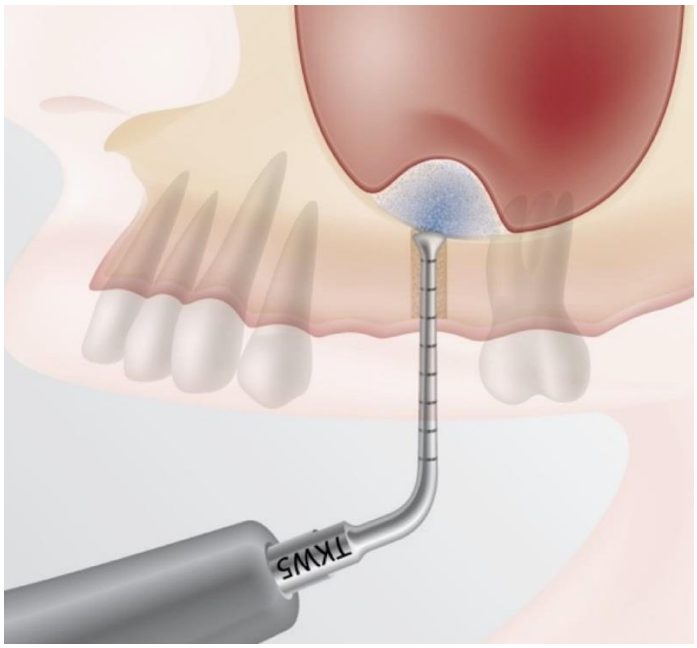
آزمایش شماره 9

بررسی خواص فیزیکی، شیمیایی و درمانی امواج فراصوت پزشکی



9-1 هدف آزمایش:

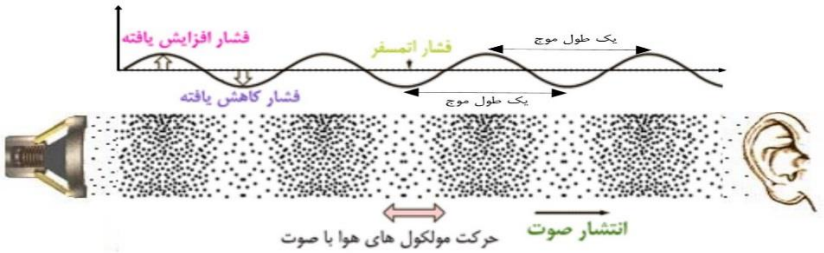
- ✓ بررسی اثر تغییرات شدت و پالس بر روی حرکات ذرات آب، بررسی خاصیت حباب سازی امواج فراصوت در آب
- ✓ بررسی خاصیت حرارتی امواج فراصوت در دو ماده آب و گلیسیرین، بررسی خاصیت شیمیایی امواج فراصوت
- ✓ قابلیت تشخیصی امواج فراصوت

9-2 وسایل موردنیاز:

اسپیکر، ژنراتور، بشر کوچک، آب، ژل، دستگاه فراصوت، لوله‌آزمایش، گلیسیرین، دماسنج، تتراکلریدکربن، یدید پتاسیم، پیپت.

9-3 تئوری آزمایش:

صوت عبارت است از جابه‌جایی ذرات جسم به‌صورت فشرده‌شدن و یا از هم باز شدن آنها از هم که به‌این‌ترتیب موجب ایجاد لرزش‌های مکانیکی و تولید صوت می‌گردند. امواج صوتی، فشار یا امواج مکانیکی هستند که باعث حرکت ذرات یک محیط از میان یا عرض موقعیت‌های متوسط آنها می‌شوند. این حرکات در شکل 1 نشان‌داده‌شده است.



شکل 1 انتشار صوت با نشان دادن نواحی فشردگی و انبساط

یک منبع تولید امواج صوتی در فرکانس صوتی که تولید می‌نماید، مرتعش شده یا نوسان می‌نماید. مولکول‌های هوای جلوی مولد بلافاصله در قسمت جلوی آن به همدیگر فشرده می‌گردند و تولید یک ناحیه هوا با چگالی

بالا می‌نماید که به‌وسیله ناحیه‌ای کوچک با فشار بالا توصیف می‌گردد. در حرکت قسمت جلوی مولد به سمت عقب، یک ناحیه با چگالی مولکولی کاهش‌یافته تولید می‌شود که ناحیه انبساط یا ناحیه کم‌فشار را بیان می‌کند. ترسیم چگالی ذرات برحسب تابعی از فاصله، لگوی موج را نمایش می‌دهد. حرکت مولکول‌های صوتی توسط معادله موج زیر تعیین می‌شود.

$$A=A_0 \sin(2\pi ft.) \qquad (1)$$

که در آن A دامنه موج در زمان A_0 t دامنه بیشینه، f فرکانس است. امواجی که فرکانس آنها از حد شنوایی انسان فراتر است را امواج فراصوت[1] می‌نامند و اجسامی که قابلیت تولید فراصوت را دارند بنام اجسام پیزوالکتریک هستند. فرکانس شنوایی انسان بین 20000 ~ 16 هرتز است. همچنین امواجی که فرکانس این امواج از حد شنوایی انسان پایین‌تر است را امواج فرو صوت[2] می‌نامند. باتوجه‌به پارامترهای فراصوتی قابل‌اندازه‌گیری مانند طول‌موج، دامنه، فرکانس، پریود، سرعت، امپدانس، شدت موج فراصوتی، رفتار موج در هر محیط و چگونگی استفاده از آن متفاوت خواهد بود.

دستگاه مولد امواج فراصوت:

تأثیر متقابل فشار مکانیکی و نیروی الکتریکی را در یک محیط اثر پیزو الکتریسیته می‌گویند. بطور مثال بلورهایی وجود دارند که در اثر فشار مکانیکی، نیروی الکتریکی تولید می‌کنند و برعکس ایجاد اختلاف پتانسیل در دو سوی همین بلور و در همین راستا باعث فشردگی و انبساط آنها می‌شود که ادامه دادن به این فشردگی و انبساط باعث نوسان و تولید امواج می‌شود. مواد (بلورهای) دارای این ویژگی را مواد پیزو الکتریک می‌گویند. اثر پیزو الکتریسیته فقط در بلورهایی که دارای تقارن مرکزی نیستند، وجود دارد .بلور کوارتز از این دسته مواد است و در داخل وسیله ای بنام ترانسدیوسر یا پروب برای ایجاد امواج فراصوت از آن استفاده می‌شود.

آثار بیوفیزیکی و فیزیولوژیکی آلتراساند:

در اثر جذب انرژی آلتراساند در بافت، ذرات حول موقعیت تقریبی خودشان دچار نوسان می‌شوند. این نوسان یا انرژی صوتی به انرژی گرمایی تبدیل شده که میزان آن متناسب با شدت آلتراساند است. اگر تمام این گرما به‌وسیلهٔ عوامل فیزیولوژیکی طبیعی جابه‌جا نشود، گرمای موضعی افزایش می‌یابد و اثرات گرمایی در بافت ظاهر می‌شود، اگر مقدار گرمای جابه‌جا شده برابر گرمای تولید شده باشد هیچ حرارتی در بافت ایجاد نشده و

---

[1] Ultrasound
[2] Infrasound

اثر ظاهر شده در بافت مربوط به اثرات غیرحرارتی امواج است. اثرات غیرحرارتی با استفاده از شدت‌های کم و یا منقطع کردن (پالسی کردن) خروجی امواج آلتراساند به دست می‌آید.

1- آثار حرارتی[۳]

برای اثرات درمانی مفید باید حرارت بافت را حداقل برای 5 دقیقه بین 45-40 درجه به طور ثابت نگه داشته و از افت جلوگیری کرد. مزیت استفاده از آلتراساند برای ایجاد اثر گرمایی، گرم‌کردن تدریجی بافت کلاژن و نفوذ مؤثر این انرژی به ساختمان‌های عمقی است. هر چند که ساختارهای جاذب آلتراساند موجود در مسیر عبور امواج صوتی، می‌توانند از رسیدن این امواج به بافته‌ای موردنظر عمقی، جلوگیری کنند. میزان جذب بستگی به جنس، میزان خون‌رسانی بافت و فرکانس امواج دارد.

2- آثار غیرحرارتی[۴]

یکی از آثار غیرحرارتی امواج فراصوت، پدیده حفره‌سازی (Cavitation) است. گازهای موجود در خون در اثر امواج آلتراساند می‌توانند به‌صورت حباب‌های بسیار کوچک در حد یک میکرون درآیند. این حباب‌هایی بسیار کوچک اگر انرژی کمی داشته باشند سودمند بوده، می‌توانند نفوذپذیری غشای سلول‌های مجاور خود را تغییر بدهند. حباب‌های با فشار زیاد انرژی، گرمای زیادی ایجاد کرده باعث افزایش رادیکال‌های آزاد خون می‌گردند که خطرناک خواهد بود. از طریق پرهیز از ایجاد امواج ایستا به‌وسیله حرکت‌دادن اپلیکاتور روی پوست و نیز استفاده از امواج کم شدت یا منقطع، می‌توانیم موجب کاهش تولید این حباب‌ها و همچنین آثار جانبی ناشی از آنها شویم.

امواج ایستا[۵]: وقتی یک موج آلتراساند بین دو بافت با امپدانس صوتی متفاوت مثل استخوان و عضله، در حال عبور است درصدی از آن منعکس می‌شود و به موج‌های اصلی برخورد کرده و یک میدان امواج ایستا ایجاد می‌کند که دارای قله‌های(Peaks) با فشار زیاد است (Antinodes) که این قله‌ها با فواصل نیم موج از هم جدا هستند و در فواصل این قله‌ها مناطق بدون فشاری وجود دارد (Nodes). در مناطقی که دامنه امواج ترکیبی بسیار زیاد است، امکان افزایش حرارت موضعی مشخص وجود دارد. باید دانست که در صورت حرکت مداوم اپلیکاتور آلتراساند امکان ایجاد امواج ایستا منتفی است.

---

[3] Thermal Effects
[4] Non – Thermal Effects
[5] Standing Waves

میکرو ماساژ مکانیکی: به هنگام فشردگی و انبساط محیط، امواج طولی فراصوتی روی بافت اثر می‌گذارند و باعث جابه‌جایی آب میان‌بافتی و در نتیجه باعث کاهش ورم (تجمع آب میان‌بافتی در اثر ضربه به یک محل) می‌شوند.

آلتراساند منقطع (پالسی) و پیوسته[6]: در مولدهای آلتراساند مداری تعبیه شده که جریان آلتراساند را در پالس‌های کوتاه، معمولاً 2 میلی‌ثانیه برقرار می‌کند .استفاده از این نوع آلتراساند، شدت متوسط در زمان را کاهش داده و بنابراین مقدار انرژی موجود برای ایجاد گرما در بافت را کاهش می‌دهد. در نتیجه تراپیست می‌تواند مطمئن باشد که از انرژی آلتراساند پالسی صرفاً برای استفاده از اثر مکانیکی آن استفاده می‌شود و اثر گرمایی آن حذف شده است؛ بنابراین هنگام استفاده از آلتراساند منقطع می‌توان با اطمینان خاطر از آلتراساند با شدت بالا روی بافت استفاده کرد، زیرا متوسط گرمای ایجاد شده در این روش بسیار کمتر است. لازم به ذکر است نوع آلتراساند پیوسته برای درمان بیماری‌های عضلانی اسکلتی نظیر اسپاسم عضلانی، خشکی مفصلی و یا کاهش درد توصیه شده درحالی‌که نوع آلتراساند منقطع ترجیحاً برای صدمات بافت نرم استفاده می‌شود. تعداد دفعاتی که کریستال در هر ثانیه پالس دهی یا به‌صورت الکتریکی تحریک می‌شود، فرکانس تکرار پالس (PRF) نام دارد.

کاربردهای غیرپزشکی فراصوت عبارت‌اند از:

1- دریانوردی یا علوم نظامی در علمی بنام سونار Sonar که برای ردیابی زیر دریایی دشمن، اندازه‌گیری عمق آب و همچنین ماهیگیری و اهداف دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرد.

2- در آزمایشگاه‌ها مانند استفاده از میکروسکوپ‌های آکوستیک اپتیک در جایی که تصویربرداری از قسمت‌های عمیق جسم و مناطقی که نور قابلیت نفوذ ندارد، همچنین انجام هولوگرافی آکوستیک از اجسام ریز که تصویربرداری به‌صورت سه‌بعدی انجام می‌گیرد. بر همکنش امواج فراصوت با بافت: هنگامی‌که امواج فراصوت به داخل بدن هدایت شوند، بر طبق خواص بافت با آن بر همکنش می‌نمایند. نتایج این بر همکنش در فراصوت تشخیصی به‌صورت امواج فراصوت بازتابیده ثبت می‌شوند. این نوع برهم‌کنش‌ها شبیه به رفتارهایی که در نور مشاهده می‌گردد است. مانند: بازتابش، شکست، پراکندگی، تفرق، واگرایی، تداخل و جذب که تمام این تأثیرات باعث کاهش شدت پرتو فراصوت در بدن می‌شود که تضعیف نامیده می‌شود.

---

[6] Pulsed & continuous Ultrasound

سرعت امواج فراصوت: سرعتی است که موج در محیط منتشر می‌گردد که به چگالی محیط و تراکم‌پذیری آن بستگی دارد. دراین‌رابطه، ρ چگالی ماده و K ضریب تراکم‌پذیری ماده است.

$$c=\frac{1}{\sqrt{\rho K}} \qquad (2)$$

امپدانس صوتی و روش محاسبه آن: حاصل‌ضرب چگالی ماده ρ در سرعت امواج فراصوت c در ماده نشان‌دهنده امپدانس صوتی آن ماده است که به شکل رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z=\rho c \qquad (3)$$

این کمیت، اندازه مقاومت در مقابل عبور امواج فراصوت و شبیه به مقاومت الکتریکی در برابر حرکت الکترون‌ها در داخل رسانا است. واحد امپدانس صوتی، کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه ($Kg/m^2/s$) یا ریل (Rayl) نام دارد. مواد با چگالی بالا، سرعت صوت بالا و بنابراین امپدانس صوتی بالایی دارند.

ضریب بازتابش: زمانی که صوت از یک محیط وارد محیط دیگری می‌شود، به علت تغییر امپدانس محیط، قسمتی از آن بازتابش می‌شود. میزان بازتابش به امپدانس دو محیط بستگی دارد. ضریب بازتابش به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\%R=\left(\frac{Z_2-Z_1}{Z_2+Z_1}\right)^2\times 100 \qquad (4)$$

%R ضریب بازتابش، Z_1 و Z_2 به ترتیب امپدانس صوتی محیط اول و دوم است.

لایه‌های تطبیق امپدانس: تطبیق امپدانس فراصوتی مبدل با جسم اسکن شده یا تحت تابش، عامل است که بر حساسیت تأثیر می‌گذارد. امپدانس فراصوتی بلور 30×10^5 در مقایسه با بافت نرم $1/6\times 10^5$ بزرگ هست که منجر به بازتابش بزرگی در مرز مشترک مبدل - بافت طبق رابطه بالا می‌شود و تنها بخش کوچکی که از رابطه زیر به دست می‌آید وارد بافت می‌شود.

$$\%T=100-\%R \qquad (5)$$

واردکردن مواد جلویی یا لایه‌های تطبیق بین مبدل و بافت با استفاده از ژل این مشکل را تا حد زیادی از بین می‌برد.

شدت فراصوت: مقدار انرژی که از سطح مقطع یک ماده (واحد سطح) در هر ثانیه جاری می شود. در فراصوت افزایش شدت به مفهوم فشرده شدن ذرات در نواحی فشردگی، افزایش فشار صوتی و افزایش اندازه

نوسانات ذرات می‌باشد. برای شدت امواج فراصوت W/cm^2 ، mW/cm^2 یا $\mu W/cm^2$ بکار می‌رود. شدت پرتو فراصوت متناسب با مربع دامنه فشار، دامنه جابجایی ذره یا دامنه سرعت ذره می‌باشد. برای شدت لحظه ای شدت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I = \frac{P_i^2}{\rho c} \qquad (6)$$

که در آن، P_i فشار صوتی لحظه‌ای، ρ چگالی و c سرعت امواج فراصوت است.

روش‌های اعمال آلتراساند

1- درمان به روش تماس مستقیم[۷]: در این روش که شایع‌ترین شیوهٔ اعمال آلتراساند است هد درمانی به کمک یک مادهٔ واسطه بر روی پوست قرار می‌گیرد .به دلیل عبورنکردن امواج آلتراساند از هوا باید بین اپلیکاتور و پوست عاری از هوا باشد، زیرا علاوه بر اینکه وجود هوا شدت امواج انتقال‌یافته به بدن را کاهش می‌دهد، به دلیل انعکاس امواج از هوا به اپلیکاتور، اپلیکاتور گرم شده و عمر مفید کریستال آن کاهش خواهد یافت، به همین دلیل باید بین اپلیکاتور و پوست از یک ماده واسطه که قابلیت عبور امواج صوتی را داشته باشد استفاده کرد.

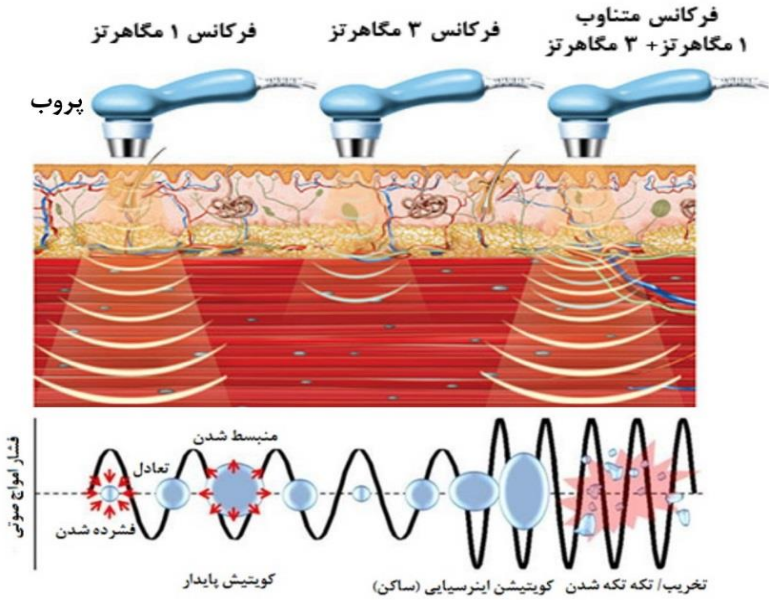
2- درمان زیر آب[۸]: اگر سطح ناحیه مورد درمان شکل نامنظمی داشته باشد (ناصاف باشد) امکان تماس مطلوب بین پوست و هد درمانی مشکل است، بنابراین در این حالت از درمان زیر آب استفاده می‌شود. برای این منظور اندام مورد درمان را در ظرف پرازآب قرار دهید .هد درمانی را درون آب فروکنید و در فاصله مطلوب از سطح ناحیه مورد درمان نگه دارید. دقت نمایید که بر روی پوست ناحیهٔ مورد درمان و سطح هد درمانی، حباب هوا وجود نداشته باشد، (از آب جوشیده ولرم استفاده کنید). در صورت وجود حباب، آنها را از روی سطح پاک کنید.

3- درمان با استفاده از بالشتک آب[۹]: روش دیگر کاربرد آلتراساند روی سطوح نامنظمی که نمی‌توان آنها را داخل ظرف آب قرارداد، استفاده از کیسه پلاستیکی پرازآب است که به‌صورت بالشتکی از آب بین اپلیکاتور و پوست قرار می‌گیرد قبل از گره‌زدن کیسه، تمام حباب‌های هوای قابل‌مشاهده را باید با فشردن کیسه خارج

---

[7] Direct Contact Treatment
[8] Under Water Treatment
[9] Water Pillow Treatment

کرد .ماده واسطه باید روی سطح کیسه، پوست و سر اپلیکاتور به‌خوبی مالیده شود. بعضی از محققین معتقدند که شدت خروجی را باید حدود 50% بیش از شدت لازم برای درمان با روش تماس مستقیم انتخاب کرد.



شکل 2 انتشار امواج فراصوت در بافت و نحوه آسیب یا تاثیر آن بر بافت

مشخصات دستگاه فراصوت آزمایشگاه فیزیک پزشکی:

دستگاه فراصوت بنام BTL-4000 یک دستگاه درمانی است. دستگاه مورداستفاده مولد امواج فراصوتی در آزمایشگاه یک دستگاه درمانی است که با برق شهر ولتاژ 220 و فرکانس 60 ~50 هرتز کار می‌کند؛ اما فرکانس فراصوت تولید شده در این دستگاه 1/3 مگاهرتز است. دستگاه توانایی تولید فراصوت یک پالسی (پیوسته) و چند پالسی را در شدت‌های 1 تا 3 وات بر سانتی‌متر مربع را دارد. این دستگاه قابلیت برنامه‌ریزی برای درمان بیماری‌های مختلف و همچنین برنامه‌ریزی دستی را دارد. در تمام این برنامه‌ها مدت‌زمان پالس دهی 3 دقیقه در نظر گرفته شده است.

1. شدت 1 وات بر سانتی مترمربع و تعداد پالس 10 تحت عنوان کد 8006 ذخیره شده است.
2. شدت 1 وات بر سانتی مترمربع و تعداد پالس 50 تحت عنوان کد 8007 ذخیره شده است.
3. شدت 2 وات بر سانتی مترمربع و تعداد پالس 10 تحت عنوان کد 8008 ذخیره شده است.
4. شدت 2 وات بر سانتی مترمربع و تعداد پالس 50 تحت عنوان کد 8009 ذخیره شده است.

شکل 3 دستگاه فراصوت برای کاربرد های درمانی

دستگاه سونوگرافی تشخیصی:

DP-6600 موجود در آزمایشـگاه، یک سـیستم سونوگرافی قابل‌تشخیص دیجیتالی قابل‌حمل است که دارای تصویربرداری سیاه‌وسفید است.

شکل 4 دستگاه سونوگرافی تشخیصی موجود در آزمایشگاه فیزیک پزشکی

قسمت اول آزمایش:

بررسی اثر تغییرات شدت و پالس بر روی حرکات ذرات آب

روش انجام آزمایش: مقداری آب در داخل بشر کوچکی ریخته (طوری که سرریز نشود) و بر روی پروب می‌ریزیم. با مشاهده دقیق، حرکات ذرات آب را در دو وضعیت امواج 10 و 50 پالسی با شدت 1 و 2 وات بر سانتی‌متر مربع یادداشت می‌کنیم. مدت‌زمان پالس دهی را 3 دقیقه انتخاب می‌کنیم.

قسمت دوم آزمایش:

بررسی خاصیت حباب سازی امواج فراصوت در آب

روش انجام آزمایش: در یک لوله‌آزمایش تا مقدار معینی آب می‌ریزیم و تشکیل حباب‌ها را از پایین لوله به‌طرف سطح آب مشاهده می‌کنیم. در شدت $2\ w/cm^2$ و 10 و 50 پالسی تغییرات مربوط به‌اندازه و تعداد و سرعت حباب‌ها را مشاهده و نتایج را یادداشت کنید.

قسمت سوم آزمایش:

بررسی خاصیت حرارتی امواج فراصوت در دو ماده آب و گلیسیرین

روش انجام آزمایش: در دو لوله‌آزمایش جداگانه و یکسان از لحاظ جنس و حجم و شرایط محیطی از دو مایع آب و گلیسیرین به یک اندازه (هم جرم) ریخته و آزمایش را با شدت 2 و زمان ثابت 3 دقیقه انجام می‌دهیم. نتایج را مطابق جدول برای پالس‌های 10 و 50 یادداشت می‌کنیم.

مواد مورد آزمایش	10 پالس	50 پالس
آب		
گلیسیرین		

تغییرات درجه حرارت (^oC) بعد از دریافت امواج فراصوتی با شدت یکسان و تعداد پالس متفاوت

قسمت چهارم آزمایش:

بررسی خاصیت شیمیایی امواج فراصوت

روش انجام آزمایش: مقداری آب در یک لوله‌آزمایش ریخته (تا ارتفاع دو سانتی‌متر) و یک قاشق یدید پتاسیم به آن اضافه می‌کنیم و آن را به هم می‌زنیم تا یدید پتاسیم کاملاً در آب حل شود سپس توسط پیپت چند قطره تتراکلریدکربن به آن اضافه می‌کنیم که به‌صورت یک‌فاز جداگانه در ته لوله دیده می‌شود. تغییرات مشاهده شده را قبل از فراصوت و بعد از آن یادداشت نموده و فرمول مربوط به انحلال دو ماده را بنویسید. فراصوت را با شدت $2\ w/cm^2$ و 10 پالسی به لوله‌آزمایش اعمال می‌کنیم تا زمانی که تغییرات شیمیایی مشخص آغاز شوند.

قسمت پنجم آزمایش:

کاربرد تشخیصی امواج فراصوت

روش انجام آزمایش: در این بخش استاد مربوطه با استفاده از دستگاه سونوگرافی، خواص تشخیصی امواج فراصوت را بر روی فانتوم حاوی چندین نمونه نمایش می‌دهد. مشاهدات خود را یادداشت نمایید.

شکل 5 تصویری از مواد موجود در داخل فانتوم آب

سؤالات:

1) دلیل اختلاف تصاویر سونوگرافی حاصل از مواد مختلف چیست؟ توضیح دهید.
2) باتوجه‌به تصاویر سونوگرافی از فانتوم، بهترین و بدترین بافت‌ها برای تصویر کدام بخش‌های بدن هستند؟
3) تأثیر فراصوت بر روی تتراکلریدکربن را چگونه مشاهده می‌شود؟
4) حل‌شدن دو ماده تتراکلریدکربن و یدید پتاسیم را از نظر تغییرات ظاهری چگونه است؟
5) کاربرد این خاصیت فراصوت را ذکر کنید.
6) آیا تفاوت گرمایی در شدت $2\ w/cm^2$ برای آب محسوس است؟
7) آیا تفاوت بین امواج 10 و 50 پالسی در تغییرات حرارتی ماده وجود دارد؟
8) تفاوت گرمایی بین آب و گلیسیرین را چگونه مقایسه می‌کنید.
9) تغییرات در امواج 10 و 50 پالسی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟
10) آیا وجود خاصیت کاویتاسیون خطرساز بودن استفاده از امواج فراصوت را موجب می‌گردد؟
11) نوع حرکات امواج 10 و 50 پالسی با افزایش شدت چگونه است؟
12) فرق بین حرکات در امواج 10 و 50 پالسی چیست؟