

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SESÖTESİ UYGULAMALAR İÇİN
YAPIMI KOLAY ve DÜŞÜK MALİYETLİ FANTOM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aydın Uğur KORU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

NİSAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SESÖTESİ UYGULAMALAR İÇİN
YAPIMI KOLAY ve DÜŞÜK MALİYETLİ FANTOM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aydın Uğur KORU
(504041411)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyomedikal Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tayfun AKGÜL

16 ARALIK 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504041411 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Aydın Uğur KORU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SESÖTESİ UYGULAMALAR İÇİN YAPIMI KOLAY ve DÜŞÜK MALİYETLİ FANTOM TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Tayfun AKGÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Tayfun AKGÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Süleyman BAYKUT
Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **21 Nisan 2014**

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Temel Ultrasonik Prensipler.....	4
1.2.1 Sesötesi (ultrasound) nedir?	4
1.2.2 Ses dalgasının fiziksel özellikleri.....	5
1.3 Ölçüm Düzenegi.....	10
1.3.1 Dönüştürücü yapısı.....	10
1.3.2 Sesötesi dönüştürücünün yayılım alanı	12
1.3.3 Temas maddesi (couplant).....	13
1.3.4 Fantom nedir?.....	14
1.3.5 Test düzeneğinin kalibrasyonu.....	15
1.3.6 Suda dönüştürücü hız kalibrasyonu	15
2. YÖNTEM.....	17
2.1 Kullanılan Malzemeler.....	17
2.1.1 Jelatin hazırlama.....	18
2.2 Deney Düzenegi.....	18
2.3 Fantomların Oluşturulması ve Ölçümleri.....	19
2.3.1 Metal para içeren fantom.....	19
2.3.2 Kist tasvirleyici fantom.....	21
2.3.3 Kist tasvirleyici fantom ile etanol çözeltisi.....	24
2.3.4 Yumuşak doku kitle tasvirleyici fantom ile saçıcılar	26
3. TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	31
KAYNAKLAR.....	33
ÖZGEÇMİŞ	35

KISALTMALAR

CW	: Continuous Wave
dB	: Desibel
GHz	: GigaHertz
Hz	: Hertz
kHz	: KiloHertz
MHz	: MegaHertz
Pa	: Paskal
PVA	: Polyvinyl Alcohol
RTV	: Room Temperature Vulcanizing
USD	: United States Dolars
κ	: Sıkıştırılabilirlik

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Akustik spektrum	4
Şekil 1.2 : Sürekli dalga (CW)	5
Şekil 1.3 : Dalga çeşitleri	6
Şekil 1.4 : Akustik dalga yayılımı	6
Şekil 1.5 : Snell yasası	8
Şekil 1.6 : Ölçüm düzeneği	10
Şekil 1.7 : Piezoelektrik etki	11
Şekil 1.8 : Piezoelektrik dönüştürücü yapısı	11
Şekil 1.9 : Dönüştürücü yakın ve uzak alanlarındaki sinyal değişimleri	12
Şekil 1.10 : Temas maddesi	13
Şekil 1.11 : Daldırma tekniği	13
Şekil 1.12 : Kartuş silikon fantom	14
Şekil 1.13 : Dönüştürücü frekans yanıtı.....	15
Şekil 1.14 : 8cm su dolu kapta yapılan ölçüm.....	16
Şekil 2.1 : Jelatin	17
Şekil 2.2 : Silikajel	17
Şekil 2.3 : Ölçüm düzeneği	18
Şekil 2.4 : Metal para konumlandırılan fantom	19
Şekil 2.5 : Yapılan ölçümler	20
Şekil 2.6 : Metal para kullanılan fantomun jelatin üzerinden alınan ölçümü	20
Şekil 2.7 : Metal para kullanılan fantomda paranın üzerinden alınan değerler	21
Şekil 2.8 : 1200ml'lik kabın tabanını 1cm kaplayacak şekilde jelatin	22
Şekil 2.9 : Kist tasviri için kullanılan üzüm tanesi ve yerleşimi.....	22
Şekil 2.10 : Fantomun görünüşü.....	23
Şekil 2.11 : Jelatin bulunan alandan alınan -tabandan gelen- sinyaller	23
Şekil 2.12 : Üzüm üzerinden alınan ölçümler	24
Şekil 2.13 : Ölçüm alınması	25
Şekil 2.14 : Jelatin bulunan alandan kap tabanından alınan sinyaller	25
Şekil 2.15 : Üzüm (kist) üzerinden alınan sinyaller	26
Şekil 2.16 : 250ml'lik kaba yerleştirilen silikajeller	27
Şekil 2.17 : Zeytin (yumuşak doku kitle tasvirleyici) yerleşimi	27
Şekil 2.18 : 1200ml'lik kap ve 250ml'lik hazırlanmış olduğumuz fantom	28
Şekil 2.19 : Üzüm ve silikajel içeren fantomun ölçüme hazır hali	28
Şekil 2.20 : Fantomun iç dağılımının üstten görünümü	28
Şekil 2.21 : 1200ml'lik kap içerisinde zeytin ve silikajel bulunan fantom	29
Şekil 2.22 : Zeytin ve silikajel içeren fantomda ki tabandan gelen sinyaller	29
Şekil 2.23 : Silikajel içeren fantomda zeytin üzerindeyken alınan sinyaller	30
Şekil 3.1 : 10 gün buzdolabında beklemiş fantom	31

SESÖTESİ UYGULAMALAR İÇİN YAPIMI KOLAY ve DÜŞÜK MALİYETLİ FANTOM TASARIMI

ÖZET

Sesötesi cihazlar ülkemizde teşhis amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sesötesi teşhis cihazlarının pozisyon doğrulama (kalibrasyon), mevcut sistemlerin sinyal ve gürültü oranlarının iyileştirilmesinde, kullanıcıların cihaz kullanımları öncesi pratik çalışmalarında ve uygulama esnasında alınan görüntülerin bilinirliği ve yorumlama kolaylığı sağlanması amacıyla fantomlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sesötesi uygulamalarında insan dokularının özel karakteristiğini tasvir edebilecek test materyallerine fantom veya doku simülatörü denir

Literatürde çeşitli dokuların tasvir edilmesi amacıyla değişik materyaller kullanılarak fantomlar oluşturulmuştur. Özellikle yumuşak dokuların tasvir edilmesi amacıyla agar, jelatin, magnezyumsilikat, yağ jel, poliüretan, epoksi reçine, polivinil alkol (PVA), polisakkarit jelleri gibi materyaller ile oda sıcaklığında sertleşebilen silikonlar (RTV) kullanılanlardır. Su temelli materyaller özellikle agar ve jelatin gibi hidrojel olarak adlandırılacak malzemeler iyi performans, herhangi bir zararlı kimyasal içermemeleri, kolay kullanım, uygulamada sağladıkları esneklik ve akustik özellikleriyle öne çıkabilmektedirler.

Fantomların üretilmesinde en önemli kriterler simüle edilmek istenilen dokuların akustik özelliklerine sahip olunmasının sağlanabilmesidir. Bunların başında dokudaki ses hızı, akustik empedansı, zayıflatma ve gerisaçılım katsayıları ile dokunun basınç altındaki değişime tepkisidir.

Ticari olarak üretilen fantomlar birçok pazar ve belli başlı uygulamalar için üretilmiş olup kişiselleştirilememektedir. Birçok dokuyu ve organı temsili olarak oluşturan bu fantomların fiyatları yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu sebeple uygulama yapılacak dokulara en yakın özellikte, kullanımı kolay ve maliyeti düşük fantomların üretilmesi önem taşımaktadır. Jelatin gibi materyaller ile oluşturulmuş fantom veya doku modellerinde yaşanan en temel sorunlar; mikrobiyolojik unsurların (bakteri ve mantarların) zaman içinde gelişmesi ve hassas yapıları nedeniyle fantomların fiziksel ve akustik özelliklerini kaybedebilmeleridir.

Çalışmada yapımı kolay, herhangi bir zararlı kimyasal içermeyen hayvansal bir ürün olan jelatin kullanarak, maliyeti düşük sesötesi fantomlar oluşturularak ölçümler alındı. Ölçümlerin alınmasında darbe-yankı metodu ve A tipi tarama kullanılarak, fantomların içerisine yerleştirdiğimiz kitle ve kist tasvirlerinin konum, boyut gibi özelliklerinin tespit edilmesine çalışıldı. Fantomdaki ses hızının ölçümü ve bu hızın insan yumuşak dokularındaki hız değerine (≈ 1540 m/s) ulaştırılması için çalışma yapıldı. Ayrıca; doku içerisinde bulunması muhtemel saçıcı ve dağıtıcı tasvirlerini de katmak suretiyle ölçümlerimizin gerçekliği arttırılmaya çalışıldı.

ULTRASOUND APPLICATIONS FOR EASY and LOW COST PHANTOM DESIGN

SUMMARY

Medical imaging is one of the fastest developing areas in medicine. One of the major factors of this development is examining the tissues without physical intervention. The most frequently used technique in medical imaging is the use of ultrasonic systems due to its damage-free nature to tissues, easy to use, getting real time images, and non-radiation technique, which is relatively low cost comparing with other imaging methods.

Ultrasound systems use sound waves to examine tissues. When sound waves meet different impedance inside the human body, they are scattered or backscattered where the same transducer collects the backscattered waves. When one transducer makes this process, is called A type scan. In practice instead of a single transducer an array of transducers are used whose outputs can be combined to produce two-dimensional images, which are called B scan. The B scan works as A type scan mode but plots the strength of the scattered or backscattered signals as changes in brightness. Strong reflections are brighter than the weaker reflections. While transducer is moving on human body, a two-dimensional image is built by these reflections. Today, mostly ultrasonic system imaging uses B type scan.

Ultrasound phantom or tissue simulators are testing objects that illustrate or simulate the special characteristics of human tissues in ultrasonic applications. Hospitals, clinics and research centers use phantoms to calibrate and initial testing of their systems, additionally training of ultrasound technicians prior to the practical work. Optimizing signal to noise ratios of the existing systems and getting familiar before real applications are also necessary.

In literature, various materials and many techniques have been proposed to produce phantoms. Specifically, for mimicking soft tissues agars, gelatin, magnesium silicate, oil gel, polyvinyl alcohol (PVA), polyester and epoxy resins, and room-temperature vulcanizing (RTV) silicone are frequently used. Water based substitutes, agars and gelatin based soft tissue substitutes (also called hydrogels) are the most widely used materials that have advantages of being easy to prepare, and easy to use. Moreover, well performance, containing no harmful chemicals, flexibility and acoustic properties come into prominence at usage.

The ideal ultrasound phantom should have same acoustical properties as those simulated tissues. The most important characteristics are sound speed in tissue, acoustical impedance, attenuation, backscatter coefficient and nonlinearity parameter. The speed of sound in tissue typically determined by the time of flight

measurements through a material of given thickness. Acoustic impedance can be calculated by speed of sound in tissue and measured density of material. The attenuation coefficient can be measured using through-transmission method, especially for low attenuation materials.

Acoustic properties of soft tissue phantoms are highly dependent on preparation technique and handling. Mostly measurements of acoustic properties of tissues are taken in room temperature, however these will be highly dependent on tissue substitutes and temperature varies. The most important problem encountered in the use of such materials in phantoms is microbiological factors (i.e., bacteria and fungus) which may evolve over time due to the sensitivity nature of losing physical specifications and acoustical characteristics that change with time.

Many commercially produced phantoms, which are used by a wide range of markets, are not customized but manufactured for particular applications. Customized designed phantoms are either expensive or cannot simply be developed by the user. To overcome the above-mentioned disadvantages and to have the closest features to the tissues one may need to produce his/her own easily produced and low cost phantom.

In this thesis; gelatin, which is an animal product that contains no harmful chemicals, has been used as low-cost, homemade ultrasonic phantoms. The pulse-echo measurements of A type scanning is preferred. Note that the pulse-echo method is the most frequently used and simple method. This method relies on sending sound waves from a transducer and getting echoes from the same one.

Among various available 1 MHz surface type transducers in our laboratory, a transducer with the best frequency response has been chosen for experiments whose center frequency was at 870 kHz with a bandwidth of 485 kHz. Vegetable oil and vaseline are used as couplant. As these couplant materials cause defect during the tests, simply water is used also. For those, the selection criteria should be the same as the impedance value with applied tissues additional non-reacting chemical selection. In this study, the cartridge of silicon has been considered as the tissue mimicking phantom material, which can be easily found in the market.

200 bloom of beef gelatin is used in this study, which is low cost, contains no harmful chemical and can easily be found in vendors. To simulate a mass and a cyst in a tissue, an olive and a grape have been chosen respectively. Both of them are considered in literature also. Moreover, water filled balloons may be used for depiction of cyst and fruit or vegetable pieces may be used for depiction of soft tissue mass also. The probable scatters within tissue are simulated (to strengthen the reliability of the measurements) by local dehumidifier silicagels.

Existing laboratory tools such as an ultrasound pulse sender/receiver, a surface type transducer, an oscilloscope and by LabVIEW program controlled computer have been used as the experimental setup. Ultrasonic velocity measurements and position determination of foreign objects (such as money) are studied for our homemade produced phantom. Then, in another homemade produced phantom cyst depiction is formed and its location is determined. Similarly, mass simulated measurements have been performed.

In order to achieve the same range of ultrasonic velocity (approx. 1540 m/s) in human soft tissues ethanol (70%) is added to the phantom. Ethanol addition to measurements shows an effect of rate increase. Another ethanol added gelatin mixture has been prepared for re-measurements to simulate scatters in the tissues by using silicagels, which are distributed as possible as homogenously whose radial dimensions are 2-4 mm. In fact, it is rather difficult to create a desired distribution of silicagels in the gelatin and ethanol liquid mixture homogenously. The silicagels that are added to create the noise in the phantom but did not. Silicagel's radial dimensions are much bigger than sound wavelength, since backscattered waves amplitude are decreased; instead of silicagels, more highly reflective materials should be used is concluded.

In this thesis, measurement of depth has achieved correctly for depicted materials in soft tissue phantoms, which are made by gelatin. Additionally, adding ethanol to gelatin mixture has increased the sound speed in the phantom to as approximate as real soft tissue values. Further study may be necessary to investigate the effect of increasing the concentration of ethanol mixture to phantoms to see the effect of sound speed.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Medikal görüntüleme klinik ve araştırma geliştirme alanlarında en hızlı gelişme gösteren alanlardan birisidir. Bu gelişmenin temelinde dokuların fiziksel müdahaleye gerek duyulmadan incelenmesine olanak vermesi önemli bir yer almaktadır. Medikal görüntülemede de sık kullanılan, dokuya zarar vermeyen, kullanımı kolay, gerçek zamanlı, radyasyon içermeyen ve maliyeti nisbeten düşük yöntemlerden birisi de sesötesi sistemlerin kullanılmasıdır. Sesötesi sistemler insan vücudundaki dokuları görüntülemede ses dalgalarını kullanırlar. Gönderilen bu ses dalgaları vücut içerisinde farklı empedansa sahip bir doku ile karşılaştıklarında saçılmaya uğrarlar, bu saçılmaların oluşturduğu gerisaçılma dalgaları da gönderim yapılan dönüştürücü tarafından toplanır. Birden çok dönüştürücü tarafından gerçekleştirilen A tipi tarama sonucunda sinyal değerlerinin alınması ve bu sinyal seviyelerinin yardımıyla parlaklığa dayalı iki boyutlu görüntülerin oluşturulması B tipi tarama olarak adlandırılır. Günümüzde sesötesi sistemler ile görüntüleme denince B tipi tarama sonuçları akla gelmektedir. Birçok hastane, klinik ve araştırma merkezlerinde kullanılan sesötesi sistemlerin kalibrasyonu, bu sistemleri kullanan personelin cihaz kullanımı öncesinde pratik çalışmalarında ve uygulama esnasında alınan görüntülerin bilinirliği ve yorumlama kolaylığı sağlanması, sinyal ve gürültü oranlarının iyileştirilmesi amaçlarıyla fantomlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sesötesi uygulamalarında insan dokularının özel karakteristiğini tasvir edebilecek test materyallerine fantom veya doku simülatörü denir [1].

Literatürde çeşitli dokuların tasvir edilmesi amacıyla çeşitli materyaller ve teknikler kullanılarak fantomlar oluşturulmuştur. Özellikle yumuşak dokuların tasvir edilmesi amacıyla agar, jelatin, polivinil alkol (PVA), polyester ve epoksi reçineleri ile oda sıcaklığında sertleşebilen silikonlar en çok kullanılanlardır. Su temelli materyaller ve özellikle agar ve jelatin gibi hidrojel olarak adlandırılabilen malzemeler iyi performans, herhangi bir zararlı kimyasal içermemeleri, kolay kullanım, uygulamada

sağladıkları esneklik ve akustik özellikleriyle öne çıkabilmektedirler. Fantomların üretilmesinde en önemli kriterler simule edilmek istenilen dokuların akustik özelliklerine sahip olunmasının sağlanabilmesidir. Bunların başında dokudaki ses hızı, akustik empedansı, zayıflatma ve gerisaçılım katsayıları ile dokunun basınç altındaki değişime tepkisidir. Fantomlardaki ses hızı materyalin kalınlığına bağlı olarak sinyalin gidip-gelme süresi ile, akustik empedansı ise ses hızı ve materyal yoğunluğunun bilinmesiyle; zayıflatma katsayısı özellikle düşük zayıflatma derecesine sahip materyallerde iletim yöntemi (through transmission) ile hesaplanabilir. Doku fantomlarındaki akustik özellikler büyük oranda materyalin hazırlanması ve kullanımına bağlıdır. Bununla beraber akustik özelliklerin belirlenmesinde oda sıcaklığı dikkate alınır. Gerçekte akustik özellikler sıcaklık ve dokulara bağlı olarak değişiklik gösterir [1]. Bu materyallerin kullanımında karşılaşılabilecek en önemli sorun mikrobiyolojik unsurların (bakteri ve mantarların) zaman içinde gelişmesi ve hassas yapıları nedeniyle fantomların fiziksel ve akustik özelliklerini kaybedebilmeleridir [2].

Ticari olarak üretilen birçok fantom, geniş bir kullanım pazarı ve bu pazardaki belli başlı uygulamalar için üretildiğinden kişiselleştirilememektedir. Kişiselleştirilebilen fantomlar ise pahalı veya kullanıcı tarafından geliştirilememektedir. Özel uygulamalar için tasarımılanan ve üretilen fantomların belirtilen dezavantajlarının üstünden gelmek için uygulama yapılacak dokulara en yakın özelliğe sahip, kullanımı kolay ve düşük maliyetli fantomların üretilmesi önem taşımaktadır [1].

Bu tez çalışmasında belirtilen bu ihtiyaçtan dolayı, herhangi zararlı kimyasal içermeyen hayvansal bir ürün olan jelatin kullanılarak, maliyeti düşük, ev ortamında bile gerçekleştirilebilecek özellikte sesötesi fantomlar oluşturularak ölçümler alındı. Ölçümlerin alınmasında darbe-yankı metodu ve A tipi tarama kullanıldı. Darbe-yankı metodu sesötesi ölçümlerde en çok ve en kolay uygulanabilir metodlardan birisidir. Bu metod tek dönüştürücü kullanılarak gönderilen sesötesi dalgaların tekrar aynı dönüştürücü tarafından yankısının alınması esasına dayanarak çalışır. Laboratuvarımızda bulunan birkaç 1 MHz frekansına sahip yüzey tipi dönüştürücüden frekans yanıtı en iyi olarak ölçülen merkezi frekans yanıtı 870 kHz ve band genişliği 485 kHz olan ile yaptığımız çalışmada, temas maddesi olarak bitkisel yağ ve vazelin türü ürünler kullanıldı. Bu temas maddeleri uygulama esnasında fantomumuzun üzerinde bozulmalara yol açtığından, bu ürünler yerine su kullanılması uygun

görüldü. Temas maddesinin seçimindeki temel kriter uygulama yapılacak dokular ile en uygun empedans değerine sahip ve istenmeyen bir kimyasal reaksiyona girmeyen maddenin seçilmiş olmasıdır. Çalışmada fantom malzemesi olarak da kolay bulunabilirliği açısından kartuş silikon kullanılması üzerinde de çalışmalar yapıldı.

Çalışmada kullanılan 200 Bloom'luk sığır jelatini kolay ulaşılabilir, fantom oluşturulmasında kullanılabilecek diğer materyallere göre ucuz ve zararsız olduğu için tercih edildi. Literatürde yer aldığı üzere, kist tasvirleyicisi olarak üzüm tanesi, kitle tasvirleyicisi içinse zeytin tanesinin kullanımı uygun görüldü [3]. Bu konuda evde bulunabilir veya oluşturulabilir su dolu balonlar ile kist tasvirlerinin, meyve/sebze parçaları ile de yumuşak doku kitle tasvirlerinin gerçekleştirilmesi mümkün olabilir. Dokulardaki muhtemel saçıcıları tasvir etmek amacıyla ise genellikle lokal nem alma maddesi olarak kullanılan silikajelleri katmak suretiyle ölçümlerimizin gerçekliğini arttırmaya çalıştık.

Deney düzeneğimizin oluşturulmasında hali hazırda laboratuvarımızda mevcut olan sesötesi gönderimi/alımı yapabilen cihaz, buna bağlı dönüştürücü, osiloskop ve bu sistemlerin bağlandığı üzerinde Labview programı çalışan bir bilgisayar kullanıldı. Oluşturduğumuz ilk fantomumuzda jelatin üzerinde sesötesi hız ölçümü ve konumlandırılan yabancı cismin (para) konum bilgisi tespit edilmeye çalışıldı. Daha sonra başka bir kap içerisinde konumlandırıdığımız kist tasvirimizin konum bilgisi elde edilmeye çalışıldı. Benzer şekildeki ölçümleri kitle tasvirinde de gerçekleştirdik. İnsan yumuşak dokularındaki sesötesi hız değerine (≈ 1540 m/s) ulaşmak amacıyla fantomlarımıza etanol (% 70) eklemek suretiyle de ölçümler aldık. Bu ölçümlerimizde etanol eklenmesinin hız artışı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görüldü. Fantomlarımıza saçıcı tasviri için eklediğimiz silikajellerin amaçladığımız gürültü oluşturulması çalışmasına istediğimiz katkıyı yapmadığı, bunlar yerine daha yüksek yansıtıcı özelliğine sahip malzemeler kullanılması gerektiği kanaatine varıldı.

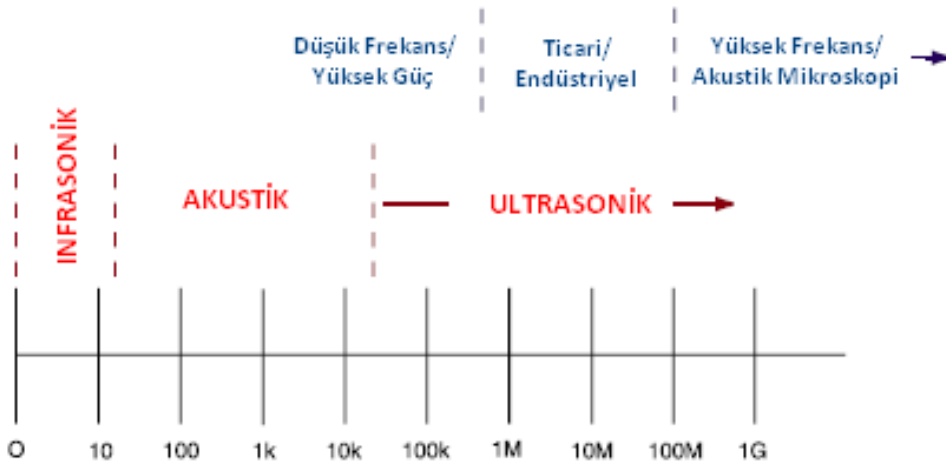
Bu çalışmada sesötesi ile ilgili temel prensipler, dönüştürücü yapısı, temas maddesi ile ilgili bilgiler, test ekipmanlarımızın kalibrasyonu hakkındaki değerler ve bilgiler birinci bölümde; kullanılan malzemeler ve özellikleri, yapılan fantomların üretim şekilleri ve ölçüm sonuçları ikinci bölümde verilmeye çalışılmıştır.

1.2 Temel Ultrasonik Prensipler

1.2.1 Sesötesi (Ultrasound) nedir?

İnsan kulağının duyma eşığının (20 kHz) üzerindeki seslere sesötesi denir. Sesötesi duyulabilen ses'e benzer şekilde davranır. Özelliğı daha kısa dalga boyuna sahip olmasıdır. Bu özelliğı onun birçok alanda olduğı gibi tıp alanında da kullanılmasına olanak vermiştir.

Ses dalgaları Şekil 1.1'de gösterildiğı gibi frekanslarına göre üçe bölünür. Bunlar; infrasonik, akustik ve ultrasonik aralıktır. Ultrasonik aralık ise kendi arasında yine üç alt bölüme bölünebilir. Bunlar düşük frekans/yüksek güç, ticari/endüstriyel, yüksek frekans/akustik mikroskopi bölümleridir.

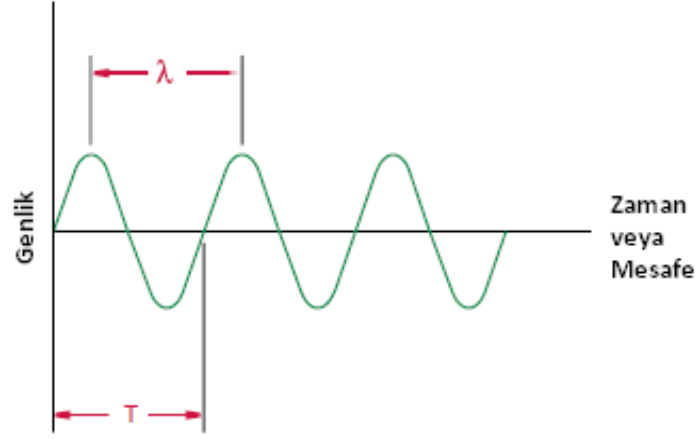


Şekil 1.1 : Akustik spektrum, [4]'den uyarlanmıştır.

Sesötesi titreşimler bir dalga formunda iletilir. Bu iletim ışığın iletimine benzerdir. Işık dalgaları ile aralarındaki en önemli fark, ses dalgalarının boşlukta iletilememesidir. Sesötesi iletim için elastik (sıvı veya katı) ortamlara ihtiyaç duyar. Bir sürekli dalganın (Continuous Wave - CW) temel parametreleri dalgaboyu (λ) ve periyod (T) Şekil 1.2'de görülebilir.

Bir saniyedeki döngü sayısı frekans (f) ile ifade edilir ve Hertz (Hz) ile ölçülür. Sesötesi'un mükemmel bir elastik materyaldeki hızı sabit sıcaklık ve basınç altında şu şekilde hesaplanır:

$$\lambda = c/f \quad (1.1)$$



Şekil 1.2 : Sürekli dalga (CW).

Burada; λ dalgaboyu, c materyal ses hızı, f frekansı ifade etmektedir. Komple bir dögünün tamamlanması periyod (T) ile ifade edilir ve saniye (s) ile ölçölür. Bir sürekli dalgada frekans ve periyod arasındaki ilişki (1.2) de verilmiştir.

$$f = 1/T \quad (1.2)$$

Sinyal genliğindeki değışme desibel ile ölçölür. Desibel değeri logaritmik değeri olup, iki sinyal genliklerinin birbirlerine oranı şeklinde tanımlanır.

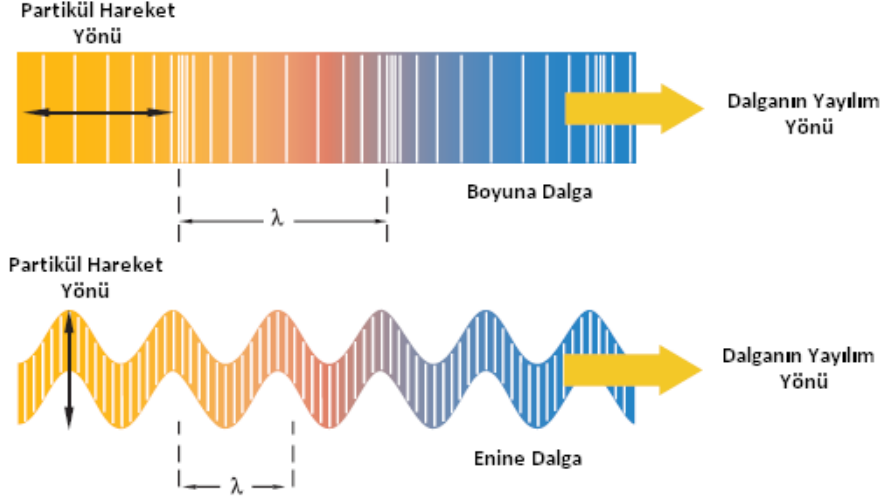
$$dB = 20 \log (A1/A 2) \quad (1.3)$$

Burada; dB desibel (dB), $A1$ ilk sinyalin genliği, $A2$ ikinci sinyalin genliğini ifade etmektedir [5].

1.2.2 Ses dalgasının fiziksel özellikleri

Sesötesi dalgaları temelde iki şekilde yayılır. Bunlar Boyuna (Longitudinal Wave - partiköl yönü ile dalga aynı yönde) ve Enine (Shear Wave - partiköl yönü ile dalga yönü arasında 90 derece aç ile) dalgalarıdır.

Sesötesi dalgaların en önemli özelliğı yüksek frekanslı ses dalgalarını kullanarak üzerinde çalışma yapılan dokuya hiçbir zarar vermeden, değışikliğe uğratmadan bilgi sağlayabilir olmasıdır. Temel olarak sesötesi ölçümlerde iki parametre öne çıkar; bunlar dalganın örnek üzerinde gidip gelme süresi ve alınan sinyalin yüksekliğidir. Hıza ve dalganın örnek üzerindeki gidip dönme süresi dikkate alınarak örneğın kalınlığının tespit edilmesi mümkün olabilir.

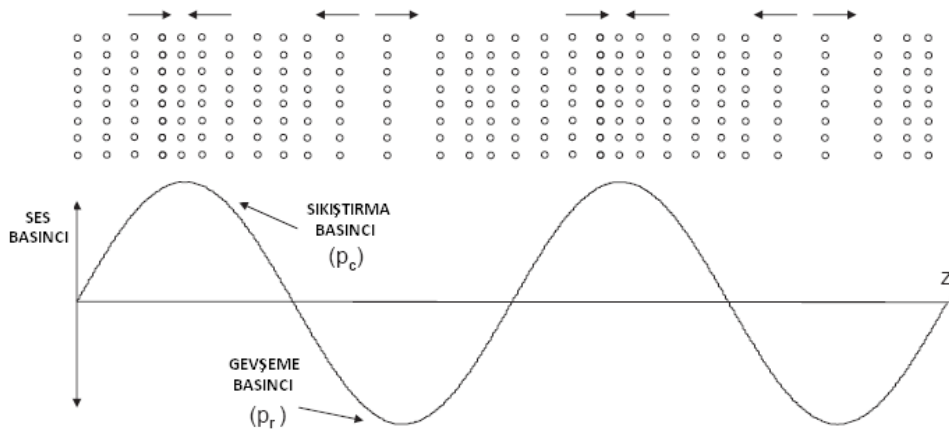


Şekil 1.3 : Dalga çeşitleri [4]'den uyarlanmıştır.

$$K = \frac{c\Delta t}{2} \quad (1.4)$$

Burada; K örnek kalınlığı, c örnek ses hızı, Δt dalga'nın gidip dönme süresini ifade etmektedir. Bununla birlikte; gönderilen sinyal genliğindeki değişme, dokudaki ölçüm yapılmak istenen cismin boyutları veya cismin sinyal zayıflatma mertebesiyle orantılı olacaktır. Sesötesi dokularda sinyal yayılırken ve içerideki diğer arayüzeylerden geçerken büyük ölçüde zayıflar. Bunun sebebi doku içerisinde dalgaların uğradığı soğrulma ve saçılma durumlarıdır.

Sesötesi dalgalar ortamdaki atom ve molekülleri titreştirerek ilerler. İlerleme titreşim enerjisinin durgun bulunan bir atoma hareket enerjisi sağlaması şekli ile gerçekleşir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : Akustik dalga yayılımı [6]'dan uyarlanmıştır.

Enerji dönüşümü gerçekleşirken bir kısım enerji de ısıya dönüşür. Bu durum dalganın enerjisi için bir kayıptır. Bu kayıp yüksek frekanslı dalgalarda daha fazla olur.

Ses dalgalarının doğrusal ve kayıpsız ortamlar için dalga denklemi [6]:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \quad (1.5)$$

Burada; W partikül yer değişimi, c dokudaki ses hızını ifade etmektedir.

Sesötesinin standart medikal uygulamalarda kullanılan frekans aralığı 1-15 MHz'dir. (1.5) de verilen denklemdeki (W) birkaç nanometrelik yer değişimine karşılık gelir. (c) ise uygulandığı dokunun yoğunluğu (ρ) ve sıkıştırılabilirliğine (compressibility) (κ) bağlıdır. Birçok yumuşak dokuda bu değer yaklaşık 1540 m/s'dir [6,10,13,14,16,17].

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho\kappa}} \quad (1.6)$$

(1.6) dan anlaşılabileceği üzere dokunun sıkıştırılabilirliği (κ) ne kadar küçük ise, bir başka deyişle uygulanan sıkıştırma basıncına ne kadar karşı koyabiliyorsa, dokudaki ses hızının (c) o kadar yüksek olacağı söylenebilir. Bu bağıntı sesötesinin yayılım hızına bağlı olarak dokuların yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla medikal uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin; sağlıklı bir dokudaki tümör kitlesinin yapısal özellikleri çevresi ile değişiklik göstereceğinden teşhis edilmesi mümkün olabilecektir. (κ) değeri (Pa^{-1}) Paskal ile ifade edilir. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} = 10 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-2}$ dir. Bir sesötesi sisteminde; dokular içerisindeki birbirleriyle aynı pozisyonda olan maddelerin ayrıştırarak yakalayabilmesi çözünürlükle de ilgilidir (Çözünürlük de genelde frekansın artışına bağlı olarak artar).

Z eksenini boyunca ilerleyen dalgaya bağlı partikül hızı (u_z) ile gösterilirse; partikülün zamana (t) bağlı yer değiştirmesi:

$$u_z = \frac{dW}{dt} \quad (1.7)$$

Akustik empedans doku içerisindeki partiküllerin ses dalgalarının oluşturduğu yer değiştirme etkisine karşı koyma gücü olarak tanımlanabilir. Bunu bir elektrik devresindeki Ohm kanunu gibi düşünersek; gerilim/basınç, akım/partikül hızı,

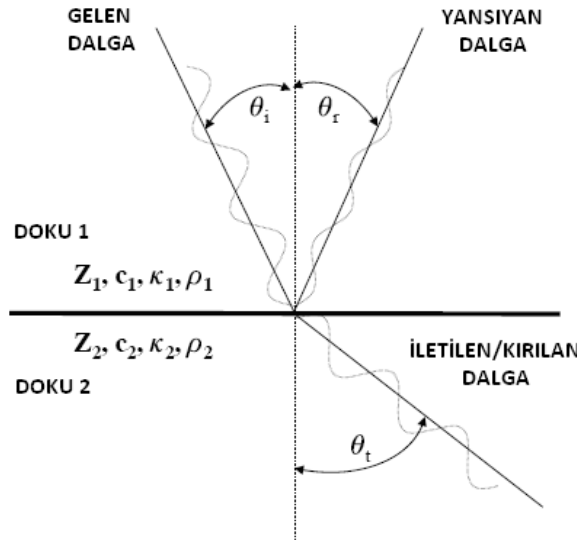
direnç/akustik empedans ile ilişkilendirilebilir. Bu bilgiler doğrultusunda akustik empedans şu şekilde hesaplanabilir:

$$Z = \frac{p}{u_z} = \rho c = \rho \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}} = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}} \quad (1.8)$$

Burada; Z akustik empedans ($\text{kg/m}^2\text{s}$ 10^6), ρ doku yoğunluğu (kg/m^3), c dokudaki ses hızı (m/s), p basıncı (Pa) ifade etmektedir.

Ses dalgaları dokulardaki arayüzeylerden geçerken yüzeylerin sesötesi dalga boyuna göre büyüklüğüne bağlı olarak yansıma ve kırılmalara uğrar. Bu yansıma ve kırılmalar “Snell Yasası” na göre gerçekleşir. Partiküllerin bir başka değişle yansıtıcıların boyutları gelen ultrasonik dalga boyu kadarsa veya ondan küçükse, birçok yöne doğru saçılma gerçekleşir.

Şekil 1.5’de verilen dokuların (Z_1, Z_2) farklı akustik empedans değerlerine sahip oldukları, dokuları birbirlerinden ayıran sınırın düz olduğu veya düzensizliklerin gönderilen dalga boyuna göre çok küçük kaldığı ve kalınlığının gönderilen dalga boyundan çok büyük olduğu durumlar için; dönüştürücünün gönderdiği dalganın bir bölümünün aynen dönüştürücüye döndüğü, kalan bölümünün ise sınırı geçerek diğer dokuya iletilmesi söz konusudur [6].



Şekil 1.5 : Snell yasası, [6]’dan uyarlanmıştır.

$$\theta_i = \theta_r \quad (1.9)$$

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1.10)$$

$$R_p = \frac{p_r}{p_i} = \frac{z_2 \cos \theta_i - z_1 \cos \theta_t}{z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t} \quad (1.11)$$

$$T_p = \frac{p_t}{p_i} = \frac{2 z_2 \cos \theta_i}{z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t} \quad (1.12)$$

$$R_i = \frac{I_r}{I_i} = \frac{(z_2 \cos \theta_i - z_1 \cos \theta_t)^2}{(z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t)^2} \quad (1.13)$$

$$T_i = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4 z_2 z_1 \cos^2 \theta_i}{(z_2 \cos \theta_i + z_1 \cos \theta_t)^2} \quad (1.14)$$

Burada; (θ_i) geliş, (θ_r) yansıma, (θ_t) iletim açılarını; (p_r) yansıma, (p_t) iletim, (p_i) geliş basınçlarını; (I_r) yansıma, (I_i) geliş, (I_t) iletim yoğunluklarını; (R_p) basınç, (R_i) geliş yansıma katsayılarını; (T_p) basınç, (T_i) geliş iletim katsayılarını ifade etmektedir. Yansıma ve iletim basınç katsayıları arasında şu bağlantı mevcuttur [6]:

$$T_p = R_p + 1 \quad (1.15)$$

İletim ve yansıma yoğunluk katsayıları arasındaki bağıntı:

$$T_i = 1 - |R_i|^2 \quad (1.16)$$

Sesötesi dalgasının soğrulma ve saçılma olaylarının sonucunda uğradığı etkilerin bileşkesi dalgaının zayıflaması değerini verir. Sesötesi zayıflama dalgaının dokuda yayılırken basınç ve yoğunluğundaki bozulma oranıdır. Sesötesi dalgasının zayıflaması üssel bir ifade ile gösterilir [6]:

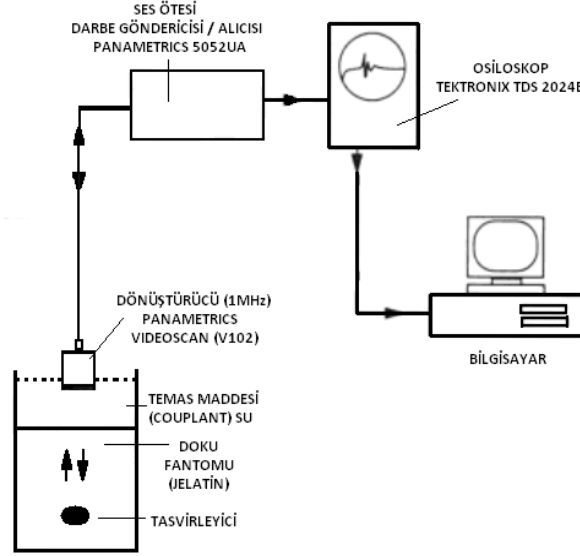
$$I(z) = I(z=0) \exp(-\mu z) \quad (1.17)$$

$$p(z) = p(z=0) \exp(-\alpha z) \quad (1.18)$$

Burada; $I(z)$ dalgaının (z) kadar mesafe aldıktan sonraki zayıfladığı genlik değeri (dB), $I(z=0)$ dalgaının yayılıma başlangıç noktasındaki genlik değeri (dB), μ yoğunluk, α basınç zayıflama katsayılarını (dB/cm), z sesötesi dalgasının aldığı yolu (cm) ifade eder. Yumuşak dokular için zayıflama katsayısı karakteristiği 1 dB/(cmMHz) şeklindedir [6]. Örneğin 1 MHz'lik bir sinyal için zayıflama katsayısı 1 dB/cm olacaktır.

1.3 Ölçüm Düzeneği

Darbe – Yankı yöntemine örnek sesötesi ölçüm düzeneği Şekil 1.6’da verilmiştir.

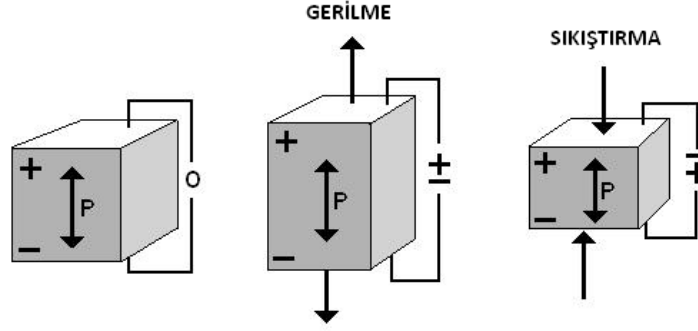


Şekil 1.6 : Ölçüm düzeneği.

1.3.1 Dönüştürücü yapısı

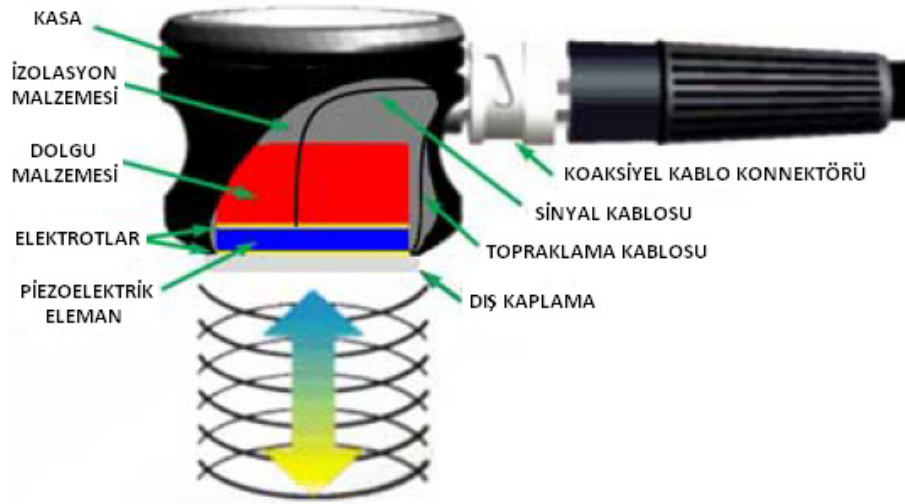
Dönüştürücü sesötesi ölçüm sistemlerinin en önemli parçasıdır. Piezoelektrik eleman kullanılarak oluşturulan dönüştürücüler gönderim esnasında elektrik sinyallerini mekanik sinyallere, alım işlevi esnasında da mekanik sinyalleri elektrik sinyallerine dönüştürür. Bu işlem dönüştürücünün içerisindeki aktif materyal ile gerçekleştirilir. Aktif materyal temel olarak bazı molekülleri pozitif iken diğer molekülleri negatif elektrik yüküne sahip materyaldir. Bu materyalin karşılıklı iki tarafına elektrotlar bağlayıp bir elektriksel alan oluşturulduğunda polarize olmuş moleküller elektriksel alan ile yer değiştirirler, bunun sonucunda materyalin boyutları değişir (Şekil 1.7). Kuvars (SiO_2) ve Baryum Titanat (BaTiO_3) gibi kalıcı polarize malzemeler mekanik bir etkiye maruz kalıp boyut değiştirdiklerinde elektriksel alan oluştururlar. Bu etkiye piezoelektrik etkisi denir.

Elektrik sinyallerinin mekanik sinyallere dönüşmesini sağlayan dönüştürücünün çalışma prensibine; kullanılan malzemenin mekanik ve elektriksel yapısı ile mekanik ve elektriksel yük koşulları etki eder. Mekanik faktörler olarak; sinyal yayım alanı, mekaniksel salınım özellikleri, dönüştürücü’yü oluşturan elemanların konumlandırıldığı alan, konnektör tipi ve fiziksel oluşumundaki diğer değişkenler sayılabilir [7].



Şekil 1.7 : Piezoelektrik etki [12].

Dolgu Malzemesi, piezoelektrik elemanı destekler ve dönüştürücü'nün salınım karakteristiğine etki eder (Şekil 1.8).

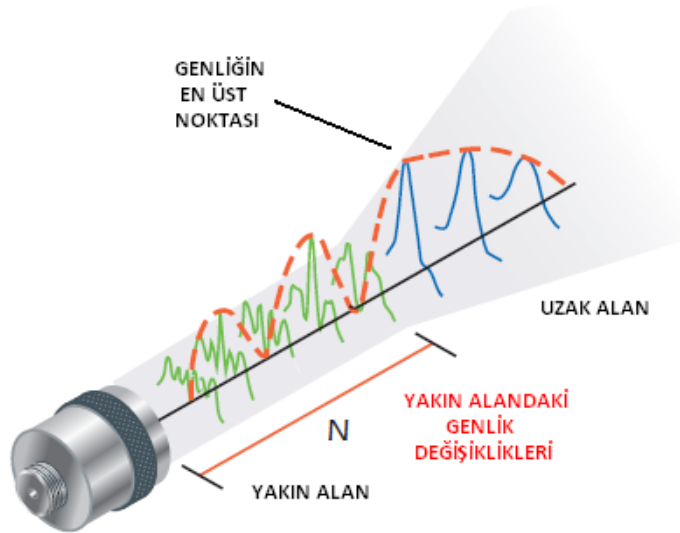


Şekil 1.8 : Piezoelektrik dönüştürücü yapısı, [7]'den uyarlanmıştır.

Dolgu malzemesinin empedansının piezoelektrik malzeme ile benzer olması etkin bir salınım sağlar ve dönüştürücünün daha geniş bir band genişliğinde yüksek hassasiyette çalışmasında etkili olur. Duyarlılık; bir sesötesi sisteminin doku içerisindeki yansımaları doğru yakalayarak en küçük maddeleri doğru belirleyebilmesidir. Duyarlılık genellikle frekans yükseldikçe (kısa dalgaboylarında) artar. Duyarlı bir dönüştürücü sisteminde dokulardan alınan yansımanın genliğinin büyük olması beklenir. Empedans uyumsuzluğu sinyalin materyal içerisinde ilerlemesini arttırmasına rağmen duyarlılığı azaltır.

1.3.2 Sesötesi dönüştürücünün yayılım alanı

Piezoelektrik dönüştürücü'den yayılan ses dalgaları bir noktadan değil, piezoelektrik elemanın kapladığı alan genişliğince yayılır. Sesötesi dönüştürücü'den çıkan ses dalgalarının Huygen's prensibine göre dönüştürücü alanının birden çok noktasından küçük dalgacıklar şeklinde çıkmalarından ötürü, yayılan dalgaların birbirleri üzerinde etki arttırıcı veya azaltıcı etkileri olabilecektir. Bunlar genellikle kırınım etkisi olarak gözükürler. Ses dalgalarının birbirleri üzerindeki etkileşimleri kaynağın çıkışında, yakın alan (Fresnel Alanı) olarak tanımlanan bölgede yüksek miktarda dalgalanmalara yol açar. Yakın alan olarak tanımlanan bu alandaki akustik değişkenlerden ötürü bu alan içerisinde kalan doku yapılarında yapılan çalışmalarda sinyali değerlendirmek oldukça güçtür.



Şekil 1.9 : Dönüştürücü yakın ve uzak alanlarındaki sinyal değişimleri [4].

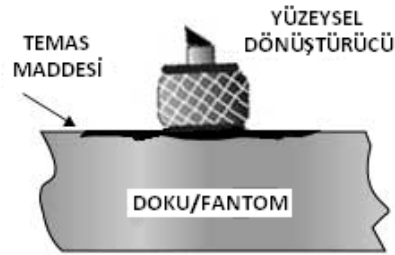
Dönüştürücü ile yapacağımız çalışmalarda dokulardan alabileceğimiz en iyi değer, dönüştürücünün yakın alan bölgesinin sonunda, sinyalin maksimum seviyesine ulaştığı bölgedir (Şekil 1.9). Burası dönüştürücü'nün doğal odak noktası olarak da tanımlanır. Bir dönüştürücü'nün yakın alan mesafesi; dönüştürücünün frekansı, piezoelektrik elemanının çapı ve uygulama yapılacak dokunun ses hızı ile belirlenir.

$$N = D^2 f / 4c = D^2 / 4\lambda \quad (1.19)$$

Burada; N yakın alan mesafesi, D piezoelektrik eleman çapı, f frekans, c dokudaki ses hızı, λ dalgaboyunu ifade etmektedir.

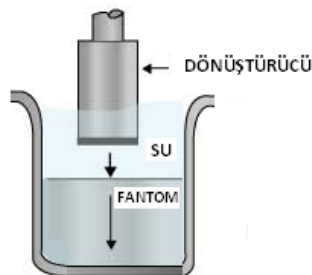
1.3.3 Temas maddesi (Couplant)

Sesötesi ölçümün temelini oluşturan iletilen sinyalin yankılarının toplanması dönüştürücünün doku üzerine uygunsuz yerleştirilmesi ile bir problem haline gelebilir. Küçük olmakla beraber dönüştürücü ile ölçüm yapılmak istenen doku arasında havanın kalması muhtemeldir. Bu durumda sinyalin çok az bir kısmının dokuya iletilmesi veya tümünün dokuya iletilmeden yansması söz konusu olabilir. Arayüzeydeki havanın ölçüm yapılmak istenen dokunun akustik empedansı ile uyumlu bir malzeme ile uzaklaştırılması uygun olacaktır. İnce bir yağ tabakası, gliserin, vazelin, su veya uygun jel malzemenin kullanılması gerekmektedir. Kullanılan bu malzemeler genelde temas maddesi olarak adlandırılabilir. Temas maddesinin seçimindeki temel kriterimiz, doku ile en uygun akustik empedans değerine sahip ve istenmeyen bir kimyasal reaksiyona girmeyen bir maddenin seçilmiş olmasıdır.



Şekil 1.10 : Temas maddesi.

Bu çalışmada vazelin ve bitkisel yağ kullanarak ölçüm almaya çalıştık. Her iki temas maddesi de ölçüm esnasında veya sonrasında fantomun genel yapısında bozulmalara yol açtığından ve fantomumuzun su ile olumsuz bir reaksiyona girmeyeceğinden hareketle temas maddemiz olarak su kullanmayı uygun gördük.



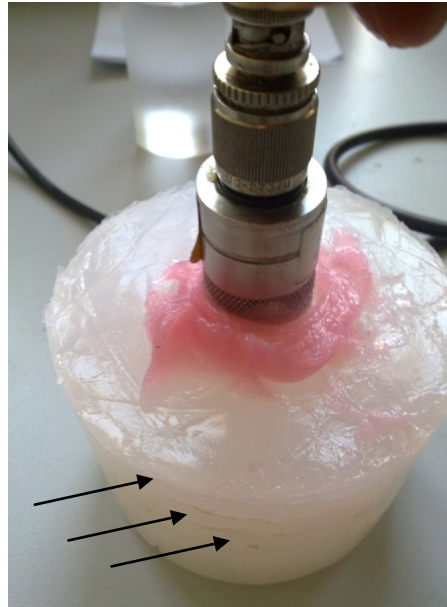
Şekil 1.11 : Daldırma tekniği.

Medikal bandaj olarak kullanılan hidrokolloid sargıların jelatin üzerine kaplandığında dönüştürücünün hareketini kolaylaştırdığı, yüzeyde hasar oluşumunu

ve hava ile teması kestiğinden bakteri, mantar oluşumunu da engellediğini belirten yayınlar mevcuttur [15]. Özellikle bir bölümün hassas ölçümlemesinde su temas maddesi kullanılarak gerçekleştirilen daldırma tekniği, dönüştürücünün hareket özgürlüğü ve odak noktasının ayarlanabilir olması (daldırma, çıkarma) açısından avantajlı olabilmektedir.

1.3.4 Fantom nedir?

Sesötesi uygulamalarında insan dokularının özel karakteristiğini tasvir edebilecek test materyallerine fantom veya doku simülatörü denir. Doku fantomları sesötesi görüntüleme sistemlerinin karakterize edilmesinde ve kalibrasyonlarında uzun sürelerdir kullanılmaktadır. Ayrıca fantomlar, sesötesi sistemlerinin performanslarının karşılaştırılmasında, bu sistemleri kullanan teknisyenlerin eğitimlerinde ve yeni sesötesi dönüştürücülerin geliştirilmesinde kullanılmaktadırlar. Fantomların avantajı, istenilen boyut ve dahili özelliklerin yanında, doku modellerinin akustik özelliklerini en iyi taşıyacak şekilde üretilebilmeleri ve bunu görüntüleme ortamlarında kullanılabilecek şekilde standardize edilebilmeleridir [8].



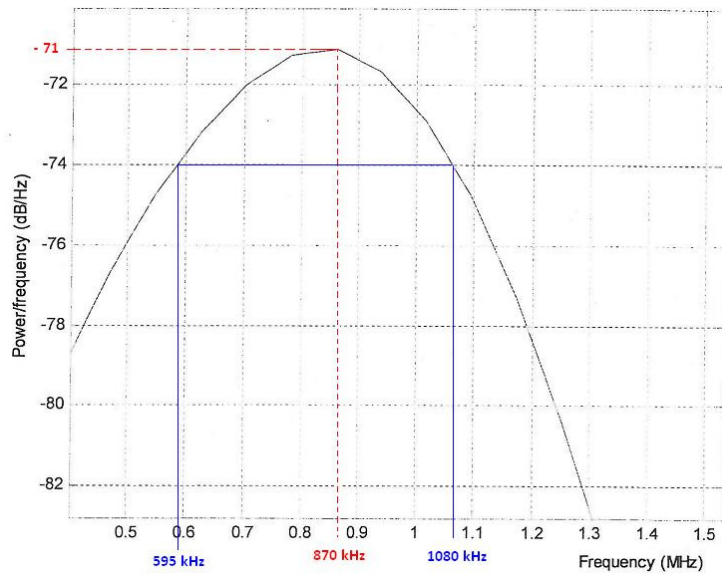
Şekil 1.12 : Kartuş silikon fantom (işaretler hava boşluklarını göstermektedir).

Çalışmamızın başlangıç noktası olan yapımı, şekillendirilmesi, bulunabilirliği kolay malzemelerden üretilmiş, düşük maliyetli fantom tasarımı çalışmamızı; ilk olarak kolay bulunabilir ve nisbeten düşük maliyetli kartuş silikon ile gerçekleştirmeye çalıştık. Bu çalışmalarda görüldü ki; kartuş silikonlar kolay şekillendirilebilmelerine

ve uzun süreli olabilmelerine rağmen, konuldukları ortamlarda kolay işlenememektedirler. Kısacası; bu malzeme ile üretilmiş olduğumuz fantomlarımızda göz ile görülür hava boşlukları meydana geldiğinden uygun ölçümler gerçekleştirilemedi ve bu şekilde oluşmuş olan fantomları tekrar kullanabilmemiz mümkün olamadı (Şekil 1.12).

1.3.5 Test düzeneğinin kalibrasyonu

Kullanılan dönüştürücüler merkezi bir frekansta çalışması amacıyla üretilmiş olmalarına rağmen, aslında bu frekansın etrafındaki bir bandgenişliği içerisinde çalışırlar. Bu bandgenişliği dönüştürücünün frekans yanıtından elde edilen tepe frekansın -3 dB azaldığı alt ve üst frekanslar arasındaki değerleri kapsar. Kullanmış olduğumuz dönüştürücünün frekans yanıtı Şekil 1.13’de verilmiştir.



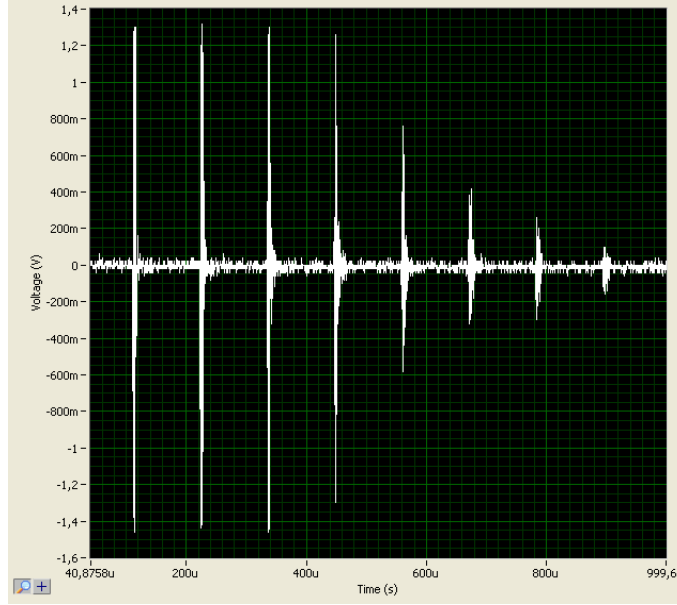
Şekil 1.13 : Dönüştürücü frekans yanıtı.

Değerler doğrultusunda 1 MHz’lik dönüştürücünün merkezi frekansının yaklaşık 870 kHz, bandgenişliğinin ise yaklaşık 485 kHz olarak oluştuğu söylenebilir.

1.3.6 Suda dönüştürücü hız kalibrasyonu

Kullanılan Panametrics Videoscanner 1 MHz V102 model dönüştürücünün hız kalibrasyonu için 8 cm su dolu kapta darbe-yankı yöntemi kullanıldı. Ölçüm sonucunda Şekil 1.14’de ki değerler alındı. Şekil 1.14’de kap tabanından alınan 8 yankı değerinin aritmetiksel ortalaması yaklaşık 112 μ s olarak hesaplanmıştır. 8

cm'lik kaptaki ses hızı (1.4)'e göre hesap edildiğinde 1430 m/s şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu değer literatürde çalışmalarımızdaki sıcaklık değerinde (20 °C için) 1480 m/s olarak verilmektedir [8].



Şekil 1.14 : 8 cm su dolu kaptaki yapılan (darbe-yankı metodu ile) ölçüm.

2. YÖNTEM

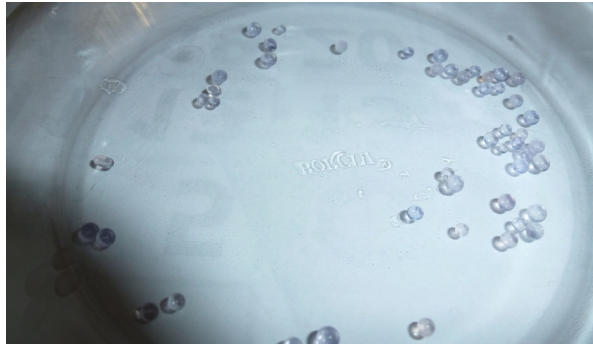
2.1 Kullanılan Malzemeler

Fantom oluşturulmasında aşağıdaki malzemeler ve ekipman kullanılmıştır.



Şekil 2.1 : Jelatin.

Çalışmamızda Seljel marka 200 Bloom sığır jelatini kullanılmıştır (Şekil 2.1). Sığır jelatinleri hayvansal bir protein olup kemik, bağ dokuları, bağırsak ve organlarındaki kolajenlerin kısmi hidrolize edilmesi ile üretilir. Jelatin, gıda maddelerinde kıvam arttırıcı ve jelleştirici gibi özellikleri dolayısıyla kullanılır. Jelatin, jel gücü veya jel sıkılığını tanımlayan Bloom adı verilen bir sınıflandırma kullanılarak sınıflandırılır. Bulunması kolay ve uygun fiyatlı bir üründür (11 USD/kg). Çalışmamızda ayrıca fantomun şekil alacağı çeşitli boyutlarda plastik kaplar (1200 ml – 600 ml – 250 ml) kullanılmıştır. Kapların ortalama adet maliyeti 1 USD şeklindedir.



Şekil 2.2 : Silikajeller.

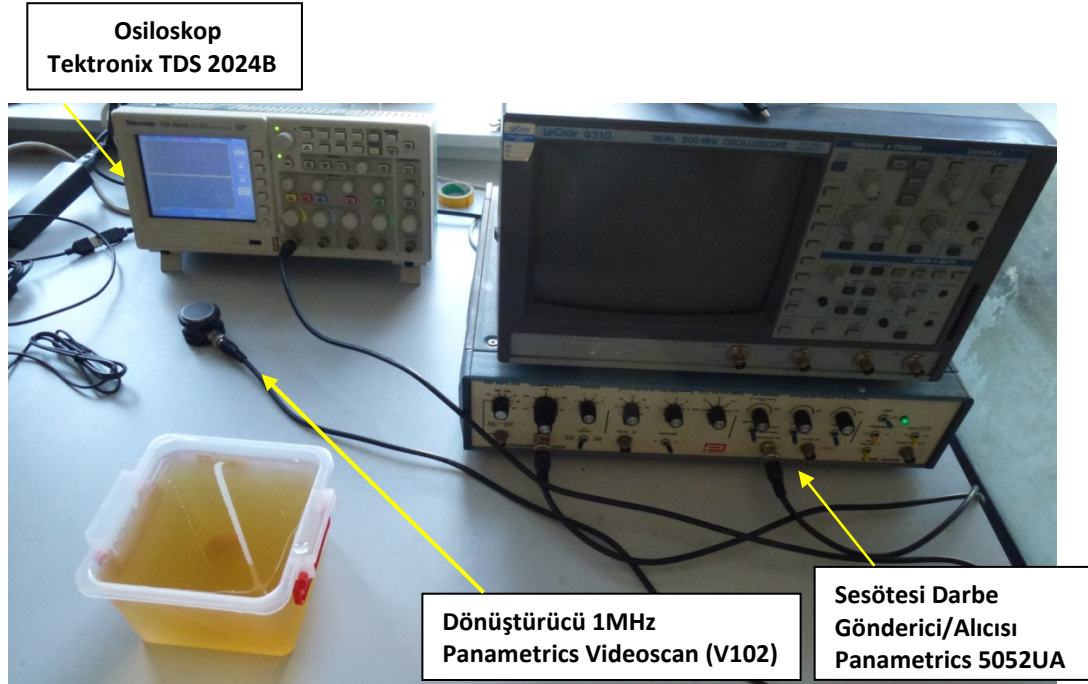
Gözlemlenmek istenen nesne ile (kist, kitle) en iyi benzeşimi sağlayabilecek zeytin, üzüm vb. taneleri ile saçılma etkisini betimlemek amacıyla silikajeller kullanılmıştır (Şekil 2.2). Silikajeller, sodyum silikat'tan sentetik olarak üretilen silikon dioksit'dir. Günlük hayatta –genelde küçük paketler halinde- lokal nem alma maddesi olarak kullanılır.

2.1.1 Jelatin hazırlama

Kullanılacak kabın hacimsel büyüklüğünde ki su için, ağırlıkça 1/10 oranında hazır edilen jelatin, kaynama derecesine kadar ısıtılan su ile karıştırılarak karışım elde edilir. Bu karışım ölçüm yapılacak kaba deneyde kullanılacak nesne ile birlikte konulur.

2.2 Deney Düzenegi

Deney düzenegi sesötesi darbe gönderimi/alımı yapabilen cihaz (Panametrics 5052UA), Tektronix TDS 2024B model Osiloskop, Panametrics marka Videoscan model (V102) 1 MHz sesötesi dönüştürücü ile Intel i5 2.4 GHz işlemcili, 4 GB belleğe sahip bir bilgisayar ve onun üzerinde çalışan National Instruments Tektronix Edition versiyon 2.5.1 ölçüm yazılımından oluşmaktadır.



Şekil 2.3 : Ölçüm düzenegi.

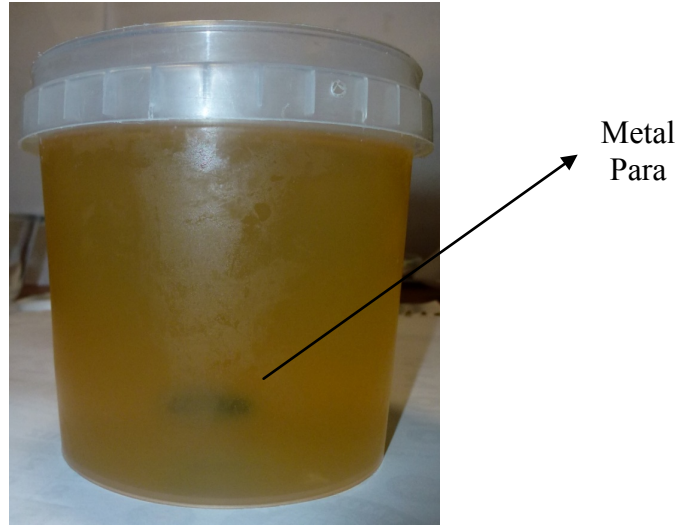
2.3 Fantomların Oluşturulması ve Ölçümleri

Çalışmalarımızda dört adet çeşitli boyut ve içerikte fantomlar hazırlanmış, ölçümler alınarak karşılaştırmalar yapılmasına çalışılmıştır.

2.3.1 Metal para içeren fantom

İlk olarak 600 ml’lik kap içerisinde oluşturulan jelatin fantom içerisinde metal para kullanmak suretiyle konum ve kalınlık tespiti çalışmalarında bulunuldu. Fantomun oluşturulmasında kullanılan 600 ml kabın 500 ml’lik kısmı kullanıldı. Çalışma için kabın hacimce büyüklüğünün 1/10 oranında; 50 g jelatin kullanıldı.

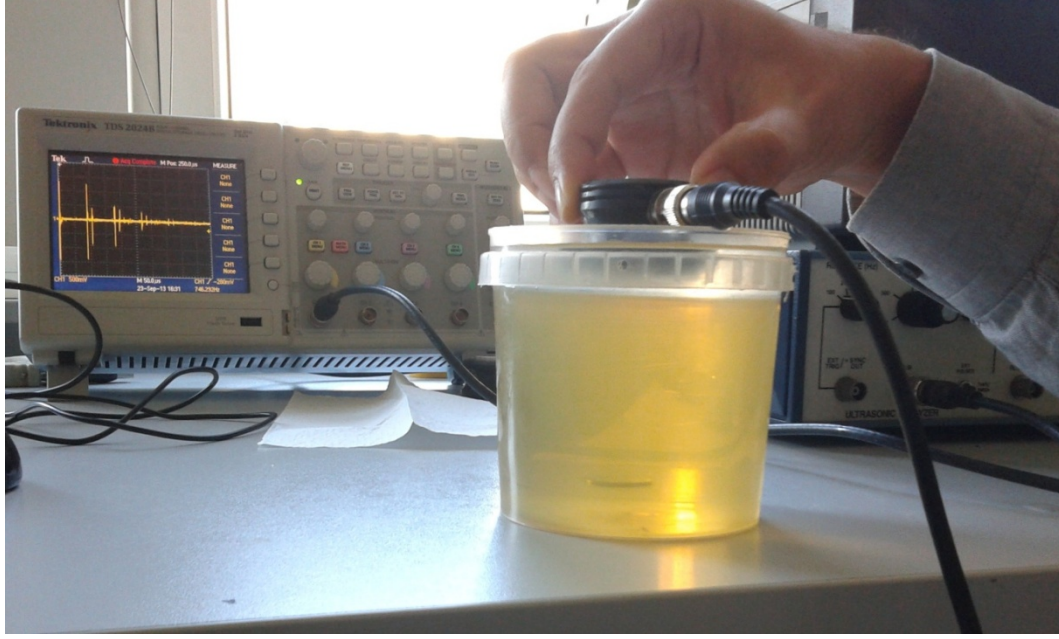
Jelatinin oluşturulmasında; kaynama derecesine kadar ısıtılan 500 ml suya jelatin eklendi ve karıştırıldı. Oluşturulan karışım boş kabın içine tabanı ile 1 cm yükseklik oluşturacak şekilde dökülerek, katılaşması beklendi. Daha sonra üzerinde orta noktasına gelecek şekilde metal para yerleştirilerek (Çap ≈ 1.7 cm, Kalınlık $\approx 1,75$ mm) kalan karışımın üzerine dökülmesi sağlandı. Bu sayede kap içerisinde 7.5 cm’lik bir jelatin yüksekliği elde edildi (Şekil 2.4).



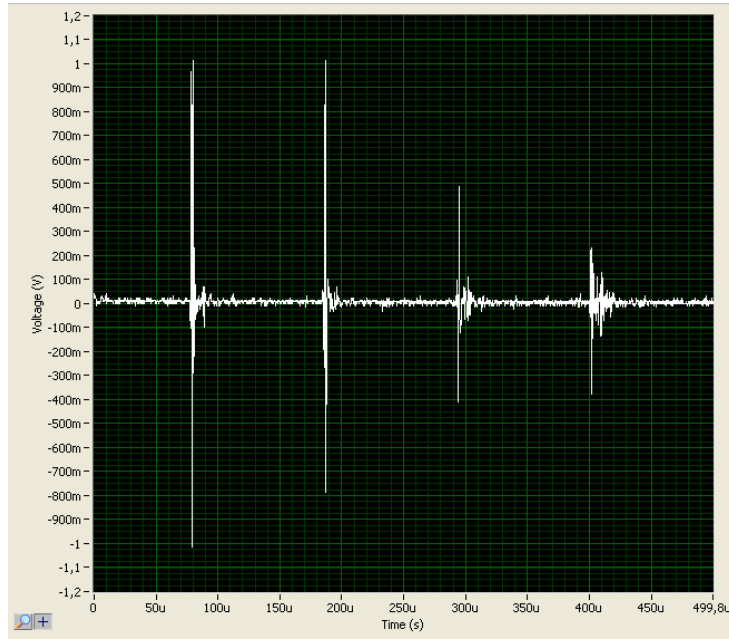
Şekil 2.4 : Metal para konumlandırılan fantom.

Hazırlanan fantomun laboratuvar ölçümlerinde; hem para konumlandırılan, hem de sadece jelatin bulunan noktalardan ölçümler alındı (Şekil 2.5).

Sadece jelatin bulunan bölgeden alınan ölçümler (Şekil 2.6). Metal para konumlandırılmış olan fantomumuzun Şekil 2.6’da görüldüğü üzere sadece jelatin bulunan bölge için tabandan gelen ilk sinyalin yaklaşık 78,6 μ s, diğerlerinin sırasıyla



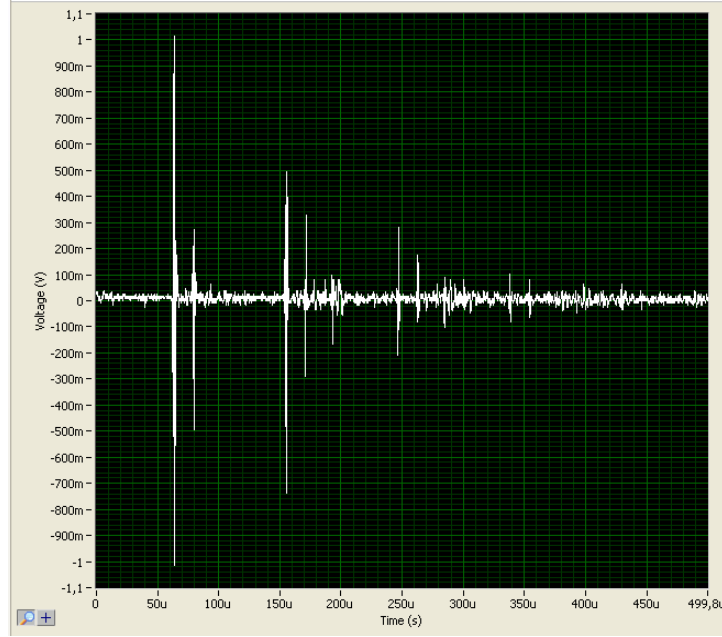
Şekil 2.5 : Yapılan ölçümler.



Şekil 2.6 : Metal para bulunan fantomun jelatin üzerinden alınan (tabandan gelen yankı) ölçümü.

186,6 μ s, 294,6 μ s, 401,4 μ s'ler de geldiği görülmektedir. Deney için oluşturduğumuz fantomun kalınlığının 7,5 cm olduğu göz önüne alındığında; jelatin üzerindeki ses hızı (1.4)'e göre hesap edildiğinde ortalama olarak 1394 m/s değerini aldığı görüldü. Şekil 2.7'de aynı fantomda metal para üzerinden alınan sinyaller görülmektedir. Burada ilk gelen sinyal para üzerinden yansıyan, kısa bir süre sonra görülen daha küçük genlikli olan ise tabandan yansıyarak gelen sinyalleri ifade

etmektedir. Para üzerinden yansıyarak geri dönen sinyal zamanları sırasıyla 63,4 μ s, 154,6 μ s, 247 μ s şeklinde olduğu görüldü. Kap tabanından gelen sinyal zamanları sırasıyla 79,2 μ s, 171,6 μ s, 262,8 μ s şeklindedir. Bu değerler doğrultusunda jelatin üzerindeki ses hızı (1.4)’e göre hesap edildiğinde ortalama olarak 1625 m/s gibi bir değer aldığı görülebilir ve bu durumda paranın kabın tabanından yaklaşık 1,38 cm yükseklikte olduğu hesaplanabilir.



Şekil 2.7 : Metal para bulunan fantomda paranın üzerinden alınan değerler.

2.3.2 Kist tasvirleyici fantom

Metal para kullanarak yapılmış olan konum tespiti çalışmasını yumuşak doku tasvirleyicisi jelatin ile üzüm tanesi kullanarak tekrarladık [9]. Bu sayede insan dokularında bulunması muhtemel “kist” yapılarının sesötesi ile nasıl tespit edilebileceği, oluşturmaya çalıştığımız fantomun yumuşak dokulara benzemesinde ne kadar etkili olabileceğini ölçmeye çalıştık.

Fantomun oluşturulmasında kullanılan 1200 ml kabın 750 ml’lik kısmı kullanıldı. Bu çalışma için kabın hacimce büyüklüğünün 1/10 oranında 75 g jelatin kullanıldı. Jelatinin oluşturulmasında; kaynama derecesine kadar ısıtılan 750 ml suya jelatin eklendi ve karıştırıldı. Oluşturulan karışım boş kabın içine tabanı ile 1 cm yükseklik oluşturacak şekilde dökülerek, katılaşması beklendi (Şekil 2.8). Daha sonra üzerinde üzüm tanesi yerleştirilerek (Çap $\approx$ 2 cm) (Şekil 2.9) kalan karışımın üzerine

dökülmesi sağlandı. Bu sayede kap içerisinde 5.7 cm'lik bir jelatin yüksekliği elde edildi (Şekil 2.10).

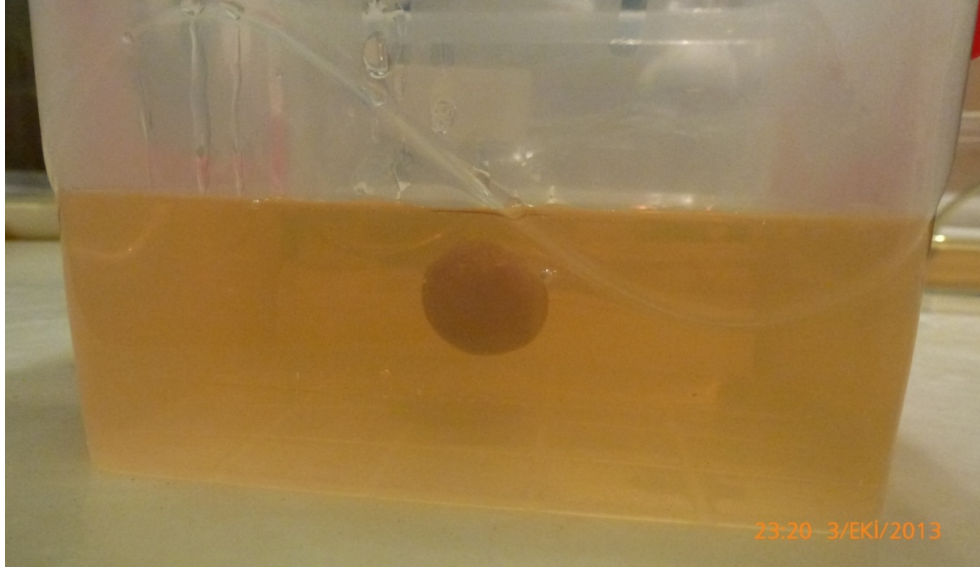


Şekil 2.8 : 1200ml'lik kabın tabanını 1cm kaplayacak şekilde jelatin.

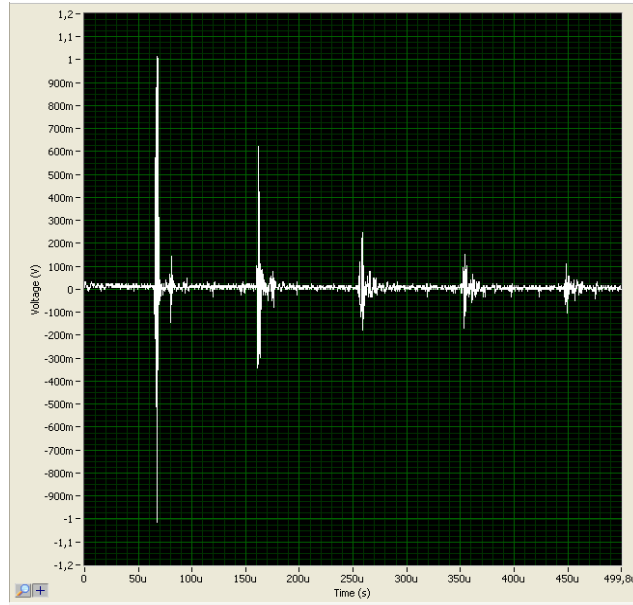


Şekil 2.9 : Kist tasviri için kullanılan üzüm tanesi ve yerleşimi.

Hazırlanan fantomun ölçümlerinde; hem üzüm konumlandırılan, hem de sadece jelatin bulunan noktalardan ölçümler alındı (Şekil 2.11). Şekil 2.11'de görüldüğü üzere sadece jelatin bulunan bölge için tabandan gelen ilk sinyalin yaklaşık 66,4 μ s, diğerlerinin sırasıyla 162 μ s, 256 μ s, 352,6 μ s'ler de geldiği görülmektedir. Deney için oluşturduğumuz fantomun kalınlığının 5,7 cm olduğu göz önüne alındığında; jelatin üzerindeki ses hızı (1.4) e göre hesap edildiğinde ortalama olarak 1195 m/s değerini aldığı görüldü.



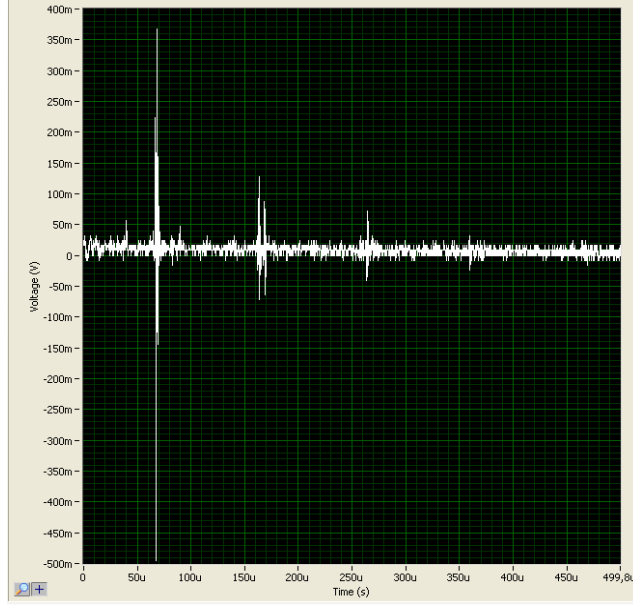
Şekil 2.10 : Fantomun görünüşü.



Şekil 2.11 : Jelatin bulunan alandan alınan -tabandan gelen- sinyaller.

Şekil 2.12’de aynı fantomun üzüm üzerinden alınan sinyallerin kap tabanından yansıyarak geliş zamanları sırasıyla 66,4 μ s, 167,8 μ s, 263,6 μ s şeklinde olduğu görülmektedir.

Sinyallerin geliş zamanları arasında belirgin bir fark görülmemekle birlikte, sadece jelatin bulunan alandan alınan sinyallerin genliğinin üzüm bulunan alandan alınanlardan beş (5) kat fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda fantomun içerisine yerleştirmiş olduğumuz temsili kist yapımızın sinyali soğurduğu ve böylece kap tabanından gelen sinyalimizin genliğinin azaldığı görülmektedir.



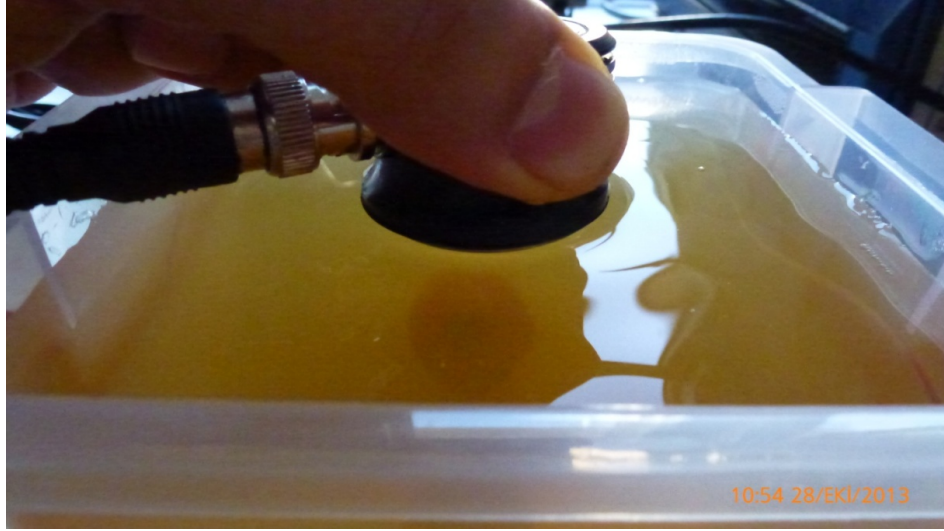
Şekil 2.12 : Üzüm üzerinden alınan ölçümler.

2.3.3 Kist tasvirleyici fantom ile etanol çözeltisi

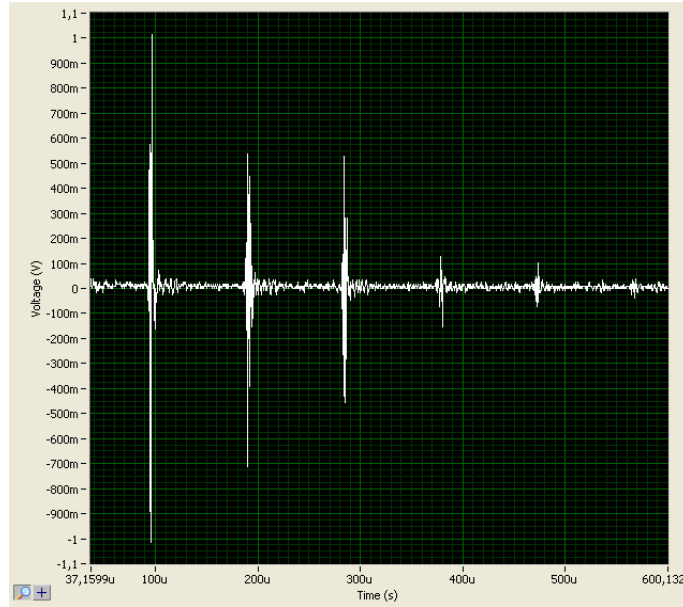
Oluşturduğumuz diğer bir fantomumuzda 1200 ml'lik bir kap, jelatin, üzüm (kist) ve %96'lık Etanol (Merck Ethanol %96) çözeltisi kullandık.

Fantomun oluşturulmasında kullanılan 1200 ml kabın 850 ml'lik kısmı kullanıldı. Bu çalışma için kabın hacimce büyüklüğünün 1/10 oranında; 85 g jelatin kullanıldı. Jelatinin oluşturulmasında; kaynama derecesine kadar ısıtılan 820 ml suya jelatin eklendi ve karıştırıldı. Bu karışıma %70 Etanol içeren 30 ml çözelti de eklendi. Oluşturulan karışım boş kabın içine tabanı ile 1cm yükseklik oluşturacak şekilde dökülerek, katılaşması beklendi. Daha sonra üzerinde üzüm tanesi yerleştirilerek (Çap $\approx$ 2 cm) kalan karışımın üzerine dökülmesi sağlandı. Bu sayede kap içerisinde 7 cm'lik bir jelatin yüksekliği elde edildi. Hazırlanan fantomun ölçümlerinde; hem üzüm konumlandırılan, hem de sadece jelatin bulunan noktalardan ölçümler alındı (Şekil 2.13).

Şekil 2.14'de görüldüğü üzere sadece jelatin bulunan bölge için tabandan gelen ilk sinyalin yaklaşık 94,4 μ s, diğerlerinin sırasıyla 189,6 μ s, 283,6 μ s, 378,4 μ s, 471,2 μ s, 565,2 μ s'ler de geldiği görülmektedir. Deney için oluşturduğumuz fantomun kalınlığının 7 cm olduğu göz önüne alındığında; jelatin üzerindeki ses hızı (1.4)'e göre hesap edildiğinde sırasıyla: 1483 m/s, 1470 m/s, 1489 m/s, 1476 m/s, 1508 m/s, 1489 m/s değerlerini aldığı görülmektedir.



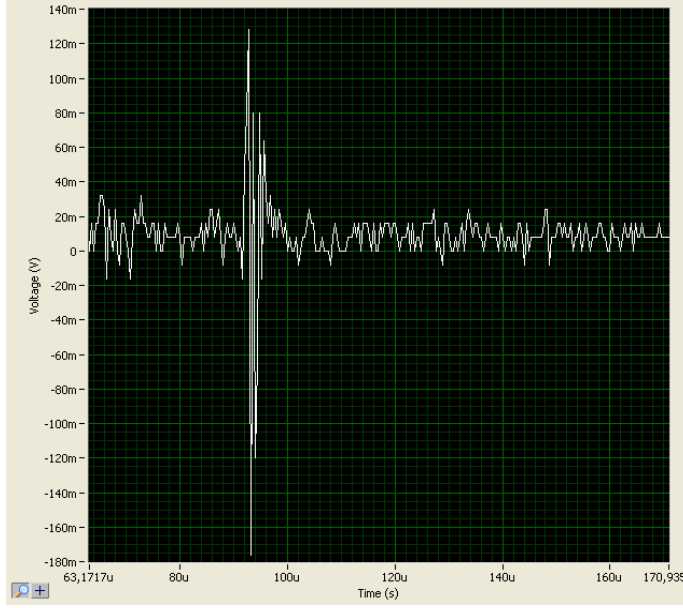
Şekil 2.13 : Ölçüm alınması.



Şekil 2.14 : Jelatin bulunan alandan kap tabanından alınan sinyaller.

Bu değerler yapmış olduğumuz ilk fantomdaki hız değerlerinin ortalaması olan 1195 m/s den 1485 m/s gibi bir hıza %70'lik 30 ml etanol kullanarak eriştiğimizi göstermektedir [10]. Şekil 2.15'de aynı fantomun üzüm (kist) üzerinden alınan sinyallerin kap tabanından yansıyarak geliş zamanının 92,8 μ s olduğu görülmektedir. Sinyalin geliş zamanın, boş alandan alınan arasında belirgin bir fark görülmemekle birlikte, sadece jelatin bulunan alandan alınan sinyallerin genliğinin üzüm bulunan alandan alınanlardan beş (5) kat fazla olduğu görülmektedir.

Bu durumda fantomun içerisine yerleştirmiş olduğumuz temsili kist yapımızın sinyali soğurduğu ve böylece kap tabanından gelen sinyalimizin genliğini azalttığı görülmüştür.



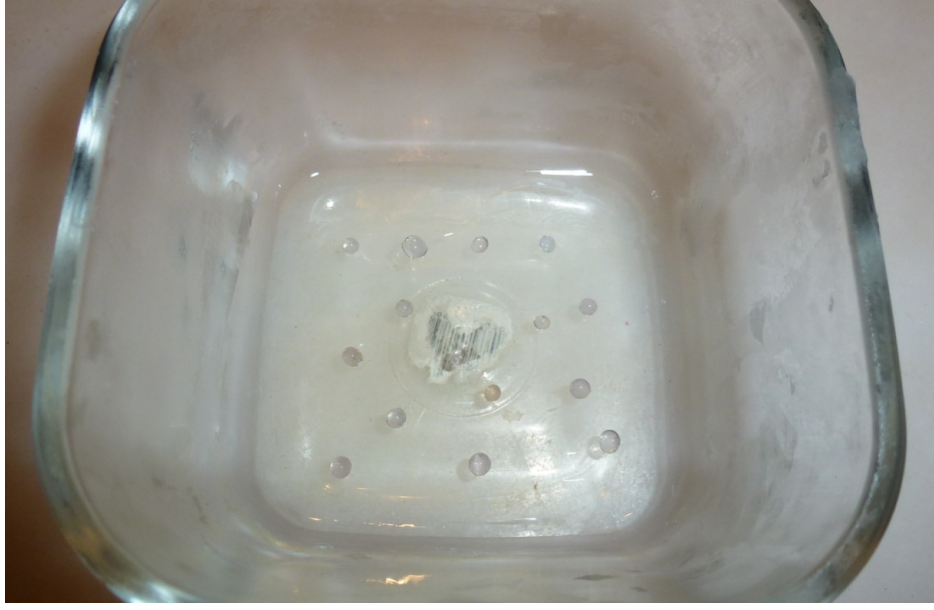
Şekil 2.15 : Üzüm (kist) üzerinden alınan sinyaller.

2.3.4 Yumuşak doku kitle tasvirleyici fantom ile saçıcılar

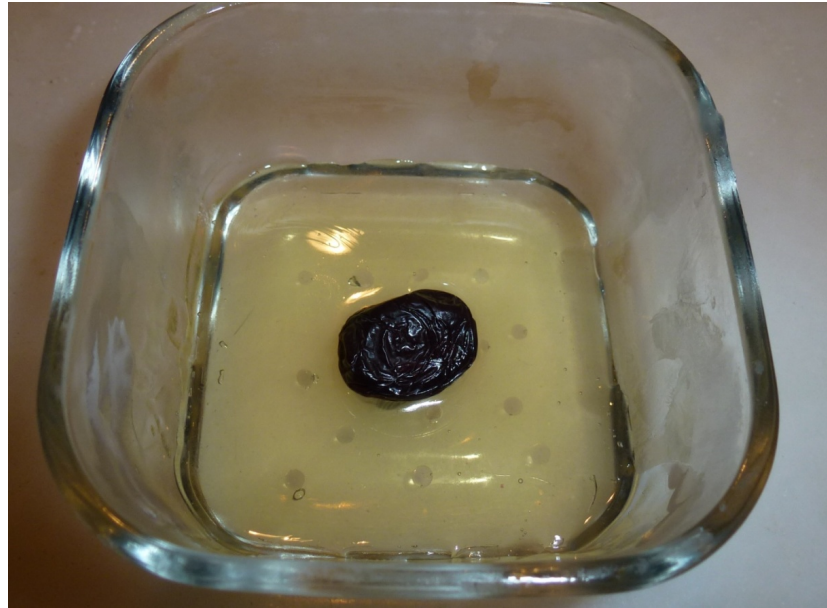
Diğer bir fantomumuzda 250 ml ve 1200 ml'lik kaplar, jelatin, zeytin tanesi (yumuşak doku kitlesi tasvirleyici) [9], dokulardaki gürültüyü tasvir etmek amacıyla da saçıcı ve dağıtıcı olarak Silikajel'ler (Şekil 2.2) (Toplam 97 adet, Çapları $\approx 2 - 4$ mm) ve %96'lık Etanol (Merck Ethanol %96) çözeltisi kullanıldı.

Fantomun oluşturulmasında ilk olarak 250 ml'lik kabımız için 25 g jelatin (Şekil 2.1) ve 25 ml %70'lik etanol hazırlandı. Jelatinin oluşturulmasında; kaynama derecesine kadar ısıtılan 225 ml suya 25 g jelatin eklendi ve karıştırıldı. Bu karışıma %70 Etanol içeren 25 ml çözelti de eklendi. Oluşturulan karışım boş kabın içine tabanı ile <1 cm yükseklik oluşturacak şekilde dökülerek, katılaşması beklendi. Katılaşmış olan çözeltimizin içine belirlediğimiz 97 adet silikajeller mümkün olan en homojen dağılım ile dağıtıldı (Şekil 2.16). Yerleştirilen silikajellerin üzerine bir miktar jelatin çözeltimizden ekleyip katılaşmasını sağladıktan sonra, tek zeytin tanesi kabı ortalayacak şekilde yerleştirildi (Şekil 2.17) (Çapı $\approx 1,8 \times 2,4$ cm). Katman oluşmaması için kaşık yardımıyla hazırladığımız jelatin çözeltisinden kabımıza az miktar ekleyerek kap içinde yükseklik farkları oluşturarak mevcut silikajeller eklendi ve her işlem sonrasında çözeltimizin katılaşması sağlandı. Bu işleme elimizdeki toplam çözelti ve silikajellerin tamamı kullanılıncaya kadar devam edildi. Hazırlamış olduğumuz 250 ml'lik kabın dışında; fantomumuzun asıl yer almasını istediğimiz 1200 ml kabımızın 500 ml'si için 450 ml su, kabın hacimce büyüklüğünün 1/10 oranında; 50 g jelatin ve 50 ml %70'lik Etanol kullanıldı.

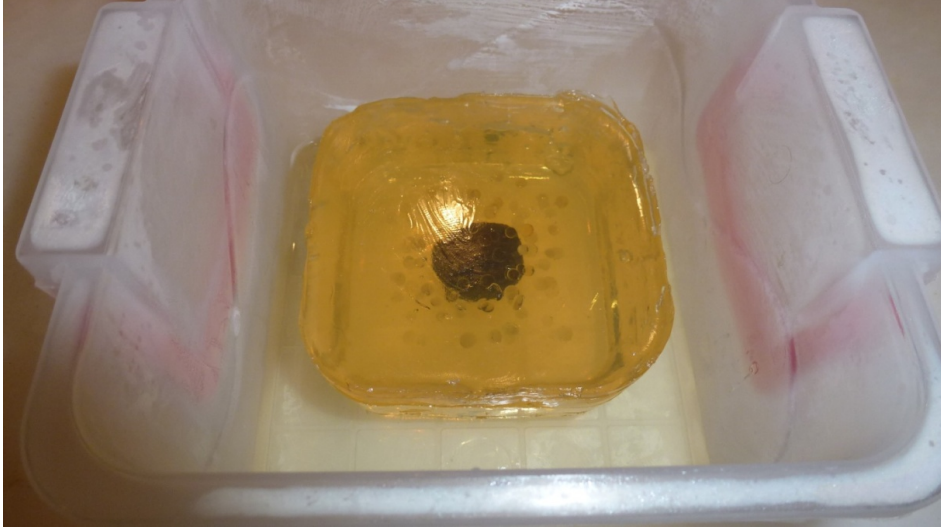
1200 ml'lik kabımız için oluşturulan 500 ml'lik karışım boş kabın içine tabanı ile 1 cm yükseklik oluşturacak şekilde dökülerek, katılaşması beklendi. Üzerine daha önceden hazırlamış olduğumuz 250 ml'lik kaptaki fantomumuz yerleştirildi (Şekil 2.18). Kalan karışımın üzerine dökülmesi sağlandı. Bu sayede kap içerisinde 6,5 cm'lik bir jelatin yüksekliği elde edildi (Şekil 2.19). Şekil 2.22'de görüldüğü üzere sadece jelatin bulunan bölge için kap tabanından gelen ilk sinyalin yaklaşık 99,6 μ s, diğerlerinin sırasıyla 197,2 μ s, 295,6 μ s, 392 μ s, 490 μ s'ler de geldiği görülmektedir.



Şekil 2.16 : 250 ml'lik kaba yerleştirilen silikajeller



Şekil 2.17 : Zeytin (Yumuşak doku kitle tasvirleyici) yerleşimi.



Şekil 2.18 : 1200 ml'lik kap ve 250 ml'lik hazırlanmış olan fantom.



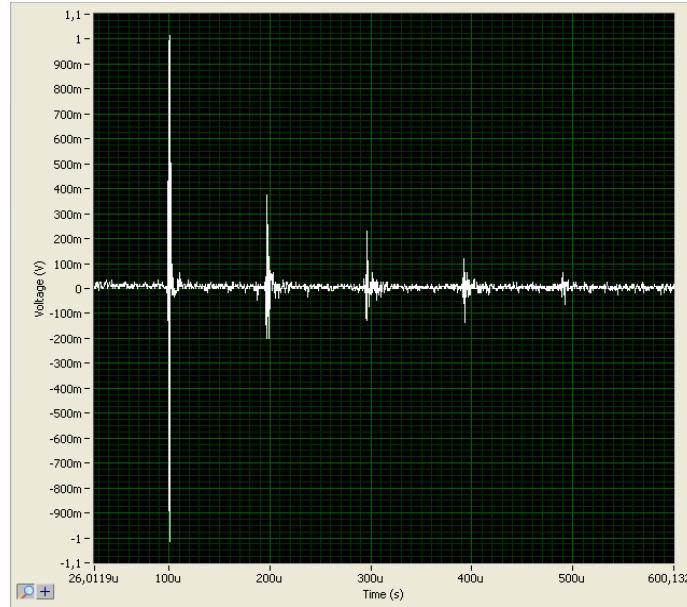
Şekil 2.19 : Üzüm ve Silikajel içeren fantomun ölçüme hazır hali.



Şekil 2.20 : Fantomun iç dağılımın üstten görünümü.

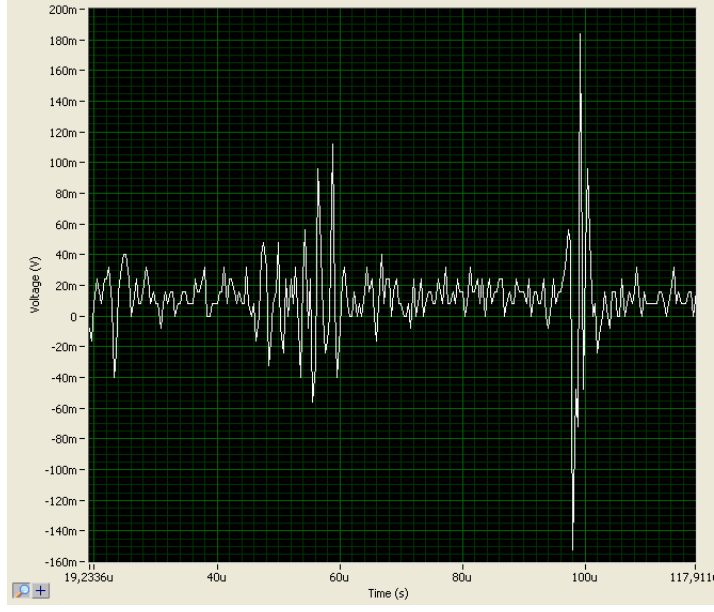


Şekil 2.21 : 1200 ml’lik kap içerisinde zeytin ve silikajel bulunan fantom.



Şekil 2.22 : Zeytin ve silikajel içeren fantomda ki tabandan gelen sinyaller.

Bu durumda fantomun içerisine yerleştirmiş olduğumuz temsili yumuşak doku yapımızın sinyali soğurduğu ve böylece kap tabanından gelen sinyalimizin genliğinin azaldığı görülmektedir. Fantom içerisine konumlandığımız silikajel saçıcı ve dağıtıcıların bir yankı gürültüsü oluşturmak yerine gönderdiğimiz sinyalin genliğini düşürdüğünü gördük. Bu noktada kullanılacak saçıcı ve dağıtıcıların yansıtma özelliği daha yüksek olan malzemelerden seçilmesi gerçeklik açısından önem taşıyacaktır. Deney için oluşturduğumuz fantomun kalınlığının 6,5 cm olduğu göz önüne alındığında jelatin üzerindeki ses hızı (1.4)’e göre hesap edildiğinde sırasıyla: 1305 m/s, 1332 m/s, 1321 m/s, 1348 m/s, 1326 m/s değerlerine ulaşıldı.



Şekil 2.23 : Silikajel içeren fantomda zeytin üzerindeyken alınan sinyaller.

3. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmalarımıza başlangıç noktası teşkil eden ucuz ve kolay üretilabilir fantom tasarımı için yapımı kolay ve ucuz olan bir materyal olan jelatin tercih ettik. Bunun sonucunda yaptığımız deneylerde doku içerisindeki kist ve yumuşak doku tasvirini gerçekleştirdik. Kullandığımız materyal yapım esnasında çok özel bir dikkat gerektirmeden, herkesin kolaylıkla kullanabileceği ve bulabileceği üstelik kimyasal olarakta zararsız, ucuz olan bir materyaldi. Çalışmalarda karşılaşılan temel sorun yapılan fantomun depolama süresinin uzun olmamasıydı. Yaptığımız fantomlar yaklaşık 10 günün sonunda içlerindeki nemi kaybederek kap içinde küçülmekte veya benzer sebeple üzerlerinde çatlaklar oluşmaktaydı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : 10 gün buzdolabında beklemiş jelatin fantom.

Fantomun nemini kaybetmesi akustik karakteristiğinin de zamanla değişmesine sebep olacaktır. İlk yaptığımız jelatin temelli fantomlarda karşılaşılan küflenme problemini, karışım içine çalışmalarımızda belirtilen oranda etanol katarak geciktirmiş olduk. Literatürde bu ve benzeri problemlerin giderilmesi için farklı materyallerin kullanılabileceğini belirten yayınlar mevcuttur [5,6,10,15].

Kalıp silikonu (RTV-Room Temperature Vulcanizing) olarak geçen oda sıcaklığında sertleşme özelliğine sahip iki bileşenli -sıvı- silikonların kullanılması düşünülmüş fakat silikonun sertleşmesini sağlayan bileşiğin hava kabarcıklarına meydan vermemesi için vakum altında gerçekleştirilmesi gerektiğinden [11] bu malzeme ile çalışılmamıştır. Fantom kavramındaki en önemli problemler; üretim, saklama ve kullanımda yapılan hatalardır [14].

KAYNAKLAR

- [1] Chmarra, M.K., Hansen, R., Marvik ve Lango, T., (2013). Multimodal Phantom of Liver Tissue. *Plos One*, Cilt 8, Mayıs 2013, Sayfa e64180.
- [2] Bellingham, G.A. ve Peng, P.W.H., (2010). A Low Cost Ultrasound Phantom of the Lumbosacral Spine. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, Cilt 35, Sayı Mayıs-Haziran 2010, Sayfa 290-293.
- [3] Bude, R.O. ve Adler, R.S., (1995). An Easily Made, Low-Cost, Tissue-Like Ultrasound Phantom Material. *Wiley Ultrasound*, Cilt 23, Sayı 4, Mayıs 1995, Sayfa 271-273.
- [4] Olympus, Panametrics Ultrasonic Transducers Technical Notes. www.olympus-ims.com , erişim tarihi : 09.12.2013.
- [5] Hellier, C.J., (2013). Handbook of Nondestructive Evaluation 2nd. Ed. McGraw-Hill, ISBN 978-0-07-177714-8.
- [6] Webb, A., Smith B.N., (2011). Introduction to Medical Imaging. New York, Cambridge University Press ISBN 978-0-521-19065-7
- [7] Basic Principles of Ultrasonic Testing. <http://www.ndt-ed.org> , erişim tarihi :09.12.2013.
- [8] Culjat, M.O., Goldenberg, D., Tewari, P. ve Singh, R.S., (2010). A Review of Tissue Substitutes for Ultrasound Imaging. *Elsevier Ultrasound in Med. & Biol.* Cilt 36, Sayı 6, Sayfa 861-873
- [9] Hocking, G., Hebard, S. ve Mitchell, H. C. (2011). A Review of the Benefits and Pitfalls of Phantoms in Ultrasound-Guided Regional Anesthesia. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*, Cilt 36, Sayı 2, Mart-Nisan 2011, Sayfa 162-170.
- [10] Madsen, E.L., Zagzebski, J.A., Banjavie, R.A. ve Jutila, R.E., (1978). Tissue Mimicking Materials for Ultrasound Phantoms. *Medical Physics*, Cilt 5, Sayı Eylül/Ekim 1978, Sayfa 391-394.
- [11] Pogue, B.W. ve Patterson. M.S., (2006). Review of Tissue Simulating Phantoms for Optical Spectroscopy, Imaging and Dosimetry. *SPIE Journal of Biomedical Optics*. Cilt 11, Sayı Temmuz/Ağustos 2006.
- [12] Piezoelectric Effect. <http://www.ece.stevens-tech.edu/sd/archive/07F-08S/websites/grp3/piezoelectric.html> erişim tarihi : 09.12.2013.
- [13] Cournane, S., Fagan, A.J. ve Browne, J.E., Review of Ultrasound Elastography Quality Control and Training Test Phantoms (t.y).
- [14] Lopez-Haro, S.A., Bazan-Trujillo, I., Leija-Salas, L. ve Vera-Hernandez, A., (2008). Ultrasound Propagation Speed Measurement of Mimicking Soft Tissue Phantoms Based on Agarose in the Range of 25°C to

50°C. 2008 5th. *International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2008)*. IEEE Press, Sayfa 192-195.

- [15] **Chao, S.L., Chen,K.C., Lin, L.W.,Wang, T.L. ve Chong, C.F.,** (2013). Ultrasound Phantoms Made of Gelatin Covered with Hydrocolloid Skin Dressing. *Elsevier The Journal of Emergency Medicine*, Cilt 45, Sayı Ağustos 2013, Sayfa 240-243.
- [16] **Hall, T.J., Bilgen, M., Insana, M.F. ve Krouskop, T.A.,** (1997). Phantom Materials for Elastography. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, Cilt 44, Sayı Kasım 1997, Sayfa 1355-1365.
- [17] **Kondo, T. ve Kitatuji, M.,** (2005). New Tissue Mimicking Materials for Ultrasound Phantoms. *2005 IEEE Ultrasonic Symposium*, Sayfa 1664-1667.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Aydın KORU

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul - 1976

Adres: İstanbul

E-Posta: aydinkoru@hotmail.com

Lisans: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği (Yakındoğu Üniversitesi KKTC)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Lisans eğitimini burslu olarak tamamlamıştır.

2000 – 2008 yılları arasında özel sektörde çeşitli firmalarda satış sonrası teknik destek mühendisi, ürün yöneticisi gibi görevlerde bulunmuştur.

2008 yılından günümüze İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresinde (İSKİ) Elektrik ve Elektronik Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.