

# ULTRASONİK GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Eyüp Bilgiç

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

1993

# ULTRASONİK GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Eyüp BİLGİÇ

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalı  
Genel Fizik Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Mustafa ŞENYEL

Mart 1993

Eyüp BİLGİÇ'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " Ultrasonik Güç Ölçüm Yöntemleri " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**29 NİSAN** 1993  
... /... /.....

Üye : Prof. Ertunç Aral

Üye : Prof. Selami Kılıçkaya

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Şenyel

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **13** MAYIS 1993..... gün  
ve **350-5**..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışma ultrasonik ses dalgaları kullanan teşhis ve terapik cihazların akustik çıkışlarının belirlenmesini ve ölçüm metodlarını içermektedir. Ultrasonik terapi, ultrasonik enerji ve doku arasındaki sınırlı ilişkiye dayalıdır. Bu durum, yüksek ve tersinmez biyolojik etkilere sebep olacak değerlerden çok fazla değişmeyen, radyasyon dalgasındaki ses şiddetini gerektirir. Hastaya gelebilecek istenmeyen tehlikelerden kaçınmak için ultrasonik alanın data ölçümlerini yapmak gereklidir.

Ultrasonik güç, ultrasonik cihazların çeşitli alanlardaki parametrelerinin ölçümünde önemli derecede dikkat çekmiştir. Bu gücün ölçümü; medikal uygulamalarda özellikle de ultrasonik fiziksel, kimyasal ve biyolojik etki araştırmalarında önemli yer tutar. Diagnostik medikal uygulamalarda asıl ilgi ultrasonik etkiyi azaltmaya yöneliktir. Terapik uygulamalarda ise dokudaki bölgesel alan, suda ölçülen alan parametreleriyle ilgilidir.

## SUMMARY

This study contains measuring methods and determination of acoustic output of test and therapeutic equipment which use ultrasonic sound waves. Ultrasonic therapy depends on the relationship between ultrasonic energy and tissue. In this case it is necessary to use proper sound intensity level that does not fluctuate and does not result in irreversible biological effects. It is necessary to make data acquisition of the ultrasonic field in order to prevent the patient from the probable dangers.

Ultrasonic power has been taken attention with the increasing usage of ultrasonic equipment in various fields. The measurement of this power plays an important role in the medical applications especially in the research of ultrasonic, physical, chemical and biological effects. In the diagnostic medical applications, the main goal is to decrease the ultrasonic exposure. In the therapeutic applications, however, the sectional area in the tissue is related to sound field parameters measured in water.

## TEŐEKKÖR

Ultrasonik gűç ölçűm yűntemleri konusundaki alıŐma; Anadolu Ŭniversitesi Fen Bilimleri Enstitűsű'nde Yrd.Doç.Dr. Mustafa ŐENYEL'in danıŐmanlıĐında yűrűtűlműŐtűr.

ÇalıŐmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı danıŐman hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa ŐENYEL'e , deney dűzeneĐinin hazırlanması sırasındaki yardımlarından dolayı iŐyeri arkadaŐlarım ve tezin yazılması sırasındaki yardımlarından dolayı sekreter arkadaşım Nurcan Yıldırım'a teŐekkűr etmeyi bir borç bilirim.

Eyűp BİLGİÇ

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. TRANSDÜSERLERİN ÖZELLİKLERİ .....	1
1.1. Piezoelektrik Özellik .....	1
1.2. Piezoelektrik Transdüserlerin Dinamik Davranışları .....	5
1.3. Transdüserlerin Frekans Bağımlılıkları .....	11
1.4. Bir Transdüserin Q - Faktörü .....	15
1.5. Transdüserlerin Verimi .....	17
1.6. Transdüser Montaj Uygulamaları .....	21
1.7. Yüksek Şiddetli Vericiler .....	23
1.8. Ultrasonik Güç Ölçümlerinde Adı Geçen Terimler .....	24
2. ÇALIŞMANIN AMACI .....	29
3. ULTRASONİK GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....	30
3.1. Float Metodu .....	30
3.1.1. Hedef .....	32
3.1.1.1. Absorbe Edici Hedef .....	32
3.1.1.2. Yansıtıcı Hedef .....	33
3.1.2. Hedefin Çapı .....	33
3.1.3. Ölçüm Şartları .....	34
3.1.4. Float Metodunun İncelenmesi .....	35
3.1.4.1. Tek Tüp Sistemi .....	36
3.1.4.2. Yan Tüp Sistemi .....	40
3.1.5. Ölçüm Sisteminin Duyarlılığı .....	42
3.1.6. Kullanılan Sıvıların Yoğunluk Etkisi .....	43
3.1.7. Doğruluk .....	44
3.1.8. Ölçümlerin Tekrarlanabilirliği .....	46

## İÇİNDEKİLER (devam)

3.2. Mikrobalans Kullanılan Ultrasonik Güç Ölçüm Sistemi .....	48
3.2.1. Ölçüm Sisteminin Elemanları .....	48
3.2.2. Sistemde Kullanılan Cihazlar .....	50
3.2.3. Programın Akışı .....	55
3.2.4. Veri İşleme Programının Akışı .....	56
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	62
4.1. Terazinin Dengeye Getirilmesi .....	62
4.2. Uyum Trafosu .....	63
4.3. Deneysel Ölçüm .....	65
5. ÖNERİLER .....	68
KAYNAKLAR .....	69



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Quartzda yük altında elektrik yük merkezlerinin ayrılmasını gösteren piezoelektrik olay . . . . .	1
1.2. Piezoelektrik seramik silindirin stres-voltaj grafiği . . . . .	2
1.3. Silindirik piezoelektrik seramikte piezoelektrik olay . . . . .	2
1.4. Çeşitli kristaller ve kristal kesme yönleri a,b-Quartz c,d-Rochelle tuzu . . . . .	3
1.5. Transdüserin elektriksel eşdeğer devresi . . . . .	5
1.6. Transdüserin bağımlılığı a) Empedans-frekans b) Admitans frekans . . . . .	7
1.7. Transdüserlerin a) Seri b) Paralel Bağlantıları . . . . .	7
1.8. Transdüserlerin frekans cevapları . . . . .	11
1.9. Seri ve paralel mekanik osilatör eşdeğer devresinin frekans cevapları . . . . .	12
1.10. Transdüserin çalışma bölgesinin belirlendiği düzenek . . . . .	13
1.11. $ z /f$ grafiği . . . . .	13
1.12. B/G grafiği . . . . .	14
1.13. B ve G arasındaki matematiksel ilişkinin grafiği . . . . .	14
1.14. Düşük Q eşleme devresi . . . . .	17
1.15. Piezoelektrik transdüserlerin eğrilerini elde etme devresi . . . . .	18
1.16. Piezoelektrik transdüserlerin tipik çember grafiği . . . . .	18
1.17. Birkaç Tipik Transdüser Montajı . . . . .	21
1.18. Tipik Sandviç Transdüser Konstrüksiyonu . . . . .	22
3.1. a) Float radyometre sistemi b) Tethered radyometre sistemi c) Magnetik asılı float radyometre sistemi . . . . .	31
3.2. Absorbe edici hedef a) yandan b) üstten görünüş . . . . .	32
3.3. Ultrasonik alan hedef tarafından kaplanmalıdır . . . . .	33
3.4. Su degaze kabı . . . . .	35
3.5. Float ölçüm metodunun blok şeması . . . . .	36
3.6. Tek tüp sisteminde floatın yer değiştirmesi . . . . .	38
3.7. Yan tüp sisteminin şematik gösterimi . . . . .	41

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

3.8. Ultrasonik Güç - Float Uzaklığı Grafiği . . . . .	42
3.9. Ultrasonik güç - yüzde hata grafiği . . . . .	45
3.10. Uygulanan voltaj - yayılan ultrasonik güç değişimi a) 1 MHz b) 2 MHz c) 4 MHz . . . . .	47
3.11. NPL'de Bulunan Tedhered Float Radiometer'in Fotoğrafı . . . . .	47
3.12. Ultrasonik güç ölçüm sisteminin blok şeması . . . . .	48
3.13. Deneysel Düzenegın Şematik Gösterimi . . . . .	49
3.14. Termoçift sıcaklık - voltaj grafiği . . . . .	53
3.15. Referans bağlantılar . . . . .	54
3.16. Programın akışı . . . . .	55
3.17. Veri İşleme Programının Akış Şeması . . . . .	57
3.18. Normal dağılım eğrisi . . . . .	59
3.19. Transdüser e uygulananan voltaj - ağırlık değişimi grafiği . . . . .	60
3.20. Transdüserin frekans taraması grafiği . . . . .	61
4.1. Hedefin su içindeki ağırlığının belirlenmesi . . . . .	62
4.2. Absorbe edici hedefin boyutları . . . . .	63
4.3. Bobin ve kondansatörden oluşan uyum trafosu . . . . .	64
4.4. Ultrasonik güç - voltaj grafiği . . . . .	67

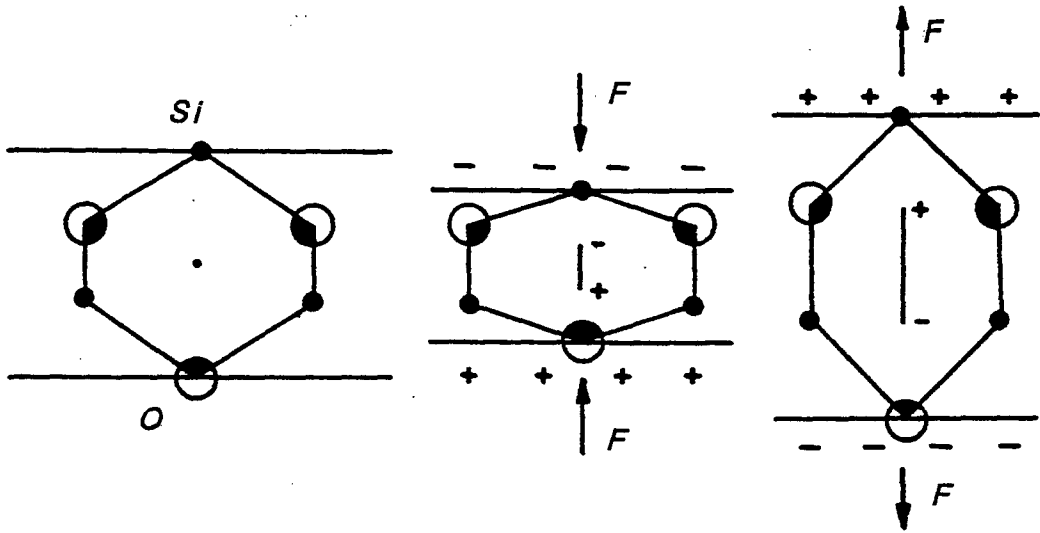
## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
1.1. Kristal kesim tipleri ve açıları . . . . .	5
1.2. Piezoelektrik transdüser malzemelerin özellikleri . . . . .	11
3.1. Duyarlılık ve hata yüzdesi . . . . .	42
3.2. Ölçüm sisteminde kullanılan sıvıların yoğunlukları ve duyarlılığa etkileri . . . . .	44
3.3. Farklı büret çaplı float sisteminin tekrarlanabilirliği . . . . .	46
4.1. Transdüserine uygulanan voltajlara karşılık gelen kütle değerleri . . . . .	65
4.2. Transdüserine uygulanan voltajlar ve karşılık gelen kütle ve güç değerleri . . . . .	66

## 1.TRANSDÜSERLERİN ÖZELLİKLERİ

### 1.1. Piezoelektrik Özellik

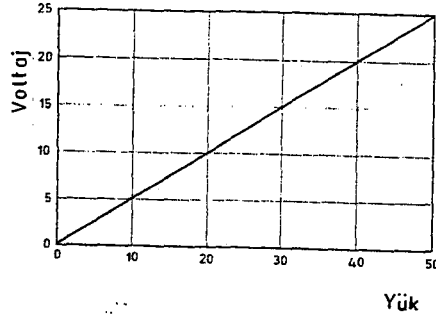
Piezoelektrik olay, bir enerji türünün diğer enerji türüne dönüştürülmesidir. Gerçek anlamda bir piezoelektrik maddeye mekanik bir yük uygulandığında piezoelektrik maddenin yüzeylerinde elektrik yükleri oluşur. Buna direkt piezoelektrik olay denir. Piezoelektrik etkiyi görmek için tersten de gidilebilir. Piezoelektrik bir maddeye bir potansiyel fark uygulandığında, piezoelektrik madde mekaniksel şekil değişimine uğrar. Bu olaya ise ters piezoelektrik olay denir.



Şekil 1.1. Quartzda yük altında elektrik yük merkezlerinin ayrılmasını gösteren piezoelektrik olay (Aral, 1992)

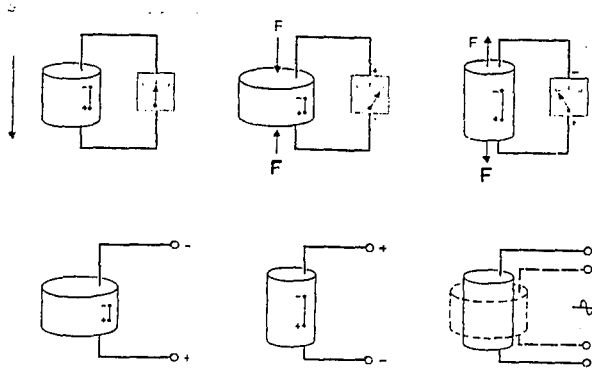
Kristal sıkıştırılmadan önce pozitif ve negatif yüklerin merkezleri üst üste gelmiştir. Kristal sıkıştırıldığında bu merkezler birbirlerine göreli olarak yer değiştirirler ve böylelikle

kristal içinde elektriksel dipol dolayısıyla yüzey yükleri oluşur. Oluşan yüzey yükleri, polarizasyon voltajının yönü ile ilgilidir. Piezoelektrik maddeye polarizasyon voltajının ters polarizasyonunda bir voltaj uygulanırsa piezoelektrik malzeme kışalacak; polarizasyon yönünde bir voltaj uygularsak bu kez malzeme uzayacaktır. Piezoelektrik maddeye alternatif akım uygularsak maddenin şekil değiştirmesi periyodik olacaktır. Bu şekil değiştirmeler, uzayıp kışalmalar, uygulanan alternatif akımın frekansında olacaktır.



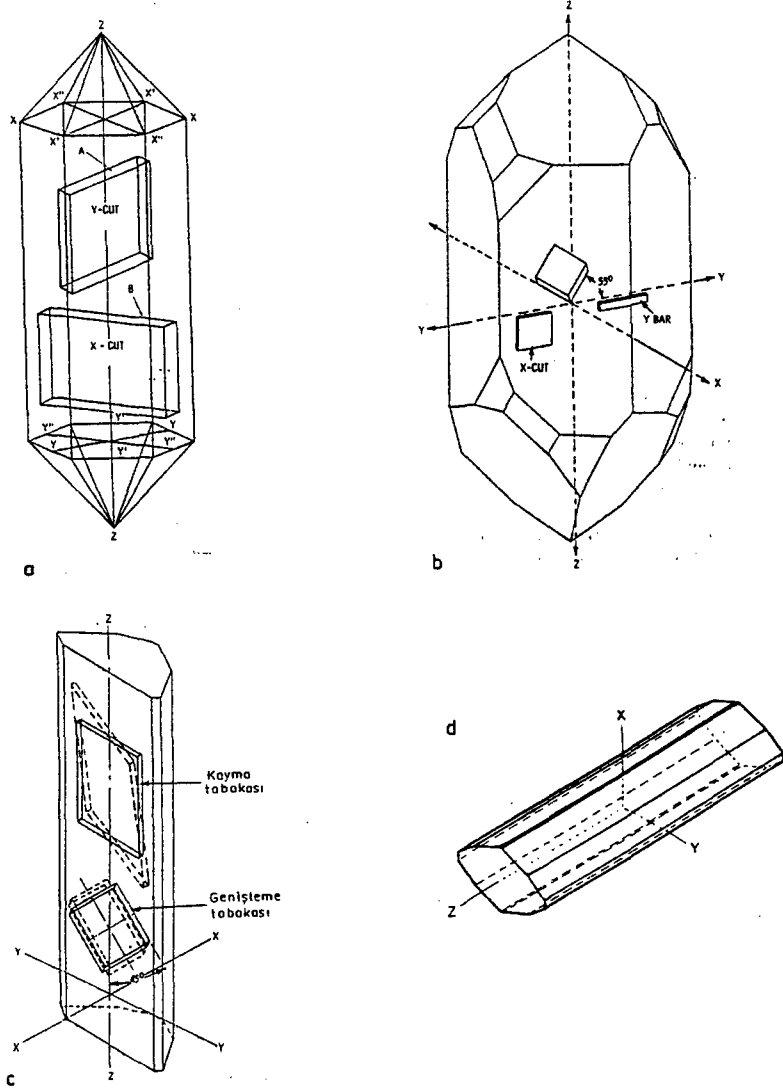
– Şekil 1.2. Piezoelektrik seramik silindirin stres-voltaj grafiği

Piezoelektrik maddeyi elastik limitleri içinde sıkıştırmak kaydıyla oluşan açık devre voltajı, uygulanan mekanik yük ile orantılı olacaktır.



Şekil 1.3. Silindirik piezoelektrik seramikte piezoelektrik olay

Piezoelektrik özellik gösteren maddeler; quartz, Rochelle tuzu, tourmaline ve seramik maddelerdir (Baryum titanat, kurşun titan zirkonat vb.). Quartz ve tourmaline doğal olarak bulunan minerallerdir. Quartz renksiz silisyumdioksit ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde bulunur. Tourmaline ise kırmızı, yeşil, mavi, sarı, kahverengi, siyah veya renksiz silikattır. Rochelle tuzu ise potasyum nitrat çözeltisinden kristalize edilir.



Şekil 1.4. Çeşitli kristaller ve kristal kesme yönleri a,b-Quartz c,d-Rochelle tuzu (Shields, 1966).

Şekil 1.4.'de çeşitli kristaller ve bu kristaldeki çeşitli kesim eksenleri görülmektedir. Quartz kristalinde, X ile gösterilen eksen optik eksen, Y ile gösterilen eksen mekanik eksen, Z ile gösterilen eksen elektriksel eksen olarak adlandırılır. Kristallerde dilimlerin

kesim yönleri önemlidir. Dolayısıyla kristal dilimleri, kesildikleri yönlere göre adlandırılır. Kesilecek kristal diliminin yüzey normali hangi eksene paralel ise kristal o eksenin adı ile anılır.

Kristallerin titreşim frekansları, kalınlıkları ile ilgilidir. Frekansın kalınlıkla ilişkisini veren ampirik bir formül istersek bunu şöyle ifade edebiliriz. x kesimli bir kristalin yaklaşık olarak rezonans frekansı;

$$f_x = \frac{2860}{d} = \frac{v}{2d} \quad (1.1)$$

d : kristalin kalınlığı (mm)

v : ultrases dalgalarının hızı (mm/sn)

f : frekans (kHz)

ifadesi ile verilir. (1.1) ifadesinde kristal dilimini tutan malzemenin kapasitansı ve diğer kapasitans etkileri hesaba katılmamıştır.

y kesimli bir kristalin yaklaşık olarak rezonans frekansı;

$$f_y = \frac{1960}{d} \quad \text{veya} \quad f_y = \frac{2,860}{W} \quad (1.2)$$

W : Y eksenini boyunca kalınlık

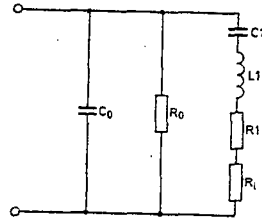
ile verilir (Shields, 1966). Yukarıda verilen ampirik formüller oda sıcaklığı civarında geçerlidir. x ve y kesimli kristaller dışında çeşitli yönlerde kesilmiş kristaller vardır. Bunları elde etmek pahalıdır. Ancak kullanımda avantajları vardır. Örneğin sıcaklık değişimlerine daha az duyarlıdır. Bu nedenle bu tür kristallerin rezonans frekansları çevre sıcaklığının etkisiyle daha az değişirler. Birkaç standart kristal için kesme açılarına ilişkin değerler Çizelge 1.1. de verilmektedir (Shields, 1966).

Çizelge 1.1. Kristal kesim tipleri ve açıları (Shields, 1966).

ADI	$\phi$	$\theta$	$\psi$
z	0	0	0
x	0	90	90
-18° Filtre	0	90	108
+5° Filtre	0	90	85
y	+90	90	90
AT	-90	54 3/4	90
BT	-90	-41	90
CT	-90	52	90
GT	-90	38°52	$\pm 45^\circ$
MT	6°40	50°28	79°36
NT	9°25	40°40	77°40

## 1.2. Piezoelektrik Transdüserlerin Dinamik Davranışları

Bir piezoelektrik transdüserin eşdeğer devresine bakalım. Seri rezonans veya buna yakın bir frekansta çalışan piezoelektrik bir transdüserin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 1.5. de görülmektedir (Ronderaat, 1974).



Şekil 1.5. Transdüserin elektriksel eşdeğer devresi



- $C_0$  : Rezonansın uzaklarında  $C_1$ 'den farklı kapasitans  
 $R_0$  : Dielektrik kayıplarını gösteren direnç  
 $R_1$  : Mekaniksel kayıpları gösteren direnç  
 $C_1$  : Mekanik devrenin kapasitansı  
 $L_1$  : Mekanik devrenin indüktansı  
 $R_L$  : Ortama yayılan enerjiyi gösteren yük direnci; vakumda  $R_L = 0$

Yukarıda elektriksel eşdeğeri görülen transdüserin akım ifadesi

$$V_m \sin(\omega t) = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1.3)$$

bağıntısı ile verilir (Tucker, 1966). Bu bağıntının çözümünden akım ifadesi

$$i_m = \frac{V_m}{R+j(\omega L - 1/\omega C)} = \frac{V_m}{Z} \quad (1.4)$$

olarak bulunur. Buradan yola çıkarak R direnci ihmal edilirse sistemin rezonans frekansı için;

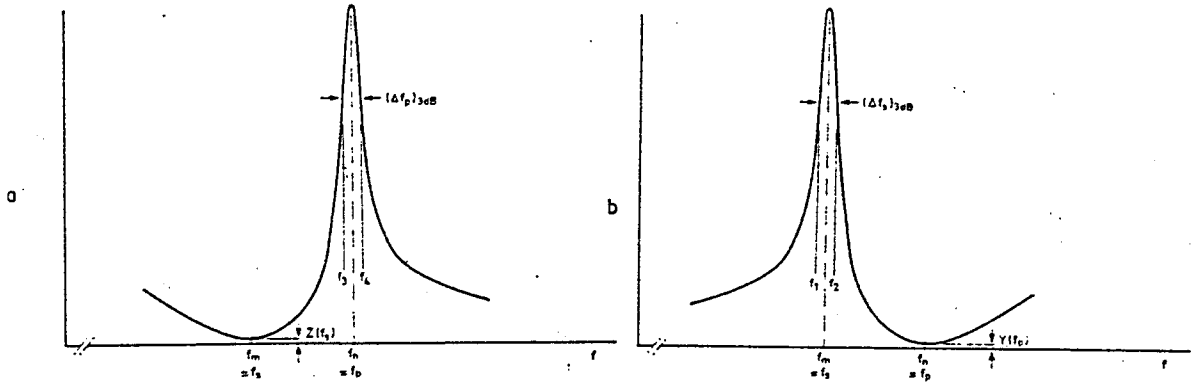
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1.5)$$

bağıntısı bulunur. Yine bu sistemin paralel rezonans frekansı

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0 + C_1}{L_1 C_0 C_1}} \quad (1.6)$$

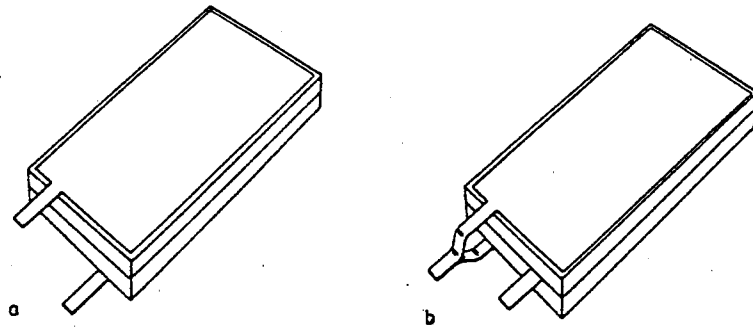
bağıntısı ile verilir. Bu eşitliği elde etmek için  $R_1$  ihmal edilip  $R_0$  sonsuz kabul edilmelidir.

Bir transdüserin empedans ve admitansının frekans bağımlılığı aşağıdaki gibi çizilir.



Şekil 1.6. Transdüserin bağımlılığı, a) Empedans-frekans b) Admitans frekans

Ayrıca transdüserler kullanımına bağlı olarak seri veya paralel olarak bağlanabilirler.



Şekil 1.7. Transdüserlerin, a) Seri Bağlantıları b) Paralel Bağlantıları

$A$  alanlı ve  $l$  kalınlığında piezoelektrik bir eleman bir alıcı olarak kullanılırsa, gelen akustik dalgalar; elementin, yüzeyde  $u$  hızı ile karakterize edilen titreşimlerine neden olur.

Birim şekil değiştirmenin (Strain) tanımından (Tucker, 1966)

$$S = \frac{\text{uzama}}{\text{ilk uzunluk}} = \int \frac{u}{l} dt \quad (1.7)$$

elde edilir. Buradan

$$u = l \frac{dS}{dt} \quad (1.8)$$

olarak bulunur. Piezoelektrik elemente bağılı olan herhangi bir dış devreden geçen akım;

$$i = A \frac{dP}{dt} \quad (1.9)$$

dir. Burada P birim yüzeyde indüklenen yük yoğunluğudur.

$$P = e S \quad \text{ve} \quad S = T.s \quad (1.10)$$

e, piezoelektrik mekanik yük (stress) katsayısıdır. Bu eşitliğin diferansiyelini alırsak

$$\frac{dP}{dt} = e \frac{dS}{dt} ; \text{buradan}$$

$$i = Ae \frac{dS}{dt} \quad (1.11)$$

ifadesi elde edilir. Yukarıdaki formüllerden görüleceği üzere dış devredeki akım, transdüserin yüzey hızı ile orantılıdır.

$$i = (Ae/l) u \quad \text{veya} \quad i = au \quad i_l = a_{lh}u_h \quad (1.12)$$

Buradan yola çıkarak mekanik yük ve elektrik alan eksenlerinin seçimine bağılı olarak birçok a değeri olacaktır.

Verici olarak kullanılan bir elemana uygulanan  $V$  voltajı;

$$E = V/l \quad (1.13)$$

şiddetinde bir elektrik alan şiddeti ve  $T = eE$  ye uygun olacak şekilde

$$T = e.V/l \quad (1.14)$$

ile verilen bir şekil değiştirme oluşturur. Mekanik yük birim alana düşen kuvvet olarak tanımlanır.

$$T = F/A \quad (1.15)$$

Bu formülden yola çıkarak kuvveti;

$$F = (Ae/l) V = aV \quad ; \quad F_l = a_h V_h \quad (1.16)$$

olarak elde etmek mümkündür. Yine kuvvet, dönüşüm oranı  $a$  ya bağlı olarak uygulanan voltajla değişecektir. Bu kuvvet transdüser elemanının aktif kütlesini ivmelendirir ve ortamda akustik dalgaları oluşturur.

Transdüser malzemesi üzerinde mekanik olarak depo edilmiş enerji, kuvvet ve uzamanın yarısıdır. Diğer bir deyişle

$$W_m = \frac{1}{2} F.S/l \quad (1.17)$$

dir.

Gerekli bağıntıları kullanarak depo edilen mekanik enerji için;

$$W_m = \frac{1}{2} \frac{a^2 V^2 s l}{A} \quad (1.18)$$

ifadesi elde edilir. Elemanda depo edilen elektriksel enerji ifadesi;

$$W_e = \frac{1}{2} C V^2 \quad (1.19)$$

dir. Bu ifadede  $C = A\epsilon/l$  elemanın kapasitansıdır. Böylece depo edilen mekanik enerjinin elektriksel enerjiye oranı;

$$\frac{W_m}{W_e} = \frac{\frac{1}{2} (A^2 \theta^2 s / V_2 l_2 A)}{\frac{1}{2} (A\epsilon V^2 / l)} = \frac{\theta^2 s}{\epsilon} = k_c^2 \quad (1.20)$$

ifadesi bulunur. (1.20) ifadesi elektromekaniksel kuplaj katsayısı olup birimsizdir. Bu transdüserin veriminin bir ölçütüdür. Fakat transdüser malzemesi ve montajındaki kayıplardan dolayı mutlak bir verim vermez.  $k_c$  nin değeri uygulanan elektrik alanı ve oluşan şekil değiştirmenin yönüne bağlıdır.

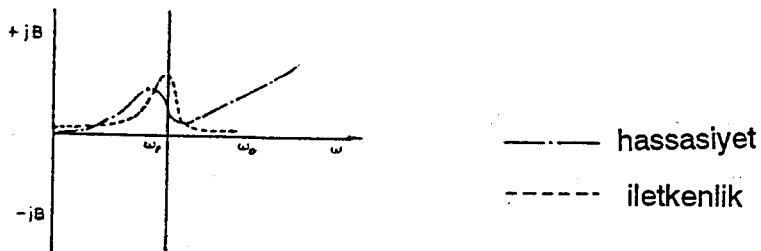
Çeşitli piezoelektrik malzemeler için tipik  $k_c$  değerleri Çizelge 1.2.de çıkarılmıştır (Tucker, 1966).

Çizelge 1.2. Piezoelektrik transdüser malzemelerin özellikleri

Malzeme	$k_c$ (%)	Piezoelektrik Gerinme Katsayısı (coulomb/newton x $10^{-12}$ )	Curie Sıcaklığı (°C)
Quartz (X-kesimi)	10	-2.3	550
Baryum titanat			
Bar	50		
Tabaka	40	60-190	120-140
Radyal	20		
Kurşun zirkon -titanat			
PZT-4a bar	76	80-320	320-490
PZT-5a bar	68		

### 1.3. Transdüserlerin Frekans Bağımlılıkları

Transdüserlerin eşdeğer devrelerindeki dirençler (Şekil 1.5.) ihmal edilirse Şekil 1.8. de görülen genel transdüser cevap formunu elde etmek mümkündür.



Şekil 1.8. Transdüserlerin frekans cevapları

Piezoelektrik transdüserleri gösteren devrenin elektriksel admitansı  $Y = G + iB$

formunda olup G iletkenlik ve B hassasiyet (susceptive) elemanıdır.

$$Y = j\omega C_0 - j \left( \frac{1}{\omega L_1 - 1/\omega C_1} \right) \quad (1.21)$$

Bu admitans ifadesi  $\omega = 0$  ve

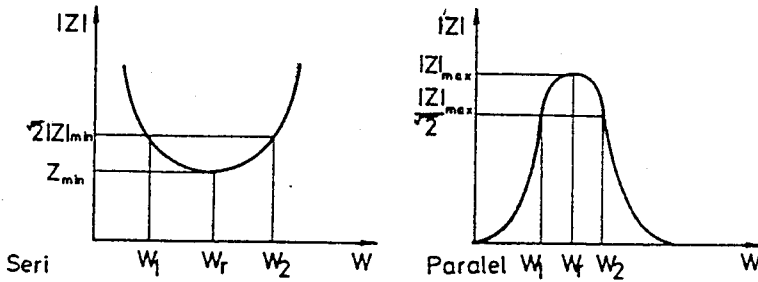
$$\omega = \omega_0 = \sqrt{\left( \frac{C_0 + C_1}{L_1 C_0 C_1} \right)} \quad (1.22)$$

olduğunda sıfırdır.  $\omega_0$ ; açılma rezonans frekansdır. Admitans  $\omega = \infty$  ve

$$\omega = \omega_r = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1.23)$$

olduğunda sonsuzdur.  $\omega_r$  rezonans frekansdır.

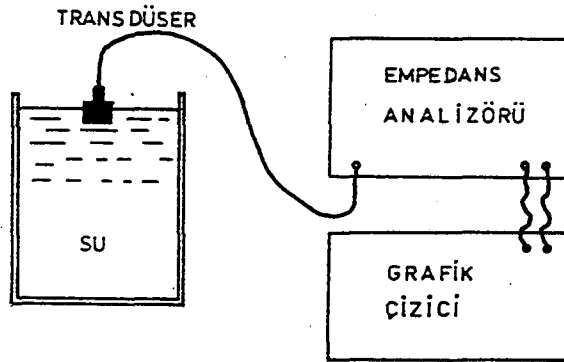
Transdüserin bağlandığı mekanik düzeneğin indüktansını veya kapasitansını; seri kondansatörler veya paralel bobinler kullanarak ayarlamak genel uygulamalardan biridir. Böylece frekans cevabı sadece mekanik osilatörün frekansına iner ve elektriksel alıcı yükselteçlerinin ve üreteçlerinin giriş veya çıkış empedanslarını,  $|z|_{\max}$  direnci ile karşılaştırmak gereklidir.



Şekil 1.9. Seri ve paralel mekanik osilatör eşdeğer devresinin frekans cevapları

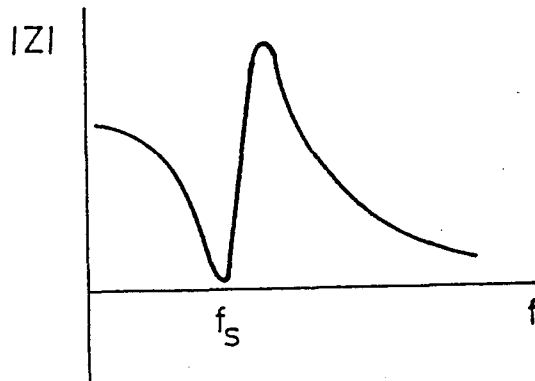
$$Q = \frac{W_r}{W_2 - W_1} \quad (1.24)$$

Tüm ultrasonik güç ölçüm metodlarında gücü ölçülecek transdüserin su içindeki  $|z|/f$  grafiği çizilerek çalışma bölgesi tanımlanır. Bu işlem için aşağıdaki sistem kurulabilir.



Şekil 1.10. Transdüserin çalışma bölgesinin belirlendiği düzenek

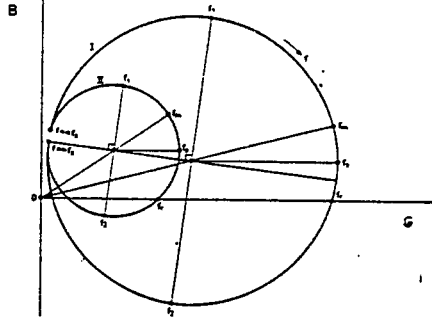
$|z|/f$  grafiği alındığında



Şekil 1.11.  $|z|/f$  grafiği



transdüserin seri ( $f_s$ ) frekansı belirlenir.  $f_s$  frekansını belirlemenin diğer bir yolu ise B/G grafiğini çizmektir.



Şekil 1.12. B/G grafiği

Bu grafikten anlaşıldığı üzere Y'nin maksimum olduğı yerde seri rezonans frekansı görmek mümkündür.

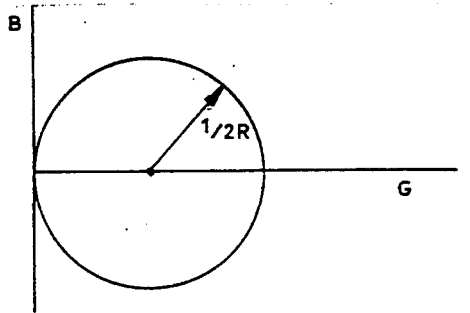
$$Y = G + iB, \quad Z = R + iX \quad \text{ve} \quad |Z| = \frac{1}{|Y|}$$

olduğuna göre  $R+iX = 1/(G+iB)$  eşitliğinde işlem yapıp reel kısmını alırsak ve her

iki tarafa  $1/4R^2$  ilave edersek

$$\left(G - \frac{1}{2R}\right)^2 + B^2 = 1/4R^2 \quad (1.25)$$

ifadesi bulunur. Aşağıdaki şekilden G ve B arasındaki ilişki görülebilir.



Şekil 1.13. B ve G arasındaki matematiksel ilişkinin grafiği

#### 1.4. Bir Transdüserin Q - Faktörü

Kısa aralıklı akustik pulsları (darbeleri) veya F.M. geçişlerini içeren birçok sualtı uygulamaları; bir frekansa göre mümkün olduğunca geniş band akustik transdüserleri, başka bir deyişle düşük Q faktörlü transdüserleri gerektirir.

Bir transdüser iki Q faktörüne sahiptir. Bunlar mekaniksel ve elektriksel Q faktörleridir. Mekanik Q faktörü  $Q_m$

$$Q = w_r / R_m \quad (1.26)$$

dir ve transdüserin çalışma moduna bağlıdır. Böylece, yarımdalga rezonansı için,

$$w_r = 2\pi d/2l \quad \text{ve} \quad m = \frac{1}{2} g A/l \quad \text{olduğunda düzlem dalga için}$$

$$Q_m = \frac{\pi}{2} \frac{\rho c}{\rho_w c_w} \quad (\text{hava-yastıklı çalışma}) \quad (1.27)$$

$$Q_m = \frac{\pi}{4} \frac{\rho c}{\rho c_w} \quad (\text{Simetrik-yüklü çalışma}) \quad (1.28)$$

Farklı yastık malzemelerde su içindeki kullanımlarda

$$Q_m = \frac{\pi}{2} \frac{\rho c}{\rho_w c_w + \rho_b c_b} \quad (1.29)$$

$c, c_w, c_b$  : havada, suda, yastık malzemesinde dalga hızı

$\rho, \rho_w, \rho_b$  : yoğunluk

Burada  $\rho c$  transdüseri,  $\rho_w c_w$  su yükünü ve  $\rho_b c_b$  ise yastık malzemesini göstermektedir.

Hava-yastıklı quartz transdüseri için yaklaşık 15 değerindeki Q faktörü, su içindeki radyasyon için elde edilebilir. Hatta bu değer, hava yük olarak kullanılması kaydıyla 50000'e çıkartılabilir. Hava-yastıklı baryum titanat veya nikel transdüserin havadaki tipik 200'lük Q faktörü su içinde yaklaşık 28'e indirilir. Pratikte transdüserin montajından gelen kayıplar Q değerini düşürürler. Özellikle düşük mekaniksel Q faktörü gerekiyorsa yukarıdaki denklemden görüleceği gibi yastıklama malzemesi hava olmamalı; ancak yüksek akustik empedans karakteristikli olmalıdır. Örneğin kurşun veya çelik gibi.

Yastık malzemesi  $\lambda/4$  kalınlığında yapılırsa akustik transformator  $z = z_b^2 / z_n$  ile

verilen yüksek bir empedans görür ve mümkün olan en küçük Q faktörü elde edilir.

Burada  $z_n$  ; yastık malzemesinin dış yüzünün temas ettiği ortamın empedansdır.

Elektriksel Q faktörü sıkıştırılmış kapasitansa veya indüktansa ve rezonansta gösterilen dirence bağlıdır. Bu nedenle piezoelektrik transdüser için elektriksel Q faktörü;

$$Q_e = \omega_r C_0 R \quad (1.30)$$

ile verilir. Simetrik yüklü transdüser elemanında elektriksel Q faktörünü bulmak için

statik kapasitansı  $C_0 = Ae/l$  ve radyasyon direncini  $R_m = \rho c A$  olarak;

$$i = (A e/l) u, \quad \frac{W_m}{W_e} = k_c^2$$

eşitliği ile  $R = R_m/a^2$  ,  $L = m/a^2$  ,  $c = a^2 C_m$

ve

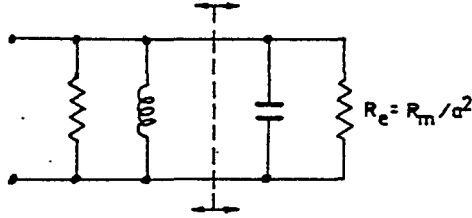
$$c' = \sqrt{(k/\rho)} = (sp)^{-1/2} = f_r' \lambda'$$

eşitliklerini kullanırsak elektriksel Q faktörü;

$$Q_e = \frac{\pi^2}{2 k_c^2} / Q_m \quad (1.31)$$

olarak elde edilir.

Bu açıklamadan anlaşılacağı gibi, yük ile mekanik Q faktörü azalırken, elektriksel Q faktörü artar. İyi bir transient (geçici rejim) veya pulse cevabı gerekince elektriksel jeneratöre veya alıcı yükseltece gösterilen elektriksel Q faktörü düşük olmalıdır. Bu şartı sağlamak için sıkıştırılmış elektriksel eleman  $C_0$  veya  $L_0$ 'ın yük etkisi daha önce de bahsedildiği gibi ayarlama yapılarak dengelenebilir ve sonra da ayarlanan devre dış bir direnç ile sönümlenebilir. Piezoelektrik bir transdüseri çalıştıran eşleme devresi Şekil 1.14'deki gibidir.



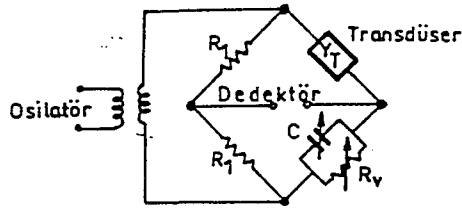
Şekil 1.14. Düşük Q eşleme devresi

### 1.5. Transdüserlerin Verimi

Özel monte edilmiş bir transdüserin mutlak verimi, içsel kayıplar ve montajdan kaynaklanan kayıpları belirleme güçlüğünden dolayı hesaplanması zordur. Bu değer verilen bir elektriksel güç girişi için transdüserden uzak bir noktadaki akustik şiddeti ölçerek amprik olarak belirlenebilir. Fakat bu kalibre edilmiş bir hidrofona kullanımı gerektirir. Verim; uygun bir empedans köprüsü veya Q-metre kullanmak suretiyle, frekansı transdüserin temel rezonans frekansı civarında değiştirilerek transdüserin elektriksel admitans veya empedansındaki değişimi ölçerek hesaplanır.

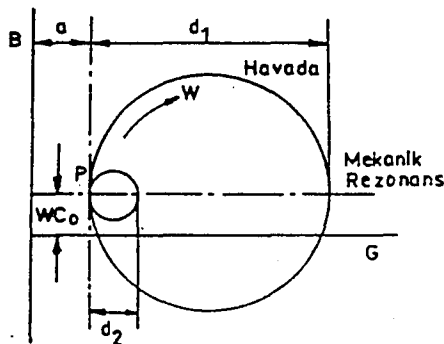
Bu transdüserlerin paralel eşdeğer devre gösterimleri admitanslarının  $Y = G + iB$

analizini gerektirir.  $G$  ve  $B$  Şekil 1.15'de görülen devreden ölçülürse ve mekanik rezonans frekansı yakınındaki frekanslarda grafiği çizilirse "hareketli bir admitans loopu" elde edilecektir. Transdüser elemanının karakteristik akustik empedansı, içinde bulunduğu ortamın akustik empedansından büyük olması şartıyla bu grafik tam bir daireye dönüşür ve bu nedenden dolayı bazen daire diyagramı olarak adlandırılır. Daire diagramları Şekil 1.16'da görülmektedir.



Şekil 1.15. Piezoelektrik transdüserlerin B-G eğrilerini elde etme devresi

Dengede  $R = R_1$  ,  $X = 1/wC$  ve  $G = 1/R_v$  ,  $B = wC$  olacaktır.



Şekil 1.16. Piezoelektrik transdüserlerin tipik çember grafiği

İyi çemberler elde edilecekse belirli önlemler yerine getirilmelidir. Düzeneğin bulunduğu kabın iç yüzeyleri absorbe edici malzemelerle kaplanmalıdır. Dolayısıyla

yansımaların sebep olacağı duran dalga oluşmasını önlemek gereklidir. Çember diagramının çapı yük ortamının karakteristik empedansının tersi ile orantılıdır ve bu gerçek ise transdüserin verimini tahmin etme kolaylığı sağlar.

Havaya ışıma yapan bir transdüser (seri eşdeğer devresindeki  $R_R = R_1$  direnci sıfır olduğunda) iç ve dış kayıpları gösteren  $R_L$  direncini verdiğiinde, çember grafiğinin çapı

$$d_1 = \frac{1}{R_L} \quad (1.32)$$

olarak elde edilir. Normal çalışma şartları altında elde edilen  $d_2$  çaplı çember, radyasyon direnci ve kayıp direncini verir.

$$d_2 = \frac{1}{R_R + R_L} \quad (1.33)$$

Yukarıdaki Şekil 1.16.'da P noktası, transdüserin efektif olarak mekanik sıkıştırıldığıında ve hareket admitans sıfır olduğunda elementin statik admitansını gösterir. Bu durum, transdüser elemanın temel rezonansın çift harmoniğinde çalıştığıında ortaya çıkar. Böylece Şekil 1.16'daki a mesafesi;

$$a = 1 / R_D \quad (1.34)$$

olduğundan dielektrik kayıp direncini verir. Bir transdüserin verimi;

$$\eta = \frac{\text{Yük Üzerine Yayınlanan Güç}}{\text{Toplam Giriş Gücü}}$$

$$= \frac{P_R}{P_R + P_L + P_D} \quad (1.35)$$

ifadesi ile verilir (Tucker, 1966). Seri rezonans devresine uygulanan elektriksel potansiyel farkı, rezonans frekansındaki tepe değeri  $V$  olan sinüsoidal bir sinyal ise yayınlanan güç;

$$P_R = \frac{V^2 R_R}{2 (R_R + R_L)^2} \quad (1.36)$$

mekaniksel kayıp gücü;

$$P_L = \frac{V^2 R_L}{2 (R_R + R_L)^2} \quad (1.37)$$

dielektrik kayıp gücü;

$$P_P = \frac{V^2}{2 R_D} \quad (1.38)$$

olarak verilir. Buradan verim

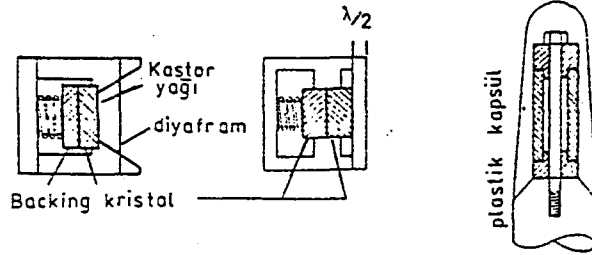
$$\eta = \frac{R_R R_D}{(R_R + R_L) (R_R + R_L + R_D)} \quad (1.39)$$

olarak bulunur. İfade genişletilirse verim ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\eta = \frac{d_2 (d_1 - d_2)}{d_1 (a + d_2)} \quad (1.40)$$

### 1.6. Transdüser Montaj Uygulamaları

Bir transdüser elemanının mekaniksel titreşimleri kolayca su yüküne kuple edilir ve verimi artırmak için herhangi bir özel tekniğin uygulanması gerekmez. Bu transdüserin bir paket içine konmasını önemli ölçüde kolaylaştırır. Deniz suyu iki sebepten dolayı piezoelektrik elemana değmemelidir. Birincisi elektrodları korozyona uğratar. İkincisi transdüser elemanını kısa devre edecek şekilde elektrodlar arasında akım akışını sağlar.



Şekil 1.17. Birkaç Tipik Transdüser Montajı

Bir geminin gövdesine su akışını gözlemek amacıyla yerleştirilen transdüserler için özel yapılmış kap gereklidir. Bu düzenleme, suyun akışından oluşan türbülansın sonucu transdüserde oluşan gürültüyü azaltır ve görülmeyen kabarcık akışının oluşumunu engeller.

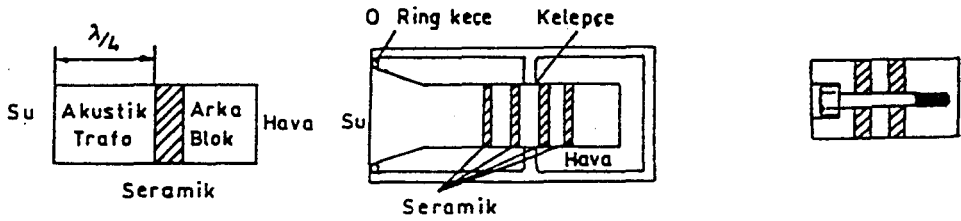
Yukarıda anlatılan tüm gereksinimler, piezoelektrik transdüserler için Şekil 1.17'de görülen montaj ile sağlanabilir. Bunlardan birincisinde, seçilmiş olan yastık ile eleman genelde Castor yağı olan izole edici bir sıvı içine monte edilmiş ve kalınlık olarak  $\lambda/30$ 'dan küçük olan alüminyum veya akustik empedansı suyu karşılayan " $\rho c$  - kauçuk" aracılığı ile su içine kuple edilir. Elemanın  $\lambda/2$ 'lik bir metal tabakaya bağlandığı ikinci



metodda ise daha büyük mekaniksel koruma sağlanır fakat komple transdüserin Q faktörü önemli derecede artar. Kapsül içine koyma tekniğinin popülaritesi artmakta ve aşırı mekaniksel yüke maruz kalmayan duyarlı hidrofona ve alıcı konstrüksiyonuna uymaktadır.

Özellikle büyük radyasyon yayan yüzey alanlı kristal veya seramik transdüserlerin gerektiği ve uygun boyutların olmadığı yerde gerekli olan transdüseri küçük elemanlarının mozaiği olarak kurmak kullanışlıdır. Bu tip transdüserler mozaik transdüserleri olarak bilinirler. Tipik bir mozaik konstrüksiyonu, çelik bir backing tabaka üzerine yanyana yapıştırılarak oluşturulan birçok benzer elemandan oluşur.

Düşük frekanslarda, çeyrek veya yarım dalga rezonanslı kristal veya seramik elemanlar çok kalın olurlar ve bunun sonucu olarak üretimleri zordur ve yüksek sürme voltajları gerektirir. Bu nedenle, kalınlığı ile karakterize edilen frekansından daha düşük bir frekansta titreşen ince bir elemanın çalışması istenir. Bu ise metal blokları, titreşen elemanın karşılıklı yüzeylerine yapıştırıp sandviç tip konstrüksiyon oluşturarak yapılır. Sandviç tip transdüserlere örnek Şekil 1.18'de görülmektedir.



Şekil 1.18. Tipik Sandviç Transdüser Konstrüksiyonu

Sandviç transdüserlerin en basit formu, gerekli olan frekansta  $\lambda/4$  kalınlığındaki akustik trafo olarak çalışan ve eleman üzerinde sadece yük direnci olan metal bir bloğa yapıştırılmış ince bir seramik elemandır. Eleman sadece, kendi doğal frekansının çok altında çalıştırılacak ve statik kapasitansı elemanı reaktif olarak gösterecektir.  $\lambda/4$  kalınlığından ince bir hava-yastıklı metal blok diğer yüze yapıştırılırsa eleman üzerindeki

etki kütle gibi yani indüktif görülür. Seramik elemanın d kalınlığı ve yastık blok Heuter ve Bolt tarafından verilen

$$\left(\tan \frac{2 \pi d_e}{\lambda_e}\right) \left(\tan \frac{2 \pi d_b}{\lambda_b}\right) = \frac{\rho_e c_e}{\rho_b c_b} \quad (1.41)$$

ifadesine göre seçilirse yastık plate'in indüktansı elemanın dizayn edilen kapasitansı ile rezonansa gelecek (titreşecektir) ve transdüser bağlı olduğu elektrik cihaz safi yük direnci gösterecektir. Yukarıdaki ifadede e elemanı, b yastık katmanını göstermektedir.

Daha karmaşık sandviç konstrüksiyon tipleri sık sık kullanılır. Örneğin bazısında radyasyon yayan yüzün alanı sandvicin duran yüzünün alanından farklıdır. Bu nedenle konik eşleme kesiti yapılmalıdır. Diğer dizaynlarda yayılan akustik gücü arttırmak için, birçok seramik elemanın kullanıldığı çok katlı sandviç konstrüksiyonu kullanılır.

Yüksek güç vericilerinde, büyük genlikli titreşimlerin, elemanı veya metale bağlandığı kısmın kırılabilceği tehlikeli bir durum vardır. Bu durumu engellemek için önstres olarak kullanılan ve transdüserin ekseninden geçen bir civata kullanılır. Böylelikle, tüm elemanlar ve eklemler daima baskı altında çalışırlar.

### 1.7. Yüksek Şiddetli Vericiler

Uzun aralıklı jeolojik araştırmalar yüksek şiddetli ses kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle patlayıcı kaynaklar kullanılıp 150 kg kadar TNT'ler patlatılabilir. Patlayıcı kaynak, tehlikeli ve pahalı olduğu için dezavantajlıdır ve tekrar edilemeyen dalga şekli üretir. Yeraltı profili gibi daha kısa aralıklı uygulamalarda sparker veya boomer tipi elektroakustik transdüser kullanmak tercih edilir. Her iki cihaz enerjilerini birçok sayıdaki yüklü kondansatörlere depo edilen enerjiden sağlarlar.

Kıvılcım için, kondansatörler yüksek voltajla, tipik olarak 25 kV, şarj edilirler. Daha sonra deniz içine batırılmış bir çift elektrotlu tetiklenmiş gaz deşarj tüpü aracılığıyla deşarj edilirler. Bu deşarj elektrotlar arasındaki suyu buharlaştırır ve çok geniş frekans spektrumuna sahip şiddetli akustik radyasyon oluşturur.

Boomer elektromekanik bir cihaz olup, bir yay aracılığıyla bir alüminyum tabakaya çok az temas eden düz spiral bir bobinden oluşur. Kondansatörler bu bobin üzerinde deşarj edildiğinde alüminyum tabakada girdap akımları üreten şiddetli bir manyetik alan oluşturulur. Oluşan girdap akımları ilk manyetik alanla etkileşen ikinci bir alan oluşturur. Bu alan bobin ve tabakayı ayırmaya zorlar. Sonuçta geniş frekans spektrumuna sahip olan yönsüz basınç pulsu üretir. 1000 joule birim güç ile enerjilendirilen 0,25 m<sup>2</sup>'lik bir boomer'in genişliği 1 ms'dir ve 1 gr TNT'nin patlamasıyla oluşturulabilecek akustik basınç dalgası üretir.

### 1.8. Ultrasonik Güç Ölçümlerinde Adı Geçen Terimlerin Kısaca İfade Edilmesi

#### TERİMLER :

- Absorbsiyon : Akustik veya ultrasonik bir ortamdan geçirildiğinde, ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi.
- Absorbsiyon Katsayısı : Belirli bir frekansta; akustik absorblayıcının birim alanının mükemmel absorblayıcı malzemenin birim alanına ses absorblama etkinliğinin oranı.
- Akustik : Ses ve ısıtma olayının oluşumu, kontrolü, iletimi, algılanması ve etkilerini inceleyen bilim.
- Çevre Gürültüsü : Çevre tarafından verilen tüm istenmeyen etki.
- Background Noise : Sinyallerin görülmesi gereken veya gürültü kaynaklarının ölçülen seviyelerinin altındaki çevresel gürültü.

- Sönümleyici** : Dinamik bir sistemin yerdeğiştirme genliğinin azalmasına ve enerji kaybetmesine sebep olan sürtünme veya yok edici kuvvetler.
- Sönümlenme** : Ses absorbe edici malzemeler kullanarak yansıma ve ekoların ortadan kaldırılması.
- Kırılma** : Bir dalga boyundan küçük bir nesnede radyasyonun saçılması ve saçılan dalga cephesinin girişimi.
- Yayıcı Alan** : Ses basıncının her yerde aynı olduğu ve enerji akışının her doğrultuda muhtemelen eşit olduğu ses alanı.
- Uzak Alan (Far Field)** : Kaynağın lineer boyutlarından daha büyük bir uzaklıktaki enerji dağılımıdır; akustik radyasyon bölgesi kaynak olarak kullanılır ve bu alandaki ses dalgaları düzlem dalgalar olarak ele alınır. Ses basıncı azalırken, kaynaktan uzaklığın monoton olarak arttığı bir uzaklıktaki ses alanıdır. Genel olarak bu bölgedeki akustik empedans  $\rho \cdot c$  ye bağlıdır.  $\rho$  yoğunluk,  $c$  ses hızı.
- Hertz** : Frekans birimi olup saniyedeki yinelenmeyi gösterir.
- Spesifik Akustik Empedans** : Bir ortamdaki bir noktada dinamik basıncın parçacık hızına olan kompleks oranıdır. Rayl olarak ölçülür.  
1 rayl = 1 N sec/m<sup>3</sup>

- Infrasound : İşitme bölgesinin diğer bir deyişle 16 Hz'in altındaki frekanstaki sestir.
- İzolasyon : Malzeme ve yapıardan dolayı ses geçirgenliğine gösterilen direnç.
- Yakın Alan (Near Field) : Ses düzeyi ile uzaklık arasında basit bir ilişkinin olmadığı, gürültü kaynağından yaklaşık iki dalga boyu uzaklı içinde olan bir ses alanıdır.
- Ses : Havada basınç dalgaları veya diğer malzemelerle yayılan enerji olup, işitme duyusuna neden olan objektiftir. İstenmediği anlarda gürültü olarak adlandırılır.
- Ses Gücü : Bir kaynaktan birim zamanda yayılan toplam ses enerjisi.
- Ses Gc Seviyesi : Ses gücünün temel ltdr.

$$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad dB$$

olarak verilir.

P : Ses gücünün rms değer.

P<sub>0</sub> : 1 pW'lık gc

- Ses Basıncı : Atmosfer basıncındaki dinamik değişimdir. Bir noktadaki basınç ile statik basınç arasındaki fark.

Ses Basınç Seviyesi : Ses basıncının temel ölçütüdür.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad dB$$

ile verilir.

$p$  : Ses basıncının rms değeri

$p_0$  : Havadaki ölçümler için  $20 \mu Pa$ .

Duran Dalga : Aynı tip ve frekanslı ilerleyen dalgaların girişimleri sonucu uzayda sabit bir dağılıma sahip olan periyodik dalga. Duran dalga uzayda sabit olan maksimum ve minimum olan genlikleri ile karakterize edilirler.

Ultrases : 20 kHz'in üstündeki seslerdir.

Su İçindeki Ses Hızı : Leroy eşitliği

$$c = 1492,9 + 3 (T - 10) - 6 \times 10^{-3} (T - 10)^2 - 4 \times 10^{-2} (T - 18)^2 \\ + 1,2 (S - 35) - 10^{-2} (T - 18)(S - 35) + z/61$$

$c$  : ses hızı

$T$  : sıcaklık ( $^{\circ}C$ )

$S$  : binde tuzluluk oranı

$z$  : derinlik

Yukarıdaki formül  $T < 20^{\circ}C$ ,  $z < 8000$  m için  $0,1$  m/sn doğruluktadır. Ses şiddetleri oranı ise aşağıdaki gibi verilir(Bruel & Kjaer, 1986).

$$\frac{I_{su}}{I_{hava}} = \frac{\left(\frac{P^2}{c \rho}\right)_{su}}{\left(\frac{P^2}{c \rho}\right)_{hava}} \quad \frac{(c \rho)_{hava}}{(c \rho)_{su}} = \frac{1}{1370} \quad (1.42)$$

- Akustik Radyasyon Kuvvet** : Bir ses alanında bir cisim üzerine etkiyen zaman ortalamalı kuvvet veya daha genel olarak bir ses ortamındaki farklı akustik özellikli iki ortam arasındaki sınır yüzeylerinde oluşan zaman ortalamalı kuvvettir.
- Akustik Radyasyon Basıncı** : Birim alan başına düşen radyasyon kuvvetidir.
- Çevresel Etkiler** : Miliwatt ve mikrowatt bölgesindeki ölçümler için ölçüm düzeneklerinin termal izolasyonu, çevresel titreşimlere ve hava akışına karşı önlem alınmalıdır. İlave olarak sıvı yüzeyindeki termal konveksiyonları önlemek için ölçüm kanalı yaklaşık olarak kapalı olmalıdır.
- Su İle Etkileşim** : Transdüser yüzeyinin, hedef ve absorbe edici malzemenin iyice ıslanması için ölçümlerden önce iyonsuz su içinde en azından birkaç saat bekletilmesi gereklidir. Ölçümlere başlarken aktif yüzeylerde hava kabarcıklarının olmamasına dikkat edilmelidir.
- Çıkış Gücü** : Belirli bir ortamda belirli şartlar altında yaklaşık olarak serbest alan içinde bir transdüser tarafından yayılan zaman ortalamalı güçtür. P sembolü ile gösterilir. Birimi wattır.

## 2. ÇALIŞMANIN AMACI

Günümüzde ultrasonik test cihazları yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan ultrasonik cihazlarda en az bir adet transdüser bulunmaktadır. Üretici firmalar ürettikleri transdüserlerin teknik özelliklerini belirlemek zorundadırlar. Ultrasonik test cihazlarını kullanan kişiler her zaman kullandıkları transdüserlerin frekans ve çıkış güçlerini kontrol edemeyebilirler. Bu tip cihazları kullanan kimselerin referansları üretici firmalardan temin ettikleri teknik özellikleri gösterir kataloglardır.

Bu çalışmada ultrasonik test cihazlarında kullanılan transdüserleri hem kalibre edebilecek hem de ultrasonik transdüserlerin frekans ve çıkış güçlerinin belirlenebileceği bir düzenek oluşturulması amaçlanmıştır.



### 3. ULTRASONİK GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

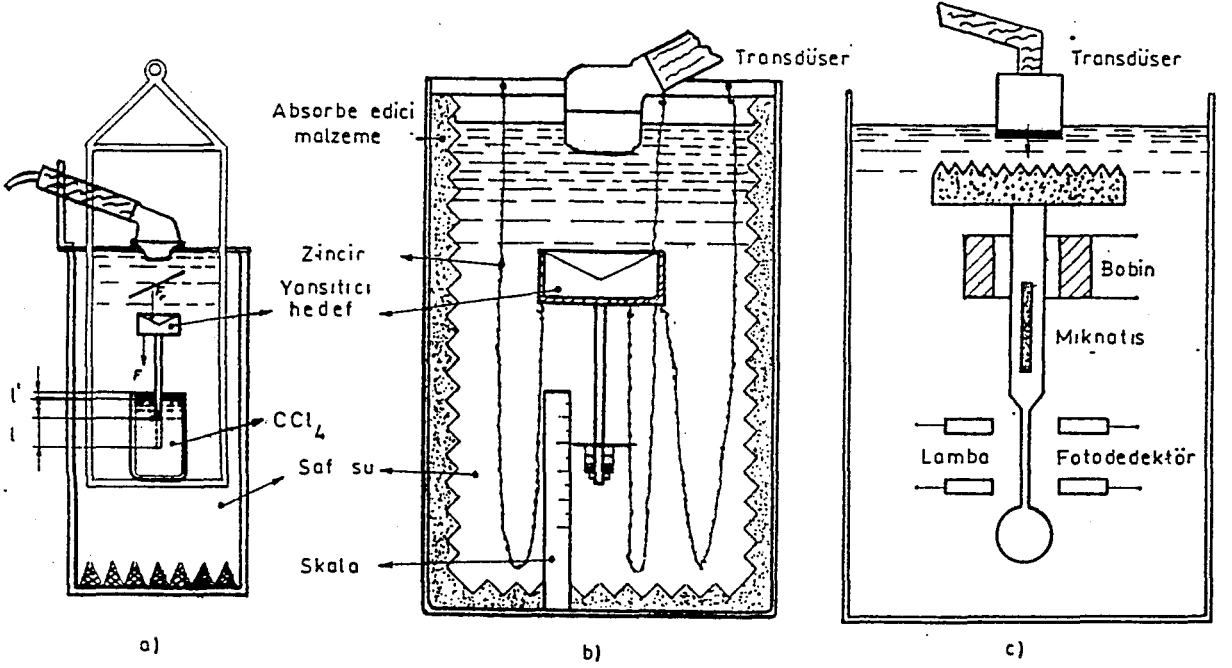
Ultrasonik transdüserlerin yaydıkları toplam gücü belirlemek için birçok metod vardır. Bu metodlar; ses alanı içinde uygun bir hedef üzerinde radyasyon kuvvetini ölçmek, kalibre edilmiş bir hidrofona kullanarak ultrasonik alanı taramak, ışığın kırınımı (Dedye-Sears), ve kalorimetrik metottur. Radyasyon kuvveti ölçümlerinin büyük avantajı, yayılan toplam gücün değerinin alan datasını yayılan ses dalgasının kesiti üzerinden integrali alınmaksızın elde edilebilmesidir. Buna ilave olarak ölçüm sisteminin kolay kalibre edilebilir olması diğer bir avantajdır.

Ortama yayılan ultrasonik gücü belirlemek için en uygun prosedürler; watt bölgesinde float metodu, miliwatt bölgesinde mikrobalsın kullanılması, mikrowatt bölgesinde ise interferometrik yöntemlerdir. Bu prosedürler ölçülecek ses alanı içinde bulunan bir hedefe etkiyen radyasyon kuvvetinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Radyasyon kuvveti zaman ortalamalı momentum akışına eşittir. Bu nedenle kuvvet, ultrasonik dalganın şiddeti ve gücüyle ilişkilidir.

Ölçülecek güç değerine bağlı olarak üç değişik ölçüm düzeneği vermek mümkündür. Bunlardan sadece ikisini inceleyeceğiz.

#### 3.1. Float Metodu

Float metodu basit ve kullanımı kolay bir metottur. Bu metodla ultrasonik gücü ölçmek için, özel olarak dizayn edilen bir hedefin hareketi kullanılır.



Şekil 3.1. a) Tedhered radyometre sistemi  
 b) Float radyometre sistemi  
 c) Magnetik asılı float radyometre sistemi

Float sisteminde yoğunlukları farklı iki sıvı kullanılır. Bu sıvılar birbirleri ile karışmamalıdır. İki farklı yoğunluklu sıvı kullanmanın amacı float'ın dengeye daha kolay gelmesini sağlamaktır.

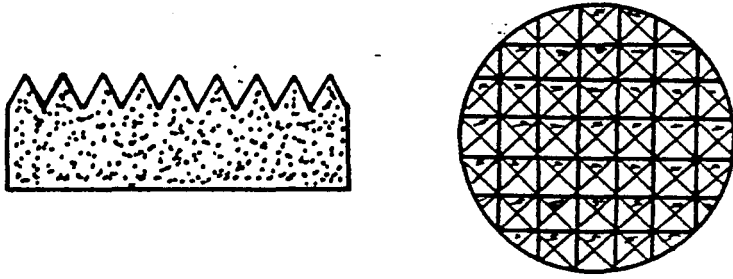
Float'un bulunduğu tüm sistemlerde hedef kullanılır. Yukarıda bahsedildiği gibi hedef ya yansıtıcı veya absorbe edici özelliğe sahip olmalıdır. Aşağıda hedef hakkında kısaca bilgiler verelim.

### 3.1.1. Hedef

Ultrasonik alan içinde, üzerinden ultrasonik radyasyon kuvvetini ölçmek için özel olarak dizayn edilmiş bir aparatır. Hedefin ultrasonik özellikler açısından iyi dizayn edilmiş olması ve bu özelliklere sahip olması gerekmektedir. Ultrasonik güç ve ultrasonik radyasyon kuvveti arasındaki ilişki hedefin özelliklerine bağlıdır. Hedef dizaynında kullanılan en iyi yaklaşım hedefin mükemmel absorbe edici olması veya mükemmel yansıtıcı özelliğe sahip olmasıdır.

#### 3.1.1.1. Absorbe Edici Hedef

Bir ses absorblayıcısı yapmak için iki şart yerine getirilmelidir. Bu şartlar; ses dalgalarının absorblayıcı içinde yansımaz geçişleri ve ses enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesidir. Absorbe edici hedef olarak dairesel kauçuk diskler kullanılmalıdır.



Şekil 3.2. Absorbe edici hedef a) yandan , b) üsten görünüş

Absorbe etme özelliğini arttırmak için kullanılan malzeme homojensizlik içermelidir. Homojensizlik olarak 1/10 mm çapındaki cam kürecikler kullanılmalıdır. Bu kürelerin, elastik kauçuk malzemenin sıkıştırılabilirliği ve yoğunluğu üzerinde çok az bir etkisi vardır. Çevre basıncının değişmesinden dolayı havanın kaldırma kuvvetinin değişmesinden kaçınmak için sıkıştırılabilirlik mümkün olduğunca küçük olmalıdır.

### 3.1.1.2. Yansıtıcı Hedef

Bir yansıtıcı oluştururken asıl problem yansıtıcının sıkıştırılabilirliğini azaltmaktır. Bir hedefe etkiyen havanın kaldırma etkisi, hedefin sıkıştırılabilirliği ile orantılıdır. Basıncıdaki değişim hacmi değiştirir. Hedefteki hacim değişikliği, havanın kaldırma etkisini değiştirir. Dolayısıyla yansıtıcının sıkıştırılabilirliği değişir. Hava-yastıklı ince metal tabakalardan oluşan koni şekilli yansıtıcılar watt bölgesi için kullanılabilirler. Çok sert plastik köpükten oluşan ve elektrokaplama yoluyla çok ince metal tabaka ile kaplanmış koni şekilli yansıtıcıların uygun hedef oldukları gösterilmiştir. Aşağıda sabit sıcaklıktaki sıkıştırılabilirlik ifadesi verilmiştir(Kohlrausch, 1985).

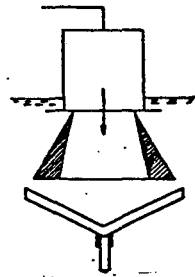
$$K = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad (3.1)$$

$$m = m_{okunan} - \rho_{sivi} V_{cisim} \quad (3.2)$$

(3.2) eşitliğine  $\rho_{sivi} V_{cisim}$  ifadesi havanın kaldırma etkisi olarak bilinir.

### 3.1.2. Hedefin Çapı

Float metodunda kullanılan hedefler transdüserin yaydığı ultrasonik alanı kaplamak zorundadır. Bu durum Şekil 3.3 de görülmektedir(Brendel, 1983).



Şekil 3.3. Ultrasonik alan hedef tarafından kaplanmalıdır

Tüm ultrasonik alanı kaplayacak olan hedef çapı, ultrasonik alanın yapısına ve kaynaktan olan uzaklığa bağlıdır. Etkin bir demet çapı, alan yapısını belirleyen örneğin Schlieren fotoğrafı, hidrofön taraması veya bir yüzeyin holografik interferometresi gibi deneysel metodlarla tahmin edilebilir. Bu metodlar gerekli hedef ebadları hakkında yaklaşık bilgiler vermesi açısından değerlidirler. Fakat yakın alanda diğer akustik nicelikler doğrudan ve kesin olarak radyasyon basıncı ile ilişkili olmadığından diğerleri akustik radyasyon basıncını doğrudan kullanmadıklarından bu metodlar radyasyon basınç dağılımının nicel yapısını vermezler.

Probleme cevap bulmanın diğer bir etkin yolu, radyasyon kuvvetini ölçmektir. En azından prensip olarak farklı çaplı hedeflerin bulunması ve hedef boyutlarının ölçüm sonuçları üzerindeki etkisini kontrol etmek mümkündür. Daha kolay bir yöntem ise transdüserle hedef arasındaki uzaklığı değiştirmektir. Sonsuz kesitli bir hedefe etkiyen etkiyen kuvvet ve verilen bir boyuttaki hedefe etkiyen kuvvet arasındaki fark, genelde alanın ıraksal yapısından dolayı kaynaktan olan uzaklığın bir fonksiyonudur. Fark ihmal edilemez bir büyüklükte ise diğer bir deyişle hedef çok küçük ise ölçüm sonuçları genelde uzaklığa bağlı olacaktır. Verilen bir uzaklıkta kullanılacak olan hedefin minimum boyutları sorusu, hedefin kullanılabilmesi maksimum uzaklık sorusuyla benzerdir. Kural olarak herhangi bir hedef, transdüserle mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir. Bu ise pratikte; ölçüm aparatlarının bireysel özelliklerinden dolayı, yansıtıcı hedef durmunda ise yansıyan dalgaların transdüserle geri dönmemesi için kısıtlanır.

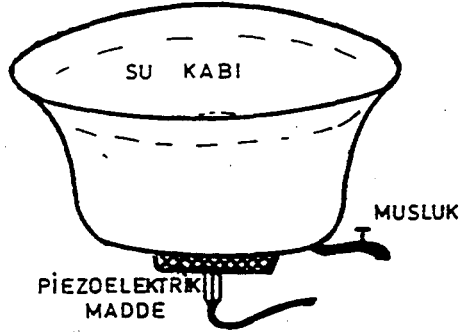
### 3.1.3. Ölçüm Şartları

Tanımlanan radyasyon kuvveti ölçümlerini yaparken kullanılan suyun önemi vardır. Kaviteasyonu önlemek için iyonsuz ve gazsız su kullanılmalıdır. Fakat bir çok hallerde saf su kabul edilebilir.

Ölçümler sırasında hedefin, transdüserin veya absorbe edici malzemelerin yüzeylerinde hava kabarcıklarının olmamasına dikkat edilmelidir. Suyun iyonlarından

arındırılması için su atmosferik basınçta 15 dakika kaynatılmalı veya 3 saatten fazla bir süre için 30 mmHg'den düşük olmayan bir basınçta suyu bekletilmelidir. Özel depolama metodları kullanılmadıkça her bir ölçüm serisi için bir işlem en azından iki saatte bir yapılmalıdır.

Suyu degaze etmek için ise kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır. Su aşağıda görüldüğü gibi, altında bir transdüserin bağlandığı bir kaba konulur. Daha sonra transdüser sürülerek kabin titreşmesi sağlanır. Kabin titreşimleri esnasında içinde bulunan su da titreşeceğinden su içinde bulunan gaz yukarı doğru çıkar ve böylelikle su degaze edilmiş olur.



Şekil 3.4. Su degaze kabı

Diğer bir yöntem ise haznesinde ve içi dolu olan bir hidrofor kullanarak sürekli olarak kapalı bir devre içinde su dolaştırılır. Suyun hazneye geri dönüş hattı üzerinde bir musluk açılır. Böylelikle suyun geri hattı üzerinde vakum oluşur. Bu musluğa bağlanan bir kavanozda bulunan sudaki gaz vakum aracılığı ile alınmış olur.

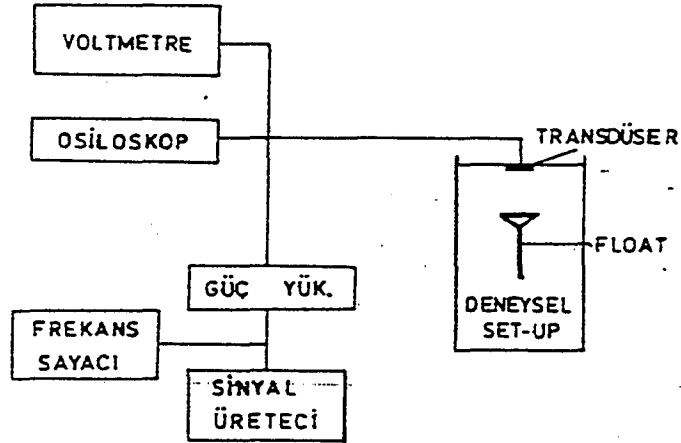
### 3.1.4. Float Metodunun İncelenmesi

Float metodunda koni şekilli yansıtıcı bir hedef, birbirine karışmayan farklı yoğunluklu iki sıvı kullanılır. Sıvılardan birisi su diğeri ise karbontetraklorür, tetrakloroetilen v.b. gibi sıvılardan biridir. Bu sıvıların yoğunlukları  $1 \text{ gr/cm}^3$ 'den

büyüktür. Ancak ileride bahsedileceği üzere su ve diğer sıvının yoğunlukları arasındaki farkın küçük olması ölçüm duyarlılığını arttıracaktır.

Float metodunun kullanılmasının ana avantajları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Ağırlıkları yüzer cisim (float) üzerine koyarak kalibrasyon kolayca yapılabilir. Kalibrasyon yapılırken Archimedes kuvvetleri hesaba katılmalıdır.
- Float sıvı içinde kendiliğinden merkezlenebilir. Transdüsera bir uyarım yaptığınızda transdüserin titreşmesi sonucunda oluşan dalgalarla float (hedef) yerdeğiştirme yapar ve bir noktada dengelenir. Oluşan yerdeğiştirme transdüserin titreşmesi sonucu oluşan radyasyon kuvveti ile orantılıdır.



Şekil 3.5. Float ölçüm metodunun blok şeması

### 3.1.4.1. Tek Tüp Sistemi

$|z|/f$  belirtgeni belli olan transdüser şekilde görülen sisteme kuple edilerek ölçümlere geçilir. Hedefi yüksek güçlerde yakın alanın dışına çıkması olasılığı önemli bir kısıtlamadır. Hedefi yakın alan içinde tutmak için, hedefin transdüserden olan maksimum uzaklığı  $a^2/4\lambda$  yı geçmemelidir.  $a$  transdüserin etkin çapı,  $\lambda$  ise ultrasonik dalganın dalgaboyudur. Dahası hedeften yansıyan dalgaların transdüsera ulaşması

önlenecekse transdüser ve hedefin konik yüzeyinin en üst noktası arasındaki minimum uzaklık  $S_{min}$ ,  $1/2aCot\theta$  dan büyük olmamalıdır.

Float metodunun temel prensiplerinden birisi, hedefin orjinal konumuna getirilmesidir. Böylelikle alan şartları değişmeden kalması ve floatın  $S_{min}$  ve  $S_{maks}$  arasında kalması sağlanmaktadır. Suyun, çok küçük absorpsiyon katsayısına sahip olmasına rağmen uzaklık değişmesinden dolayı suda, absorpsiyona sebep olabilecek herhangi bir etki böylelikle elimine edilmiş olur.

Gücü ölçülecek transdüser, hedefin tam üzerine tutturulur. Transdüserin yüzeyi su ile tam temas etmelidir. Transdüserine uygulanacak voltaj değeri izlenen kalibrasyon metoduna bağlı olarak değişecektir. Bahsi geçen metodlar:

- a) Adım voltaj uyarması (Step excitation)
- b) Puls uyarması (Pulse excitation)

olarak ayrılabilir. Bu metodlar bir sonraki ultrasonik güç ölçüm metodu olan mikrobalsandı anlatılacaktır. Takip eden metod ise adım voltaj uyarmasıdır.

Sinyal kaynağından, transdüserin rezonans frekansındaki bir sinyal alınarak güç yükselticisine bağlanır. Bu arada çıkan sinyalin frekansı bir frekans sayacı ile sayılarak sisteme uygulanan sinyalin frekansı kontrol edilir. Güç yükselteciye gelen sinyal, yükseltecin kazancı oranında yükseltilerek transdüserine uygulanır. Transdüserine uygulanan voltaj daha sonra bir sayısal voltmetreden okunarak kaydedilir. Bir voltaj değerinde sağlanan yerdeğiştirme miktarı ölçülür. Daha sonra voltaj, yerdeğiştirme, sıcaklık, v.s. dataların bir voltaj değeri için kaydedilecek bir tablo oluşturulur.

Absorbe edici bir hedef için ultrasonik güç ifadesi;

$$P = c \cdot F \quad (3.3)$$



ile verilir. Bu bağıntıda  $c$  ultrasonik dalganın yayıldığı ortamdaki hızı,  $F$  ise ultrasonik kuvveti göstermektedir. Ultrasonik dalgaların bir ortamda yayılmaları sırasındaki hızı sıcaklıkla ilişkilidir. Bu ilişki ise Leroy eşitliği olarak bilinen bir formül ile tayin edilebilir. Yansıtıcı bir hedef için ultrasonik güç ifadesi;

$$P = \frac{cF}{2 \cos^2 \theta} \quad (3.4)$$

ile verilir (Bindal, 1980).  $\theta$ ; ultrasonik dalganın yayılma doğrultusu ve hedefin yüzey normali arasındaki açıdır.  $45^\circ$  açılı yansıtıcı bir hedef için güç ifadesi, absorbe edici hedefin güç ifadesine eşit olacaktır.

Archiemedes kuralına göre radyasyon kuvveti

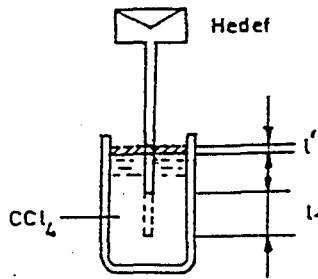
$$F = g.d.V \quad (3.5)$$

ile verilir. Burada

$g$  : Yerçekimi ivmesi

$d$  : Sıvının yoğunluğu

$V$  : Hedefin sıvı içinde batan kısmının hacmidir.



Şekil 3.6. Tek tüp sisteminde floatın yer değiştirmesi

Hedefin gövdesi  $a$  yarıçaplı olsun.  $\text{CCl}_4$  dolu kabın iç çapı  $A$  olsun. Hedef, transdüser voltaj uygulandığında denge konumundan  $l_1$  kadar aşağı kaysın. Bu arada  $\text{CCl}_4$  yüzeyi  $l'$  kadar yukarı çıkacaktır. Hedefin gövdesinin toplam hacmi;

$$V = (l' + l_1) \pi \left(\frac{a}{2}\right)^2 \quad (3.6)$$

ile verilir.  $l'$  ve  $l_1$  arasındaki ilişki ise;

$$l' \pi \left(\frac{A}{2}\right)^2 = l_1 \pi \left(\frac{a}{2}\right)^2 + l' \pi \left(\frac{a}{2}\right)^2 \quad (3.7)$$

$$\rightarrow l' = \frac{a^2}{A^2 - a^2} l_1 \quad \text{dir.} \quad (3.8)$$

$\text{CCl}_4$  ve su ikilisinden oluşan kısımdaki yoğunluk ise  $(d_2 - d_1)$  olarak alınır.

$d_2$  :  $\text{CCl}_4$  in yoğunluğu

$d_1$  : Suyun yoğunluğu

Radyasyon kuvveti ifadesinde  $l'$  yerine konulursa;

$$F = \frac{\pi l_1 (d_2 - d_1) g}{4} \frac{a^2 A^2}{A^2 - a^2} \quad (3.9)$$

olarak bulunur. Radyasyon kuvveti, radyasyon gücü ifadesinde yerine konulursa

ultrasonik güç ifadesi

$$P = \frac{\pi \cdot l_1 (d_2 - d_1) g \cdot c}{8 \cos^2 \theta} \frac{a^2 A^2}{A^2 - a^2} \quad (3.10)$$

olarak verilir (Bindal, 1983).

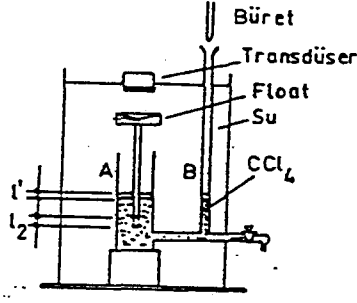
### 3.1.4.2. Yan Tüp Sistemi

Bu sistemde B çaplı bir yan tüpe sahip olan A çaplı bir tüp kullanılır. Yan tüp ise diğer bir dar boru ile bir musluğa bağlanmıştır. Musluk kapalı tutularak A tüpünün üçte ikisi,  $\text{CCl}_4$  ile doldurulur. Buharlaşmayı önlemek için B tüpündeki  $\text{CCl}_4$  sıvısı üzerine çok az bir miktar su ilave edilir. Çok az bir miktar su, büretteki sıvının üzerine konabilir. Fakat ölçümler arasındaki zaman dilimi (sistemde güç varken veya yokken) o kadar küçüktür ki herhangi bir durumda buharlaşma miktarı çok az olacaktır. Yine sistem komple olarak degaze edilmiş suyun içine yerleştirilir. 50 mm kalınlığındaki köpük (Şekil 3.7'da görülmemektedir), yansıyan dalganın hedefe ulaşmasını engellemek için su-hava ara yüzeyine konur. Transdüser tarafından ön içine aktarılan ultrasonik demet yüzer hedef üzerinde radyasyon kuvveti oluşturur ve hedefin aşağıya itilmesine neden olur. Hedefin iki orijinal konumuna gelebilmesi için büret yardımıyla B tübü içine  $\text{CCl}_4$  ilave edilir. Büretteki  $\text{CCl}_4$  seviyesinin değişimine bağlı olarak sistemin ultrasonik güç ifadesi;

$$P = \frac{\pi l_2 g \cdot c (d_2 - d_1)}{8 \cos^2 \alpha} \frac{a^2 b^2}{A^2 + B^2 - a^2} \quad (3.11)$$

ile verilir.  $l_2$  ; büretteki  $\text{CCl}_4$  seviyesinin değişimi, a, hedefin gövdesinin çapı, b;

büretin çapıdır.



Şekil 3.7. Yan tüp sisteminin şematik gösterimi

Ultrasonik demet; hedefe ulaştığında hedefin gövdesi  $l$  kadar batmış olsun. Bu sırada A tüpü ve B tüpündeki  $\text{CCl}_4$ 'ün yükselme miktarı  $l'$  olacaktır. Dolayısıyla batan hacimler yükselen sıvıların hacmine eşit olacağından

$$l' (A^2 + B^2 - a^2) = (l + l') a^2 \quad (3.12)$$

eşitliği yazılabilir. Sıvının miktarını arttırmak cismin batan kısmının hacmini değiştirmeyeceğinden, sıvı ilavesi ile hedef yukarı çıkacaktır. Toplam batma miktarı  $(l + l')$  olacağından büretteki sıvı yüksekliği değişmesi için;

$$(l + l') (A^2 + B^2 - a^2) = l_2 b^2 \quad (3.13)$$

eşitliği sağlanmalıdır.

$V = (l + l') \pi \left(\frac{a}{2}\right)^2$  idi. Yukarıdaki ifadeden  $(l + l')$  bulunursa ve hacim ifadesi

de kuvvet ifadesinde yerine konulursa yukarıda verilen güç ifadesi olan (3.11) denklemi bulunur.

### 3.1.5. Ölçüm Sisteminin Duyarlılığı

Kıyaslama amacı için tek tüp ve yan tüp metodunun duyarlılığı aşağıda çizelge olarak verilmiştir. Duyarlılık  $\eta = l_i / P$  ( $i = 1,2$ ) olarak tanımlanmaktadır. Çizelge

3.1. den görüleceği gibi yan tüp metodunun duyarlılığı  $A^2/b^2$  faktörü ve

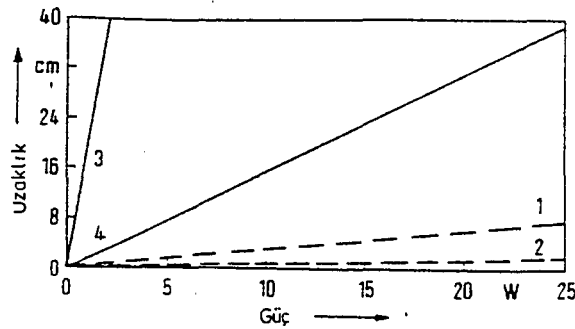
$KB^2/a^2b^2$  sabit terimi artmaktadır. K ile gösterilen ifade aşağıda çıkartılmıştır

(Bindal, 1983).

$$K = (8 \cos^2 \alpha) / (d_2 - d_1) \cdot g \cdot c \quad (3.14)$$

Çizelge 3.1. Duyarlılık ve hata yüzdesi

Sistem numarası	Metot	Hedef çapı mm	Duyarlılık	Değer	Mak.hata	
				mm/W	Güç W	%
1	Tek tüp	3.0	$\frac{l_2}{P} = K \frac{A^2 - a^2}{a^2} \frac{l}{A^2}$	3.13	0.750 - 5.25	5
2		8.0		0.434	5.25 - 25	5
3	Yan tüp	3.0	$\frac{l_3}{P} = K \frac{A^2 - a^2}{a^2} \frac{l}{b^2} + \frac{KB^2}{a^2 b^2}$	200	0.125 - 2	2
4		3.0		16	1.56 - 25	2



Şekil 3.8. Ultrasonik güç - float uzaklığı grafiği

Yukarıda verilen Şekil 3.8. de

1. Eğri	Tek tüp	$a=3$	$n=3,13$ mm/W
2. Eğri	Tek tüp	$a=8$	$n=0,43$ mm/W
3. Eğri	Yan tüp	$b=6,3$	$n=200$ mm/W
4. Eğri	Yan tüp	$b=22,4$	$n=16$ mm/W

Çizelge 3.1.'den görüleceği üzere yan tüp sisteminin duyarlılığı, tek tüp sisteminin duyarlılığından daha büyüktür. Yan tüp sisteminde 6,3 mm'lik çaplı büret ile yapılan ölçümlerin duyarlılığı 22,4 mm'lik çaplı büret ile yapılan ölçümlerin duyarlılığından daha büyüktür.

### 3.1.6. Kullanılan Sıvıların Yoğunluk Etkisi

Çizelge 3.1.'den ve duyarlılığın tanımından görüleceği üzere her iki metodun (tek tüp ve yan tüp) duyarlılığı sabit olan K faktörünün artmasıyla artacaktır. Eğer  $CCl_4$  ve su yoğunlukları arasındaki fark ( $d_2 - d_1$ ) küçültülürse K faktörü artar dolayısıyla duyarlılık artar. Bu işlemi sağlamanın yolu ise suyu, yoğunluğu suyunkinden büyük bir sıvıyla yada  $CCl_4$ 'ü yoğunluğu  $CCl_4$ 'ünkünden daha küçük bir sıvıyla değiştirmektir. Su, büyük tanklara konulduğundan ve gerekli olan miktar fazla olduğundan,  $CCl_4$ 'ü değiştirmek daha kolay ve ekonomik olacaktır.

Benzen ( $d=0,878$  g/cm<sup>3</sup>) ve karbontetraklorür ( $d=1,59$  g/cm<sup>3</sup>) çözeltisi suda çözünmez. Bu çözeltinin yoğunluğu 0,87 - 1,59 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Hacimce % 50 oranındaki bir çözeltinin yoğunluğu 1,23 g/cm<sup>3</sup> olacaktır.  $CCl_4$ 'ü bu çözelti ile değiştirdiğimizde su ve bu çözeltinin yoğunlukları arasındaki fark 2,56'lık bir faktör ile azalacaktır. Dolayısıyla duyarlılık teorik olarak 2,56'lık bir faktörle artacaktır. Teorik ve deneysel uygulamanın bir karşılaştırması Çizelge 3.2.'de verilmiştir (Bindal, 1983).

Çizelge 3.2. Ölçüm sisteminde kullanılan sıvıların yoğunlukları ve duyarlılığa etkileri

Sıvı	CCl <sub>4</sub> düzeyindeki azalma (b=6,3 mm) mm	d <sub>2</sub> -d <sub>1</sub> g/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk farkları oranı	Güç W	Duyarlılık mm	Duyarlılık oranı
CCl <sub>4</sub>	2.70	0.59		0.25	10.8	
CCl <sub>4</sub> + Benzen (50 : 50)	7.22	0.23	2.56	0.25	28.9	2.67

CCl<sub>4</sub>'in, CCl<sub>4</sub>-benzen çözeltisi ile yerdeğiştirilmesiyle 2,67 lik bir faktörle duyarlılıkta artış görülmüştür. Hesaplamalarda kullanılan yoğunluk değerleri çok az farklılık gösterebilir. Örneğin sadece benzenin yoğunluğundaki % 2'lik bir değişim % 0,3'lük değer değişimi verebilir.

### 3.1.7. Doğruluk

Ultrasonik güce karşılık yüzde hata değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Çizelge 3.1. de maksimum hatayı tahmin etmek için

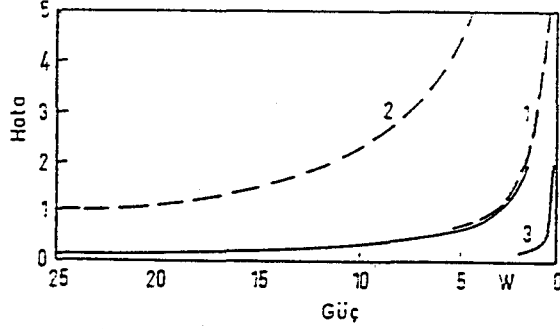
$$Hata (\%) = \frac{\text{Değer okumadan kaynaklanan maks. hata}}{\text{Duyarlılık} \times \text{ölçülen güç}} \times 100 \quad (3.15)$$

ifadesi kullanılmaktadır.

Duyarlılık ve ölçülen gücün çarpımı yan tüp sisteminde sıvı seviyesindeki azalmayı, tek tüp sisteminde ise hedef tarafından alınan yolu verir. Örneğin yan tüp sisteminde b=6,3 mm çaplı büret kullanılarak 0,125 w'lık güç ölçüldüğünde hata;

$$\frac{0,5 \times 100}{200 \times 0,125} = \%2$$

olacaktır.



Şekil 3.9. Ultrasonik güç - yüzde hata grafiği

Şekil 3.9.'den görüldüğü gibi hata, küçük güç değerlerinde etkin olarak ortaya çıkmaktadır. Beklenen yüzde hatanın değerlendirilmesi ölçüm cihazında ve kullanımındaki tüm hata kaynaklarının öncelikle araştırılmasını gerektirir. Daha sonra karşılaştırmalı ölçümler bu değerleri doğrulamak için yapılabilir.

Yan tüp sisteminde hata,  $\pm 1$  ml içinde ölçme doğruluğuna sahip buretin kullanılması ile verilir. Bazı sistemlerde ise (örneğin lift=kaldırma sisteminde) 0,05 mm doğruluklu çift sapmalı gösterge ( komparatör ) kullanılır. Güç kalibrasyonu kalibreli ağırlıklarla yapılmıştır. Standard ağırlıklar için alınan yol bilgisinden (i=1,2,3) özel bir

$I_i$  değerinin ölçümündeki yüzde hata,  $I_i$  değerine karşılık gelen ultrasonik gücün

ölçümündeki yüzde hata olacaktır.

Tek tüp sisteminde 3 mm çaplı hedef ile yapılan ölçümler 1 nolu, 8 mm çaplı hedefle yapılan ölçümler 2 nolu eğri ile Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Bu sistemde 0,750 - 5,25 W bölgesinde doğruluk % 5 içindedir. Dolayısıyla bu sistemi kullanarak % 5'lik doğruluklu güç ölçümleri yapmak mümkündür.



Yan tüp sisteminde 0,125 - 25 W bölgesinde 3 mm çaplı hedef kullanılarak yapılan ölçümlerin sonucu 3 nolu eğri ile Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Doğruluk bu bölgede % 2'dir. Bu sistemlerde güç seviyesi sınırlaması suyun kavitasyon eşiğiyle belirlenebilir.

### 3.1.8. Ölçümlerin Tekrarlanabilirliği

Ultrasonik güç ölçümlerinin tekrarlanabilirliği aşağıdaki yollarla kontrol edilebilir.

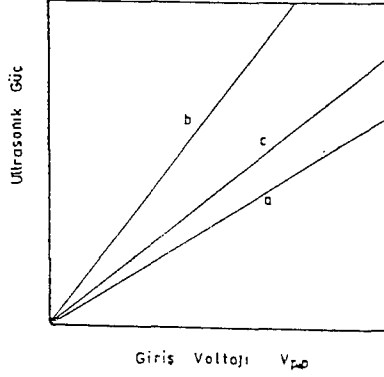
- Hedefin dengesini bozarak
- Transdüseri söküp yeniden takarak
- Güç kaynağını 10 dakika ısınma payı vermek şartıyla açıp kapatarak
- Transdüseri  $S_{max}$  ve  $S_{min}$  aralığında tutacak şekilde transdüser ve hedef arasındaki sabit aralığı değiştirerek

Büretteki sıvı seviyesindeki değişim milimetre cinsinden ölçüldüğü için  $CCl_4$  seviyesindeki dalgalanma 0,5 mm den büyük olmamaktadır. Çizelge 3.3'de 0,125 - 25 W bölgesinde tekrarlanabilirliğin % 2 içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3. Farklı büret çaplı float sisteminin tekrarlanabilirliği

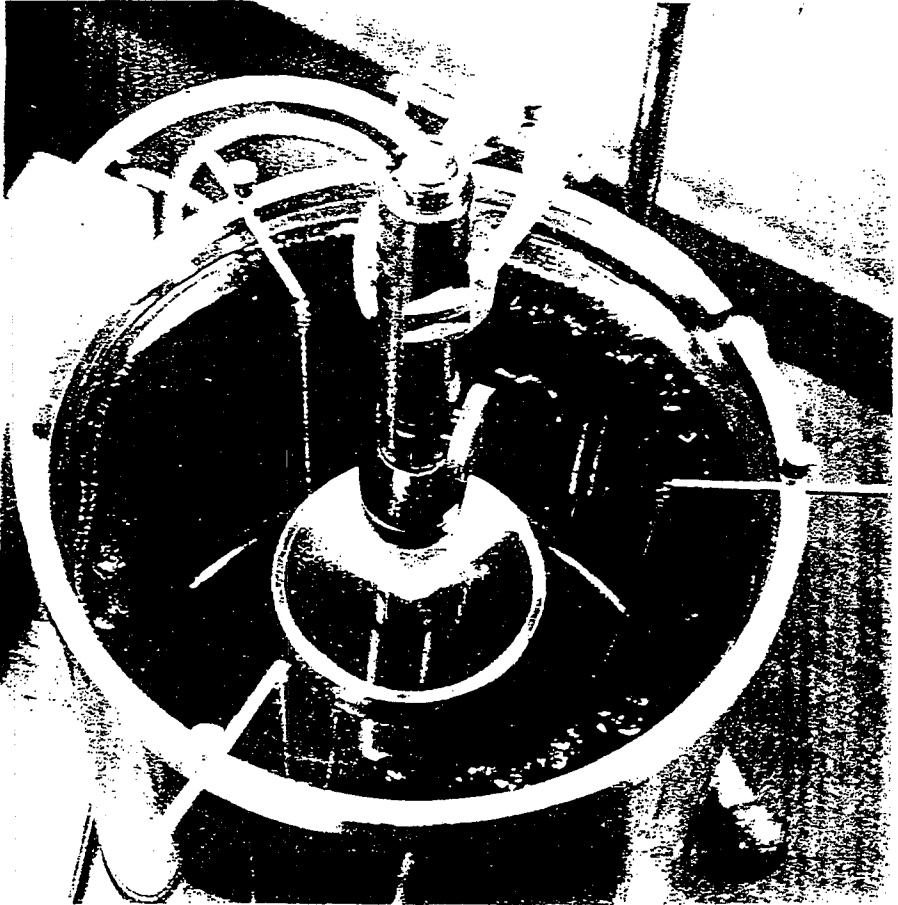
Büret Çapı b mm	$CCl_4$ Seviyesindeki Dalgalanma mm	Güç P W	$CCl_4$ Seviyesindeki Değişme mm	Tekrarlanma %
6,3	0,5	0,125	25	2
6,3	0,5	2	400	0,125
22,4	0,5	2	32	1,56
22,4	0,5	25	400	0,125

Yapılan deneyler sonucunda transdüzere uygulanan voltaja karşılık gelen güç değerleri grafiğe çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 3.10'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Uygulanan voltaj - yayılan ultrasonik güç değişimi

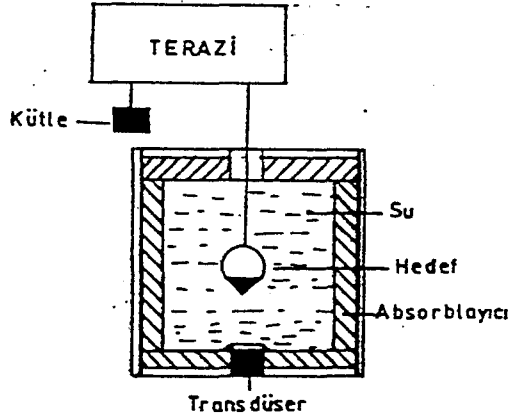
a) 1 MHz b) 2 MHz c) 4 MHz



Şekil 3.11. NPL'de bulunan tedhred float radiometer'in fotoğrafı



Şekil 3.12'de blok şeması görülen ölçüm sisteminde hedef olarak absorblayıcı yada yansıtıcı kullanılabilir.



Şekil 3.13. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi

Şekil 3.13'deki deneysel düzeneğin görüldüğü gibi saf degaze su içinde bulunan hedef, terazinin bir kefesine çok ince ve hafif bir tel ile asılır. Diğer kefeye ise dengeleyici ağırlıklar asılır. Böylelikle transdüser voltaj uygulamadan önce hedefe yerçekimi kuvvetinden başka herhangi bir kuvvet etkimez. Dolayısıyla mikrobals terazi "0,00" mg değerini gösterecektir.

Ölçüm sisteminin blok şemasında dört ayrı bağlantı görülmektedir. Elektriksel bağlantı, cihazlar arasındaki giriş ve çıkış bağlantılarıdır. Dijital voltmetre ile deneysel düzeneğin arasındaki bağlantı sıcaklık ölçümünde kullanılan termoçift (termocouple) bağlantısını göstermektedir. IEEE Port aracılığıyla bilgisayardan kontrol edilen empedans analizöründeki osilatörün çıkış voltajı ve frekansı elektriksel bağlantı aracılığıyla RF güç yükselticisine iletilir. Yine IEEE Port aracılığıyla bilgisayardan kontrol edilen dijital osiloskop ile transdüser güç yükselticiden uygulanan AC voltajı okunur. Seri Port aracılığıyla terazi tarafından okunan kütle değerleri bilgisayara aktarılır.

Teraziden okunan kütle değerleri, dijital osiloskoptan okunan  $V_{p-p}$  değerleri ve dijital voltmetreden okunan voltaj değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri bilgisayarda kayıt olarak kullanılan kasetlere aktarılır. Elde edilen bu veriler işlenerek sonuçlar alınır.

Mikrobalans kullanılan ultrasonik güç ölçüm sisteminde kullanılan cihazlar arasındaki haberleşme seri port ve IEEE port aracılığı ile yapılır. Seri port RS 232 C olarak bilinen bir bağlantı türüdür. RS 232 C bağlantısında veriler aktarılırken (bizim sistemimizde terazi-bilgisayar bağlantısı) verinin alındığı cihazın veri aktarma hızı (baud rate) ile verinin değerlendirileceği cihazın veri aktarma hızı eşit olmalıdır. Veri aktarma hızı, cihazlarda bulunan baud rate switch'leri ile değiştirilebilmektedir. RS 232 C bağlantısı cihazların veri çıkış konnektörlerindeki pinlerin konumlarına göre azda olsa değişiklik gerektirirler. Ancak yapılan bu değişiklikler bağlantının özünü değiştirmez. İki cihaz arasında yapılacak haberleşme RS 232 C bağlantısını gerektiriyorsa gerekli pin bağlantıları için her iki cihazın da konnektörleri incelenmelidir.

### 3.2.2. Sistemde Kullanılan Cihazlar

#### A. HP 85 B Bilgisayar :

Sistem kontrolör olarak kullanılmaktadır. Sistemde bulunan cihazların bir program akışına göre çalışma önceliğini belirler. Bilgisayara bağlı olan interface'ler seri ve HP-IB dir. Bu interfacelere bağlı olan cihazlardan gelen ölçüm verileri kayıt ortamı olan kasetlerde depo edilirler.

Sistem kontrolör olarak kullanılan bilgisayarın arkasında dört port'u vardır. Bu portlara ROM DRAWER, HP-IB INTERFACE, SERIAL INTERFACE ve MEMORY EXTENSION ara bağlantı kabloları takılır.

Bir ölçme sistemi bilgisayar kontrollu olarak çalışıyorsa, aynı interface'de bağlı olan cihazların birer adresleri olmalıdır. Bu adresler 0 - 30 arasındaki herhangi bir sayıdır. Ayrıca interface'lerin de kendi aralarında birer kodları vardır. HP - IB interface kodu 7, seri interface kodu 10'dur. Sistem kontrolör olarak kullanılan bilgisayarın talk/listen kodu (HP 85B için) fabrika set değeri 21 dir. Bilgisayara bağlı olan diğer cihazların talk/listen

adresi 21 olarak seçilmemelidir. Örnek olarak empedans analizörünün HP - IB interface'deki adresi 717 dir. 7; interface kodu, 17 ise empedans analizörünün kodudur.

### **B. Sartorius Mikrobalans (4401 MP8) :**

Ölçme sisteminde, kütle ölçümü için kullanılır. Transdüser rezonans frekansı civarında voltaj uygulandığında oluşan dalgalar dengede bulunan hedefi yukarı doğru kaldıracaktır. Sistem dengeye ulaştığında terazinin okumuş olduğu kütle değeri seri interface aracılığıyla bilgisayara buradan da kayıt ortamı olan kasete aktarılır. Terazinin veri aktarım hızı ile RS 232 C'nin ucuna bağlı seri interface'in veri aktarım hızı aynı olmalıdır.

Ölçümlere başlamadan önce, terazinin doğru değer okumasını sağlamak için kalibrasyon yapılır. Kalibrasyon'da 1 gramlık bir standart ağırlık kullanılır. Terazi kalibrasyonu yapıldığında terazi gösterge ünitesinde "1000,000" mg değeri görülür.

### **C. HP 4192A Empedans Analizörü :**

Empedans analizörü, ölçme sisteminde transdüseri sürmek için gerekli olan frekans ve voltaj değerini sağlayan bir osilatör olarak kullanılır. Kalibrasyon türüne bağlı olarak çeşitli amaçlar için kullanılır. Örnek olarak sabit frekans değerinde voltaj arttırmaları (step excitation olarak bilinir), sabit voltaj değerinde zamana bağlı kütle değişimi (pulse excitation olarak bilinir) ve sabit voltaj değerinde frekans değişimi (frequency sweep olarak bilinir) için kullanılır. Ayrıca çeşitli elektrik-elektronik devre elemanlarının empedans, admitans, faz açısı, direnç, kapasitans, indüktans, kalite faktörü, iletkenlik, hassasiyet, reaktans gibi değerlerini ölçmede kullanılır.

Empedans analizöründe bulunan osilatör 0,005 - 1.1 Volt RMS (Root Mean Square : Kare ortalama kök) ve 5 Hz - 13 MHz aralığında değişen değerlerde çalışmaktadır. Osilatörün çıkış empedansı 50 ohm olarak üretici firma tarafından belirtilmiştir.

#### D. RF Güç Yükseltici (ENI 2100) :

Sistemde kullanılan güç yükseltici (bizim kullanma amacımız voltaj yükseltmektir) 10 kHz - 12 MHz frekans bandında çalışmaktadır. Yükseltcin girişine uygulanan sinyal frekansı değişmeden çıkışta alınmaktadır. Yükseltcin kazancı  $50 \pm 1,5$  dB'dir. Güç yükseltici, voltaj yükseltici olarak kullanılıyorsa kazanç ifadesi

$$50 = 20 \log_{10} \frac{V_{\text{çıkış}}}{V_{\text{giriş}}} \quad (3.16)$$

olarak yazılır. Yükseltcin giriş ve çıkış empedansı 50 ohm olarak belirtilmiştir. Çıkış değerleri sinüs dalgası için RMS olarak 0 - 100 volt aralığında tam ölçekte % 3 doğruluklu olarak kalibre edilmiştir.

Empedans analizöründe bulunan osilatörün voltaj ve frekansı program akışına göre bilgisayar tarafından kontrol edildiğinden yükseltece uygulanan sinyal kontrol edilmiş olur. Yükseltcin çıkışı transdüserle elektriksel olarak bağlanır.

#### E. HP 54504A Sayısal Osiloskop :

Ölçme sisteminde kullanılan dijital osiloskop, transdüserle uygulanan  $V_{p-p}$  değerini ölçmek için kullanılır. Ölçme sistemi bilgisayar kontrollü olarak çalıştığından, empedans analizöründeki osilatör sinyalindeki artışlar yine osiloskop tarafından ölçülebilir. Osiloskobun ölçme bölgesi programdaki kıyaslama halkasına göre artar.

Ölçüm sisteminde transdüserle uygulanan voltajı osiloskop kullanarak ölçmenin amacı, hem voltajı hem de sinyalin frekansını ölçmektir. Dijital osiloskobun HP-IB interface üzerindeki adresi 707 dir. Sistemde kullanılan osiloskop ile periyod, frekans, sinyalin yükselme zamanı, düşme zamanı,  $V_{RMS}$ ,  $V_{p-p}$ ,  $V_{ort}$  gibi değerleri ölçmek için de kullanılabilir.

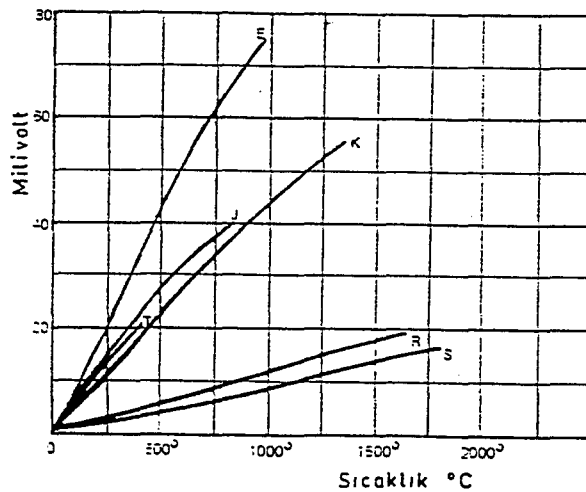
## F. HP 3456 Dijital Voltmetre :

Sistemdeki voltmetre sıcaklık ölçümünde kullanılır. Bir termoçift aracılığıyla deneysel düzenepteki suyun sıcaklığı voltaja çevrilir. Termoçiftin uçlarında bulunan voltaj DC voltajdır.

Farklı iki metal iletkenin birer ucunu çok iyi bir şekilde birbirine bağlarsanız bir termoçift elde etmiş olursunuz. İletkenlerin bağlı olan ucundaki sıcaklığı değiştirirseniz diğer açık iki uç arasında bir potansiyel fark okursunuz. Okuduğunuz voltaj değeri termoçiftin ucundaki sıcaklıkla ilişkilidir. Sıcaklık ve voltaj arasındaki bağıntı

$$T = a + bV + cV^2 + dV^3 + eV^4 + fV^5 \quad (3.17)$$

şeklinde bir polinom olarak yazılabilir. Yukarıdaki polinomdaki a,b,c,.. katsayıları herbir termoçift tipi için farklı değerler olup yapılan kalibrasyonlar ve denklem çözümleri ile elde edilir. Bilinen termoçift çeşitleri E,J,K,R,S,T dir. Şekil 3.14'de çeşitli termoçiftler için Voltaj-Sıcaklık grafiği çizilmiştir.



Şekil 3.14. Termoçift sıcaklık - voltaj grafiği



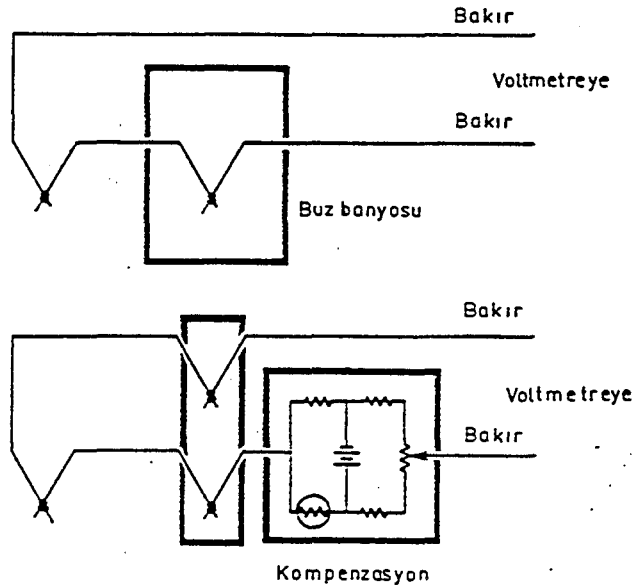
Herbir termoçifti oluşturan metaller farklı olduğundan ölçüm doğrulukları da farklıdır. Örnek olarak J tipi termoçift için polinomdaki katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$a = -0,0048868252 \quad b = 19873,14503$$

$$c = -218614,5353 \quad d = 11569199,78$$

$$e = -264917531,4 \quad f = 2018441314$$

dir (Hewlett Packard Appl.Note 188). J tipi termoçift demir ve konstantandan yapılır. 0 - 760 °C sıcaklık aralığında  $0,5 \pm$  °C doğrulukla ölçüm yapabilir. Beşinci mertebeden bir termoçifttir. Termoçiftlerle sıcaklık ölçümleri yaparken termoçift etkisinin sadece ölçme noktasında oluşmasına dikkat edilmelidir. Voltmetrelerin giriş uçları ile termoçifti oluşturan metaller farklı olduğundan bakırdan farklı metallere oluşan termoçiftleri sıcaklığı bilinen bir noktada tutmak gerekir. Genelde bu nokta 0°C dir. 0°C yi elde etmek için buz banyosu gerektirdiğinden her zaman pratik değildir. Buz banyosu yerine referans bağlantı kutuları kullanılır.(Şekil 3.15)

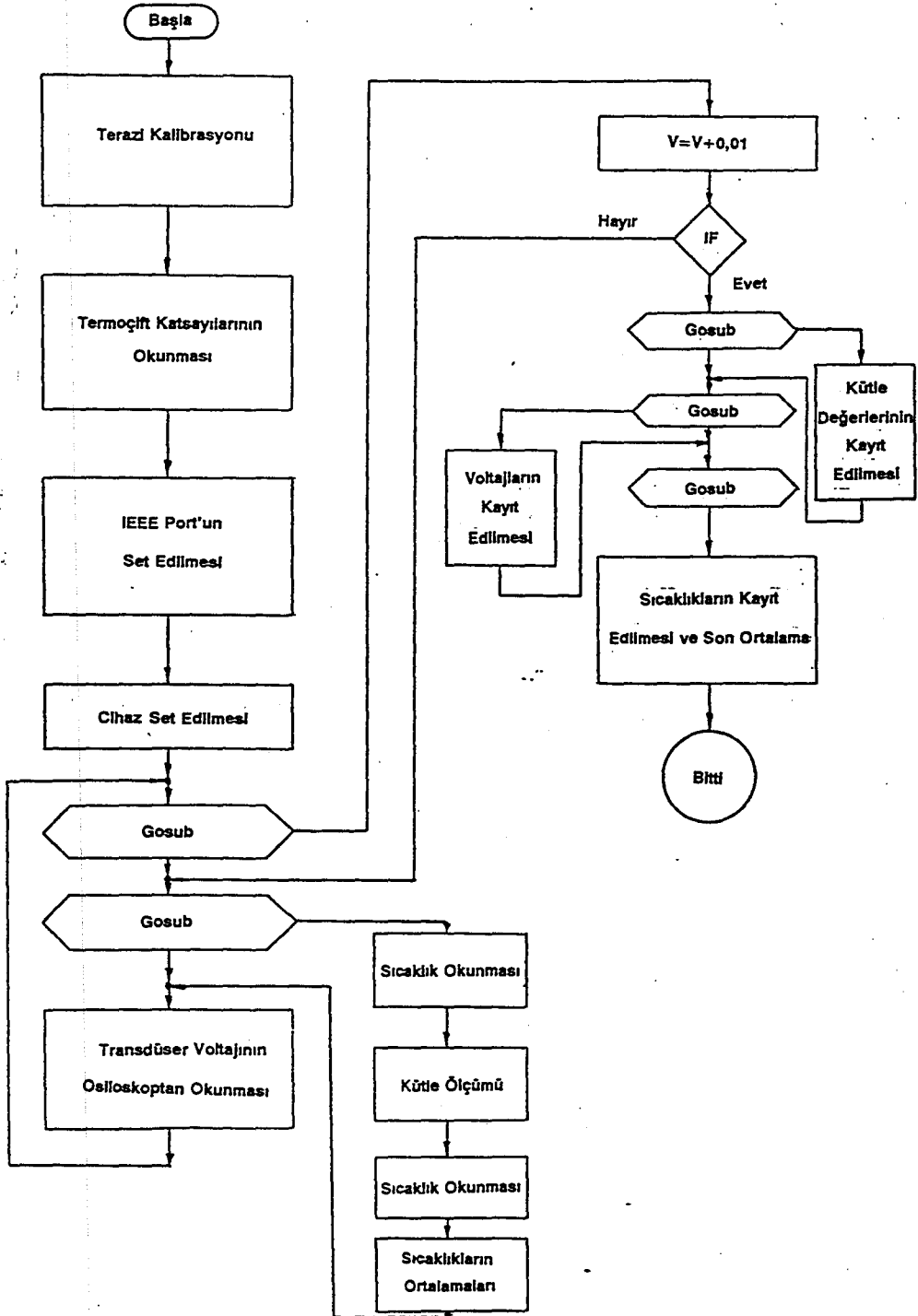


Şekil 3.15. Referans bağlantılar

#### G. HP-Grafik Çizici :

Ölçümler sonucu alınan verileri bir program dahilinde işlemek için kullanılır. HB-IB interface üzerindeki kodu 705 olarak belirlenmiştir.

## 3.2.3. Programın Akışı



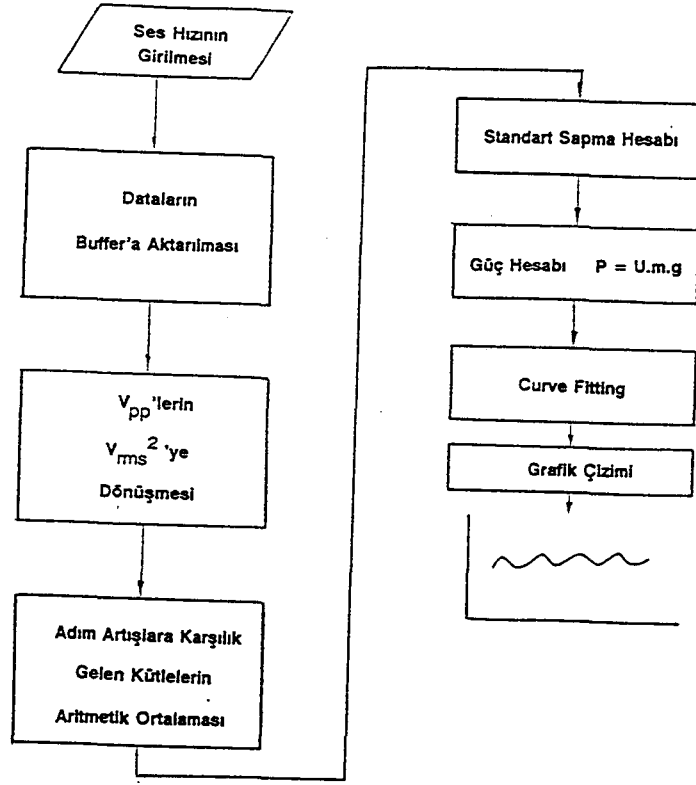
Şekil 3.16. Programın Akışı

Ultrasonik güç ölçüm sisteminin çalışmasını açıklayalım. Terazinin kalibrasyonu mekanik olarak yapıldıktan sonra program otomatik olarak çalışır ve tüm cihazlar bu programa göre çalışır. Termoçift katsayıları atandıktan sonra HP-IB interface üzerinde bulunan cihazların çalışabilmesi için mevcut program ile set edilir. Sistemdeki cihazlardan empedans analizörünün osilatörü transdüserin rezonans frekansına ve 0,01 V değerine set edilir. Step excitation yapılacağı için osilatör voltajı  $V = V + 0,01$  ile artırılarak  $V = 0,26$  V olduğunda sistem diğer bir alt programa geçer. Transdüserine uygulanan voltaj dijital osiloskop tarafından ölçüleceğinden osiloskobun gerekli set değerleri program tarafından yapılır. Osilatör voltajının her artışında voltaj, limit değerde değilse bir alt programa gidilir. Bu alt programda termoçift aracılığıyla su sıcaklığına karşılık gelen beş adet voltaj değeri okunur. Bu değerlerin ortalaması alınır. Su sıcaklığına karşılık gelen ilk voltaj değeri okunduktan sonra transdüserine uygulanan voltaj için yirmi adet kütle değeri okunur. Kütle değerleri okunduktan sonra yine su sıcaklığına karşılık gelen beş adet voltaj değeri okunur. Ortalamaları alınır. Kütle ölçümlerinden önce ve sonra ölçülen sıcaklığa karşılık gelen voltaj değerlerinin ortalamaları alınır. En son olarak elde edilen bu değer bilgisayar tarafından sıcaklığa dönüştürülür. Su sıcaklığı da ölçüldükten sonra transdüserine uygulanan voltaj osiloskoptan ölçülür.

Kütle, sıcaklık ve voltaj değerleri okunduktan sonra program ilk ölçüm halkasına dönerek aynı işlemleri yirmibeş defa tekrarlar. Ölçümler tamamlandıktan sonra okunan kütle değerleri kütle dosyasına, sıcaklıklar sıcaklık dosyasına, voltajlar ise voltaj dosyasına aktarılır. Bu arada tüm ölçüm süresince su sıcaklığı ölçüldüğü için son olarak ortalama sıcaklık değeri hesaplanır. Son olarak cihazlar ilk değerlerine set edilerek ölçüm metodu tamamlanır.

### 3.2.4. Veri İşleme Programının Akışı

Tüm ölçüm sırasında ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalama değeri alınır. Bu sıcaklık değerine karşılık gelen ultrasonik hız değeri tablodan bulunarak bilgisayara girilir. Daha önce kasetlere yüklenmiş olan veriler bilgisayarın hafızasına yüklenir.



Şekil 3.17. Veri işleme programının akış şeması

Sinüsoidal bir voltajın tepe-tepe değeri ile etkin değeri arasında

$$V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} \quad (3.18)$$

bağıntısı vardır. Voltaj verisi olarak alınan  $V_{P-P}$  değerleri bilgisayar tarafından  $V_{rms}^2$  ye çevrilir. Bir transdüserin ölçümü sırasında yirmi beş adet farklı voltaj değeri ve her bir voltaj değerine karşılık yirmi adet kütle değeri okuyoruz. Toplam beşyüz adet kütle

değeri olacaktır. Bir voltaj değerine karşılık gelen kütle değişimi (yerçekimi ivmesi ile çarpıldığında ağırlık değeri) aynı olmalıdır. Ölçüm düzeneğinden gelebilecek değişimlerden kaynaklanan hatalar, kütle değerlerinin istatistiksel işlemler sonucu en aza indirilecektir. Öncelikle bir tek voltaj değerine karşılık gelen kütle değerlerinin aritmetik ortalaması alınır.

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \quad (3.19)$$

$m$  : Ölçülen kütle değeri

$\bar{m}$  : Aritmetik ortalama

$n$  : Ölçüm adedi

Kütle değişiminin aritmetik ortalaması bulunduktan sonra, standart sapma hesaplanır. Ölçülen bir niceliğin standard sapması;

$$\sigma = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{n-1} (m_i - \bar{m})^2 \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

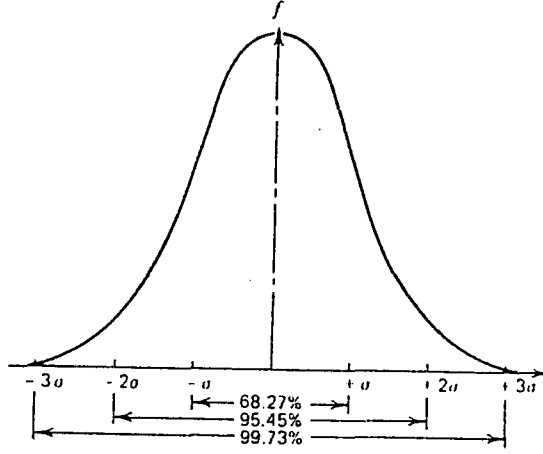
ile verilir. Kütle değerini;

$$m = \bar{m} \pm \hat{m}$$

ile ifade edebiliriz.  $\hat{m}$  ile gösterilen terim ise;

$$\hat{m} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t \quad (3.21)$$

dir.  $t$  parametresi güvenilirlik seviyesi değeridir. İstatistiksel ölçüm yapıldığında ölçülen değerlerin standart sapması ölçüm seviyesine bağlı olarak Şekil 3.18'deki gibi bir Gaussian eğrisi verir.



Şekil 3.18. Normal dağılım eğrisi

Standard sapma değerine bağlı olarak güvenilirlik seviyesi belirlenir. Genelde bu tür ölçüm sistemlerinde güvenilirlik seviyesi  $t$  : % 95 seçilir. Değeri ise  $t = 2,145$  dir. Güvenirlik seviyesi değerlerini istatistik kitaplarındaki çizelgelerden bulmak mümkündür.

Kütle değeri bulunduğuna göre buradan ultrasonik güç hesabına geçmek kolay olacaktır. Ultrasonik güç  $P = m.g.c$  olarak tanımlanmış idi. Kütle değeri yerine konulursa;

$$P = \left( \bar{m} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t \right) g.c \quad (3.22)$$

ifadesini buluruz. Yukarıdaki ifadede birimlerin denklığıne dikkat edilmelidir. Kütle değerleri miligram cinsinden okunduğundan eşitliğin ikinci tarafı  $10^{-6}$  terimi ile çarpılmalıdır. Yerçekimi ivmesinin değeri  $g = 9.806652 \text{ m/sn}^2$  olarak alınır.  $c$  ile gösterilen ultrasonik hız değeridir.

Ultrasonik güç - uygulanan voltaj grafiğini çizmek için gerekli olan veriler bulunduktan sonra bu veriler grafiğe geçilir. Grafikteki noktalardan en iyi geçebilecek eğriyi bulmak için "Eğri Uydurma" denilen işlem uygulanır. Bu işlem mevcut verilerin istatistiksel hesaplanmasından başka bir şey değildir.

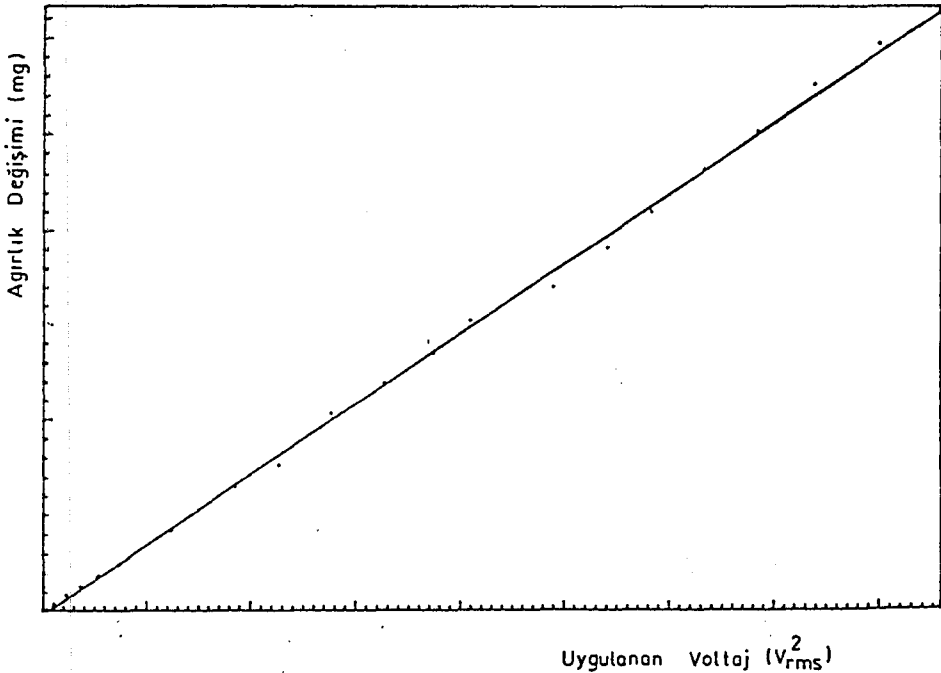
Amaca uygun olarak ultrasonik güç - uygulanan voltaj grafiğini elde etmek için en küçük kareler (Least Squaresness) yöntemi kullanılır. Bu yöntemde güç ifadesinin denklemini aşağıdaki parametreler aracılığıyla hesaplanır.

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.23a)$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.23b)$$

$$y = aX + b \quad (3.23c)$$

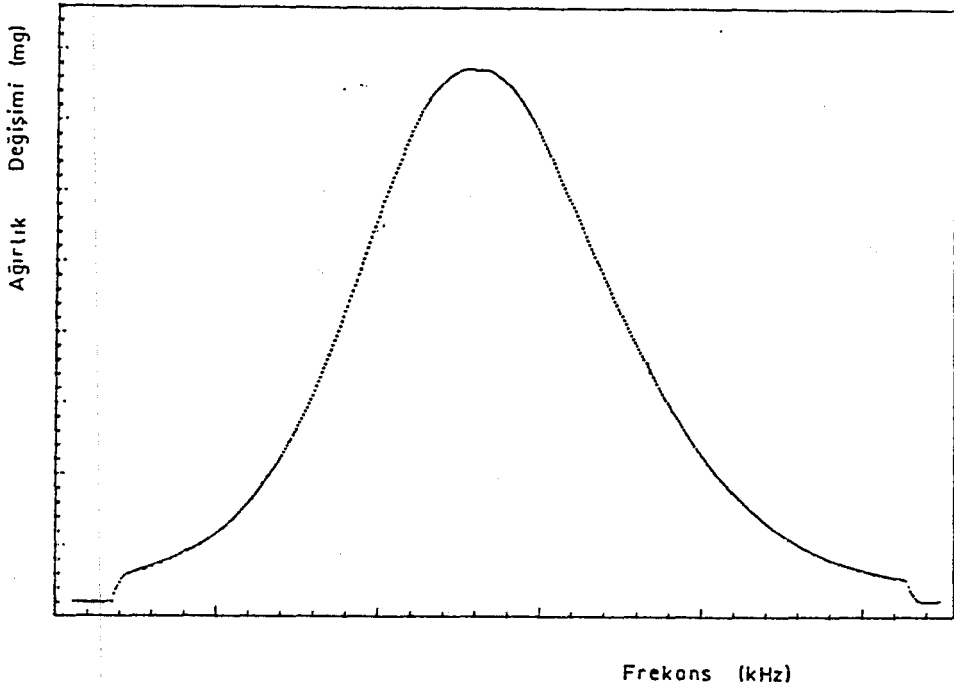
Yukarıdaki güç eşitliğindeki a ve b katsayıları bulunduğundan sonra ultrasonik güç uygulanan voltaj arasındaki bağıntının grafiği çizilmiş olur. Y parametresi ultrasonik gücü, X parametresi ise uygulanan voltajın karesini ( $V_{rms}^2$ ) göstermektedir. (Şekil 3.19.)



Şekil 3.19. Transdüserine uygulanan voltaj - ağırlık değişimi grafiği

Şekil 3.19.'den görüleceği gibi uygulanan voltaj ile ultrasonik güç doğru orantılı olarak değişmektedir. Ancak belirli amaçlar için dizayn edilmiş bir transdüser taşıyabileceğinden fazla voltaj uygulamamak gereklidir.

Bir transdüserin frekans bağımlılığı ise transdüserin rezonans frekansı civarında frekans taraması ile bulunabilir. Frekans taraması yaparken belirli bir voltaj seviyesinde frekans taranır. Transdüser rezonans frekansı civarında büyük genlikli titreşeceğinden, rezonans frekansında maksimum kütle değişimi gözlenmelidir. Frekans taramasına ilişkin bir grafik Şekil 3.20.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Transdüserin frekans taraması grafiği

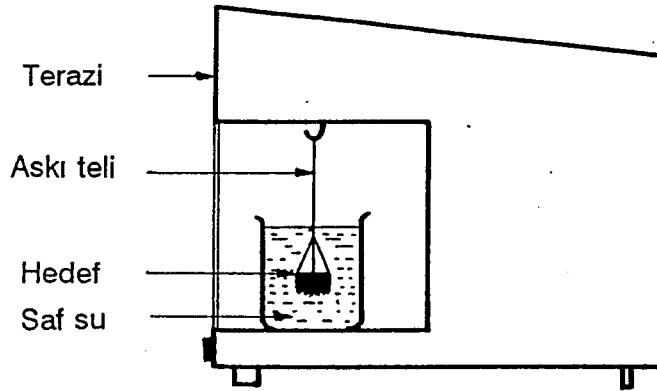


#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

##### 4.1. Terazinin Dengeye Getirilmesi

Deneyde absorblayıcı hedef kullanıldı. Kullanılan absorblayıcı hedefin su içindeki ağırlığını belirlemek için 100  $\mu\text{g}$  çözünürlüğe sahip olan bir terazi kullanıldı. Absorbe edici hedefin su içindeki ağırlığı beş kez ölçüldü. Alınan ölçüm değerleri aşağıdaki gibidir.

Hedefin Su İçindeki Ağırlığı (g)	Askı Telinin Ağırlığı (g)
5.8196	0.0395
5.8193	0.0389
5.8193	0.0388
5.8190	0.0386
5.8198	0.0386

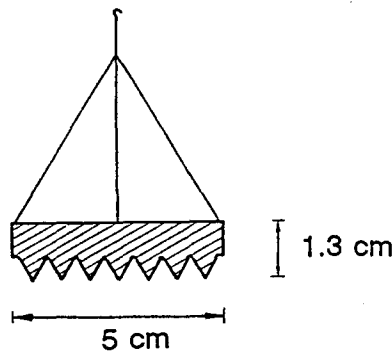


Şekil 4.1. Hedefin su içindeki ağırlığının belirlenmesi

Yukarıdaki ölçümlerde en büyük ve en küçük değerler çıkarıldığında ve geriye kalan değerlerin aritmetik ortalaması alındığında absorblayıcı hedef - askı teli ağırlığı  $m_{ht}=5.8194$  gram , askı telinin ağırlığı  $m_t = 0.0388$  gram olarak bulunur. Buradan hedefin su içindeki ağırlığı  $m_n = 5.7806$  gram olarak bulunur.

Ölçüm sisteminde kullanılan terazi 24 gramlık denge yapabilme ve 1 grama kadar ölçme kapasitesine sahip olduğu için kullanılan hedef teraziye asılmadan önce terazi dengeye getirilmelidir. Bunun anlamı terazinin diğer kefesine ilave ağırlık konulması demektir. Terazinin kollarında kefeler ve bu kefelerin üzerlerinde durduğu askılar (stirrup) vardır. Ölçüm sisteminde kullanılan teraziye hedefi asabilmemiz için terazinin sağ kolundaki kefe, askı ve terazi kullanılmadığında kefeyi havada tutan kaldırıcı kol çıkarılmalıdır. Kefenin ve askının ağırlıkları sırasıyla  $m_k = 0.7342$  gram ve  $m_a = 0.7077$  gramdır. Hedefi teraziye asmak için kullanılan askı telinin (hook) ağırlığı  $m_{at}=0.1759$  gramdır. Sonuç olarak hedef teraziye asıldığında terazinin kollarını dengeye getirebilmek için gerekli olan karşı ağırlık (counter-weight) 4.5146 gramdır.

Deneyde kullanılan absorblayıcı hedefin çapı 5 cm, yansıtıcı yüzeyler dahil kalınlığı 1.3 cm ve kare prizma şeklindeki yansıtıcı yüzeylerin boyutları 0.5 cm'dir. Yaydığı ultrasonik güç ölçülecek olan transdüserin etkin çapı 3.1 cm'dir.



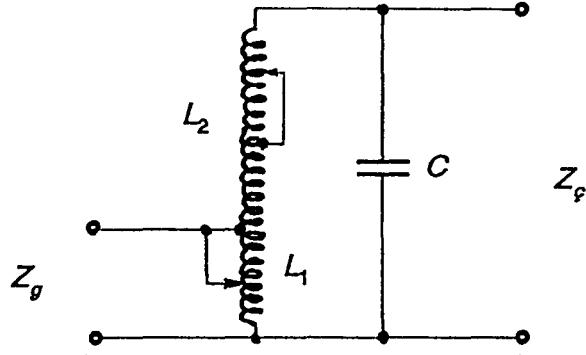
Şekil 4.2. Absorbe edici hedefin boyutları

#### 4.2. Uyum Trafosu

Transdüser üzerine düşen voltajın empedeans uyumsuzluklarından dolayı yansımaları önlemek için bir uyum trafosuna ihtiyaç vardır. Uyum trafosunun görevi

trandüserin empedansını trandüsera voltaj sağlayan kaynağın çıkış empedansına uyumlaştırmaktır. Deneyde kullanılan trandüserin rezonans frekansı yaklaşık olarak 989.27 kHz'dir.

Transdüsera voltaj sağlayan kaynağın kaynağın çıkış empedansı 50  $\Omega$ 'dur. Dolayısıyla bobin ve kondansatörden oluşturulan bir uyum trafosunun çıkış ucuna transdüseri bağlandığında ve transdüserin rezonans frekansında uyum trafosunun giriş empedansı 50 $\Omega$  olmalıdır.



Şekil 4.3. Bobin ve kondansatörden oluşan bir uyum trafosu

Şekil 4.3.'de görülen uyum trafosunun giriş ve çıkış empedanslarını veren ifadeler aşağıya çıkartılmıştır.

$$Z_g = \frac{j\omega L_1 (j\omega L_2 + 1/j\omega C)}{(j\omega L_1 + j\omega L_2 + 1/j\omega C)} \quad (4.1)$$

$$Z_c = \frac{j\omega (L_1 + L_2)}{[1 - \omega^2 C(L_1 + L_2)]} \quad (4.2)$$

Ölçüm düzeneğinde Şekil 4.3. de görülen uyum trafosuna benzer bir trafo kullanılmıştır. Uyum trafosunun çıkış ucuna transdüseri bağlayıp çıkış ucundan giriş empedansı 50  $\Omega$ 'a ayarlandı. Empedans uyumlaştırma işlemi giriş ve çıkıştaki bobinlerin üzerlerinde olan çoklu anahtarlar aracılığıyla yapıldı.

### 4.3. Deneysel Ölçüm

Çalışmanın bu kısmında yaklaşık 1 MHz lik bir frekansta çalışan bir ultrasonik transdüserin güç - voltaj bağımlılığı incelendi. Gerekli kütle değişimini ölçmek için Şekil 3.13. de görülen düzenek kuruldu. Sinyal üreticiden alınan sinyal güç yükselticine uygulandı. Güç yükselticiden kuvvetlendirilmiş olarak alınan sinyal uyum trafosuna buradan da transdüserine uygulandı. Transdüserine uygulanan voltaja karşılık gelen kütle değişimleri ölçüldü. Elde edilen veriler Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Transdüserine uygulanan voltajlara karşılık gelen kütle değerleri

$V_i$ (V)	$m_1$ (mg)	$m_2$ (mg)	$m_3$ (mg)	$m_4$ (mg)	$m_5$ (mg)	$m_6$ (mg)	$m_7$ (mg)	$m_8$ (mg)	$m_9$ (mg)	$T_i$ °C
3.96	.015	.016	.019	.020	.022	.021	.022	.023	.020	21.74
7.91	.031	.031	.031	.032	.035	.035	.027	.027	.028	21.73
11.52	.025	.026	.029	.031	.034	.034	.033	.032	.032	21.74
15.98	.052	.054	.056	.056	.054	.054	.056	.058	.055	21.75
20.8	.089	.092	.094	.095	.098	.098	.096	.096	.094	21.74
24.04	.144	.140	.139	.139	.145	.147	.151	.156	.155	21.73
28.00	.195	.193	.193	.195	.189	.190	.191	.189	.182	21.73
31.11	.240	.241	.240	.240	.240	.240	.239	.239	.238	21.74
36.06	.282	.277	.280	.284	.285	.282	.280	.281	.283	21.76

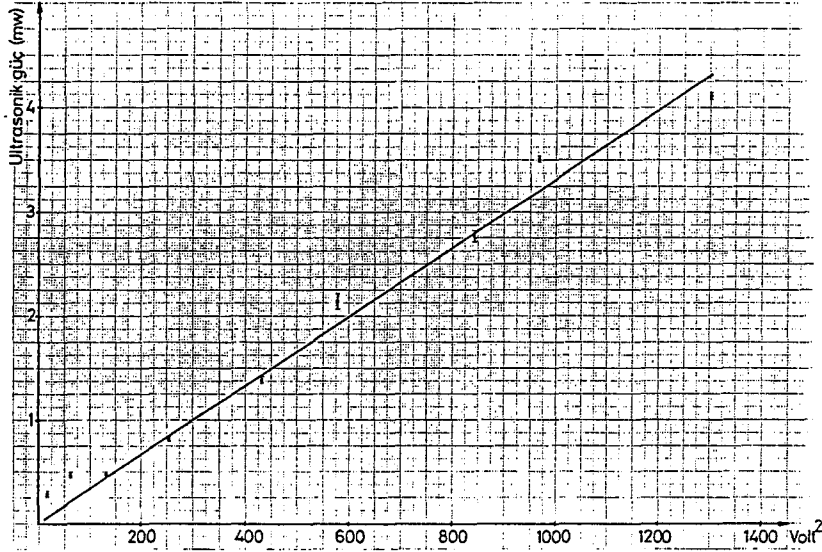
Herbir voltaja karşılık gelen kütleler için ortalama değeri ve standard sapmalar hesaplandı. Güvenirlik düzeyi olarak (confidence level) % 95 seçildi. Bu düzeye karşılık gelen katsayı 2,145 tir.

Yine herbir ölçüm grubu için ölçülen sıcaklıkların ortalaması aldığımızda  $T = 21.74$  °C olarak bulundu. Bu ortalama sıcaklık değerine karşılık gelen ses hızı  $c = 1487.46$  m/sn olarak alındı. (3.22) ifadesi kullanılarak herbir voltaja karşılık gelen güç hesaplandı. Hesaplamalardan elde edilen veriler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Transdüserine uygulanan voltajlar ve karşılık gelen kütle ve güç değerleri

$V^2$ (volt) <sup>2</sup>	$m = \bar{m} \pm \hat{m}$ (mg)	Ultrasonik güç (mw)
15.68	$0.020 \pm 0.002$	$0.289 \pm 0.029$
62.56	$0.031 \pm 0.002$	$0.452 \pm 0.029$ -
132.71	$0.031 \pm 0.002$	$0.452 \pm 0.029$
255.36	$0.055 \pm 0.001$	$0.802 \pm 0.015$
432.64	$0.095 \pm 0.002$	$1.386 \pm 0.029$
577.92	$0.146 \pm 0.005$	$2.130 \pm 0.073$
784.00	$0.190 \pm 0.003$	$2.772 \pm 0.044$
967.83	$0.240 \pm 0.001$	$3.501 \pm 0.015$
1300.32	$0.282 \pm 0.002$	$4.114 \pm 0.029$

Tablo 4.2.'deki verileri kullanarak transdüserine uygulanan voltajların karelerine karşılık gelen ultrasonik güç değerleri aşağıdaki şekilde olduğu gibi işaretlendi.



Şekil 4.4. Ultrasonik güç - voltaj grafiği.

Yapılan deney sonucunda ultrasonik güç, transdüserine uygulanan voltajın karesi ile doğru orantılıdır.

Bir önceki bölümde iki farklı ultrasonik güç ölçüm yöntemi anlatılmıştır. Anlatılan bu metodlarda amaç ultrasonik gücü basit ve doğru olarak ölçmektir. Verilen ultrasonik güç ölçüm metodlarından anlaşılacağı üzere iki metod birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu farklılık ölçümlerin hassaslığından kaynaklanmaktadır.

Ultrasonik gücün ölçülebildiği en basit yöntemlerden birisi float metodudur. Bu metodta gücü watt bölgesindeki ultrasonik transdüserler ölçülürler. Gücü miliwatt bölgesinde olan ultrasonik transdüserler ise mikrobalans kullanılan mutlak ölçüm sistemiyle ölçülür.

Mikrobalansın kullanıldığı sistem tamamıyla bilgisayar kontrollü bir ölçüm sistemidir. Ölçüm sisteminde kullanılan tüm cihazlar amaca uygun olarak set edilmelidir.

## 5. ÖNERİLER

Herhangi bir niceliği ölçerken önemli olan neyi nasıl ölçeceğini doğru olarak bilmektir. Bunun yanısıra ölçüm düzeneğinde kullanılan cihazların doğru ölçüp ölçmediğinden emin olmak gereklidir. Cihazların doğruluğundan emin olmanın yolu cihazları kalibre ettirmektir.

Ultrasonik güç ölçerken dikkat edilecek konular aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Transdüserlerin rezonans frekansları çok iyi tespit edilmeli
- b) Transdüserine uygulanan voltajın, transdüserin dayanabileceği değerin üstünde olmamasına dikkat edilmeli
- c) Transdüserine uygulanan voltaj bir güç yükseltecinden geliyor ise, güç yükseltecinin girişine transdüserin taşıyabileceği maksimum voltajı aşmayacak değerlerde voltaj verilmelidir. Güç yükseltecinin kazancı göz önüne alınmalıdır.
- d) Ölçümleri etkileyen tüm etkenler ölçüm düzeneğinden mümkün olduğunca izole edilmelidir.

## KAYNAKLAR

Aral, E., 1992, Ultrases Ders Notları

Beissner, K., 1984, Minimum Target Size in Radiation Force Measurements, J.Ac.Soc.Am., 76, 6 p.

Bindal, V.N. and Kumar, A., 1980, Measurement of Ultrasonic Power with a Fixed Path Radiation Pressure Float Method, Acustica, 46, 4 p.

Bindal, V.N. and Kumar, A. and Chivers, R.C., 1983, Float Method of Measuring Ultrasonic Output, Acustica 53, 5 p.

Brendel, K., Beissner, K., Ludwig, G. and Reibold, R., 1983, Output Measurement of Ultrasonic Therapeutic Equipment, J.Pure Appl.Ultrason, 5, 5 p.

Bruel & Kjaer, 1986, Pocket Handbook, Noise, Vibration, Light, Thermal Comfort, Bruel & Kjaer (Nearum Offset), 53 p.

Kohlrausch, 1985, Praktische Physik 1 23. Auflage, Stuttgart, 724 p.

Ronderaat, J.V. and Settingington, R.E., 1974, Piezoelectric Ceramics, Eindhoven, 213 p.

Shields, J.P., 1966, Basic Piezoelectricity, New York, 128 p.

Hewlett Packard, Thermocouple Measurements with the 3050B, Hewlett Packard Application Note 188

Tucker, D.G. and Gazey, B.K., 1966, Applied Underwater Acoustics, Pergamon Press, 243 p.