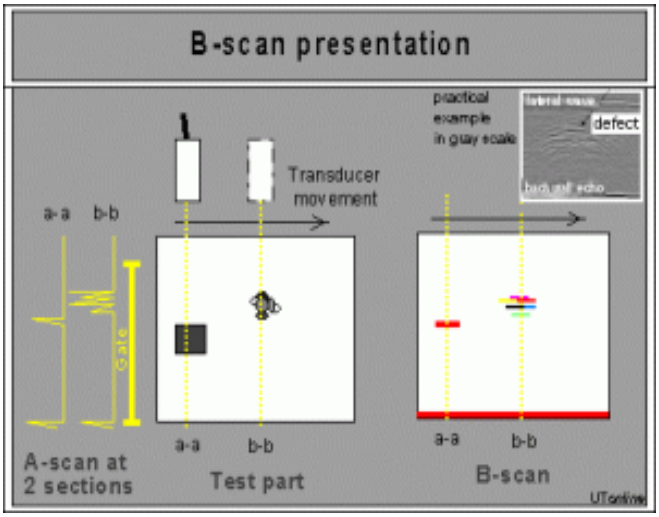
## پردازش سیگنالها

۱- آشکارسازی: سیگنالهای بدست آمده از بازتابش در آغاز تقویت شده و سپس آشکار می‌شوند. کار آشکارسازی، یکسو سازی موج ولتاژ متناوب به یک موج یکسو است. این کار یا با برگرداندن بخش منفی موج به جهت مثبت و یا از میان بردن آن انجام می‌شود.
۲- تبدیل اسکن: تبدیل کننده اسکن، برون ده سیگنالهای آشکارساز را گرفته و ذخیره می‌کند. این سیگنالها داده‌های نگاره ای هستند و ذخیره سازی آنها پیش از فرستاده شدن برای نمایش اسیلوسکوپی انجام می‌شود. بنابراین تبدیل کننده اسکن مانند یک حافظه در یک دستگاه کار می‌کند و سیگنالها را به درجه‌های خاکستری اختصاص می‌دهد. به ذخیره این داده‌ها نیاز داریم زیرا داده‌های بدست آمده سرعت بیشتری از داده‌های مورد نیاز برای ساخت نگاره دارند.
۳- پیش پردازش و پس پردازش: کار پیش پردازش پیش از ذخیره دامنه بازتابها در تبدیل کننده اسکن رخ می‌دهد. در بیشتر دستگاههای سونوگرافی کنترل پیش پردازش در اختیار کاربر نیست و این فرایند تغییرهای دلخواه داده‌ها را بیش از نمایش انجام می‌دهد. پس پردازش کار اختصاص درجه‌های خاکستری برای شماره‌های ذخیره شده در حافظه تبدیل کننده اسکن است. شمار درجه‌های خاکستری بستگی به ویژگی‌های حافظه دارد. پس پردازش ارزشهای عددی را تغییر نمی‌دهد. اختصاص ارزشهای عددی، درجه‌های خاکستری برای ترازهای روشناییهای گوناگون در روی صفحه اسیلوسکوپ برای بهینه سازی نمایش داده‌ها است و این کار ارزش پس پردازش را نشان می‌دهد. چشم انسان می‌تواند تنها ۱۶ درجه خاکستری را تشخیص دهد.

## اسکن روشنایی

B.Scan از واژه Brightness scan به معنی اسکن روشنایی گرفته شده است و در این روش به جای این که دامنه امواج نشان دهنده بازتابهای برگشتی باشد، می‌توان یک سری نقطه در راستای محور دید به وجود آورد که هر نقطه، روشنایی متناسب با دامنه امواج بازتابشی داشته باشد. مانند اسکن دامنه در این حالت نیز تنها یک راستای بخصوصی دیده می‌شود. داده هایی که با دستگاه بازتابشی تک موجی گردآوری می‌شود؛ یکی داده هایی درباره فاصله و دیگری درباره دامنه بازتاب است. از آمیختن این داده‌ها نگاره ای روی سطح اسیلوسکوپ

به گونه اسکن دامنه به دست می‌آید. در اسکن دامنه و اسکن روشنایی، داده‌های به دست آمده تنها در راستای یک خط هستند. اسکن روشنایی پایه ساخت اسکن روشنایی دو بعدی و روش‌های نگاره برداری دیگر است. می‌توان ترانسدیوسر فراصوتی را روی یک جاروبگر یا اسکنر مکانیکی که دارای حرکت دو بعدی است جا داد. این دستگاه میتواند راستا و جایگاه یک اسکن روشنایی را در هر وضعیتی به دست دهد. اسکن روشنایی دوبعدی نمایش بخشی از عضو یا بدن است که موازی راستای حرکت پرتوهای فراصوتی می‌باشد. اسکن روشنایی دوبعدی طرح اصلی نگاره برداری ازاعضای بدن به وسیله دستگاه فراصوت یا سونوگرافی است.




**شکل ۲۵- ۳: B.Scan (اسکن روشنایی)**

ساده ترین راه تصویر یک نگاره دو بعدی اسکن روشنایی این است که مجموع نقطه‌های ایجاد شده در اسکنهای روشنایی یک بعدی را در یک صفحه دید درنظر بگیریم. برای بدست آمدن یک نگاره تیز در این روش نیاز این است که دامنه بازتابهای گوناگون فاصله سطح بازتابی از سطح ترانسدیوسر و مختصات یا جایگاه خطوط دید اسکنهای روشنایی همگی بوسیله ماشین ضبط گردند. بنابراین برای ایجاد نگاره دوبعدی، ماشین باید راهی برای تشخیص جایگاه ترانسدیوسر روی بدن بیمار در هر زمانی که داده‌های مربوط به اسکنهای روشنایی ضبط می‌شود داشته باشد. جمع شمار بسیاری از اسکنهای روشنایی در راستاهای

گوناگون نگاره اسکن روشنایی دوبعدی را به وجود می‌آورد که ارزش تشخیصی فراوانی در پزشکی دارد.

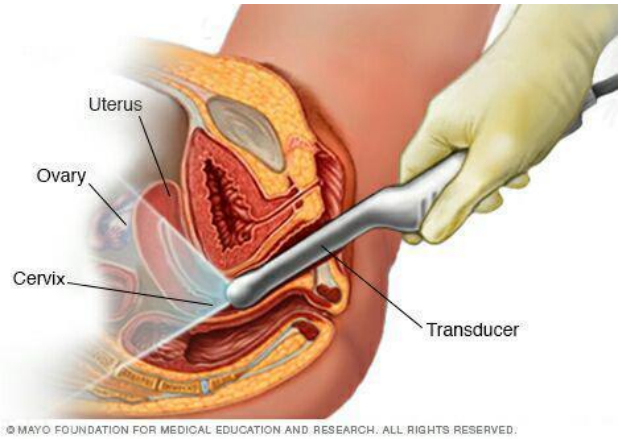
در دستگاه اسکن روشنایی مدارهایی که سیگنالها در آن فرایند سازی می‌شوند و ترتیبهایی که برای مدوله شدن روشنایی و همچنین آشکارسازی اسکن به کار گرفته می‌شود، همه تنظیم شدنی و کنترل شدنی هستند. در این روش در حقیقت یک نگاره به صورت نقشه ای از مرزهای مشترک بافتها به دست می‌آید. در این روش اگر تکرار تک موجها را افزایش دهیم (تا ۲۵۰۰ تپ در ثانیه) یعنی زمان بیشتری را صرف اسکن کردن بیمار نماییم و همچنین اگر در هنگام گرفتن اسکن بیمار حرکتی نکند نگاره بهتری به وجود خواهد آمد. دلخواه این است که پس از تابش تپ به وسیله بلور فرستنده، بلور زمان کافی برای دریافت بازتاب داشته باشد تا داده‌های به دست آمده از سطوح بازتاب تداخل نبیند. داده‌های بدست آمده در برگیرنده داده‌های مربوط به بعدهای x و y و همچنین دامنه بازتاب Z می‌باشند. داده‌های مربوط به مختصات: برای این که دستگاه فراصوت، چشمه ایجاد بازتاب را در بدن تشخیص دهد باید مختصات و راستای ترانسدیوسر را در همه جهات بداند. داده‌های مربوط به مختصات از ابزارهای الکترونیکی ویژه ای که پتانسیومتر الکتریکی نامیده می‌شوند بدست می‌آید. پتانسیومترها داده‌های مربوط به موقعیت مانند مختصات x و y را به ما می‌دهد. این مختصات روی یک منحنی جا دارند. رایانه متصل به دستگاه داده هایی درباره طول زمان رفت وبرگشت موج فراصوت و همه عاملهای لازم را با سرعت بسیار اندازه گیری و سرانجام نگاره را می‌سازد. روشن است که برای به دست آوردن یک نگاره سونوگرافی با جداسازی خوب پتانسیومترها باید در هر زمان مختصات دقیق ترانسدیوسر را بدانند. اگر داده‌های مربوط به مختصات دقیق نباشد نگاره خراب خواهد شد. همانگونه که پیش از این گفته شد داده‌های مربوط به x و y و دامنه تپ z در بخش دیگری از ماشین به نام تبدیل کننده اسکن یا سازنده اسکن در هم آمیخته می‌شوند. این دستگاه دارای حافظه است و با آمیختن داده‌های مربوط به x و y و z فرمتی را در رایانه ایجاد می‌کند که می‌تواند به نگاره تبدیل شود و اسکنهای گوناگون ساخته شوند. لازم به یادآوری است که در دستگاه‌های سونوگرافی مانند هر دستگاه الکترونیکی دیگر سیگنالهای مزاحم وجود دارند که می‌توانند علامتهایی دروغین را بر روی نگاره اصلی ایجاد کنند. ویژگی‌های رایانه و دستگاه اسکن روشنایی بسیار نزدیک به دستگاه اسکن دامنه است.

## اسکن حرکتی

با به کارگیری روش اسکن روشنایی میتوان نمایش حرکت و زمان را به دست آورد. در این روش تپ‌های بدست آمده از بازتابها که به صورت روشنایی در آمده است را همزمان در راستای عمودی حرکت می‌دهند. درنتیجه خطهایی بر حسب زمان به دست می‌آید. بازتاب از سطح‌های ساکن a و c خط‌های راستی را رسم می‌کند، در حالی که سطوح بازتاب دهنده حرکت دار خط‌های مارپیچی به وجود می‌آورند. این گونه نمایش در اکوگرافی و در عضوهای حرکت دار به کار گرفته می‌شود و بر حسب این که راستای ترانسدیوسر چگونه جا گرفته باشد سطح‌های گوناگون عضو دارای حرکت قلب می‌تواند بررسی شود. در این روش نه تنها سطح‌های گوناگون عضو دارای حرکت بررسی می‌شود؛ بلکه اندازه گیری‌های کمی نیز می‌تواند انجام شود. از کاربردهای این روش بررسی حرکت‌های دیافراگم، سطح‌های دیواره آئورت، رگهای بزرگ و قلب می‌باشد. برای ثبت خط‌های یاد شده در این روش یک دوربین عکاسی که فیلم در آن با سرعتی ثابت در حرکت است بکار می‌رود و سوی حرکت فیلم عمود بر خط زمان فراصوت می‌باشد. در روش دیگر اسکن روشنایی را روی صفحه اسیلوسکوپ با سرعت ثابت به حرکت در می‌آورند (با پیوند یک تولید کننده ولتاژ جاروبی و پایه زمانی کم سرعت به صفحه‌های xx و سیگنالهای بازتابی به yy` این کار انجام می‌شود). تنها مشکل این کار کوتاهی زمانی است که در آن باید عکاسی را انجام داد ولی در عوض با این روش ضبط همزمان حرکت‌های بافت‌های گوناگون امکان پذیر است.

## ترانسدیوسرهای فراصوتی ویژه

اکنون ترانسدیوسرهایی می‌سازند که اندکی از یک مداد بزرگتر است. این ترانسدیوسرها برای وارد کردن به درون رکتوم و واژن و برای بررسی اعضای مجاور ساخته شده اند. برخی از این دستگاهها تنها یک بلور دارند که بگونه ای مکانیکی چرخیده و سکتور (یا قطاع) ۴۵ تا ۹۰ درجه را اسکن می‌کند.




**شکل ۲۶- ۳: ترانسدیوسر درون مجرایی**

## روش داپلر

روش داپلر در بررسی بافتهای متحرک به گونه گسترده ای در پزشکی بالینی کاربرد دارد. با بکارگیری بسامد داپلر ( f) می‌توان داده هایی درباره سرعت حرکت سطح بازتاب کننده به دست آورد. این داده‌ها می‌توانند به وسیله گوش یا دستگاه بررسی شوند. مشکلاتی که کاربرد فراصوت تک موج (مانند کاربری روغنها یا مواد واسطه مناسب و گذر فراصوت از گازها و.....) به همراه داشت در این روش هم وجود دارد.

با بکارگیری اثر داپلر می‌توان سرعت خون رابدست آورد. در این روش ترانسدیوسر امواج با بسامد بالا MHz ۱۰ را به درون بافت گسیل می‌دارد و پرتوهای بازگشتی را دریافت می‌کند. f در اینحالت به زاویه میان پرتو فراصوتی و راستای حرکت خون و همچنین به سرعت جریان خون بستگی دارد با توجه به برابری f=2u/c (cos) f روشن است که بیشینه f در cos 1 = یا = ۰ وجود خواهد داشت. دو روش برای به دست آوردن f بکار می‌رود.

### ۱- موج پیوسته

در این روش موج سینوسی پیوسته را به درون بافت گسیل می‌کنند. این موج دربرخورد با گلبولهای قرمز خون بازتابش می‌کند و بازتاب بسامد دیگری نسبت به موج گسیلی خواهد داشت. در این روش فرستنده و گیرنده امواج باید از همدیگر جدا باشند و باید دو ترانسدیوسر هم پوشانی داشته باشند. در روش یاد شده تغییرهای بسامد داپلری که مربوط

به دیواره‌های رگ و قلب باشد با فیلتر کردن آن و به کارگیری آشکارساز بسامد داپلر امکان پذیر است. موج گذر کرده از فیلتر تقویت شده و ممکن است بصورت شنوایی در آید.

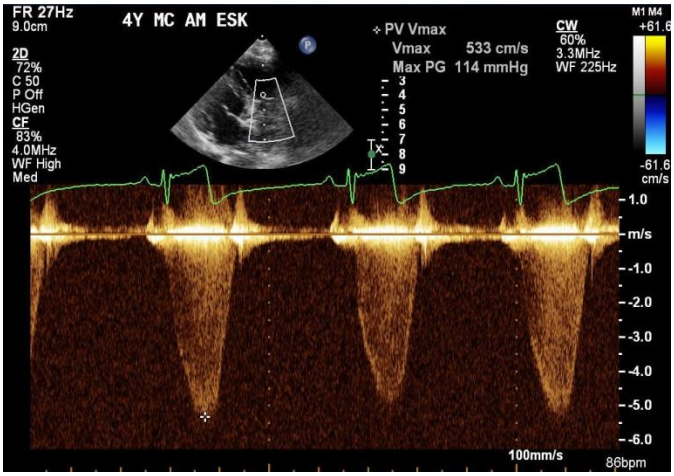
## ۲- موج ناپیوسته

در موج پیوسته زمانی برای دریافت بازتاب وجود نداشت. در روش موج ناپیوسته در طول زمان میان فرستادن دو موج پشت سر هم که طولانی است تپ بازتاب دریافت می‌شود و f بدست می‌آید. در این روش سرعت را می‌توان برای هر ژرفایی بدست آورد. در سامانه موج پیوسته بازتابشی که بدست می‌آمد میانگین بسامدهای گوناگونی بود که از ناحیه هم پوشانی باز می‌گشت. یعنی اگر دو رگ در سر راه موج تابشی وجود داشته باشد که دارای سرعتهای خون متفاوتی باشند در سامانه موج پیوسته بسامدی که ما دریافت می‌کنیم، میانگین بازتابش از دو رگ است و سرعت خون هیچ یک از رگها دقیق آشکار نمی‌شود. البته در بررسی‌های ویژه ای مانند بررسی کار قلب جنین، نیازی به دقت وجود ندارد زیرا تنها می‌خواهیم از کارکردن قلب جنین آگاه شویم.

در سامانه تپ موجی با PRF مخصوصی فرستاده می‌شود. این امواج با سطح‌های بازتابنده گوناگونی برخورد می‌کنند. اگر سطحی بی حرکت باشد تغییر بسامد دیده نمی‌شود ولی اگر حرکت داشته باشد f را خواهیم داشت. بنابراین در هر ژرفایی بازتاب ویژه را داریم و حال اگر کاری کنیم که بگونه ای انتخابی در یک زمان تنها به یک تپ بازتابشی اجازه گذر دهیم یعنی تنها بازتابشی را از ژرفای z تقویت کرده و باقیمانده را حذف کنیم خواهیم دید که از همه بازتابشها با بسامدهای گوناگون تنها یکی برگزیده شده است وسیگنال انتخاب شده بازگشتی پشت سر هم خواهد بود که در اینجا می‌گویند تپ‌های A دریچه سازی شده اند. موج بدست آمده به علت حرکت جریان خون در یک رگ خونی به خصوص، بسامد بازگشتی متفاوتی دارد. بنابراین f در این حالت به دست آید.

اگر بار دیگر برای سیگنال بازگشتی B کار دریچه سازی را انجام دهیم f مربوط به ژرفایی به دست می‌آید که سیگنالهای B از آن بازگشته‌اند و در ژرفای بیشتری نسبت به A جا دارد؛ زیرا B از دید زمانی پس از A دریافت گردیده است. پس از راه تغییر دریچه سازی بسامد f و در حقیقت سرعت برای ژرفاهای گوناگون به دست می‌آید. باید یادآور شد که بسامد به دست آمده از موجهای بازگشتی مربوط به یک نقطه هندسی نیست بلکه مربوط به یک حجم است و موج بازگشتی میانگین بسامد امواج بازگشتی از این حجم را دارد. با کوچکتر

کردن دریچه می‌توان جسم کوچکتری را بررسی کرد این کوچک کردن حدی دارد که همان حد جداسازی محوری است.




**شکل ۲۷- ۳: نمایی از موج‌های پیوسته و موج ناپیوسته**

## تصاویر در اولتراسوند

امواج اولتراسوند از طریق ترانسدیوسر به درون بدن فرستاده می شود و اکوی بازگشت شده مورد تحقیق و آنالیز قرار می‌گیرد.

۱- به دلیل وجود اختلاف در سرعت انتشار امواج، در پوست و هوا تقریبا تمامی انرژی صوت بازتاب می‌یابد. بنابراین، می‌بایست در فاصله ترانسدیوسر و پوست هیچ‌گونه خلا وجود نداشته باشد. برای برطرف کردن این مشکل می توان از ژل استفاده کرد که واسط مناسبی برای ترانسدیوسر و پوست بدن است.

۲- زمانی که امواج صوت به جسمی سخت مانند استخوان، ترکیبات کلسیمی، سنگ و... برخورد می کند، به دلیل اختلاف نسوج تقریبا تمامی انرژی موج ارسالی منعکس می‌شود، بدین ترتیب در پشت نسوج شدیدا سایه ایجاد می‌شود.

۳- بهترین اکو زمانی حاصل می شود که امواج صوتی عمود یا با ۱۲ انحراف بر شی بتابد، که در این حالت بیشترین بازتاب را خواهیم داشت.

۴- پراکندگی امواج، به خصوص در زمان برخورد با سیالات (مانند خون) هیچ بازگشتی نخواهد داشت، به همین دلیل رگ‌ها در تصاویر اولتراسوند سیاهرنگ نمایش داده می‌شوند.

۵- امواج صوتی، در برخی از اعضای بدن که در عمق بیشتری قرار دارند، بازتاب ضعیف تری خواهند داشت. زیرا امواج در حین عبور از لایه‌ها و نسوج بدن تضعیف می‌شوند.
۶- عمق نفوذ و کیفیت تصویر بستگی به فرکانس موج صوتی دارد. به طور کلی، ترانسدیوسرهای با فرکانس بالا، قدرت تفکیک خوبی برای تصاویر دارند، اما قدرت نفوذ آن‌ها کم است. حال آنکه در ترانسدیوسری با فرکانس پایین، کیفیت تصویر پایین آمده و لی عمق نفوذ بیشتر خواهد شد.

## تهیه تصاویر اولتراسوند از بدن

در تشخیص پزشکی بیشتر از دستگاه های پالس، اکو استفاده می شود. اساس کار این دستگاه‌ها به این صورت است که ترانسدیوسر در یک زمان بسیار کوتاه (حدود میکرو ثانیه) یک پالس صوتی به طرف بدن (عضو مورد نظر) می فرستد. این پالس با سرعت صوت مربوط به آن محیط پیش می‌رود. در سطوح مرزی بافت‌ها که امپدانس متفاوتی دارند، قسمتی از بافت بازتاب یافته و به سمت ترانسدیوسر باز می‌شود. ترانسدیوسر این پالس را دریافت کرده و به یک تقویت کننده می‌فرستد تا پس از تقویت و پردازش‌های لازم، نمایش داده شود.

## دستگاه داپلر رنگی

در این دستگاه برای دریافت امواج بازگشتی زمان تاخیر میان دو موج گسیلی را تغییر می‌دهند و از این راه از ژرفاهای گوناگون نمونه برداری کرده و به بررسی آنها می‌پردازند. با در نظر گرفتن ژرفای مورد مطالعه زمان تاخیر مناسب را برگزیده و امواج را گسیل می‌کنند و با بررسی امواج بازگشتی حرکت‌های موجود در ژرفای برگزیده را می‌بینند. با این کار یعنی کوچکتر کردن دریچه، نمونه‌های بیشتری در یک حجم بررسی می‌شوند. برای نمونه می‌توان یک رگ را به چند بخش از دید ژرفا تقسیم کرد. و سرعتهای بخشهای مختلف آن را اندازه گرفت. حال اگر برای هر سرعتی رنگی در نظر گرفته شود سرعتهای گوناگون درون بافت‌ها را می‌توان با رنگ‌های گوناگون نشان داد.
رنگ‌های بکار گرفته شده از سرخ تا آبی تغییرمی کند. برای بسامدهای بیشتر ( f + f ) رنگ سرخ و بسامدهای کوچکتر ( f – f ) رنگ آبی نسبت داده می‌شود. روشن است که گستره رنگهای سرخ می‌تواند بزرگ باشد (چند رنگ سرخ ) برای نمونه در زنش سیستولیک که بسامد افزایش می‌یابد رنگ قرمز و در زنش دیاستولیک که حرکت برگشتی و بسامد کوچکتر

است رنگ آبی را نسبت می‌دهند و علت اینکه به این روش بررسی، داپلر رنگی می‌گویند این است که سرعت به رنگ تبدیل شده است.

**شکل ۲۸- ۳: سونوگرافی داپلر رنگی**

## دستگاه داپلکس

در این دستگاه نگاره داپلر رنگی را روی نگاره اسکن روشنایی می‌اندازند بنابراین ترکیبی از آناتومی و حرکات یک عضو بصورت تغییر رنگ می‌تواند دیده و بررسی شود. در این روش در آغاز نگاره اسکن روشنایی ساکن از عضو بررسی می‌شود، سپس با بکارگیری دستگاه داپلر رنگی جریانهای مایع و حرکتها را بسته به جای ترانسدیوسر تشخیص می‌دهند. نگاره بدست آمده برپایه تغییر دامنه امواج و تغییر بسامد امواج گسیلی می‌باشد که بوسیله رایانه ای روی صفحه نمایش بر روی هم جا گرفته و آمیخته می‌شوند.

برای نمونه اگر بخواهیم رگی را بررسی کنیم درون رگ را سرخ پررنگ می‌بینیم و به نزدیک دیواره که می‌رسیم سرخی کم رنگ تر می‌شود.

با بکار بردن ترفندهای رایانه ای می‌توان صدا و طول موج ساختار مورد بررسی را بدست آورد. اگر در این بررسی جایگاه مکان نما، زاویه و سوی زاویه را تغییر دهیم به گونه ای که مکان نما با رگ موازی شود سرعت دقیق بدست می‌آید. در دستگاه داپلکس سه کار همزمان انجام می‌شود:

۱- دیدن نگاره عضو تحت بررسی

۲- دیدن چگونگی حرکت از راه تغییر رنگ

۳- بدست آوردن اندازه سرعت و دیدن شکل موج

این روش بیشتر در تشخیص بیماریهای قلبی و رگی مانند نارسایی‌های تلمبه قلبی و گرفتگی رگها بکار می‌رود. اگر گرفتگی رگی در یک رگ وجود داشته باشد می‌توان آنرا دید زیرا در جایی که رگ گرفته شده تنگی رگ وجود دارد بنابراین برابر قوانین برنولی [1]سرعت خون در آنجا افزایش می‌یابد پس رنگی که در جایگاه تنگی رگ خواهیم دید از بخشهای دیگر رگ متفاوت خواهد بود.

در این دستگاه شمار نگاره‌های که در یک ثانیه گرفته می‌شود به ۴۰۰ نگاره در ثانیه هم می‌رسد یعنی بسیار بیشتر از ۲۵ نگاره در ثانیه (تا نگاره‌ها پیوسته دیده شوند). هر چه شمار نگاره بیشتر باشد توان جداسازی نگاره بهتر می‌شود. می‌توان نگاره‌ها را دوباره نمایش داد و با تغییر زمان سرعت حرکت نمایش را کاهش داد. بنابراین می‌توان رخدادهای موجود در یک عضو را به گونه ای کامل و دقیق دید و نگاره‌ها را نیز تک تک دید و بررسی کرد.

## خطرات فراصوت:

سوختگی- اگر امواج پیوسته و در یک مکان بدون چرخش بکار روند، در بافت باعث سوختگی می‌شود و باید امواج حرکت داده شوند. - پارگی کروموزومی- استفاده دراز مدت از امواج اولتراسوند با شدت خیلی بالا پارگی در رشته دی ان ای (DNA) را نشان می‌دهد. ایجاد حفره یکی از عوامل کاهش انرژی امواج اولتراسوند هنگام گذشتن از بافتهای بدن ایجاد حفره یا کاویتاسیون است. همه محلولها شامل مقدار قابل ملاحظه‌ای حبابهای گاز غیر قابل دیدن هستند و دامنه بزرگ نوسانهای امواج اولتراسوند در داخل محلولها می‌تواند بر روی بافتها تغییرات بیولوژیکی ایجاد کند (پارگی در دیواره یاخته‌ها و از هم گسستن مولکولهای بزرگ).

[1] Bernowlli

# فصل چهارم

## سونوگرافی

## سونوگرافی

کلمه سونوگرافی از لفظ لاتین sono به معنی صوت و نیز گرافی[1] به معنی شکل و ترسیم گرفته شده و سونوگرافی فراصوتی یکی از روش‌های تشخیص بیماری در پزشکی است. به این روش اکوگرافی، پژواک نگاری و صوت نگاری هم گفته شده است. این روش بر مبنای امواج ماوراء صوتی و برای بررسی بافت‌های زیرجلدی مانند عضلات، مفاصل، تاندون‌ها و اندام‌های داخلی بدن و ضایعات آن‌ها پی ریزی شده است. سونوگرافی در بارداری نیز کاربردهای وسیعی دارد. همچنین امروزه سونوگرافی کاربردهای درمانی نیز دارد. شاید بتوان گفت که بهترین دستگاه‌های تولید و آشکارساز امواج فراصوت، دستگاه‌هایی هستند که به منظور کاربردهای پزشکی ساخته می‌شوند. با استفاده از امواج فراصوت بدون آنکه نیازی به باز کردن بدن بیمار باشد، به راحتی می‌توان به تصویری از داخل بدن (بافت‌های بدن) دست یافت. ظاهر کلی دستگاه مذکور به شکل زیر است. چشمه تولید و آشکارساز امواج فراصوت در قسمت پروب[2] دستگاه است که پزشک آن را روی بدن شما جهت تصویر برداری حرکت می‌دهد.

امواج فراصوت به واسطه طول موج کوتاه شان، بیشتر از امواج صوتی معمولی می‌توانند از سطوح مختلف بازتاب شوند. همین امر اساس کار دستگاه‌های سونوگرافی است. این امواج بی‌ضرر بوده و جهت تصویر برداری از نوزاد داخل رحم مادر و سایر بافت‌های بدن (نظیر

[1] graphic
[2] Probe

کبد) استفاده می‌شود. به علت انرژی بالای فوتون‌های اشعه ایکس، این نوع تابش یونیزه کنندگی بالایی دارد، که این بدین معنی است که اشعه ایکس به راحتی قادر به از بین بردن پیوندهای مولکولی در بافت هایی است که از درون آنها عبور می‌کند. این تخریب می‌تواند منجر به تغییر در عملکرد بافت شده و یا در موارد نادری باعث نابودی آن شود. یکی از مزایای مهم اولتراسوند این است که به دلیل ماهیت مکانیکی ارتعاش مکانیکی آن انرژی غیر یونیزانی تولید می‌کند. بنابراین استفاده از آن در بسیاری از شرایط حساس که اشعه ایکس ممکن است آسیب رسان باشد توصیه می‌شود. همچنین، به دلیل توانایی نفوذپذیری بالا دارای محدودیت رزولوشن است و همچنین تفاوت اندک بین بافتهای نرم، وضوح تصویربرداری اشعه ایکس را محدود می‌کند. سونوگرافی، از سوی دیگر، کنتراست خوبی بین انواع مختلف بافت نرم ایجاد می‌کند. اصول بکار رفته در اسکن اولتراسونیک تشخیصی، مشابه کاربرد آن در ناوبری صوتی می‌باشد. پالس‌های سونوگرافی فرکانس بالا که معمولا بالاتر از یک مگا هرتز هستند، توسط یک مبدل پیزوالکتریک ایجاد شده و به سمت بدن هدایت می‌شوند. با حرکت اولتراسوند از درون اندام‌های داخلی، تغییراتی در امپدانس آکوستیک ایجاد می‌شود که انعکاس به وجود می‌آورد. مقدار و تاخیر زمانی بازتاب‌های مختلف می‌تواند برای به دست آوردن اطلاعات در مورد ارگان‌های داخلی تجزیه و تحلیل شود. در حالت B- scan، یک آرایه خطی از مبدل‌ها برای اسکن یک مقطع از بدن استفاده می‌شود و داده‌های حاصل بر روی صفحه مانیتور به شکل یک نمودار دو بعدی نمایش داده می‌شود. تکنیک A- scan از یک تک مبدل برای اسکن در امتداد یک خط از بدن استفاده می‌کند و اکوها به عنوان تابعی از زمان رسم می‌شوند. این روش برای اندازه گیری فاصله یا اندازه اندام‌های داخلی استفاده می‌شود. حالت M- scan برای ثبت حرکات اندام‌های داخلی، مانند مطالعه اختلال عملکرد قلب استفاده می‌شود. وضوح بیشتر در تصویربرداری اولتراسونیک با استفاده از فرکانس‌های بالاتر یعنی طول موج‌های کوتاه تر به دست می‌آید. محدودیت این حالت این است که فرکانس‌های بالاتر تمایل به جذب بیشتر دارند.

## تاریخچه

در سال ۱۸۷۶ میلادی، فرانسیس گالتون برای اولین بار پی به وجود امواج فراصوت برد. در زمان جنگ جهانی اول کشور انگلستان برای کمک به جلوگیری از غرق شدن کشتی هایش توسط زیردریایی‌های کشور آلمان در اقیانوس اطلس شمالی دستگاه کشف‌کننده زیردریایی‌ها به کمک امواج صوتی به نام سونار ابداع کرد. این دستگاه امواج فراصوت تولید می‌کرد که در پیدا کردن مسیر کشتی‌ها استفاده می‌شد. این تکنیک در زمان جنگ جهانی دوم تکمیل گردید و بعدها به‌طور گسترده‌ای در صنعت این کشور برای آشکار سازی شکاف‌ها در فلزات و سایر موارد مورد استفاده قرار می‌گرفت. از کاربرد بخصوصی که انعکاس صوت در جنگ و صنعت داشت صوت‌یاب به علم پزشکی وارد شد و تبدیل به یک وسیله تشخیصی بزرگ در علم پزشکی گردید.

## سیر تحولی در رشد

نخستین دستگاه تولیدکننده امواج فراصوت در پزشکی، در سال ۱۹۳۷ میلادی توسط دوسیک اختراع شد و روی مغز انسان آزمایش شد. اگر چه فراصوت در ابتدا فقط برای مشخص کردن خط وسط مغز بود، اکنون به صورت یک روش تشخیصی و درمانی مهم درآمده و پیشرفت روز به روز انواع نسل‌های دستگاه‌های تولید فراصوت، تحولات عظیمی در تشخیص و درمان در علم پزشکی به وجود آورده‌است. اگر چه بر اساس آماری که در سال ۲۰۰۰ گرفته شده اولتراسوند بعلت هزینه پایین تر، ایمنی بیشتر، حمل و نقل آسان و امکان ارائه تصاویر زنده بیش ترین کاربرد را در مقایسه با سایر روش‌های تصویر برداری دارد ولی بر

اساس آمار به ترتیب سی. تی. اسکن[1] و ام. آر. آی[2] و پس از آن تصویربر داری هسته ای به‌ویژه مقطع نگاری پوزیترون[3] بیشترین کاربرد را دارند چرا که سامانه فراصوتی دارای محدودیت هایی نیز هست از جمله:

امواج فراصوت قابلیت عبور از استخوان را ندارند. همچنین از گاز و هوا نیز نمی‌توانند عبور کنند و بازتاب پیدا می‌کنند. بنابراین روش ایده آلی برای تصویربرداری از سینه، روده و معده نمی‌باشند. گازهای روده‌ای جلوی تصویربرداری از ساختمان‌های داخلی تر مثل پانکراس و آئورت را می‌گیرند. دیگر اینکه امواج در بافت‌ها افت کرده و به‌عنوان مثال، این مسئله تصویر برداری از قلب افراد چاق را با مشکل مواجه می‌کند.

## سونوگرافی داپلر

سونوگرافی داپلر[4] نوعی از سونوگرافی است که برای تصویربرداری خون جاری در قلب و عروق استفاده می‌شود. در مامایی نیز از سونوگرافی داپلر جهت گوش دادن به صدای قلب جنین استفاده می‌شود. سونوگرافی داپلر همچنین برای تشخیص ترومبوز وریدی، واریکوسل، تنگی و انسداد شریانی به ویژه در شریان کاروتید استفاده می‌شود.

[1] CT
[2] MRI
[3] PET
[4] Doppler sonography

## سونوگرافی چهاربعدی

سونوگرافی چهار بعدی روشی است برای انتشار سه بعدی تصویر جنین و دیدن حرکات همان لحظه‌ی اوست و شبیه دیدن یک ویدئوی زنده از جنین که داخل رحم مادر است این سونوگرافی همانند سونوگرافی‌های دیگر است که در دوران بارداری استفاده می‌شود بین هفته‌های ۲۶ تا ۳۲ بارداری انجام شود بهتر است. مبدل که دستگاه موج‌های صوتی است را روی شکم شما حرکت می‌دهند. امواج به جنین شما برخورد می‌کند و بازتاب یا پژواک می‌کند و ترجمه می‌شود و بر روی صفحه نمایش میدهد.

## اجزای یک دستگاه سونوگرافی

دستگاه‌های سونوگرافی، امروزه به آسانی در دسترس هستند و به طور گسترده‌ای برای اهداف تشخیصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اجازه دهید دریابیم که امواج اولتراسوند چگونه تولید می‌شوند و از طریق این دستگاه منتقل می‌گردند.

## واحد پردازش مرکزی (CPU)

واحد پردازش مرکزی، منبع‌های تغذیه را برای پروب مبدل در بر می‌گیرد و نیز شامل ریز پردازنده‌ای می‌باشد که به مجموعه‌ای از مداراتی اشاره می‌کند که واحد پردازش مرکزی را به بقیه‌ی رایانه متصل می‌نماید. وظیفه‌ی CPU، این است که داده ها را دریافت کند و خروجی‌هایی را از طریق پردازش داده ها بر طبق دستور العمل‌های ذخیره شده ایجاد نماید.

در سونوگرافی، واحد پردازش مرکزی، جریان الکتریکی را به مبدل می‌فرستد و اطلاعات فرستاده شده را به واسطه‌ی پردازنده، پردازش و به تصاویر دو بعدی و سه بعدی تبدیل می‌نماید. این تصاویر را می‌توان بر روی نمایشگر مشاهده کرد.

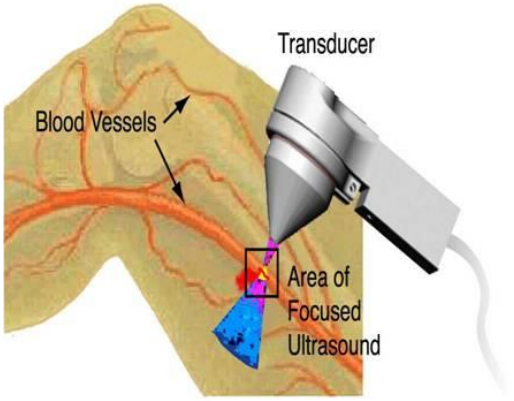
## مبدل

مبدل، یک جزء جدایی ناپذیر از سونوگرافی به حساب می‌آید. اصطلاح "مبدل" به دستگاهی اشاره می‌کند که انرژی را از یک شکل به شکل دیگری تبدیل می‌نماید. این وسیله به عنوان فرستنده و نیز به عنوان گیرنده عمل می‌کند. در سونوگرافی، ژلی بر روی بخش مورد نظر بدن قرار داده می‌شود تا از بد شکل شدن امواج صوتی جلوگیری نماید. پروب، بر روی بخش مورد نظر از بدن به جلو و عقب حرکت داده می‌شود. اعمال یک جریان الکتریکی به کریستال‌ها در مبدل، منجر به تولید امواج اولتراسوند می‌گردد. انعکاس امواج اولتراسوند در مرز انواع مختلفی از بافت رخ می‌دهد. مبدل، انرژی مکانیکی حاصل از این انعکاس ها یا این امواج اولتراسوند را که از اندام یا بافت هدف قرار داده شده به عقب باز می‌گردند، به یک جریان الکتریکی تبدیل می‌کند. سپس CPU، اطلاعات مربوط به بلندی و دامنه‌ی انعکاس‌ها و نیز مدت زمان مورد نیاز امواج اولتراسوند به منظور منعکس شدن در مبدل را پردازش می‌کند تا تصاویر دو بعدی و سه بعدی از اندام‌های داخلی ایجاد نماید.

## سایر اجزاء

سونوگراف می‌تواند از صفحه کلید برای افزودن یادداشت‌ها و اندازه گیری از تصویر استفاده نماید. از کنترل‌های پالس مبدل می‌توان برای تغییر دادن مدت و فرکانس مربوط به پالس های اولتراسوند یا تغییر حالت اسکن استفاده نمود.

- داده‌های پردازش شده در CPU تغییر می‌یابند و به تصویری تبدیل می‌گردند که می‌توان آن را بر روی نمایشگر مشاهده نمود.
- تصاویر و داده‌های پردازش شده را می‌توان بر روی هارد دیسک به همراه سوابق پزشکی بیمار ذخیره نمود. ممکن است این اطلاعات هم زمان بر روی دیسک ذخیره گردند یا تنها یکی از آن‌ها روی هارد دیسک ثبت شود.
- به علاوه، تکنسین سونوگرافی می‌تواند تصویری را انتخاب نماید که بتوان آن تصویر را توسط یک چاپگر حرارتی متصل به دستگاه سونوگرافی چاپ نمود.




سونوگرافی کاربردهای مختلفی در فرآیندهای تشخیصی دارد اما این ابزار، برای تجزیه و تحلیل رشد جنین به امری الزامی تبدیل گشته است. در حالی که سونوگرافی معمولی، تصاویر دو بعدی از استخوان بندی انسان سه بعدی ایجاد می‌کند، در حال حاضر تولید تصاویر سه بعدی و چهار بعدی نیز امکان پذیر می‌باشد.

در حالی که اسکن‌های سه بعدی، هنوز تصاویری از جنین در سه بعد هستند، تصاویر سه بعدی در حال حرکت از جنین، به عنوان اسکن های چهار بعدی مطرح می‌گردند. اگر چه اثرات زیان آوری به استفاده از اولتراسوند مربوط نگشته‌اند، نگرانی هایی در مورد ارتباط احتمالی بین سوء استفاده از اولتراسوند و اثرات حرارتی مربوط به امواج اولتراسوند مطرح شده‌اند. به عنوان مثال، اگر پروب در یک نقطه از بدن برای مدت زمان طولانی بدون حرکت باقی بماند، می‌تواند منجر به افزایش درجه‌ی حرارت در آن نقطه گردد. به منظور کاهش دادن چنین خطراتی، بسیار ضروری است که دستگاه سونوگرافی به دست یک سونوگرافیست با تجربه مورد استفاده قرار گیرد.

## پروپ‌های فراصوت در پزشکی

یک پروب فراصوت ابزاری است که با دریافت صوت و انتقال انعکاس آن می‌تواند بازتابی از بافت‌ها و اندام‌ها را ایجاد نماید. این وسیله که عموما الکترونیک و یا در برخی موارد مکانیکی است، در حقیت یک نوعی از انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کند. مبدل یا پروب یک بخش اساسی از دستگاه سونوگرافی است. پروب امواج فراصوت را به داخل بدن منتشر می‌کند و

انعکاس امواج تولید شده را دریافت و با انتقال به کامپیوتر در نهایت منجر به ایجاد تصویر می‌شود.

## پروب چیست؟

پروب‌های سونوگرافی تا حد زیادی باعث تسهیل سونوگرافی می‌شوند. به عنوان مثال درسونوگرافی پستان، پزشک با کشیدن پروب روی پوست ژل زده به راحتی می‌تواند تصاویر را روی مانیتور مشاهده کند. معاینات با استفاده از پروب‌های سونوگرافی یکی از ایمن‌ترین روش‌های معاینه هستند. استفاده از پروب‌های سونوگرافی مرغوب تأثیر به سزایی در کیفیت تصاویر به دست آمده در سونوگرافی دارد. پروب استفاده شده همچنین باید اندازه مناسبی داشته باشد. هر یک از انواع پروب کاربرد مخصوص به خود را دارد که در قسمت بعدی توضیحات کاملی در مورد آن ارائه می‌دهیم. ممکن است پروب‌ها برای سونوگرافی تنها روی پوست بدن بیمار کشیده شوند. اما در برخی موارد نیز پروب‌ها وارد بدن می‌شوند. به عنوان مثال در سونوگرافی پستان، پروب روی سطح بدن کشیده می‌شود. اما در سونوی واژینال پروب‌ها باید وارد بدن بیمار شوند. پروب‌ها با نام مبدل‌های سونوگرافی نیز شناخته می‌شوند. برخی از آن‌ها به صورت الکتریکی و برخی دیگر به صورت مکانیکی کار می‌کنند. مبدل ها، امواج صوتی را به سمت بدن می‌فرستند. سپس تصاویر دریافت شده را به مانیتور منتقل می‌کنند. پروب‌های مکانیکی طول عمر کم‌تری دارند و معمولا برای سونوی سه و چهار بعدی استفاده می‌شوند. اندازه آن‌ها بزرگتر است و کندتر عمل می‌کنند. مبدل‌های الکتریکی

طول عمر بیشتری دارند و سریع‌تر عمل می‌کنند. اما قابلیت ایجاد تصاویر در زمان واقعی را ندارند.

## چند مدل پروب مختلف وجود دارد؟

پروب‌های سونوگرافی با توجه به فاکتورهای مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال آن‌ها را می‌توان با توجه به کریستال‌های پیزالکتریک، پرینتر و فرکانسی که دارند نیز دسته‌بندی کرد. اما به طور کلی سه نوع پروب وجود دارد که در سونوگرافی بیشترین کاربرد را دارد. سایر نمونه‌ها تنها در موارد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از این نمونه‌ها پروب‌های مدادی است که برای سنجش جریان خون و سرعت امواج صوتی در خون استفاده می‌شود.

## پروب منحنی شکل یا کانوکس

در این سری از پروب ها آرایش کریستال‌های پیزوالکتریک به صورت منحنی می‌باشد. همچنین شکل میدان نیز در پروب‌های کانوکس به صورت منحنی و کروی می‌باشد. این مدل پروب ها برای تصویربرداری‌های عمقی مناسب هستند هرچند که با افزایش عمق تصویر برداری، رزولوشن تصاویر کاهش می‌یابد. همانند پروب‌های لینیر، در پروب‌های کانوکس نیز، پرینتر کوچک آن، فرکانس و نوع کاربرد پروب به این بستگی دارد که تصویربرداری دوبعدی یا سه‌بعدی باشد. پروب کانوکس برای تصویر برداری دوبعدی پرینتر گسترده و فرکانس مرکزی ۲/۵- ۷/۵ مگاهرتز دارد. از این پروب برای تصویر برداری‌های

مقاطع عرضی، شکمی و تشخیص اندام‌ها استفاده می‌شود.پروب کانوکس برای تصویر برداری سه بعدی میدان دید گسترده‌ای دارد و فرکانس مرکزی آن ۳/۵- ۶/۵ مگا هرتز می‌باشد. می‌توان از این پروب برای مطالعات شکمی استفاده کرد. علاوه بر پروب کانوکس، پروب کوچکتری به نام میکروکانوکس نیز وجود دارد، که برای نوزادان و اطفال کاربرد دارد. پروب‌های منحنی یا کانوکس برای بزرگسالان استفاده می‌شوند. برای تصویر برداری‌های شکمی کودکان و نوزادان از پروب‌های میکرو کانوکس استفاده می‌شود.

## پروب خطی خطی یا لینیر Liner

در این سری از پروب ها، قرار گیری کریستال پیزوالکتریک به صورت خطی میباشد. شکل میدان این پروب مستطیلی است. پروب خطی تصاویری با کیفیت و رزولوشن بالا از اندام‌های نزدیک به سطح بدن (پوست) ایجاد می‌نماید. این امر پروب را برای تصویربرداری از عروق و برخی پروسه‌های پیچیده مانند تعیین خط مرکزی مناسب می‌گرداند. پرینتر کوچک آن، فرکانس و کاربرد پروب‌های لینیر به این بستگی دارند که تصویربرداری دو بعدی یا سه بعدی باشد. پروب خطی برای تصویربرداری دو بعدی دارای پرینتر(footprint) گسترده با فرکانس مرکزی ۲/۵- ۱۲ مگا هرتز دارد. از این پروب می‌توان برای تصویر برداری‌های مختلفی از جمله آزمون‌های وسکولار(عروقی)، عروق زایی رگ‌های خونی، پستان، تیروئید و تاندون‌ها، لاپاراسکوپی، حین اعمال جراحی، اندازه گیری ضخامت چربی بدن و عضلات برای مراقبت‌های روزانه و چک کردن سندروم لوکوموتیو[1] و... استفاده کرد.

[1] locomotive syndrome

پروب خطی برای تصویربر داری سه بعدی پرینتر گسترده‌ای دارد و فرکانس مرکزی آن ۷,۵- ۱۱ مگا هرتز می‌باشد. این پروب برای تصویربرداری از پستان، تیروئید و شریان‌های کاروتید مناسب است. پروب خطی برای سونوگرافی پستان، تیروئید، تاندون‌ها و لاپاروسکوپی کاربرد دارد.

## پروب فازی

پروب‌های آرایه فازی نسبت به دو نوع قبلی کاربرد کم تری دارند. این پروب ها پرینتر کوچکی دارند و فرکانس آنها پایین و در محدوده ۲- ۷/۵ مگا هرتز می‌باشد. میدان دید در این پروب ها باریک است اما این موضوع به فرکانس بسیار وابسته است. علاوه بر این، شکل میدان سه گوش (مثلثی) می‌باشد و رزولوشن تصاویر آنها در نزدیکی میدان ضعیف است. از پروب‌های phased array معمولا در آزمون‌های قلبی، شکمی و مغزی استفاده می‌شود.

## سایر انواع پروب‌های سونوگرافی

پروب‌های مدادی Pencil که به آنها پروب‌های داپلر CW نیز گفته می‌شود به منظور اندازه‌گیری جریان خون و سرعت صدا در خون مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پروبها پرینتر کوچکی دارند که دارای فرکانس پایین ۲- ۸ مگا هرتز می‌باشد.

نوع دیگر پروبها، پروب‌های مختص غدد درون ریز (endocavity) هستند که شانس تصویربرداری داخلی (اینترنال) را فراهم می‌کنند. این پروب‌ها متناسب با شرایط قرارگیری در حفره‌های بدن طراحی شده‌اند. پروب های غدد درون ریز شامل اندوواژینال، اندورکتال

و پروب های تصویربرداری حفرات هستند. به طور کلی پرینتر این پروبها کوچک است و دارای فرکانس های متفاوتی در رنج ۳/۵- ۱۱/۵ مگاهرتز می‌باشد.
به علاوه، پروب های داخل مریTEE [1] نیز وجود دارند که همانند پروبهای غدد درون ریز، دارای پرینتر کوچک هستند و برای آزمون های داخل بدن (اینترنال) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پروب از طریق مری وارد بدن بیمار میشود و معمولا در کاردیولوژی (بررسی قلب) به منظور دستیابی به تصاویر بهتر قلبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرکانس این پروب‌ها در محدوده میانی، بین ۳- ۱۰ مگاهرتز می‌باشد. علاوه بر این‌ها تعدادی پروب نیز برای کاربردهای جراحی مانند لاپاراسکوپی طراحی شده‌اند.

## دسته بندی پروب‌های سونوگرافی

دسته بندی‌های مختلفی برای انواع پروب‌های سونوگرافی که بر پایه امواج فراصوت کار می‌کنند، وجود دارد.
پروب قلبی: پروب قلبی در تست اکوکاردیوگرافی به کار می‌رود. در برخی موارد به دلیل پایین بودن فرکانس می‌توان از این پروبها برای مطالعات شکمی نیز استفاده کرد.
پروب عروقی: پروب عروقی به طور رایج برای تصویربرداری از شریان‌های کاروتید و رگ‌ها از جمله در پاها به کار می‌رود. از این پروب همچنین برای تصویربرداری تیروئید، تزریق‌های تحت هدایت و در برخی موارد، زمانی که فرکانس به اندازه کافی بالا است، برای معاینات پستان استفاده می‌شود. نکته مهم اینجا ست که انجام آزمون با این پروب در معاینات پستان نباید جایگزین ماموگرافی شود بلکه این دو در کنار هم باید مورد استفاده قرار گیرند.
پروب‌های شکمی: پروب‌های شکمی برای تصویربرداری از اندام هایی مانند کلیه، کبد، طحال و معده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی معاینات مطالعات زنان/ زایمان با مبدل‌های شکمی صورت می‌گیرد.
پروب‌های واژینال: پروب‌های ترانس واژینال برای انجام مطالعات زنان در مراحل مختلف بارداری از طریق ورود به واژن بانوان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

[1] transesophageal

پروب‌های اندورکتال: پروب‌های اندورکتال هستند به طور معمول برای چکاپ سرطان رکتوم (مقعد) استفاده می‌شوند و ارولوژیست‌ها معمولا از این نوع پروب استفاده می‌کنند.
در آخر مبدل اکوکاردیوگرافی TEE است که از مسیر مری عبور داده می‌شود و برای ارزیابی مطالعات قلبی با استفاده از مبدل اکو به کار می‌رود. مبدل اکو امواج صوتی را برای TEE ایجاد می‌نماید. این پروب به یک لوله بسیار باریک متصل شده و از طریق دهان از راه گلو پایینم می‌رود و وارد مری می‌شود. به دلیل اینکه مری به اتاقک‌های فوقانی قلب بسیار نزدیک است، تصاویر واضحی از ساختارهای قلبی و دریچه‌های آن ایجاد می‌نماید.

## تفاوت پروب‌های دو بعدی و سه بعدی و چهار بعدی در چیست؟

برخی از افراد تصور می‌کنند که پروب‌های سونوگرافی دو بعدی و سه بعدی و چهار بعدی تفاوت‌های جامعی با یکدیگر دارند. اما نوع پروب‌ها یکی است. همانطور که می‌دانید در سونوگرافی دو بعدی، تصویری صاف از بافت مورد نظر روی مانیتور ایجاد می‌شود. اما در سونوگرافی سه بعدی، تصویر حجم دارد. به همین دلیل تشخیص عارضه‌ها و موارد مشکوک در سونوی سه بعدی ساده‌تر است.
پروب‌های مورد استفاده در تصویربرداری دو بعدی در یک آرایه تک بعدی قرار می‌گیرند. سپس به کمک کریستال‌های پیزوالکتریک موجود در وسیله، تصاویر دریافت شده را به صورت دو بعدی روی مانیتور نمایش می‌دهند. تصاویر سونوی دو بعدی در زمان واقعی ایجاد نمی‌شود. این مورد نیز از دیگر تفاوت‌های میان سونوی دو بعدی و سه بعدی یا سونوی چهار بعدی است.
پروب‌های سونوگرافی مورد استفاده برای تصویربرداری‌های سه بعدی، معمولا مکانیکی هستند. این پروب‌ها ارزان‌تر هستند و قابلیت ایجاد تصاویر پیشرفته‌تر روی مانیتور را دارند. همانطور که گفته شد این تصاویر نیز در زمان واقعی ایجاد نمی‌شوند.
پروب‌های سونوگرافی چهار بعدی در آرایه‌های ماتریکس قرار می‌گیرند. میدان آن‌ها هرمی شکل است. آن‌ها با استفاده از پالس سونوگرافی، تصاویری در زمان واقعی ایجاد می‌کنند. کاربرد سونوگرافی چهار بعدی در زنان و زایمان تنها برای اکوکاردیوگرافی قلب جنین است. این نوع سونو همچنین برای سنجش قلب بزرگسالان نیز استفاده می‌شود.

## اندازه‌های مختلفی پروب‌های سونوگرافی

کاربرد پروب‌ها دراندازه آن‌ها تأثیر به سزایی دارد. که مبدل‌های مکانیکی نسبت به نمونه‌های الکتریکی بزرگ تر هستند. پروب‌های مورد استفاده برای سونوگرافی قلب نسبت به سایر پروب‌ها کوچک تر هستند. مبدل هایی که برای سونوی شکمی استفاده می‌شوند، پرینتر بزرگ تری دارد. پروب هایی که برای سونوی واژینال استفاده می‌شوند نیز کشیده و باریک هستند و پرینتر کوچکی دارند.

## کاربرد امواج فراصوت

## کاربرد تشخیصی (سونوگرافی)

بیماری‌های زنان و زایمان (Gynocology) مانند بررسی قلب جنین، اندازه گیری قطر سر (سن جنین)، بررسی جایگاه اتصال جفت و محل ناف، تومورهای پستان.

بیماری‌های مغز و اعصاب (Neurology) مانند بررسی تومور مغزی، خونریزی مغزی به صورت اکوگرام مغزی یا اکوانسفالوگرافی.

بیماریهای چشم (ophthalmology) مانند تشخیص اجسام خارجی در درون چشم، تومور عصبی، خونریزی شبکیه، اندازه گیری قطر چشم، فاصله عدسی از شبکیه.

بیماری‌های کبدی (Hepatic) مانند بررسی کیست و آبسه کبدی.

بیماری‌های قلبی (cardology) مانند بررسی اکوکاردیوگرافی.

دندانپزشکی مانند اندازه‌گیری ضخامت بافت نرم در حفره‌های دهانی.
این امواج به علت اینکه مانند تشعشعات یونیزان عمل نمی‌کنند. بنابراین برای زنان و کودکان بی‌خطر می‌باشند.

## کاربرد درمانی (سونوتراپی)

### کاربرد گرمایی

این امواج به علت اینکه مانند تشعشعات یونیزان عمل نمی‌کنند. بنابراین برای زنان و کودکان بی‌خطر می‌باشند. با جذب امواج فراصوت بوسیله بدن بخشی از انرژی آن به گرما تبدیل می‌شود. گرمای موضعی حاصل از جذب امواج فراصوت بهبودی را تسریع می‌کند. قابلیت کشسانی کلاژن (پروتئینی ارتجاعی) را افزایش می‌دهد. کشش در scars (اسکار- جوشگاههای زخم) افزایش می‌دهد و باعث بهبود آنها می‌شود. اگر اسکار به بافتهای زیرین خود چسبیده باشد، باعث آزاد شدن آنها می‌شود. گرمای حاصل از امواج فراصوت با گرمای حاصل از گرمایش متفاوت است.

### میکروماساژ مکانیکی

به هنگام فشردگی و انبساط محیط، امواج طولی فراصوتی روی بافت اثر می‌گذارند و باعث جابجایی آب میان بافتی و در نتیجه باعث کاهش ورم (تجمع آب میان بافتی در اثر ضربه به یک محل) می‌شوند.
درمان آسیب تازه و ورم: آسیب تازه معمولا با ورم همراه است. فراصوت در بسیاری از موارد برای از بین بردن مواد دفعی در اثر ضربه و کاهش خطر چسبندگی بافتها به هم بکار می‌رود. درمان ورم کهنه یا مزمن: فراصوت چسبندگی هایی که میان ساختمان‌های مجاور ممکن است ایجاد شود را می‌شکنند.

### کاربرد امواج فراصوت پر قدرت[1]

از امواج فراصوت با قدرت‌های کم جهت تصویر برداری و آزمون‌های غیر مخرب استفاده می‌کنند. امواج فراصوت با قدرت زیاد نیز در علم پزشکی کاربردهای فراوانی دارد. یکی از

[1] High Power Ultrasound

آشناترین مثال‌های برای امواج فراصوت پر قدرت، استفاده از آن‌ها جهت شکستن و خرد کردن سنگ کلیه است. همچنین برای از بین بردن تومورهای سرطانی در ناحیه مغز نیز از آن‌ها استفاده می‌شود. از آنجا که سونوگرافی نوعی ارتعاش مکانیکی است و می‌تواند در فرکانس‌های بالا به خوبی متمرکز شود، می‌توان از آن برای ایجاد حرارت داخلی بافت موضعی بدون اثرات مضر روی بافتهای مجاور استفاده کرد. این تکنیک را می‌توان برای از بین بردن درد در مفاصل، به ویژه در پشت و شانه استفاده کرد. همچنین در حال حاضر در درمان نوع خاصی از سرطان با استفاده از حرارت محلی، تحقیقات انجام شده است، زیرا تمرکز امواج التراسونیک پرقدرت می‌تواند ناحیه‌ی تومور را به دمای بالا برساند، در حالی که اثرات قابل توجهی بر بافت اطراف نداشته باشد. جراحی بدون اثر (Trackless) یا به عبارت دیگر جراحی که نیازی به برش یا شکاف از پوست به ناحیه آسیب دیده ندارد، برای کابردهای مختلفی توسعه یافته است. پرتو سونوگرافی متمرکز شده برای درمان بیماری پارکینسون با ایجاد نواحی مغزی در مناطقی که دسترسی با عمل جراحی سنتی امکانپذیر نیست بکار میرود. یکی دیگر از کاربردهای رایج درمانی این روش، شکستن سنگ کلیه با امواج شوک شکل گرفته توسط انفجارهای سونوگرافی متمرکز است.

## کنترل کیفی تجهیزات سونوگرافی

الف) میزان استفاده از دستگاه سونوگرافی در هر مرکز: حجم بیمارانی که قرار است در یک بازه زمانی مشخص توسط دستگاه سونوگرافی تحت عکسبرداری قرار گیرند. یکی از عواملی که باید به آن توجه شود چرا که دستگاه سونوگرافی که برای یک مطب شخصی نسبت به یک بیمارستان با تعداد مراجعه کنندگان زیاد بسیار متفاوت است.

ب) نوع فعالیت و تخصص پزشک: در صورتی که یک پزشک متخصص بخواهد فقط در زمینه اکوکاردیولوژی فعالیت نماید، بهتر است که مبادرت به خرید سیستمی نماید که صرفاً مجهز به نرم افزارهای مناسب برای اکوکاردیولوژی و پروب‌های لازم برای این کار است و یا برای یک متخصص مامایی یا اورولوژی باید دستگاه سونوگرافی خریداری شود، که دارای جداول مربوط به زمینه‌های فوق در حافظه سیستم و حداقل دو پروب یکی از نوع CONVEX 3.5 MHzو دیگری از نوعLINEAR 7.5 MHz و یک چاپگر لازم است.

وجود یک دوربین (VCR) می‌تواند برای بازبینی مجدد و آنالیز دقیقتر در تشخیص‌های بهتر به متخصص کمک نماید.

ج) قابلیت ارتقاء دستگاه سونوگرافی: در زمان خرید دستگاه سونوگرافی باید به قابلیت ارتقاء دستگاه از نظر سخت افزاری (پروب‌های جدید و ...) و نرم افزاری (قابلیت نصب نرم افزارهای جدید) در آینده راهنمایی‌های لازم گرفته شود چرا که معمولاً شرکت‌های شناخته شده و معتبر به این مسائل توجه کافی دارند.

د) کیفیت دستگاه سونوگرافی: در کشور هایی نظیر آمریکا سازمان هایی نظیر کالج رادیولوژی(ASR) و انستیتوی اولترسوند در پزشکی (AIUM) وجود دارند که در صورت در خواست پزشک به طور داوطلبانه دستگاه سونوگرافی مورد نظر او را چک می‌کنند. باید توجه داشت که کیفیت یک دستگاه سونوگرافی ممکن است به مرور زمان کاهش یابد. لذا باید هر ۶ ماه یکبار دستگاه سونوگرافی بررسی شود و میزان رزولوشن تصویر و صحت عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد. اما در هنگام خرید دستگاه سونوگرافی اطلاع از سایر مراکزی که دستگاه مورد نظر را خریداری کرده‌اند می‌تواند تجربه ای ارزنده در انتخاب دستگاه سونوگرافی داشته باشد. در هنگام خریداری دستگاه سونوگرافی به موارد زیر دقت نمائید:

ه) دقت تصویر دستگاه سونوگرافی در حالتهای مختلف: باید در حین خرید دستگاه سونوگرافی مورد نظر را در حالات مختلف از نظر مدهای کاری شرایط محیطی و تصویر برداری‌های معمول مورد بررسی قرار داد.

و) یکنواخت بودن تصویر مانیتور دستگاه سونوگرافی و تصویر چاپ شده: باید بررسی نمود که تصویری که در مانیتور دستگاه سونوگرافی نشان داده می‌شود با تصویر چاپی مطابقت داشته باشد چرا که در برخی سیستم‌ها به سبب کیفیت پایین سیستم چاپ دستگاه سونوگرافی و عدم توجه به این مطلب در حین خرید موجبات تشخیص‌های غیر قطعی و اشتباه در آینده فراهم می‌شود.

ز) مناسب بودن محل قرارگیری پروب ها: یکی از مشکلات هرچند ساده محل قرارگیری و شکل پروب‌های دستگاه‌های سونوگرافی است که این مسئله حتما در حین خرید باید مورد نظر قرار گیرد.

ی)شرایط فروش دستگاه سونوگرافی و خدمات متعهد شده یکی از مهمترین پارامترهایی که در هنگام خرید دستگاه سونوگرافی باید به آن توجه شود، شرایط فروش و مدت و

کیفیت قرارداد خدمات پس از فروش از نظر قسمت‌ها و شرایط تحت گارانتی دستگاه سونوگرافی می‌باشد. قیمت خرید اولیه دستگاه سونوگرافی در اغلب موارد شامل ضمانت یک ساله، نصب و آموزش کار با دستگاه می‌باشد. البته باید به این نکته توجه داشت که برخی شرکتها هزینه نصب و آموزش را به صورت جداگانه مطالبه می‌کنند. در حال حاضر طبق قوانین وزارت بهداشت تمام شرکت‌های تجهیزات پزشکی موظف به گارانتی یک ساله و خدمات پس از فروش ۱۰ ساله هستند. برخی شرکت‌ها پس از اتمام مدت ضمانت جهت سرویس و بازدید منظم دستگاه سونوگرافی، قراردادی با مراکز درمانی منعقد می‌نمایند که مبلغ آن متناسب با قیمت، نوع و تعداد دستگاههای موجود در مرکز می‌باشد.

## تصویربرداری سونوگرافی با موبایل

دستگاه سونوگرافی موبیوس(MobiUS) به تلفن‌های هوشمند و تبلت‌ها وصل می‌شود تا تصویر اسکن شده را در لحظه روی صفحه نمایش دستگاه تلفن یا تبلت نشان دهد. خالقان این دستگاه اعتقاد دارند که قابل حمل بودن این دستگاه و قیمت اندک آن می‌تواند پیشرفت‌های قابل توجهی را در نحوه ارائه خدمات درمانی در کشورهای غیر پیشرفته و مناطق محروم ایجاد کند. دستگاه‌های سونوگرافی از فرکانس‌های بالای امواج صدا استفاده می‌کنند تا تصویری از بخش‌های بدن فراهم کند، این تصاویر می‌تواند برای تشخیص بیماری به پزشک کمک کند. استفاده این دستگاه برای بارداری شناخته شده است که از طریق آن می‌توان جنین را در رحم مادر مشاهده کرد، اما از این فناوری برای مشاهده اندام هایی چون قلب، ریه، کبد، کلیه و سینه‌ها نیز استفاده می‌شود.

دستگاه سونوگرافی قابل حملی که در زمستان گذشته مجوز FDA (سازمان نظارت بر غذا و دارو آمریکا) را برای حضور در بازار کسب کرده بود، پای خود را از موسسه تحقیقاتی Mobisant بیرون گذاشت و رسما وارد دنیای عرضه و تقاضا شد. این دستگاه که MobiUS (اولترا سوند همراه) نام دارد، می‌تواند به راحتی در جیب جا شود و کارهای یک دستگاه سونوگرافی معمول را انجام دهد. بنابراین دیگر برای انجام بررسی‌های سونوگرافی نیازی نیست تا بیمار به مراکز تشخیصی، درمانی مجهز اعزام شود. مطمئنا بسیاری از کلینیکها و مراکز درمانی در نقاط دور افتاده و محروم چشم انتظار رسیدن چنین دستگاه‌های هستند اما چیزی که در این میان می‌تواند امید این مراکز را کمرنگ کند. قیمت بالای دستگاه (حدود ۷۵۰۰ دلار) است؛ البته شرکت سازنده وعده داده است که در صورتی که سفارش‌های بیشتری برای خرید این دستگاه بگیرد می‌تواند قیمت را تا نصف پایین بیاورد. مشکل دیگر تکنولوژی نسبتا قدیمی دستگاه است؛ مغز متفکر این دستگاه گوشی Toshiba TG01 است که بر پایه ویندوز ۶٫۱ (قابل ارتقا به ۶٫۵) کار می‌کند.

# فصل پنجم

## سونوگرافی دو بعدی، سه بعدی و چهار بعدی

## سونوگرافی دو بعدی

ده‌ها سال است که اسکن سونوگرافی در دوران بارداری انجام میشود و هیچ کس ضرری برای آن نیافته است. برای ایجاد شرایط ایمن فرد سونوگرافی کننده معمولا از دستور العمل خاصی پیروی می‌کند. مطالعات هیچ ارتباطی بین انجام این اسکن با وزن هنگام تولد، سرطانهای دوران کودکی و اختلال شنوایی و یادگیری پیدا نکردند. با این حال بیشتر کارشناسان معتقدند این کار باید توسط متخصص انجام شود. سونوگرافی دو بعدی تفسیر امواج منعکس شده از بافت‌های بدن است. این روش تشخیصی بیش از ۳۵ سال است که به کار برده می‌شود و تاکنون هیچ گونه خطری ناشی از آن به اثبات نرسیده است. دوره سونوگرافی در دوران ۲ درمان ناهنجاری مادرزادی با انجام بارداری امکان پذیر است. (بهترین زمانانجام سونوگرافی هفته ۱۲ تا ۱۴حاملگی می‌باشد).

## سونوگرافی چطور انجام میشود؟

فردی که سونوگرافی را انجام میدهد ژلی را روی شکم قرار داده و پروب را روی پوست حرکت میدهد تا تصاویری از جنین به دست آورد. اگر اوایل بارداری اقدام به سونوگرافی کردید بهتر است چند لیوان آب بنوشید تا مثانه پر شده و رحم راحت‌تر دیده شود. اگر جنین در عمق لگن باشد یا شما اضافه وزن داشته باشید تصویر واضحی نخواهید داشت. در این صورت ممکن است سونوگرافی واژینال انجام شود. این کار تصویری روشن و واضح از جنین را در مراحل اولیه بارداری نشان خواهد داد. مبدل واژن توسط پوششی شبیه

کاندوم و با مقدار زیادی ژل وارد واژن خواهد شد. نیازی به وارد شدن زیاد این مبدل نیست چون ممکن است به جنین آسیب وارد کند.

## لزوم سونوگرافی دو بعدی

بسیاری از زنان دست کم یک اسکن در دوران بارداری انجام میدهند اما بهتر است بدانید که بسیاری از اختلالات با سونوگرافی مشخص نمیشود. اگر پزشک برای شما سونوگرافی تجویز کرد بهتر است دلیل آن را بپرسید اما در نهایت تصمیم نهایی با شماست.

## سونوگرافی در بارداری

بسته به مرحله‌ای از بارداری که این نوع سونوگرافی در آن انجام میشود، اسکن میتواند موارد زیر را معلوم کند:

بررسی ضربان قلب جنین

مشخص کردن تک قلویی، دو قلویی و بیشتر

تشخیص بارداری خارج رحمی که در آن جنین خارج از رحم و معمولا در لوله‌های فالوپ تشکیل میشود.

تشخیص علت خونریزی، در صورتی که وجود داشته باشد.

مشخص کردن زمان دقیق بارداری با توجه به اندازه‌گیری جنین

ارزیابی وجود سندرم داون با اندازه گیری مایع پشت گردن جنین در هفته ۱۱ تا ۱۴

بررسی طبیعی بودن همه اندامهای جنین

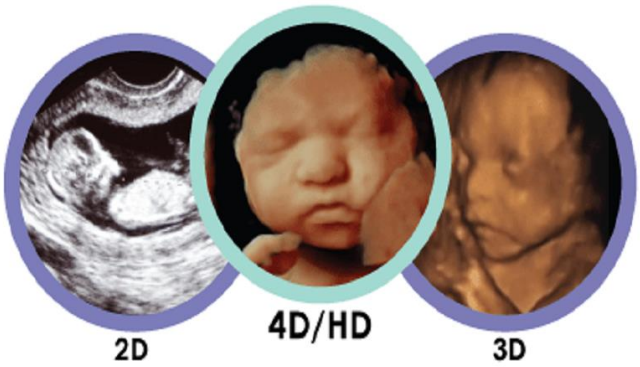
ارزیابی میزان مایع آمنیوتیک
مشخص شدن جنسیت جنین

## صدمات سونوگرافی

اگر مثانه شما پر باشد اسکن از شکم ناراحتی خاصی جز فشاری مختصر روی شکم ندارد اما اگر درد داشته باشید باید به پزشک اطلاع دهید. او ممکن است از شما بخواهد نیمی از مثانه تان را خالی کنید تا انجام این کار راحت تر باشد. در سه ماهه سوم نیازی به پر بودن مثانه نیست. در این مرحله جنین بزرگ است و مایع آمنیوتیک اطراف آن به ایجاد تصویر روی صفحه نمایش کمک خواهد کرد.

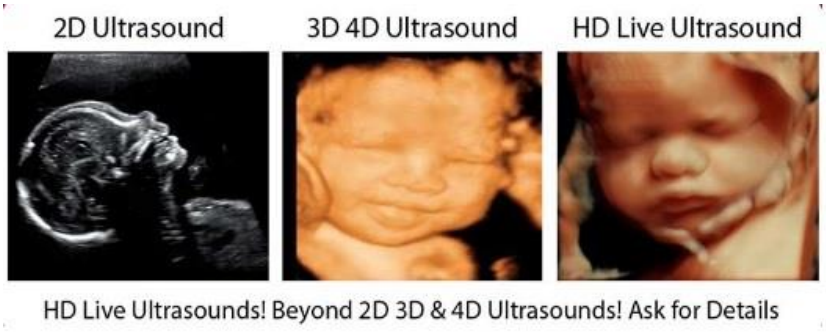
## تفاوت سونوگرافی دو بعدی، سه بعدی و چهار بعدی

سونوگرافی دو بعدی، همان سونوگرافی سیاه و سفیدی است که پزشک برای تشخیص بارداری و بررسی آناتومی جنین، انجام می‌دهد.




در سونوگرافی سه بعدی تصویری سه بعدی از جنین نشان می‌دهد و سیستم آن به گونه ای است که تصویری واقعی تر از چهره جنین قابل مشاهده است. در سونوگرافی‌های سه بعدی سعی می‌شود امواج صوتی از زوایای مختلف به بدن بیمار فرستاده شود و سپس انعکاس آن در نرم افزارهای پیشرفته یارانه ای در جهت‌های مختلف عرض، طول و عمق تولید شود. در سونوگرافی سه بعدی با کمک نرم افزار خاصی عکس تبدیل به عکس سه بعدی می‌شود. در حال حاضر با استفاده از سونوگرافی سه‌بعدی، امکان تشخیص به موقع

ناهنجاری‌های جنینی و تصمیم گیری بهتر مورد ادامه بارداری و بررسی نتایج اعمال جراحی داخل رحمی به راحتی امکان پذیر شده است.
در سونوگرافی چهار بعدی علاوه بر تصاویری که در سونوگرافی‌های سه بعدی دیده می‌شود حرکت جنین نیز نشان داده می‌شود.




## سونو گرافی سه بعدی

سونوگرافی سه بعدی امواج صوتی با زوایای مختلف به بدن جنین تابانده می‌شود و انعکاس این امواج با کمک نرم افزارهای پیشرفته کامپیوتری تغییر داده می‌شود. اسکن اندام می‌تواند به شکل دستی و از سوی سونوگرافیست یا با دستگاه‌های جدیدتر، توسط پروپ دستگاه صورت گیرد و تصویر سه بعدی ارائه دهد. در این سونوگرافی می‌توان تمام ارگان‌های جنین از سر تا نوک انگشت‌ها را دید و به صورت دقیق قابل بررسی است. در مورد بی‌ضرر بودن یا ضرر داشتن سونوگرافی سه بعدی هنوز چیزی ثابت نشده است ولی به خانم‌های باردار توصیه می‌شود از انجام سونوگرافی سه بعدی به دلخواه خود خودداری کنند. در بین مادران دیده می‌شود که دوست دارند سونوگرافی سه بعدی را انجام دهند ولی باید حتما با تجویز پزشک باشد. سونوگرافی سه بعدی برای بررسی مشکلات آناتومیک است.

البته بهتر است بدانید این مزیت‌ها حاصل استفاده از انرژی زیادی است که به جنین وارد می‌شود و تا حدودی برای جنین خطرناک است و به همین دلیل پزشکان توصیه می‌کنند در صورت لزوم تنها یکبار در طول بارداری این سونوگرافی انجام شود. این سونوگرافی به منظور بررسی ناهنجاری‌ها از حدود هفته ۱۸ تا ۲۲ انجام می‌شود. والدین دوست دارند تمام جزئیات را در مورد شکل جنین بدانند. این سونوگرافی بهتر است حدود هفته ۳۰ تا ۳۵ انجام شود چون در هفته‌های آخر به دلیل اینکه سایز بچه تغییر می‌کند و بزرگ‌تر می‌شود و سایز سرش تغییر می‌کند، جنین به خوبی نشان داده نمی‌شود. اگر جنین اختلالات آناتومیک داشته باشد، در سونوگرافی سه بعدی نشان داده می‌شود. یعنی اختلال چه در اندام درونی و چه در اندام بیرونی مشخص می‌شود. برای مشخص کردن بیماری ژنتیک از سونوگرافی NT استفاده می‌کنند. در هفته ۱۱ تا ۱۴ این سونوگرافی صورت می‌گیرد. در این سونوگرافی ضخامت پشت گردن جنین اندازه گرفته می‌شود، اگر ضخامت زیاد باشد نشان می‌دهد ناهنجاری کروموزومی دارد.

اسکن سه بعدی با استفاده از امواج فراصوتی و نرم افزار تصویری، تصاویر کاملا واضح و روشن از جنین ارائه می‌کند. اسکن سه بعدی تصاویری از نوزاد را در سه بعد نشان می‌دهد. بدون شک این حالت بسیار هیجان انگیز است چون اغلب مادرانی که سونوگرافی دو بعدی انجام می‌دهند از دیدن تصویر سیاه و سفید و تا حدودی تار ناامید می‌شوند.

با اسکن سه بعدی شما پوست جنین را می‌بینید نه اندام داخلی اش را. حتی شما می‌توانید شکل دهان و بینی او را ببینید و قادر به تشخیص خمیازه کشیدنش باشید. سیستم سه بعدی هم مانند سونوگرافی دو بعدی، بدون درد و غیر تهاجمی است. سونوی سه بعدی و چهار بعدی می‌تواند اطلاعات بیشتری در مورد اختلالات شناخته شده فراهم کند. از آنجا که این اسکن می‌تواند جزئیات بیشتری را از زوایای مختلف نشان دهد در تشخیص شکاف لب بسیار کمک می‌کند. این می‌تواند به پزشکان کمک کند تا برای درمان بلافاصله بعد از تولد برنامه ریزی کنند. اسکن سه بعدی می‌تواند برای قلب و دیگر اندامهای داخلی نیز مفید باشد اما در صورتی که پزشک انجام آن را ضروری بداند. بسیاری از متخصصان انجام این سونوگرافی را صرفا برای دیدن ظاهر جنین توصیه نمی‌کنند. برخی از این سونوها ۴۵ دقیقه تا یک ساعت طول میکشد که بیشتر از میزان توصیه شده است و حرارتی که به جنین می‌رسد میتواند خطرناک باشد.

اگر این نوع سونوگرافی در سنین کم بارداری انجام شود، ناهنجاری هایی را هم در جنین پدید می‌آورد.

در مورد بی‌ضرر بودن یا ضرر داشتن سونوگرافی سه بعدی هنوز چیزی ثابت نشده است ولی به خانم‌های باردار توصیه می‌شود از انجام سونوگرافی سه بعدی به دلخواه خود خودداری کنند. در بین مادران دیده می‌شود که دوست دارند سونوگرافی سه بعدی را انجام دهند ولی باید حتما با تجویز پزشک باشد. سونوگرافی سه بعدی برای بررسی مشکلات آناتومیک است. خطرات احتمالی سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی از آنجا که در سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی انرژی زیادی به جنین وارد می‌شود، این انرژی ممکن است برای جنین خطرناک باشد، گرچه هنوز خطرات احتمالی به اثبات نرسیده، ولی تحقیقاتی ادعا می‌کنند به دنبال سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی احتمال سوختگی در بافت نرم جنین وجود دارد همچنین به دلیل انرژی بسیار بالا، امکان بروز آسیب برحلزون شنوایی جنین نیز هست. دستگاه‌های سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی برای گرفتن تصویر مناسب حداکثر انرژی آلتراسوند را به داخل بدن می‌فرستند و چنانچه

پروب این دستگاه به میزان کافی روی شکم مادر باردار نگه داشته شود، حتی می‌تواند مایع‌آمنیوتیک (کیسه اطراف جنین) را به جوش بیاورد و به بافت‌های جنین آسیب بزند، پس مهارت پزشک سونوگراف در مدت زمان سونوگرافی نقش بسیار مهمی در بروز آسیب‌های احتمالی دارد استفاده از روش سونوگرافی سه بعدی در موارد غیرضروری ضمن احتمال آسیب به جنین باعث اتلاف وقت و تحمیل هزینه مالی فراوان به بیماران می‌شود؛ چرا که این نوع سونوگرافی مشمول بیمه نمی‌شود و به دلیل گران بودن آن، تنها هدر دادن پول است. و نیز در ابتدای امر توصیه می‌شود سونوگرافی توسط رادیولوژیست مجرب و آموزش دیده انجام گیرد. روند انجام این سونوگرافی با سونوگرافی معمولی هیچ تفاوتی ندارد. برخلاف سونوگرافی‌های معمولی، نیازی به پرکردن مثانه قبل از انجام سونوگرافی سه بعدی وجود ندارد. نتایج برخی از مطالعات نشان داده که اگر نیم ساعت قبل از سونوگرافی سه بعدی از جنین یک لیوان آبمیوه طبیعی نوشیده شود، جنین در طول سونوگرافی هوشیارتر خواهد بود. براساس نگرش موجود در مراکز تصویر برداری مدت زمان انجام این سونوگرافی باید تا حد امکان کم باشد.

تست سونوگرافی سه بعدی

روش سونوگرافی سه بعدی در دوران بارداری اجباری نیست، بیشتر پزشکان به پدر و مادر برای دیدن نوزاد به دنیا نیامده پیشنهاد میدهند، بیشتر پزشکان این تست را تست بی خطری می‌دانند به خصوص که به عنوان روش بدون جراحی شناخته می‌شود.
در برخی از موارد دکتر به منظور سالم بودن نوزاد در رحم مادر شما را اجبار می‌کند که تست سونوگرافی سه بعدی را انجام دهید، به خصوص برای رد احتمال شکاف لب (یکی از نواقص زایشی بدن) که در سونوگرافی سه بعدی نشان داده می‌شود این تست را انجام دهید.
سونوگرافی سه بعدی مانند یک سونوگرافی معمول است اما نتایج را به صورت سه بعدی نشان می‌دهد. در سونوگرافی سه بعدی از امواج صوتی برای ایجاد تصویر از نوزاد داخل رحم استفاده می‌شود، هنگامی که شما یک سونوگرافی سه بعدی انجام می‌دهید به شما اجازه می‌دهد که تصویر نوزاد متولد نشده خود واضح تر از سونوگرافی معمول مشاهده کنید.

## زمان سونوگرافی سه بعدی

اگر تصمیم به انجام سونوگرافی سه بعدی داشتید بهترین زمان بین هفته ۲۶ تا ۳۰ بارداری است تا به توان ناراحتی‌های مادرزادی جنین از قبیل لب شکری، شکاف کام (کام

شکری)، اسپاینا بیفیدا ( نقایص ستون فقرات و نخاع جنین) و مشکلات مادر زادی قلب جنین و نقایص اندام جنین نظیر چند انگشتی و پا چماقی و غیره را با آن تشخیص داد. قبل از ۲۶ هفته جنین شما چربی بسیار کمی زیر پوستش دارد بنابراین استخواهای صورت خود را نشان میدهند. بعد از هفته سی ام هم سر نوزاد ممکن است در عمق لگن قرار بگیرد و شما قادر به دیدن چهره او نشوید. اگر تا هفته ۲۸ صبر کنید تا جفت جلوی رحم قرار گیرد شما بهترین تصویر را از جنین به دست خواهید آورد. درست است که دیدن چهره جنین بسیار هیجان انگیز است اما گاهی اوقات بسته به نوع دراز کشیدنش، نمیتوان تصویری از او مشاهده کرد. اگر او به سمت خارج دراز کشیده باشد و استخری از مایع آمنیوتیک در اطراف او باشد میتوانید به وضوح چهره او را ببینید. اگر به پشت خوابیده باشد، سرش در لگن قرار داشته باشد یا مایع اطراف آن کم باشد قطعا نمیتوانید درست او را ببینید. تصمیم‌گیری بهتر در خصوص ختم یا ادامه بارداری و بررسی نتایج اعمال جراحی داخل رحمی، از دیگر کاربردهای سونوگرافی سه بعدی است.

در مورد تعیین جنسیت جنین، سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی در هفته ۱۶ حاملگی با دقت بسیار بالائی می‌تواند جنسیت جنین را تشخیص دهد که دقت بسیار بالاتری در مقایسه با سونوگرافی دو بعدی محسوب می‌شود. ممکن است در آینده نزدیک برای تعیین اختلالات عصبی جنین و احتمال وجود فلج مغزی از این روش استفاده شود.

نتایج برخی از مطالعات نشان داده که اگر نیم ساعت قبل از انجام سونوگرافی سه بعدی یک لیوان آبمیوه طبیعی نوشیده شود، جنین در طول سونوگرافی هوشیارتر خواهد بود.

## مزایای سونوگرافی سه بعدی چیست؟

استفاده از این تکنولوژی در بررسی ناهنجاریهای جنین اهمیت دارد. در گذشته در تشخیص ناهنجاری جنینی از روش آمینوسنتز (کشیدن آب اطراف جنین) استفاده می‌شد که امکان سقط جنین وجود داشت، اما امروزه با کمک این نوع سونوگرافی می‌توان بدون بروز هیچ‌گونه خطری برای جنین تا ۹۹ درصد به تشخیص صحیح دست یافت. با توجه به نتایج این سونوگرافی پزشکان می‌توانند به تصمیم گیری بهتری در خصوص ادامه بارداری یا پایان دادن به آن دست یابند. همچنین بررسی نتایج اعمال جراحی داخل رحمی، از دیگر کاربردهای سونوگرافی سه بعدی است. برای بررسی بهتر اختلالات آناتومیک جنین (هر گونه تغییر در اندام درونی و اندام بیرونی مشخص است.

همچنین در آینده می‌توان از این روش برای تعیین اختلالات عصبی جنین و احتمال وجود فلج مغزی استفاده کرد.

نکته مهم: این سونوگرافی بایستی در شرایط خاص انجام شود و همه زنان باردار نیاز به انجام این سونوگرافی ندارند.

## معایب سونوگرافی سه بعدی

- مشاهده جنین قبل از ۱۷ هفته می‌تواند سبب اضطراب ناشی از شکل عجیب و احساس غیر واقعی بودن جنین در مادر شود. بزرگترین خطر بالقوه سونوگرافی سه بعدی برای مادر باردار احساس کاذب عدم نیاز به سایر مراقبت هاست.
- خطر این امواج به مدت زمان تابش امواج، شدت آن‌ها و بسامد امواج بستگی دارد.
- نقص دستگاه سونوگرافی سه بعدی به مایع آمونیاکی دور جنین آسیب می‌زند.
- برای گرفتن تصویر مناسب حداکثر انرژی را به داخل بدن می‌فرستند و چنانچه prob این دستگاه به میزان کافی روی شکم مادر باردار نگه داشته شود، از نظر تئوری حتی می‌تواند کیسه آب اطراف جنین را به جوش بیاورد.
- سونوگرافی سه بعدی به دلیل اینکه بر یک نقطه به مدت طولانی انرژی وارد می‌کند گاهی می‌تواند موجب سوختگی‌هایی در بافت نرم جنین شود.
- در سونوگرافی سه بعدی امواج به صورت prod (برانگیخته) وارد دستگاه می‌شود و دستگاه این امواج را به تصویر تبدیل می‌کند.

- اگر فردی که سونوگرافی سه بعدی انجام می‌دهد مهارت کافی نداشته باشد پیرود بر روی یک نقطه از شکم قرار گرفته می‌شود و امواج به صورت صوت در یک نقطه جمع می‌شود و گرمایی که از این امواج صوتی وارد می‌شود می‌تواند خطراتی ایجاد کند.
- در بیشتر موارد روش سونوگرافی سه بعدی غیر ضروری است و ضمن اتلاف وقت، هزینه مالی فراوانی را به بیماران تحمیل می‌کند.

## سونوگرافی چهار بعدی

سونوگرافی چهار بعدی راهی برای تولید تصویر متحرک از نوزاد داخل رحم است. این سونوگرافی از امواج صوتی برای ایجاد تصویر متحرک استفاده می‌کند. در سونوگرافی سه بعدی، می‌توانید تصویر سه بعدی از جنین را ببینید ولی سونوگرافی چهار بعدی پیشرفته تر است و افکتی را ایجاد می‌کند که شبیه نگاه کردن به ویدئوی زنده است. با استفاده از این تکنولوژی، می‌توانید ببینید که جنین در حال حاضر در رحم چه می‌کند.

سونوگرافی چهار بعدی

## ضرورت انجام سونوگرافی چهار بعدی

ضرورت استفاده از این نوع سونوگرافی‌ها را در مواردی بسیار محدود مانند تشخیص لب شکری یا بیماری‌های استخوانی جنین در نظر گرفته‌اند اما نکته اینجاست که بسیاری از زنان باردار این سونوگرافی را نه برای مشخص شدن ناهنجاریهای ظاهری بلکه تنها برای

دیدن واضح جنین و تعیین جنسیت آن انجام میدهند که کاملا غیرضروری است چون جنسیت جنین با سونوگرافی دو بعدی نیز قابل تشخیص است و نیازی به انجام این اسکن با هزینه بالا و البته خطرات نامعلوم آن نیست.

## سونوگرافی چهار بعدی چگونه عمل می‌کند؟

دستگاهی به نام مبدل در امتداد شکم حرکت می‌کند.
این کار امواج صوتی را از طریق شکم و رحم ارسال خواهد کرد.
امواج صوتی، شکل نوزادتان را بازتاب خواهند کرد.
مانیتور این پیام‌ها را برمی دارد و آن‌ها را به صفحه نمایش می‌فرستد.

## زمان سونوگرافی چهار بعدی

سونوگرافری چهار بعدی نیز مانند سه بعدی بهتر است بین هفته‌های ۲۶ تا ۳۰ بارداری انجام شود. چون قبل از ۲۶ هفته چربی به اندازه کافی روی پوست قرار نگرفته و استخوان صورت او از روی صورت مشخص است. بعد از ۳۰ هفتگی هم ممکن است جنین به عمق لگن برود و در نتیجه سونوگرافی را سخت کند. براساس مطالعات انجام شده مزیت سونوگرافی چهار بعدی و سه بعدی بر اسکن دو بعدی بسیار کم است.

## کاربرد جدید سونوگرافی چهار بعدی

یکی از کاربردهایی که به تازگی از سونوگرافی چهار بعدی به دست آمده آن است که نشان میدهد چطور استعمال دخانیات میتواند روی جنین اثر بگذارد. متخصصان امیدوارند با نمایش این ویدئو مادران به ترک سیگار تشویق شوند. در مطالعه‌ای که انجام شده مشخص شد جنین مادرانی که سیگار میکشند حرکات دهانی بیشتری دارند و بیشتر خودشان را لمس می‌کنند. البته جنین معمولا این حرکات را دارد و هر چه به زمان زایمان نزدیک می‌شود از این حرکات کاسته میشود. اما جنین مادران سیگاری در رشد سیستم عصبی مرکزی تاخیر دارند.

## خطرات سونوگرافی چهار بعدی

دستگاه‌های سونوگرافی سه بعدی و چهار بعدی برای گرفتن تصویر مناسب حداکثر انرژی را به داخل بدن می‌فرستند و چنانچه پروب این دستگاه به میزان کافی روی شکم مادر باردار نگه داشته شود همانند مایکروویو عمل کرده و از نظر تئوری حتی می‌تواند مایع آمنیوتیک (کیسه آب اطراف جنین) را به جوش بیاورد و بافت‌های بدن جنین را دچار آسیب یا سوختگی کند.

# فصل ششم

# سونوگرافی داپلر

## سونوگرافی داپلر[1]

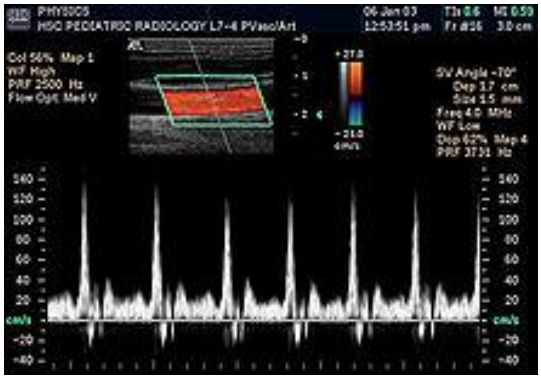
سونوگرافی داپلر نوعی از سونوگرافی است که با استفاده از اثر داپلر تصاویری از حرکت بافت‌ها و مایعات در بدن (معمولاً خون) فراهم آورده به‌علاوه، سرعت نسبی آن‌ها را نسبت به مبدل فراصوت نیز به دست می‌آورد.

**شکل۱- ۶: سونوگرافی داپلر**

در سونوگرافی داپلر با محاسبه شیفت فرکانسی ایجاد شده در اکوی دریافتی از نمونه توسط مبدل فراصوت، سرعت و جهت حرکت خون یا بافت متحرک اندازه‌گیری می‌شود. به‌طور مثال می‌توان سرعت و جهت حرکت جریان خون درون سرخرگ یا جریان خون خروجی از دریچه‌های قلب را تعیین کرد. برای به تصویر کشیدن سرعت و جهت حرکت از داپلر رنگی یا داپلر جریان رنگی استفاده می‌شود که در آن سرعت خون با توجه به مقیاس رنگی در نظر گرفته شده، با یک رنگ به خصوص نشان داده می‌شود. تصویر رنگی داپلر معمولاً با تصویر معمول دو بعدی و سیاه و سفید سونوگرافی[2] ترکیب می‌شود و تصویر سونوگرافی داپلکس را ایجاد می‌کند که تصویر آناتومی محل مورد بررسی را نیز به صورت همزمان نشان می‌دهد.

سونوگرافی داپلر در بسیاری از حوزه‌ها قابل استفاده می‌باشد. به عنوان مثال، برای مطالعات قلبی، عروقی (سونوگرافی سیستم عروقی و قلب) و اندازه‌گیری جریان خون معکوس سیستم عروقی در بیماری پرفشاری ورید باب در کبد از این تصویربرداری استفاده می‌شود.

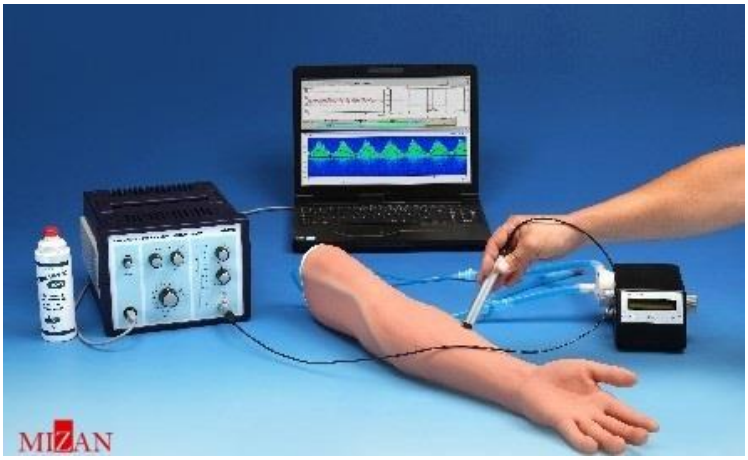
[1] Color Doppler
[2] Brightness mode




**شکل ۲- ۶: سونوگرافی داپلکس شریان کاروتید به همراه نمایش سرعت خون در طی زمان (داپلر طیفی)**

اطلاعات به‌دست آمده از سونوگرافی داپلر به صورت داپلر طیفی که در آن سرعت خون در طی زمان نشان داده می‌شود یا با استفاده از تصاویر نشان داده می‌شوند. تصاویر مورد استفاده شامل داپلر رنگی و داپلر توان[1] می‌باشد. در داپلر رنگی سرعت و جهت حرکت خون از روی شیفت فرکانسی سیگنال داپلر اندازه‌گیری شده و به‌وسیله رنگ نمایش داده می‌شود اما در داپلر توان دامنه سیگنال داپلر یا دامنه فرکانس‌های شیفت یافته اندازه‌گیری شده و از آن برای شناسایی مواد متحرک استفاده می‌شود و هر دامنه را با رنگ‌های متفاوت نشان می‌دهند.دستگاه‌های فراصوت امروزی از داپلر با امواج پالسی[2] برای اندازه‌گیری سرعت استفاده می‌کنند. در این روش دستگاه تولیدکننده پالس فراصوت رشته‌ای از پالس‌ها را ارسال و سپس دریافت می‌کند در این روش شیفت فرکانسی هر فاز در نظر گرفته نمی‌شود زیرا پالس‌ها کوتاه بوده و اندازه‌گیری شیفت فرکانسی ممکن نمی‌باشد بلکه به جای آن تغییرات فاز پالس اندازه گیری می‌شود و از روی تغییرات فاز اندازه گیری شده در طی زمان به وسیله پالس‌های کوتاه ارسال شده و دریافت شده، شیفت فرکانسی را محاسبه می‌کنند.

[1] Power Doppler
[2] Pulsed wave Doppler

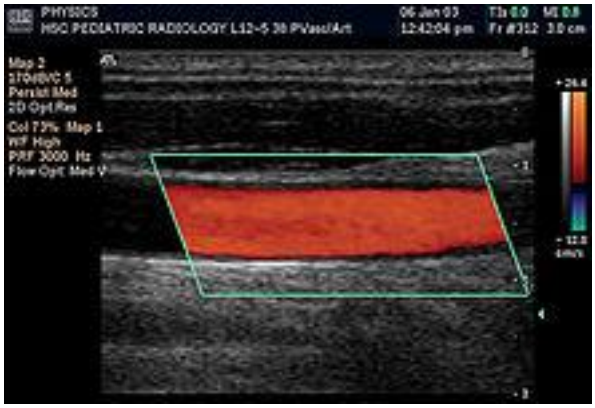



**شکل۳- ۶: سونوگرافی داپلر**

برتری اصلی استفاده از داپلر با امواج پالسی نسبت به استفاده از داپلر موج پیوسته[1] وجود اطلاعات وابسته به مکان در داپلر با امواج پالسی می‌باشد که فاصله مکان مورد بررسی تا مبدل فراصوت را مشخص می‌کند. این فاصله از روی اختلاف زمانی بین ارسال و دریافت پالس توسط دستگاه و دانستن سرعت صوت در محیط به‌دست می‌آید. از جمله معایب داپلر با امواج پالسی امکان رخداد پدیده الیاسینگ در آن می‌باشد. لغت فراصوت داپلر[2] و سونوگرافی داپلر[3] برای هر دو نوع مکانیزم داپلر موج پیوسته و داپلر با امواج پالسی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

باید این نکته را در نظر داشت که استانداردی برای نمایش رنگ در داپلر رنگی وجود ندارد. بعضی از آزمایشگاه‌ها برای نمایش سرخرگ از رنگ قرمز و نمایش سیاهرگ از رنگ آبی استفاده می‌کنند. بعضی از رگ‌ها شامل قسمت هایی هستند که خون در آن‌ها به سمت مبدل در جریان است و در عین حال قسمت‌هایی را دارا می‌باشند که خون در آن‌ها از مبدل دور می‌شوند این اتفاق باعث تصویرسازی غیر منطقی با استفاده از رنگ در رگ هایی می‌شود که قسمتی از آن‌ها سرخرگ و قسمتی سیاهرگ می‌باشد. آزمایشگاه‌های دیگر نیز از رنگ قرمز برای نشان دادن جریان به سمت مبدل و از رنگ آبی برای نمایش جریان دور شونده از مبدل استفاده می‌کنند.

[1] Continuous Wave Doppler
[2] Doppler ultrasound
[3] Doppler sonography

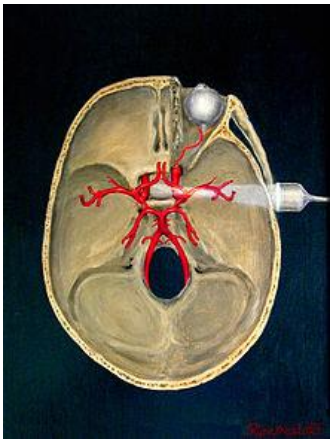



**شکل۴- ۶: اسکن داپلکس شریان کاروتید**

## تصویربرداری داپلر از راه جمجه

تصویربرداری داپلر از راه جمجمه[1] یا تصویر برداری رنگی داپلر از راه جمجه سرعت خون را در رگ‌های مغزی اندازه گیری می‌کنند. در این روش تصویر برداری از آنالیز طیف فرکانسی سیگنال آکوستیک دریافتی استفاده می‌شود و به عنوان یکی از تست‌های تشخیص تغییرات و بیماری‌های موجود در مغز و سیستم عصبی مرکزی[2] به‌کار می‌رود. این تست‌ها برای کمک به تشخیص آمبولی، تنگی عروق، انقباض تدریجی عروق [3]و سایر مشکلات استفاده می‌شوند. علاوه بر این برای تشخیص بیماری سلول‌های داسی شکل خونی و ایزوکمیک[4]( در مغز که بسته شدن عروق مغزی و کاهش اکسیژن و گلوکز را در مغز در پی دارد نیز کاربرد دارد. تجهیزات مورد استفاده برای این تست‌ها قابل حمل می‌باشد. این تست‌ها اغلب با سایر تست‌ها از جمله تصویربرداری تشدید مغناطیسی[5]، آنژیوگرافی تشدید مغناطیسی، تصویر برداری داپلکس شریانی و سی تی اسکن[6] انجام می‌گیرد.

[1] Transcranial Doppler
[2] Acoustocerebrography
[3] Vasospasm
[4] Ischemic
[5] MRI
[6] CT scan



**شکل۵- ۶: داپلر از راه جمجه برای بررسی جریان خون مغزی**

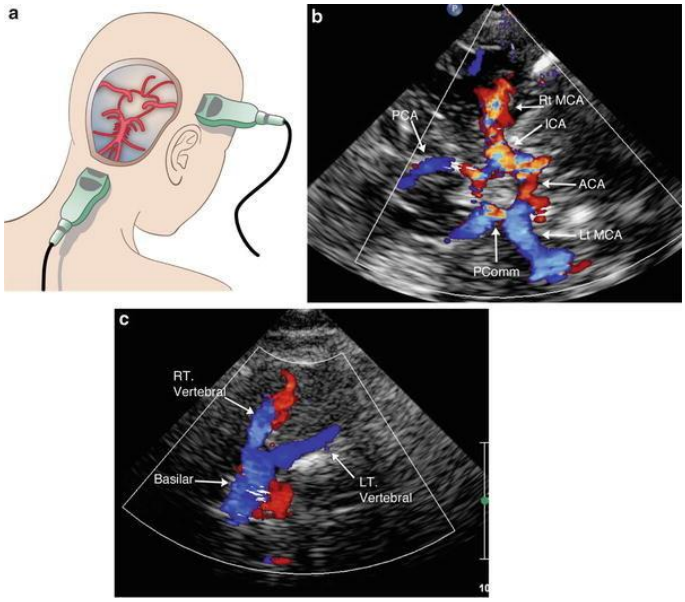
## مواردی سونوگرافی کالر داپلر عروق مغز توصیه می‌شود؟

۱- بررسی علت سرگیجه خصوصا افراد مسن که ممکن است سرگیجه‌ها ناشی از عدم خون رسانی مغز باشد.

۲- در افرادی که دچارخونریزی‌های آراکوئید مغزی شده اند، برای ارزیابی اسپاسم عروق مغز از سونوگرافی داپلر عروق استفاده می‌شود.

۳- در بچه هایی که کم خونی سلول داسی شکل دارند برای ارزیابی جریان خون مغز و کاهش ریسک سکته مغزی در اثر گرفتگی عروق مغز، انجام سونوگرافی کالر داپلر عروق نقش مهمی دارد.

۴- برای بررسی اختلالات عروقی مغز مثل تنگی و یا گرفتگی رگ‌های مغز و کاروتید در افرادی که سابقه سکته مغزی و حوادث عروقی مغز داشته‌اند و یا در معرض خطر آن هستند. مثل افراد مبتلا به فشارخون بالا، چربی، چاقی و دیابت، این سونوگرافی بهترین گزینه می‌باشد.




**شکل۶- ۶: سونوگرافی کالر داپلر عروق مغز**

این نوع تصویربرداری به پزشک کمک می‌کند تا جریان خون را از طریق رگ‌های قسمت هایی مثل پا، گردن و بازوها بررسی کنند. این بررسی‌ها می‌تواند خون‌های مسدود شده و یا جریان خون کاهش یافته را به خوبی نشان دهد، که این اختلال‌ها می‌تواند منجر به سکته شوند.

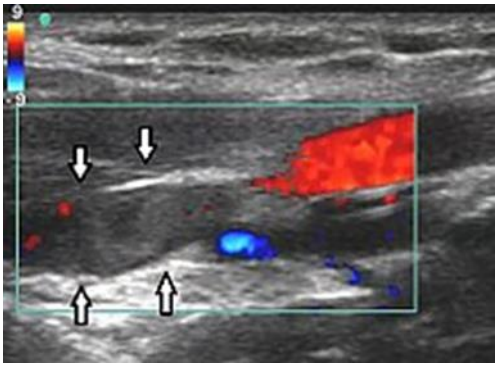
از تجهیزات استاندارد سونوگرافی داپلر برای گرفتن تصویر از رگ‌های خونی و اندام‌ها اطراف استفاده می‌شود و صدای داپلر توسط یک کامپیوتر در نموداری ایجاد می‌شود که سرعت و جهت گردش خون را از طریق عروق نمایش می‌دهد. همچنین برای تهیه تصاویر از روش اولترا سوند استاندارد از عروق خونی استفاده می‌شود. در این نوع سونوگرافی داپلر کامپیوتر اصوات داپلر را به رنگی تبدیل می‌کند و پزشک با انجام آن می‌تواند از سرعت و جهت جریان خون درون رگ‌ها اطلاع یابد. مطالعات جریان وریدی، که تحت عنوان مطالعات جریان خون نیز شناخته می‌شود، می‌تواند جریان غیر طبیعی خون را داخل ورید یا عروق خونی تشخیص دهد. این امر به تشخیص و درمان بسیاری از امراض از جمله لختگی خون و گردش ضعیف خون کمک می‌کند.

## عروق خونی

سونوگرافی عروقی به تشخیص فاکتورهای سیستم گردش خون کمک می‌کند. این روش می‌تواند هم برای سیاهرگ و سرخرگ‌های قسمت مرکزی بدن (شکم) و هم قسمت محیطی بدن به‌کار رود به طور مثال سونوگرافی عروقی برای تشخیص میزان باریک شدن و گرفتگی کامل عروق استفاده می‌شود و هدف اصلی آن تشخیص ایجاد لخته خون در رگ می‌باشد. چند نمونه از سونوگرافی عروق خونی عبارت است از:

- سونوگرافی کاروتید
- سونوگرافی ترمبوز عروق داخلی
- سونوگرافی نارسایی وریدی مزمن در پاها

از تصاویر سونوگرافی داپلکس قبل از هر اقدام تهاجمی و جراحی اعمال استفاده می‌شود. زیرا این تصاویر اطلاعات تکمیلی را در مورد وضعیت بیمار از جمله محل و میزان تنگی یا گرفتگی رگ را در اختیار گذاشته و باعث دقت در روند درمان می‌شود.



**شکل۷- ۶: تصویر سونوگرافی داپلر، وجود لخته در سیاهرگ را نشان می‌دهد درحالیکه جریان خون کاملاً قطع شده‌است**

## کلیه‌ها

از سونو گرافی داپلر به طور گسترده در سونوگرافی از کلیه‌ها استفاده می‌شود. عروق موجود در کلیه‌ها به سادگی توسط سونوگرافی داپلر رنگی قابل ارزیابی می‌باشند. با استفاده از داپلر طیفی حاصل از سرخرگ‌های کلیه، سرعت سیستولیک ماکسیمم، شاخص مقاومت و نمودار شتاب تخمین زده می‌شود. اگر سرعت سیستولیک ماکسیمم بیشتر از 180 cm/s باشد

نشان دهنده تنگی عروق بیش از ۶۰٪ می‌باشد؛ و شاخص مقامت بالای 0/7 نیز نشان دهنده غیرنرمال بودن مقاومت عروق کلیه می‌باشد.

## قلب

اکوکاردیوگرافی داپلر یکی از کاربردهای سونوگرافی داپلر در زمینه بررسی قلب می‌باشد. اکوکاردیوگراف می‌تواند ارزیابی دقیقی از جریان خون، سرعت خون و ماهیچه‌های قلب به دست آورد. یک از محدودیت‌های این روش این است که پالس فرستاده شده باید تا حد امکان موازی جریان خون باشد. از دیگر کاربردهای آن ارزیابی عملکرد دریچه‌های قلب، بررسی وجود هر گونه ارتباط غیرعادی بین سمت راست و چپ قلب، وجود جریان نشتی در دریچه‌های قلب و محاسبه برون ده قلبی می‌باشد. برای افزایش کنتراست در تصویر برداری فراصوت از میکرو حباب‌های پر شده از گاز استفاده می‌شود که می‌تواند باعث بهبود اندازه‌گیری‌ها شود.

تصویر سونوگرافی داپلر کلیه بزرگسال در حالت طبیعی به همراه تخمین سرعت سیستولیک (Vs)، سرعت دیاستولیک (Vd)، زمان شتاب (AoAT)، شتاب سیستولیک (Ao Accel) و شاخص مقاومت .(RI) رنگ قرمز و آبی نشان دهنده جریان به سمت و در جهت عکس مبدل فراصوت می‌باشد. طیف نشان داده شده در زیر تصویر B- mode سرعت خون (m/s) در طی زمان نشان می‌دهد.

**شکل۸- ۶: سونوگرافی داپلر ارزیابی دقیق از جریان خون، سرعت خون**

## مانیتور جنین داپلر

این دستگاه قابلیت تشخیص تپش قلب جنین را دارا می‌باشد و در مقیاس کوچک و دستی ساخته می‌شود. برخی از نمونه‌های آن ضربان قلب جنین را نیز بر حسب تعداد تپش در دقیقه نمایش می‌دهد.

## انواع سونوگرافی داپلر

### داپلر موج پیوسته و یا beside

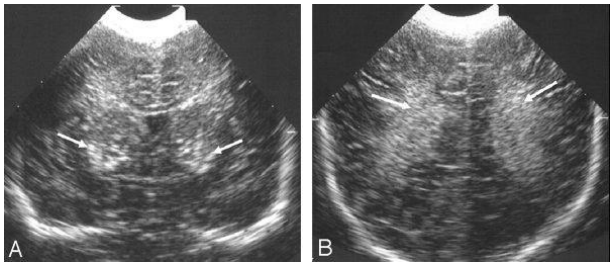
سونوگرافی داپلر موج پیوسته، در یکی از ویژگی‌های امواج صوتی تغییر ایجاد می‌کند تا از جریان خون درون رگ‌های خونی اطلاعات مناسبی را به پردازشگر مخابره کند. متخصص رادیولوژی که سونوگرافی داپلر را انجام می‌دهد، به صدای تولید شده گوش می‌کند تا متوجه شود که خون در آن منطقه به خوبی جریان دارد و یا رگ مسدود و تنگ شده است.
این نوع از سونوگرافی داپلر در کنار تخت در بیمارستان انجام می‌گیرد و کافی است تا دستگاه قابل حمل آن در کنار تخت بیمار قرار بگیرد تا پزشک به سرعت از میزان آسیب عروق خونی بیمار آگاه شود.

### داپلر داپلکس

سونوگرافی داپلر داپلکس از روش اولتراسوند استاندارد برای تولید تصویر از رگ‌های خونی و بافت‌های اطراف آن استفاده می‌کند. همچنین کامپیوتر، اصوات داپلر را به تصاویر تبدیل می‌کند و از سرعت و جهت جریان خون درون رگ ها، به پزشک اطلاعات مناسبی را ارائه می‌دهد.

### داپلر رنگی

سونوگرافی داپلر رنگی، از روش اولتراسوند استاندارد برای تهیه تصاویر از عروق خونی استفاده می‌کند. همچنین کامپیوتر اصوات داپلر را به رنگی تبدیل می‌کند و سرعت و جهت جریان خون را درون رگ‌ها در اختیار پزشک قرار می‌دهد.




**شکل۹- ۶: سونوگرافی داپلر رنگی**

## داپلر پاور (قدرتی)

سونوگرافی داپلر پاور، نوع خاصی از سونوگرافی داپلر رنگی می‌باشد. تصاویری را به دست می‌آورد که با داپلر رنگی استاندارد به سختی به دست می‌آید و یا حتی به دست آوردن آن هم غیرممکن می‌باشد.

این نوع سونوگرافی اغلب برای ارزیابی جریان خون در عروق موجود در اندام‌های با بافت متراکم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## چگونه انجام سونوگرافی داپلر

این سونوگرافی بسته به اطلاعاتی که به دنبالش هستند از دستگاه دستی ای به نام مبدل استفاده می‌کند تا قسمت‌های مختلف را بررسی کند. آزمایش سونوگرافی داپلر توسط رادیولوژیست نیز قابل انجام است و معمولاً در اتاق سونوگرافی انجام می‌شود و از شما خواسته می‌شود هرگونه جواهراتی را که ممکن است در نتیجه اسکن تأثیر بگذارد، در آورید و این که باید بر روی کمر یا سمت چپ خود دراز بکشید و از در معرض دید قرار گرفتن شکم تان اطمینان حاصل کنید و ژل روی شکم شما زده می‌شود. متخصص سونوگرافی داپلر، وسیله ای به اندازه یک قالب صابون را بر روی ناحیه خاصی از بدن (ناحیه ای که سونوگرافی داپلر بر روی آن انجام می‌گیرد) قرار می‌دهد. این روش بسیار امن هست و این کار بدون هیچ گونه عمل تهاجمی و یا وارد شدن از طریق پوست صورت می‌گیرد. پس از قرار گرفتن این وسیله بر روی پوست بدن، متخصص آن را حرکت می‌دهد. حرکت گلبول‌های خونی در رگ‌های فرد، سرعت برگشت امواج را تغییر می‌دهد و دستگاه پردازشگر بر اساس بازگشت امواج فراصوت، تصاویری را بر روی مانیتور ثبت می‌کند که جریان خون

در فرد را نشان می‌دهد. سونوگرافی داپلر برای بررسی میزان آسیب به شریان‌ها به کار می‌رود و به پزشک کمک می‌کند تا بر اساس میزان صدمات وارده، اقدامات درمانی خاصی را انجام دهد. این آزمون می‌تواند روش جایگزینی برای روش‌های تهاجمی مانند آنژیوگرافی و ونوگرافی باشد. در این روش‌ها برای تشخیص مشکل فرد، ماده رنگی به عروق خونی تزریق می‌شود تا تصاویری با اشعه X بدست آید.

**شکل۱۰- ۶: سونوگرافی داپلر سرخرگ کاروتید و رگ‌های خونی**

## محدودیت‌های سونوگرافی داپلر

- تجزیه و تحلیل رگ‌های موجود در بدن کودک شما نسبت به موارد سطحی دشوارتر است و اسکن MRI و CT برای دیدن صحیح این عروق عمیق مورد نیاز است.
- رگ‌های کوچکتر در بعضی مواقع ارزیابی شان دشوار می‌شود.
- اگر آترواسکلروز کلسیفیکاسیون در رگهای خونی وجود داشته باشد ممکن است که مانع از پرتوهای سونوگرافی شوند.
- پرتوهای سونوگرافی معمولاً قادر به تفکیک بین رگ‌های خونی باریک و آنهایی که کاملاً بسته اند، نیستند.

## چرا به سونوگرافی داپلر نیاز داریم؟

اگر با علائم کاهش جریان خون در شریان‌ها یا رگ‌های پاها، بازوها و یا گردن تان مواجه شدید، پزشک ممکن است آزمایش سونوگرافی داپلر را به شما پیشنهاد کند. مقدار کم جریان خون ممکن است به علت انسداد شریان، وجود یک لخته خون در داخل یک رگ خونی و یا وارد شدن آسیب به یک رگ خونی باشد.در صورت بروز علائم زیر، پزشک ممکن است دستور انجام آزمایش سونوگرافی داپلر را صادر کند:

- ترومبوز ورید عمقی (DVT) که به شرایطی گفته می‌شود که یک لخته خون در ورید عمقی بدن شما شکل می‌گیرد. (معمولادر ناحیه پا یا لگن)
- ترومبوفلبیت سطحی که التهاب رگ به دلیل لخته شدن خون در ورید و دقیقا زیر سطح پوست می‌باشد.
- تصلب شرایین که باعث تنگ و سفت شدن شریان هایی که خون پا را تامین می‌کنند.
- ترومبوآنژیت آبلیترانس که یک بیماری نادر است که باعث التهاب و تورم رگ‌های خونی در دست و پا می‌شود.
- وجود تومورهای عروقی در بازوها یا پاها

## هنگام انجام سونوگرافی داپلر

سونوگرافی داپلر یک روش غیرتهاجمی و بدون درد است که شما را در معرض اشعه مضر قرار نمی‌دهد. هیچ خطری در رابطه با انجام این آزمایش وجود ندارد و اکثر افراد در طی انجام این روش احساس ناراحتی نمی‌کنند. آزمایش معمولا در بخش رادیولوژی یک بیمارستان، مطب پزشک یا آزمایشگاه عروق محیطی انجام می‌گیرد. این روش می‌تواند کمی متفاوت باشد، اما به طور کلی می‌توانید انتظار موارد زیر را داشته باشید:
شما باید لباس، جواهرات و هر شیء دیگری را از ناحیه مورد آزمایش، بردارید. اما نیازی به برداشتن عینک، لنزهای تماسی، دندان مصنوعی یا سمعک نیست. ممکن است از شما بخواهند که گان( لباس) بیمارستان را بپوشید.
قبل از انجام این آزمایش، به شما آموزش می‌دهند که بر روی میز یا تخت معاینه دراز بکشید.
سپس پزشک یک ژل محلول در آب را بر روی دستگاهی به نام مبدل قرار می‌دهد که امواج صوتی با فرکانس بالا را به سمت شریان‌ها یا رگ هایی که تحت بررسی هستند، هدایت می‌کند.
برای معاینه شریان ها، فردی که آزمایش را انجام می‌دهد، ممکن است کاف‌های فشار خون را در اطراف قسمت‌های مختلفی از بدن شما قرار دهد. این کاف‌ها به طور کلی بر روی نواحی ران، ماهیچه ساق پا، قوزک پا و یا نقاط مختلفی در امتداد بازوی شما کار گذاشته خواهد شد. این کاف ها، به اندازه گیری فشار خون در قسمت‌های مختلف پا و یا بازو، کمک می‌کنند.

با فشار آوردن مبدل بر روی پوست، تصاویری ایجاد می‌شوند و این مبدل در امتداد بازو یا پا حرکت می‌کند. مبدل، امواج صوتی را از طریق پوست و سایر بافت‌های بدن به رگ‌های خونی می‌فرستد. امواج صوتی، باعث انعکاس صدا در رگ‌های خونی شما می‌شوند و اطلاعات را به کامپیوتر ارسال می‌کنند تا مورد پردازش قرار گرفته و ثبت شوند. کامپیوتر نمودارها یا تصاویری را تولید می‌کند که نشان دهنده جریان خون در داخل شریان‌ها و رگ‌ها می‌باشد. مبدل برای مقایسه به نواحی مختلفی حرکت می‌کند. ممکن است در هنگام پیدا کردن جریان خون، صدای سریع یا ناگهانی جریان خون را بشنوید.

## تفسیر نتایج آزمایش سونوگرافی داپلر

نتایج آزمایش طبیعی، نشان می‌دهند که شما هیچگونه انسداد یا باریک شدن را در رگ‌های خونی خود ندارید. همچنین به این معنی است که فشار خون در عروق شما طبیعی است. الگوهای غیر طبیعی جریان خون از جمله باریک شدن یا بسته شدن شریان ها، می‌توانند نشان دهنده موارد زیر باشند:

- انسداد شریان‌ها که ممکن است به دلیل وجود کلسترول باشد.
- لخته شدن خون در رگ یا شریان
- گردش خون ضعیف که می‌تواند ناشی از آسیب دیدگی رگ‌های خونی باشد.
- انسداد وریدی یا بسته شدن ورید
- بیماری اسپاسم شریان کرونری که در این بیماری، شریان‌ها به دلیل فشار یا قرار گرفتن در معرض سرما، منقبض می‌شوند.
- انسداد یا لخته شدن خون در یک پیوند بای پس مصنوعی

بروز برخی از عوامل، ممکن است نتایج شما را به خطر بیاندازند، به این معنی که این آزمایش را باید دوباره انجام دهید. این عوامل عبارتند از:

- سیگار کشیدن کمتر از یک ساعت قبل از آزمایش
- چاقی مفرط
- اختلالات قلبی و آریتمی یا ضربان قلب نامنظم
- بیماری قلبی/ عروقی

# منابع


- Mason TJ, Phull SS. Uses of ultrasound in the biological decontamination of water. Ultrasonics Sonochemistry. 2002; 10:234- 39.
- Phull SS, Newman AP, Lorimer JP, Pollet B, Mason TJ. The development and Evaluation of ultrasound in the Biological treatment of water. Ultrasonics Sonochemistry. 1997; 4:157- 64.
- Falahati A, Boluri B. The effect of sine magnetic fields on growth E.coli. Journal of ShahidSadughi University of Medical Sciences 2000; 7: 59- 63. [In Persian]
- Al Bsoula. Magnin, J. P. Gondrexon, N. and Willison, P. C. (2010). Effectiveness of Ultrasound For the destruction of Mycobacterium SP. Strain. J Ultra. 17(1): 106- 110.
- Pitt, W. G. and Ross, S. A. (2003). Ultrasound increases the rate of bacterial cell growth. Biotechnol Prog. 19(3): 1038- 1044.
- Pagan, R. And Manas, P. 1999. Resistances of Listeria monocytogenes to Ultrasonic waves under pressure at sub lethal (mano sonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. Journal of Food Microbiology. 16: 139- 148.
- Pagan, R. And Manas, P. 1999. Resistances of Listeria monocytogenes to ultrasonic waves under pressure at sub lethal (mano sonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. Journal of Food Microbiology. 16: 139- 148.
- Piyasena, P. And Mohareb, E. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound. Journal of Food Microbiology. 87: 207- 216.
- Bushong, S.C., Archer, B.R., 2016. Diagnostic Ultrasound Physics, Biology and Instrumentation. Single volume. publisher.vaziri. Ayizh. 964:7006- 17- 9
- Takavar, A. (2016). Medical Physics. Single volume.9 Book- 6 publisher.vaziri. Ayizh. 964- 7006- 92- 6.
- Saberi anvar, H., Abdolahi, M, Atarod. M., 2012. Ultrasound Physics. Publisher. Hakim hidji. 978:600- 5877- 34- 2.
- Mcculloch, E. 2008. Experimental and finite element modeling of ultrasonic cutting of food. Doctoral Thesis, Mechanical Engineering, University of Glasgow.
- Mason TJ, Lormier JP. Applied Sonochemistry. Wiley- VCH: Weinheim, Germany.2002.

- Mendham M, Denney Y, Barnes JD, Thomas M. Vogel's textbook of Quantitative Chemical Analysis. Prentice Hall, Paris. 2000.
- Inez Hua, H. and Thompson, J. 2000. Inactivation of E.coli by sonication at distinct ultrasonic frequencies. Journal of Water Research. 34: 3888- 3893.
- Falahati A, Boluri B. The effect of sine magnetic fields on growth E.coli. Journal of ShahidSadughi University ofMedical Sciences. 2000; 7: 59- 63. [In Persian].
- Villamiel, M. and De Jong, P. 2000. Inactivation of Pseudomonas fluorescens and Streptococcus thermophilus in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous- flow ultrasonic treatment and conventional heating. Journal of Food Engineering. 45: 171- 179.
- Antoniadis A, Poulios I, Nikolakaki E, Mantzavinos D. Sonochemical disinfection of municipal wastewater. J Hazard Mater. 2007; 146(3):492- 5.
- Joyce E, Phull SS, Lorimer JP, Mason TJ. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions: A study of frequency, power and sonication time on cultured Bacillus species. UltrasonSonochem 2003; 10(6):315- 8.
- Dadjour, M.F., Ogino, C., Matsumura, S. and Shimizu, N. 2005. Kinetics of disinfection of Escherichia coli by catalytic ultrasonic irradiation with Tio2. Journal of Biochemical Engineering. 25: 243- 248.
- Burgos, J. and Ordonez, J. 1972. Effect of ultrasonic waves on on the heat resistance of Bacillus cereus and Bacillus licheniformis spores. Journal of Applied Microbiology. 24: 497- 498.
- Babai, F. and Hesari, J., Farajnia, S., Rafat, A., 2015. The effect of ultrasound and titanium dioxide on Staphylococcus aureus and Escherichia coli in liquid whey. Journal of Food Processing and Preservation.94:02:7.
- Lee, H., Zhou, B., Liang, W., Feng, H. and Martin, S. E. 2009. Inactivation of Escherichia coli cells with sonication, manosonication, thermosonication, and manothermosonication: microbial responses and kinetics modeling. Journal of Food Engineering, 93(3): 354- 364.

# واژنامه

**Ultrasonic**

فراصوتی واژه ای برای اشاره به سیگنالها تجهیزات یا پدیده هایی کخه شامل بسامدهای بالاتر از محدوده شنوایی انسان، یا بالای 30 khz هستند، مافوق صوت، فرا صوت.

**Ultrasonic frequency**

بسامد فراصوتی بسامدی بالاتر از محدوده شنوایی، این واژه بیشتر برای امواج کشتسان منتشر شوند در گازها، مایعات یا جامدات به کار می‌رود.

**Ultrasonic bonding**

پیوند فراصوتی پیوند دو فلز مشابه یا متفاوت با فشار مکانیکی توام با حرکت ارتعاشی از امواج فراصوتی، با این روش می‌توان سیمهای رسانای طلایی یا آلومینیمی را به تراشه یا پایه نیمرسانا وصل کرد، پیوند زنی مافوق صوتی.

**Ultrasonic cleaning**

پاک کردن فراصوتی پاک کردن اجسام با غوطه ور کردن آن در مایعی که تحت امواج فراصوتی قرار دارد.

**Ultrasonic coagujlation**

انعقاد فرا صوتی پیوند دادن ذرات کوچک به توده‌های بزرگ با عملکرد امواج فرا صوتی.

**Ultrasonic communication**

مخابرات فرا صوتی مخابرات داخل آب با کلید زنی خروجی صدای سونار مکان یابی پژواکی ردر کشتی‌ها یا زیر دریایی‌ها یا با منتشر کننده‌های فراصوتی تنها.

**Ultrasonic delay line**

خط تاخیرز فراصوتی خط تاخیری که بر اساس زمان انتشار صدا در داخل محیطی مانند کوارتز دوذوب شده، نیتانات باریم یا جیوه برای رسیدن به زمان تاخیر در سیگنال عمل می‌کند.

**Ultrasonic detector**

آشکار ساز فرا صوتی قطعه مکانیکی، الکتریکی، حرارتی یا اپتیکی که امواج فراصوتی را آشکار و اندازه گیری می‌کند این قطعه معمولاً یک تراگردان پیزو الکتریک است.

**Ultrasonic diagnosis**

تشخیص فراصوتی استفاده از روشهای پژواک فراصوتی برای به دست آوردن تصویر دیداری از قسمتهای داخلی بدن انسان برای کاربردهای تشخیص پزشکی.

**Ultrasonic drill**

مته فراصوتی مته ای که دارای تراگردان مغناطوکشسان متصل به مخروط باریک شونده است که به عنوان تبدیل کننده‌ی ف سوراخهایی با شکلهای مختلف، می‌توان در مورد سخت و شکننده مانند کربید تنگستن و سنگهای قیمتی ایجاد کرد.

**Ultrasonic equipment**

تجهیزات فراصوتی تجهیزاتی که انرژی AC با بسامدهای بالای 20 khz برای تحریک یا راه اندازی تراگردان الکترومکانیکی ایجاد می‌کنند تا انرژی فراصوتی را برای اهداف صنعتی، علمی، پزشکی تولید و ارسال کند.

**Ultrasonic flaw detector**

آشکار سازی ترک فراصوتی مولد آشکار سازی فراصوتی برای تعیین فاصله تا درز یا ترک داخلی در جسم جامد که امواج را باز می‌تاباند.

**Ultrasonic frequency**

فرکانس مافوق صوت.

**Ultrasonic generator**

مولد فراصوتی مولد تشکیل شده از نوسان سازی که تراگردان ارکترو آکوستیکی را برای تولید امواج بالاتر از ۲۰ khz تحریک می‌کند.

**Ultrasonic inspection**

بازرسی فراصوتی بازرسی غیر مخرب داخل اجسام با روشهای فراصوتی برای به دست آوردن پژواکهایی از تراکهای داخلی.

**Ultrasonic level detector**

اشکار ساز سطح فراصوتی آشکار ساز سطحی متشکل از فرستنده و گیرنده فراصوتی که در یک دیواره محفظه یا تانک قرار داده می‌شوند وقتی که سطح پایین تر از باریکه فراصوتی است دیواره مقابل باریکه را باز می‌تاباند هنگامی که سطح مایع یا مواد دیگر به باریکه برسد باز تابش از ماده انجام می‌شود و زمان صرف شده برای رفت و برگشت موج کوتاهتر می‌شود.

**Ultrasonic light diffraction**

پراش نور فراصوتی تشکیل طیف پراش اپتیکی هنگامی که باریکه نور از میدان موج فراصوتی طولی می‌گذرد این پراش ناشی از تغییرات متناوب شکست نور در میدان فراصوتی است.

**Ultrasonic light modulator**

مدوله کننده نور فراصوتی مدوله کننده نوری که از عملکرد امواج فراصوتی بر روی باریکه نور عبوری از داخل سیال استفاده می‌کند.

**Ultrasonic localization**

مکان یابی فراصوتی.

**Ultrasonic material dispersion**

پراکندگحی ماده فراصوتی تولید مخلوط معلق مایع در مایع یا جامد در مایع یک ماده در ماده دیگر به دلیل عملکرد امواج فراصوتی باشدت بالا.

**Ultrasonic modulation cell**

سلول مدوله سازی فراصوتی سلولی با باریکه لیزر که بسامد آن با عملکرد موج فراصوتی طولی ناشی از سیگنال تصویر مدوله شده بسامد، مدوله می‌شود موج فراصوتی نور تابیده را به درجات مختلفی پراکنده می‌کند که دچار جا به جایی بسامد می‌شوند این سلول می‌تواند اطلاعات را به اشکار ساز نوری که به دستگاه تلویزیون متصل است ارسال کند.

**Ultrasonic range**

محدوده مافوق صوت.

**Ultrasonic scanner**

پویشگر فراصوتی پویشگری که از روشهای پژواک پالس فراصوتی برای تصویر برداری تشخیصی از بافتها و اندامها استفاده می‌کند.

**Ultrasonic Signal**

سیگنال فراصوتی.

**Ultrasonic space grating**

شبکه فضایی فراصوتی تغییرات فضای متناوب در ضریب شکست محیط در اثر حضور امواج آکوستیکی.

**Ultrasonic stroboscope**

استروبوسکوپ فراصوتی مبدل نوری که اساس عملکرد آن بر مدوله سازی باریکه نور با مبدل فراصوتی است.

**Ultrasonic therapy**

فراصوت درمانی استفاده از ارتعاشهای فراصوتی برای کاربردهای درمانی.

**Ultrasonic thickness gage**

سنجنده ضخامت فراصوتی سنجنده ضخامتی که زمان حرکت باریکه صوتی را در ورقه ای از ماده اندازه می‌گیرد تا ضخامت ماده را تعیین کند.

**Ultrasonic transducer**

تراگردان فراصوتی تراگردانی که انرژی AC بالاتر از ۲۰ khz را به ارتعاشهای مکانیکی با همان بسامد تبدیل می‌کند و معمولاً پیزوالکتریک یا مغناطو - تنگشی است.

**Ultrasonic waves**

امواج فراصوتی امواج کشسان با بسامد بالاتر از ۲۰ khz.

**Ultrasonic welding**

جوشکاری فراصوتی استفاده از انرژی فراصوتی برای گداختن در قطعه فلز متصل شونده به یکدیگر بدون حرارت.

**Ultrasonice sealing**

آب بندی فراصوتی آب بندی بسته‌های ترموپلاستیکی با اعمال فشار مکانیکی و ارتعاش در بسامدهای فراصوتی برای تولید حرارت محلی و ذوب کردن و در هم آمیختن سطوح پلاستیکی.

**Ultrasonics, ultrasound**

فراصوت، فرا صدا شاخه ای از آکوستیک که به ارتعاشات و امواج بالاتر از ۲۰ کیلو هرتز می‌پردازد.