

ULTRASON TEKNOLOJİSİ

ULTRASOUND TECHNOLOGY

Prof. Dr. Kerim DURAN
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği. Bölümü

Arş. Gör. M. İbrahim BAHTİYARİ
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği. Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Ayşegül EKMEKÇİ KÖRLÜ
Ege Ü. Tekstil Mühendisliği. Bölümü

Seher DERELİ
TÜBİTAK TAM

Duygu ÖZDEMİR
TÜBİTAK TAM

ÖZET

Ultrasonik uygulamaların kullanım alanları giderek artarken bilim ve teknolojiye ultrason teknolojisi uzun zamandır kullanılmaktadır. Ultrasonik insanın duyma limitinin üzerindeki ses dalgalarının bilimidir. Bu makale ultrasoniğin teorisini ve ultrason teknolojisinin kesin temizlik için nasıl uygulandığını anlatmakta ve yüksek şiddetli ultrasonun yayılımı esnasında oluşan kavitasyon, akustik akım ve yer değiştirme hareketinin banyoya daldırılmış materyalin temizliğini nasıl yaptığı açıklamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ultrason, sonokimya, transducer, kavitasyon

ABSTRACT

The field of ultrasonic is still making strides towards perfection, but already many applications of ultrasonic energy have been found in science and technology. Ultrasonics is the science of sound waves above the limits of human audibility. This article is describing the theory of ultrasonics, how ultrasonic technology is applied to precision cleaning and how cavitation, acoustic streaming and dislocation motion during the propagation of high-intensity ultrasound are making the cleaning of the substrates immersed in to the bath.

Key Words: Ultrasound, sonochemistry, transducer, cavitation

1. GİRİŞ

Ultrason teknolojisi endüstrinin farklı alanlarında çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Endüstrideki en yaygın kullanım amacı ise, ultrasonik kavitasyondan yararlanılarak yapılan temizlik işlemidir. Kirli makine parçalarının, tıbbi gereçlerin, elektronik komponentlerinin ve klasik yöntemlerle temizlemenin zor olduğu ince girinti ve çıkıntılara sahip yüzeylerin temizliğinde alternatif olarak ortaya çıkmakta ve bu alanlarda kullanılmaktadır. Tekstil sanayinde kullanımı yönünde ise çalışmalar yenidir ve hala uygulamaya yansımış değildir. Ultrason tekstil endüstrisinde, gerek tekstil materyali üzerinde yabancı maddelerin iyi bir şekilde uzaklaştırılmasında kullanılabilir ayrıca enzimlerle kombine edilerek, enzimlerin büyük moleküllü olması nedeniyle hareket kabiliyetlerinin düşük olması dezavantajlarını gidererek enzimden istenilen etkiyi gerçekleştirmesinde ona destek olacaktır.

Ultrasonun yaş terbiye işlemlerinde sağladığı etkilerin temel kaynağı flottede oluşan kavitasyondur. Kavitasyon, ultrases dalgalarının flotte içindeki hareketi sonucunda oluşan küçük enerji yüklü baloncukların patlaması sonucu oluşmaktadır. Katı/sıvı arayüzünde oluşan kavitasyon neticesinde sıvıdan katıya doğru kütle transferinde artış gözlenmektedir (1). Kavitasyon sonucu oluşan bu güçlü hareketlilik kirlerin kumaş yüzeyinden flotteye geçişini ve ayrıca büyük moleküllü enzimlerin lif yüzeyine ulaşımını geliştirecek ve bunun sonucunda toplam reaksiyon oranı artacaktır (3).

Tekstil ön terbiye ve apre işlemlerindeki kütle transferi genellikle sınırlı seviyelerde kalmaktadır. Bu nedenle bu işlemler nispeten daha uzun bir süreye, daha fazla miktarda suya ve kimyasal maddeye ihtiyaç duyarlar ve dolayısıyla daha fazla enerji tüketimi olur (2). Tekstil materyalinin en iç kısımlarına doğru olan kütle transferinin artırılmasıyla yaş terbiye işlemlerinin

etkinliği artırılmaktadır. Ultrason kuvveti etkisi, tekstil materyaline doğru gerçekleşen kütle transferini arttıran önemli bir tekniktir (3).

2. ULTRASES DALGALARI

Ultrases, frekansı insanların duyma sınırının (insan kulağı 20 Hz ile 20 kHz arasındaki sesleri duyabilir) üzerinde bulunan mekanik titreşimlerden meydana gelmiş bir enerji çeşididir. Ultrases frekansının alt sınırı genellikle aşağı yukarı 20 kHz'dir. Yani frekansı 20 kHz'den daha büyük sesler ses ötesi veya ultrases olarak tanımlanır.

Ultrases enerjisi, dalgalar şeklinde bir ortamda yayılır. Çeşitli dalga türleri olmasına karşı bütün teşhis uygulamalarında "boyuna dalgalar" dan yararlanır. Ortamı oluşturan tanecikler denge durumları civarında ileri ve geriye doğru titreşirler. Bu şekilde enerji, taneciklerinin titreşimlerine paralel bir doğrultuda ortama taşınır. (4) Ultrases, atomların veya moleküllerin denge ko-

numları etrafında titreşimdir. Dolayısı ile ultrason mekanik enerjidir (5).

2.1. Ultrasonik Dalga Çeşitleri

Atomların titreşim doğrultusu ile enerjinin yayılım doğrultusu birbiri ile karıştırılmamalıdır, bunlar ayrı şeylerdir. Genlik-uzaklık eksen takımı ile hareketin dalgasal gösterilişinde yayılım doğrultusu bellidir ve uzaklık eksenini doğrultusudur. Fakat titreşim doğrultusu burada belli değildir.

Titreşim ve yayılım doğrultularına göre ultrasonik dalgalar başlıca üç çeşittir. Özellikleri itibarıyla aralarında önemli farklar vardır.

i. Boyuna dalga

Titreşim ve yayılım doğrultuları aynıdır. Buna aynı zamanda basınç dalgası adı da verilir. Normal (yüzeye dik ışın veren) problemlerle muayene de bu dalga kullanılır. Katı, sıvı ve gaz her türlü maddesel ortamda yayılabilir. Günlük hayattan bildiğimiz ses dalgası bu çeşittir. Yayınma hızı diğer ultrasonik dalgalardan daha yüksektir.

ii. Enine dalga

Titreşim ve yayılım doğrultuları birbirine diktir. Buna aynı zamanda kayma dalgası adı da verilir. Açılal problemlerle muayenede bu dalga kullanılır. Yalnız katı ortamlarda yayılabilir. Sıvı ve gazlarda yayınamaz. Yayınma hızı boyuna dalganın yaklaşık yarısı kadardır.

iii. Yüzey dalgası

Titreşim hareketi yayılım doğrultusuna dik bir elipstir. Genlik değiştikçe elips büyür, küçülür veya sıfır olur. Yalnız yüzeyde yayındıkları ve malzeme derinliğine nüfuz etmedikleri için bu isim verilmiştir. Malzemenin takriben bir dalga boyu derinliğinde titreşim, yani ultrasonik enerji sıfırdır. Hızı enine dalgalardan biraz küçüktür. (6)

2.2. Ses Ötesi Dalgaların Ara Yüzeylerde Davranışı

Ultrasonik dalgalar ortamları birleştiren ara yüzeylerde kırılırlar ve yansılırlar. Optikteki ışığın yansınması ve kırılması

ile ilgili kurallar akustik için de geçerlidir. Yoğunluğu farklı bir yüzey ile karşılaşan ultrason dalgalarının kırılarak ikinci bir ortama geçmeleri optikteki Snell Yasasına uygun olarak gerçekleşir.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Burada:

θ_1 : Gelme açısı

θ_2 : Kırılma açısı

v_1 : Ultrasonun birinci ortamdaki yayılma hızı

v_2 : Ultrasonun ikinci ortamdaki yayılma hızıdır.

Ultrason dalgalarının yansınması ve kırılması düzgün ve büyük yüzeylerde söz konusudur. Ancak dokuların içinde homojen olmayan ve farklı yoğunlukta kitleler mevcuttur. Ultrason demeti bu tür kitlelere çarptığında saçılmaya uğrar ve yön değiştirir. Ultrason demeti yüzeylerden geçerken gücünde bir azalma yani zayıflama olur. Ultrason dalgalarının yoğunluğunun azalmasına, enerjisinin bir kısmını kaybetmesine yol açan zayıflamaya üç temel etken yol açar. Bunlardan birincisi soğurma (absorption)'dır. Yüzeyden geçen ultrasonun enerjisinin bir kısmı yüzey tarafından soğurulur ve soğurulan enerji ısı olarak ortaya çıkar.

Zayıflamaya yol açan ikinci etmen saçılmadır. Saçılma sonucunda birim alandan geçen enerji miktarı azalacaktır. Zayıflamaya neden olan üçüncü faktör ultrason demetinin belirli bir mesafeden sonra genişleyerek yayılmasıdır. Enerji yoğunluğu kesit alanla ters orantılıdır. Demet genişlediğinde kesit alan artacağından dokudan geçen enerji yoğunluğu azalacaktır (7). Ultrason demetinin zayıflaması geçilen yüzeyin tipi, kalınlığı ve dalganın frekansına bağlıdır. Yüzey kalınlığı ve frekans arttıkça zayıflama da artar. Düşük frekanstaki ultrason dalgaları daha derindeki dokulara kadar nüfuz ederler.

2.3. Ultrases Gücü ve Şiddeti

Ultrases gücü çeşitli birimlerde ifade edilebilir. Pratikte bu Watt (W)'dır. 1

W'lık bir güç saniyede 1 joule'lük bir enerji akışına karşılık gelir. Ultrases şiddeti bir zaman biriminde birim yüzeyden akan enerji miktarına eşittir ve her santimetre kareye düşen watt cinsinden ifade edilir (8).

3. ULTRASES DALGALARININ ELDE EDİLMESİ

Ultrasonik frekansları üretmek yine bir titreşim hareketi üretmek ve algılamak da titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek demektir. Ancak bu kez yararlanılan fiziksel olaylar ve araçlar çok farklıdır (9).

Magnetostriktiv olay düşük frekanslarda ultrasonik enerji üretiminde kullanılır. Bazı malzemeler, örneğin nikel, nikel alaşımları, çelik ve ferritler, magnetik etki ile boyut değiştirirler. Üzerinden alternatif akım geçen bir bobinin içine konan nikel çubuğun boyu akım yön değiştirdikçe uzar veya kısalır. Akım yüksek frekansa çıktığında çubuk aynı frekansla titreşir. 20-40 kHz frekanslar ve azalan verimle 100 kHz'e kadar olan frekanslar bu metotla üretilebilir. Magnetostriktiv problemler dış etkenlere dayanıklıdır. Bu nedenle betonun ve kayaların muayenesinde, denizaltı sonar sisteminde ve düşük ultrasonik frekanslar gerektiren diğer uygulama alanlarında örneğin ultrasesle temizleme için magnetostriktiv problemler tercih kullanılırlar. Daha yüksek frekanslar için başka bir ultrasonik üretim metoduna ihtiyaç vardır (10).

3.1. Ultrases Probenin Yapısı

Ultrases probu elektrik enerjisinin ultrases enerjeye dönüştüğü veya bunun tersinin yapıldığı yerdir. Prob ultrases enerjisinin vericisi ve alıcısıdır. Ultrasonik sistemdeki enerji dönüşümü sistemi özetleyecek olursak; önce elektrik enerjisi voltaj ve akım halinde transducer'a uygulanır, transducer'da bu enerji mekanik enerjiye dönüştürülür, transducer tarafından yayılan ses dalgaları bir akustik enerji oluşturur ve son olarak da sıcaklık ve basınç şartlarıyla oluşan kavitezyon baloncuklarının oluşturduğu kavitezyon enerjisi ortama yayılır

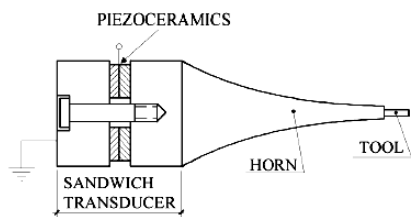
3.2. Piezoelektrik Olay

Elektriksel olarak yüksüz ve yapısal simetri merkezi bulunmayan bir kristale uygulanan basınç, artı yüklerin merkezi ile eksi yüklerin merkezinin birbirlerinden hafifçe ayrılmasına ve kristalin karşılıklı yüzeylerinde zıt yüklerin ortaya çıkmasına neden olur. Yüklerin bu şekilde ayrılması bir elektrik alanı yaratır ve kristalin karşılıklı yüzeyleri arasında ölçülebilir bir potansiyel farkı oluşur. Piezoelektrik etkiyi ifade eden bu sürecin terside geçerlidir. Ters piezoelektrik etkide de, karşılıklı yüzeyleri arasında bir elektrik gerilimi uygulanan bir kristalde boyutsal bir şekil değişimi oluşur ve dik olarak yüksek frekanslı ultrases dalgaları açığa çıkar (11).

Piezoelektrik malzemeler kuvars ve turmalin gibi doğal olarak piezoelektrik etki gösteren kristaller ile kutuplanma sonrasında piezoelektrik etki gösteren ferroelektrik malzemeler olmak üzere başlıca iki malzeme grubundan oluşur. Doğada mevcut birçok kristal piezoelektrik olmasına rağmen kurşun – zirkonyum - titanat gibi sentetik seramik maddeler ultrases teşhisinde en çok kullanılan maddelerdir (5).

3.3. Piezoelektrik Transduser

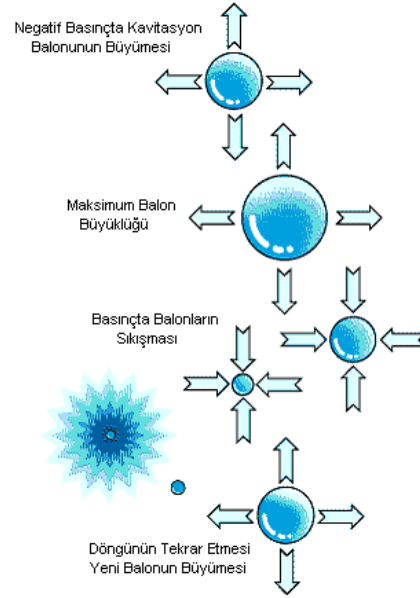
Proben duyarlı elemanıdır. Elektrik enerjisini ultrasonik enerjiye veya tersine olarak ultrasonik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemandır. Prob içinde bir veya iki transduser bulunabilir. Tek transduser varsa bu hem alıcı hem de verici olarak çalışır. Çift transduser varsa birisi verici, öbürü alıcı olarak çalışır. Ultrasonik cihazın çıkışına takılmış olan verici, girişine takılmış olan alıcı rolü oynar, uçlar değiştirilirse rollerde değişir (9).



Şekil 1. Transduser Şekli (13)

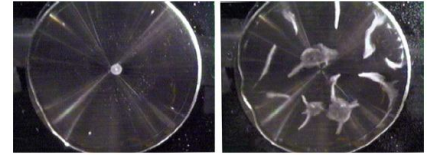
3.4. Ultrases Kavitasyonu

Ultrases dalgaları sıkışıp – seyremler şeklinde maddesel ortamlarda yayılan titreşim enerjisidir. Ultrases dalgalarının bu sıkışıp seyrilme şeklindeki belirgin özelliği ultrasesle temizlemeye neden olan kavitasyon için önemlidir. Kavitasyon kavramı altında bir sıvının içinde boşlukların oluşumu ve bunu takiben de patlaması anlaşılır.



Şekil 2. Kavitasyon Olayının Etkisi (14)

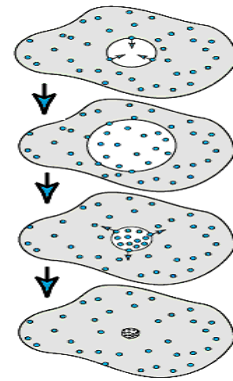
Kavitasyon genellikle sıvılar içinde herhangi bir küçük basınçta oluşur. Kavtasyon olayının oluş sırası şöyledir: Ultrases dalgalarının seyrilme fazında boşluk biçiminde bir kesilme olur. Bu boşluk ise verilen sıvının doymuş buharı ile doludur. Sıkıştırma fazında buhar yoğunlaşır ve boşluk, çeperlerin üst yüzey geriliminin, artan basıncın etkisi ile düşmesi sonucu bozunur. Sıkışma son bulduğunda ortamda hızla buharlaşan etrafı çevrili sıvı içinde, saniyelik şok dalgaları oluşur (12). "Kavitasyon" olarak adlandırılan bu olay sonucunda 1000 atm'nin üzerinde basınç ve büyük bir enerji açığa çıkar. Bu enerji, kabarcıkların bulunduğu bölgeyi ısıtır ve kimyasal reaksiyonlara neden olur. İşte ultrasoniğin temel prensibi de açığa çıkan bu yüksek ısı ve enerjinin kullanılabilirliği üzerinedir.



Şekil 3. Kavitasyon şekilleri (15)

3.4.1. Kavitasyon Çekirdekleri

Hakikaten her sıvı özellikle su, bünyesinde çözülmüş çeşitli maddeler bulundurur. Bunlara sıvılar içinde çözülmüş gazlar da dahildir. Bunlar yerel sağlamlığı azaltan kavitasyon çekirdekleridir. Kavitasyon üzerinde sıvı içindeki çözülmüş gaz içeriğinin yanında sıvı yüzey geriliminin de etkisinin olduğu bilinmektedir.

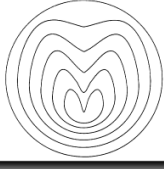


Şekil 4. Çözülmüş Gaz İçeriğinin Etkisi (14)

Sıvı içinde bulunan bir katı cismin sıvı ile olan ara yüzleri kararsız yerlerdir. Böyle bir ortama frekansı kHz mertebesinde (20 kHz -25 kHz) olan ultrases dalgaları gönderildiğinde, sınır yüzeylerde ultrases dalgalarının seyrilme fazında hava kabarcıkları oluşur. Bu kabarcıklar takip eden sıkışma fazında patlar ve sıvı katı ara yüzeyindeki en küçük yabancı tanecikler (yağ, toz, kir) yalnız mekanik kuvvetlerle temizlenir. Bu nedenle bu olaya mikro-fırçalama denilmektedir. Kavtasyon olayının aynı şekilde etkili bir temizlemenin yapılabildiği ince yırtık, çok küçük gözenek, kapillerler ve benzer yerlerde meydana gelebileceğine dikkat edilmelidir.



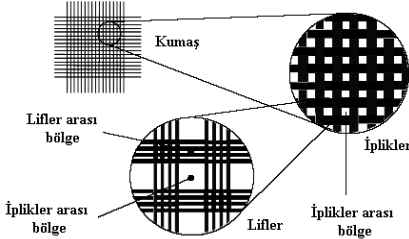
Şekil 5. Kavitasyon Baloncuğunun Oluşumu (16)



Şekil 6. Katı Yüzey Yakınında Oluşan Kaviteasyon Mikrojetleri (17)

3.5. Tekstil İşlemlerinde Kütle Transfer Mekanizması

Tekstil terbiye işlemleri enerji yoğun proseslerdir. Yıkama, boyama, durulama, haşıl sökme, merserizasyon ve ağartma gibi kütle transferini gerektiren yaş işlemlerde iki temel dezavantaj ortaya çıkmaktadır. Bunlar uzun işlem süreleri gerektirmeleri ve düşük kütle transfer hızına sahip olmalarıdır. Yaş tekstil proseslerinde hakim olan kütle transfer mekanizması materyalin iplikler arası (inter - yarn) ve iplik içi (intra - yarn) gözeneklerindeki moleküler ve konvektif difüzyondur. Bu kütle transferinin şiddeti yaş proseslerin verimliliği açısından oldukça önemlidir.

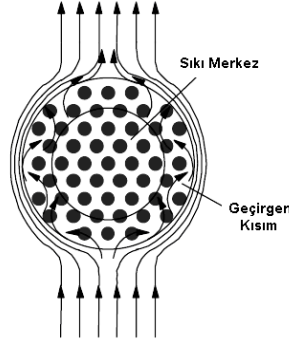


Şekil 7. İplikler Arası (İnter - Yarn) ve İplik İçi (Intra - Yarn) Gözenekler (2)

Tekstil materyali ile bir sıvı etkileşime girdiğinde, sıvının büyük kısmı sıvı için en geçirgen bölge olan inter - yarn (iplikler arası bölge) gözenekler arasında dolaşmaktadır. Bu bölgede dolaşan sıvının küçük bir kısmı ipliklerin içine penetre edilebilir. Penetre edebildikleri bu bölge de sadece ipliğin en dış kısmına yakın bir bölge ile sınırlıdır. İpliğin merkezinde bulunan oldukça sıkı olan bölgelere ise kütle transferi sadece yavaş bir hızla gerçekleşen difüzyon ile mümkündür. Bu durum şekil 8'de de görülmektedir.

Diğer gözenekli materyallerde olduğu gibi tekstil materyallerinde de kütle transferi gözenekler arasındaki difüzyon ve konveksiyon tarafından sağlanmaktadır. Örneğin yıkama işlemini ele alacak olursak; kirin liften uzaklaştırıl-

ması için kütle transfer mekanizması şu adımlardan oluşur:



Şekil 8. İpliğin Sıvıyla Etkileşimini Gösteren Üst Kesit Görünümü (2)

- 1) Sıvının sıkı intra - yarn bölgeden, iletken tabaka üzerinden inter - yarn bölgeye geçmesini gerektiren kütle transferi
- 2) İnter - yarn bölgeden, sıvı ile tekstil yüzeyi arasındaki sınır tabakaya olan kütle transferi
- 3) Sınır tabakadan sıvıya olan kütle (kir) transferi

Konvansiyonel metotlarda bu kütle transferini arttırmak için uygulanan yüksek işlem sıcaklıklarının, istenmeyen etkilere yol açabilmeleri nedeniyle uygulanması her zaman mümkün değildir ve tekstil materyallerinin kompleks geometrileri nedeniyle istenen kütle transfer artışı sağlanamaz.

Bu noktada, hem kimyasalların hem de fiziksel proseslerin verimliliğinin artırılmasında ve yine yaş tekstil proseslerinde kütle transferinin artırılmasında ultrases enerjisi son birkaç yıldır kullanılmaktadır. Ancak henüz ultrases temelinde dayanan bir teknoloji yaygınlaşmamıştır. Bunun temel nedenleri; ultrases destekli proseslerin mekanizması hakkında yeterli bilginin olmaması, ultrases efektlerinin yönlenme hassasiyetleri, transducer yüzeyinin erozyonu ve optimal kaviteasyon koşullarında üniform olmayan enerji yoğunluğudur.

4. SONUÇ

Ağırlaşan rekabet koşulları üreticileri daha ucuza ve daha temiz ürün üretmeye itmektedir. Bu koşullar altında firmaların hayatta kalmaları için gelişen teknolojiyi iyi takip ederek tekstile uyar-

lamaları daha da önem kazanmaktadır. Çevre dostu teknolojilerden biri olan ultrason teknolojisi de bu bağlamda önemlidir. Örneğin kütle transferini gerektiren kir uzaklaştırma, konvansiyonel yöntemlerle yapıldığında oldukça yavaş olmakta ve yüksek bir enerji potansiyeli gerektirmektedir. Bu nedenle yıkama mekanizması ultrasonik ortamda çok daha az enerji ve kimyasal gereksinimi ile daha kısa sürede sağlanabilmektedir. Bu da bu teknolojinin özellikle tekstil sektörü açısından nedenli önemli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Karaboğa, C., Tekstil Terbiyesinde Ultrason Tekniğinin Kullanılabilirliği, İzmir, 2005.
2. Moholkar, V.S. and Nierstrasz, V.A. and WARMOESKERSEN, M.M.C.G. Intensification of Mass Transfer in Wet Textile Process by Power Ultrasound Hollanda 2003.
3. Yachmenev VG, Blanchard EJ and Lambert AH, The enhancement of wettability of greige cotton fabric by combined enzyme/ultrasound treatment, in 221 th. American Chemical Society National Meeting, Cellulose, Paper & Textile Division, San Diego, 2001.
4. Bozbey ,S.Y Turunç,U. ve Büte,G. Büyük Şiddetli Ultrases Dalgalarının Teknolojideki Uygulamaları Diploma Çalışması, İzmir,1996.
5. Bergmann, L., Der Ultraschall, S.Hirzel Verlag, Stuttgart, 1954
6. <http://members.lycos.co.uk/turktoplist/fizik/dalga/dalga/> (Temmuz, 2004)
7. Kalender, O., Kavalcı, Ultrasonografi, Kara Harp Okulu Yayınları Bilim Dergisi, 2001-2.
8. Bayer, O., Karabulut, Y., Ultrasesin Fiziki ve Teknolojideki Uygulamaları, İzmir 2003.
9. Özden, N., Sener, S., İkizer, B., 1979, Ultrasonik Muayene, Ankara
10. Blitz, J., Ultrasonic Methods and Application, Butterworths, London, 1971.
11. http://stu.inonu.edu.tr/~mustundag/piez_o.htm (Ağustos, 2004)
12. Kuttruff, H., S. Hirzel Verlag Stuttgart 1988.
13. Juan A. Gallego-Juárez "Macrosomics: Phenomena, transducers and applications".
14. <http://www.pmsystems.com/contents.html>
15. Alexei Moussatov, Christian Granger, Bertrand Dubus "Ultrasonic cavitation in thin liquid layers"
16. Anrim Lühken, Hans Joachim Bader Energy input from microwaves and ultrasound –examples of new approaches to greenchemistry"
17. Kenneth S. Suslick, "Applications of Ultrasound to Materials Chemistry"