

SIVI GIDALARDA ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜMLER

Hatice GÜZEL

S.Ü. Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü, Konya

Mustafa MERDAN

Süleyman Demirel Üniv. Mim.-Müh. Fak., Isparta

ÖZET

Bu çalışmada 4 MHz'lik transduserle 20°C ve 60°C'de ultrasonik hız, sütlerde, meyve sularında Darbe-Yankı metodu ile ölçüldü. Hızları ile sıcaklıkları arasındaki bağıntı araştırıldı. Sütlerde ve meyve sularında sıcaklık arttıkça ultrasonik hızın düştüğü, suda ise sıcaklık arttıkça yükseldiği gözlemlendi. Ayrıca aynı deney düzeneği ve aynı transduser kullanılarak saf su ve tuzlu suda her 5 °C sıcaklık artışına karşılık gelen ultrasonik hızlar ölçüldü (15–60 °C, 4 MHz). Sıcaklık arttığında ultrasonik hızın da arttığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik, Piezoelektrik, Transduser, Hız, Darbe-Yankı,

ULTRASONIC VELOCITY MEASUREMENTS IN LIQUID FOOD

ABSTRACT

In this work 4 MHz transducer was used to measure the ultrasonic velocity in various samples, including milk, juice at 20°C and 60°C by applying the Puls-Echo method. The relation between the velocity and temperatures is investigated. It is seen that as the heat increases in milk and juice the ultrasonic velocity decreases, whereas in water, as the heat increases the ultrasonic velocity decreases.

Key Words: Ultrasonic, Piezoelectric, Transducer, Velocity, Pulse-Echo.

Furthermore by using the same experiment set and the same transducer ultrasonic velocities were determined against increasing Per 5 °C at temperature in distilled water and water containing salt (15–60 °C, 4 MHz). It is also seen that the more heat increases the more the ultrasonic velocity increases.

1. GİRİŞ

20 kHz'in üzerindeki sesler ultrases olarak adlandırılır. I. Dünya Savaşı sırasında Fransız Fizikçi Langevin'in düşman denizaltılarının hareketlerini kontrol amacıyla ultrases verici alıcı sistemini gerçekleştirmesi sonucunda ultrases teknik alana uygulanmaya başlamıştır (1–2). Bu gün ultrases endüstride elektronikte ve savunma konularında oldukça geniş uygulama alanına sahiptir. Ultrases, yağ karışımlarının pekçok özelliğini araştırmak için de kullanılır.

Bu teknik ile katı yağ bileşenlerinin tanınması, kristal sıkıştırılabilirliklerinin tahmini ve faz geçişleri incelenebilmekte (3–4), sıvı yağların fiziksel özellikleri araştırılmakta ve yağlardaki karışımlarla kalitenin düşmesinin tespiti yapılabilmektedir (5–8).

Ses farklı ortamlarda farklı davranışlar göstererek yayılır. Sıvı karışımlarında ses hızı ses dalgalarının basınç genliğinin, frekansın, dış basıncın, karışımın bileşen konsantrasyonlarının ve sıcaklığın fonksiyonudur. Ultrases uygulamalarında ses hızı, bir veya iki değişkene (sıcaklık, yoğunluk, konsantrasyon) bağlı olarak incelenir (9–11).

Ultrases, ortamda yayılan bir titreşim enerjisi olduğundan ultrases oluşturmak, yüksek frekanslı bir titreşim hareketi üretmek, ultrasesi algılamak da, titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek demektir. Yüksek frekanslı bu titreşimleri meydana getiren ve algılayan elemanlara transdüser adı verilir. Piezoelektrik transdüserler elektrik enerjisini akustik

enerjiye veya akustik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzenlerdir (12–15).

Piezoelektrik transduser üzerinde sabitleştirilmiş analitlerden ileri gelen kütle artışına bağlı olarak, çeşitli hidrokarbonlarla içecekler arasındaki fark %80-%95 arasında doğru olarak bilinebilmektedir (16).

Piezoelektrik olay, sıvı gıdalarda hız ölçümüne yönelik yüksek frekanslı ultrases üretimine uygun olan ve yaygın olarak yararlanılan bir fizik olayıdır. Pellem ve Galt sıvılarıyla çalışarak ve transduseri yansıtıcı karşısında hareket ettirerek (uzaklaştırarak), ses hızını ölçmüşlerdir (17).

2. SIVILARDA ULTRASONİK HIZ BAĞINTISI

Ultrasonik hız ölçümleri ile bir ortamın bazı özellikleri belirlenebilir. Eğer yoğunluk biliniyorsa ultrasonik hızlardan, sıvı maddeler için sıvının hacim esnekliği (Bulk) modülü, akustik empedansı hesaplanabilir.

Sıvılar içinde boyuna dalga ilerliyebildiğinden

$$v_l = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} \quad (1)$$

şeklindedir.

v_l : Boyuna dalga ses hızı

E_v : Sıvının hacim esnekliği modülü

ρ : Yoğunluk

Elastikiyet, sıkışma ve gerilme sonrası ortamın kendi orjinal biçim ve boyutuna geri dönme kabiliyeti olarak tarif edilebilir. Sıvının hacim değişimine karşı gösterdiği direnç, E_v hacim esneklik sabiti ile ölçülür. E_v

hacim esnekliği modülü basınçtaki ΔP değişimin, hacimdeki kesirsel $\frac{-\Delta V}{V}$ değişimine oranıdır.

$$E_v = -\frac{-\Delta P}{\Delta V / V} \quad (2)$$

E_v daima pozitiftir. Çünkü basınçta bir artış (pozitif ΔP) hacimde azalma olarak ortaya çıkar. Böylece $\frac{\Delta P}{\Delta V}$ oranı daima negatiftir.

2 eşitliği limit alınarak

$$E_v = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta V / V} = \frac{\partial P}{\partial \rho / \rho}$$

$$E_v = \rho \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir.

Hacim esnekliği modülünün tersi maddenin sıkışabilme özelliği olarak adlandırılır.

Sıvı ortamlarda yayılan ultrasonik dalgaların özelliklerinden dolayı şiddeti azalır. Dalga kaynağından x kadar uzaktaki bir noktada genlik azalması.

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (4)$$

şeklinde üstel azalmaz. Bu ifadede A_0 başlangıç genliği, x , dalganın katettiği uzaklık ve α ise ortamın absorpsiyon veya soğurma katsayısı adını alır.

α nın ölçülmesi ile ortamın mikroskopik yapısı hakkında bilgi edinilebilir.

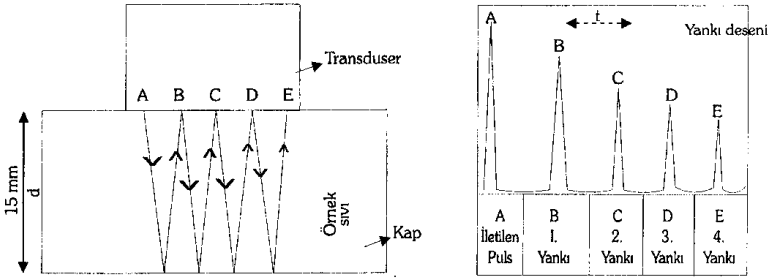
3. DENEYSEL KISIM

3.1. Deneysel Düzenegi

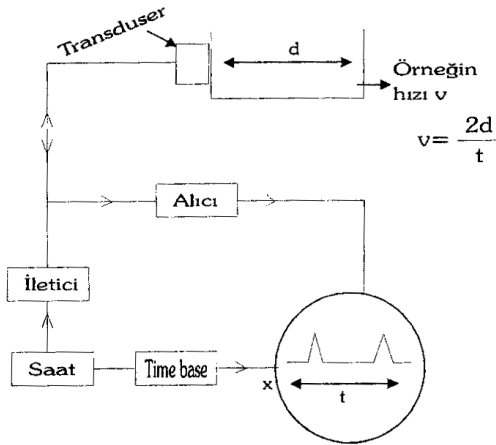
Doğru bir ölçme transduserin ölçme sırasında verici olarak çalışmamasıyla mümkündür. Bu da devamlı olarak titreşim vermektense pulslu (kesikli) titreşim dalgaları kullanmayı gerektirir. Transduser önce verici olarak çalışıp, oluşan sinyal yansıtıp geri döndüğü zaman aynı transduser alıcı olarak görev yapar. Kısaca burada bir piezoelektrik transduserden hem alıcı hem de verici olarak yararlanılabilir. Çok kısa elektrik pulslarının transduserine uygulanmasıyla üretilen ultrasonik dalga, bir kuplaj ortamı vasıtasıyla hız ölçülecek ortama gönderilir. Dalga malzeme içinde ilerlerken aynı transduser alıcı olarak çalışmaya başlar. Arka cidarda yansıyan ultrasonik dalga transduserine ulaştığında mekanik titreşimler elektrik pulslarına dönüştürülür. Ancak, burada, ultrasonik enerjinin çok az bir kısmı elektrik enerjisine dönüşür. Kalan kısmı transduser ile malzeme parçası arakesitinden yansıtılarak ve tekrar aynı yolu katederek ikinci arka cidar yankısı (eko) olarak transduserine ulaşır. Bu şekilde ultrasonik dalgaların azalan genlikle malzeme içinde yansımalarıyla Şekil 3.1'deki gibi katod ışınları ekranında bir dizi ardışık arka cidar yankısı elde edilir. Yankılar arasındaki geçen zaman aralığı katod ışınları ekranında ölçülebilir. Örnek malzeme içinde yayılma mesafesinden ardışık yansıtılan pulslar arasındaki geçiş zamanının ölçümüyle ultrasonik dalganın yayılma hızı bulunabilir.

Meyve suları ve sütlerde 20°C ve 60°C’de ultrasonik hız ölçümleri ile saf su ve tuzlu suda her 5°C sıcaklık artışına karşılık gelen ultrasonik hız ölçümleri piezoelektrik transduser kullanılarak yapıldı.

Transduser olarak 4MHz’lik PZT-5 piezoelektrik kristal kullanıldı. Sıvı içinde ilerleyen darbe ve yankı deseni Şekil 3.1.’deki gibidir. Krautkramer USM 2MT ultrasonik hata dedektörü ile Şekil 3.2.’deki düzenek hazırlanıp darbe-yankı metodu ile ultrasonik hızlar ölçüldü. Kab içine sıvı gıdalar 15 mm yüksekliğinde konuldu.



Şekil 3.1. Örnek sıvı boyunca ilerleyen puls ve yankı deseni.

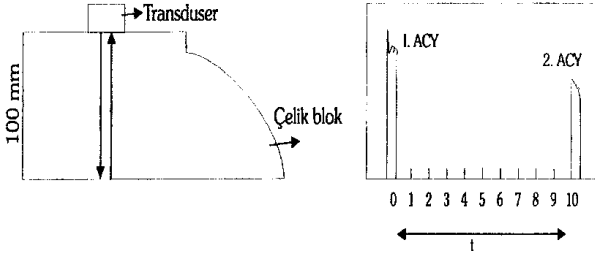


Şekil 3.2. Darbe-Yankı metodu ile ultrasonik hızın ölçüldüğü deney şeması.

Transduser hem verici hem de alıcı olarak çalışır.

3.2. Ultrasonik Aletin Kalibrasyonu

4MHz'lik transduser, ultrasonik alet, temas sıvısı ve çelik blokla kalibrasyon şu şekilde yapıldı. Transduser 100 mm'lik kalınlıktaki çelik blokuna temas ettirilerek yankılar elde edildi. Gecikme ve mesafe-ayar düğmeleri ile başlangıç yankısı (BY) ekranın sol köşesine, 1. arka cidar yankısı da 10 skala taksimatına konumlandı. Gecikme düğmesi yardımıyla ekranı sola kaydırarak 1. arka cidar yankısı 0. skala taksimatına, 2. arka cidar yankısı 10. skala taksimatına getirildi. Böylece ultrasonik alet 50 mm'lik test alanına kalibre edilmiş oldu (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Çelik test bloku ve arka cidar yankıları

Ultrasonik alet kalibre edildikten sonra ekran Şekil 3.3'deki gibi zaman eksenine haline çevrildi. Çelik bloktaki ultrasonik hız $v_B=5940$ m/s

Ses yolu $S=2 \cdot 2 \cdot 100=400$ mm

2. arka cidar yankısı (ACY) alındığından 2 ile çarpıldı (ikinci yansıma, ikinci gidiş-geliş için).

$$\text{Zaman } t = \frac{S}{v_B} = \frac{400}{5,94 \text{ mm}/\mu\text{s}} = 67,34 \mu\text{s}$$

$$1 \text{ küçük skala taksimatı, (Bölme)} = \frac{67,34 \mu\text{s}}{50} = 1,35 / \mu\text{s}$$

ultrasonik hız ölçümü için kullanılan bağıntı

$$v = \frac{2d}{t} \quad (5)$$

dir. Burada $t = \text{Skala taksimat sayısı} \times 1,35/\mu\text{s}$ şeklinde yazılır.

3.3. Sütler, Meyve Suları ve Su İçinde Ultrasonik Hızlar

3.3.1. 20°C'de Ultrasonik hız ölçümleri

Kab içine 20°C'de 15 mm. yüksekliğinde değişik sıvılar konularak ultrasonik hızlar ölçüldü (Çizelge 3.1.).

Örneğin su için, I. yankının okunduğu taksimat 15,06 idi. Eşitlik (5)'e göre,

$$v = \frac{2d}{t} = \frac{2 \cdot 15}{15,06 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = \frac{30000}{15,06 \cdot 1,35} = 1475,58 \text{ ms}^{-1}$$

Benzer tarzda hesaplar yapılarak sonuçlar Çizelge 3.1.'de gösterildi.

Çizelge 3.1. 20°C ve 4MHz'de
Ölçülen Ultrasonik Hızlar

	Hız ms^{-1}
Saf su	1475,58
Pastörize süt	1494,96
Çilek aromalı süt	1494,97
Kakaolu süt	1536,21
Çikolatalı süt	1546,88
Ayran	1487,08
Portakal meyve suyu	1505,07
Kayısı meyve suyu	1501,01
Vişne meyve suyu	1503,04

3.3.2. 60°C'de ultrasonik hız ölçümleri

Ultrasonik hızın sıcaklıkla değişip değişmediğini araştırmak için aynı sıvı gıdalar, aynı deney düzeneği ve aynı transduser kullanıldı. Ultrasonik hızlar 60 °C'de ölçülde (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. 60°C ve 4MHz'de
Ölçülen Ultrasonik Hız

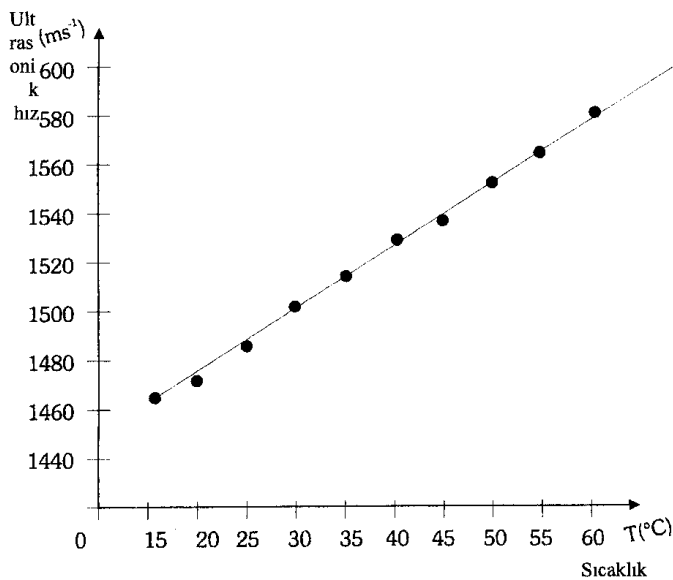
	Hız ms ⁻¹
Saf su	1572,60
Pastörize süt	1441,32
Çilek aromalı süt	1441,36
Kakaolu süt	1445,18
Çikolatalı süt	1450,87
Ayran	1386,12
Portakal meyve suyu	1452,00
Kayısı meyve suyu	1448,20
Vişne meyve suyu	1449,30

3.4. Saf Su ve Tuzlu Suda Ultrasonik Hız Ölçümleri

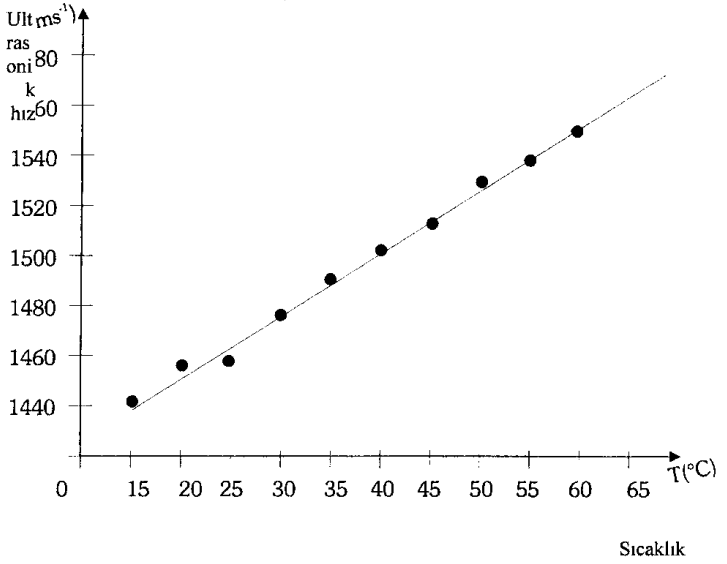
Saf su ve %20'lik tuzlu su içinde ultrasonik hız, 5°C lık sıcaklık artışları ile 15°C-60°C değerleri arasında ölçüldü (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Saf Su ve Tuzlu Suda Ultrasonik Hızlar

Sıcaklık °C	Saf Su ms^{-1}	Tuzlu Su %20 ms^{-1}
15	1467,30	1444,00
20	1475,58	1458,00
25	1486,41	1458,60
30	1502,70	1478,90
35	1516,60	1490,10
40	1528,00	1501,80
45	1535,12	1514,90
50	1551,30	1530,20
55	1563,60	1539,40
60	1580,00	1551,70



Şekil 3.4. Saf su

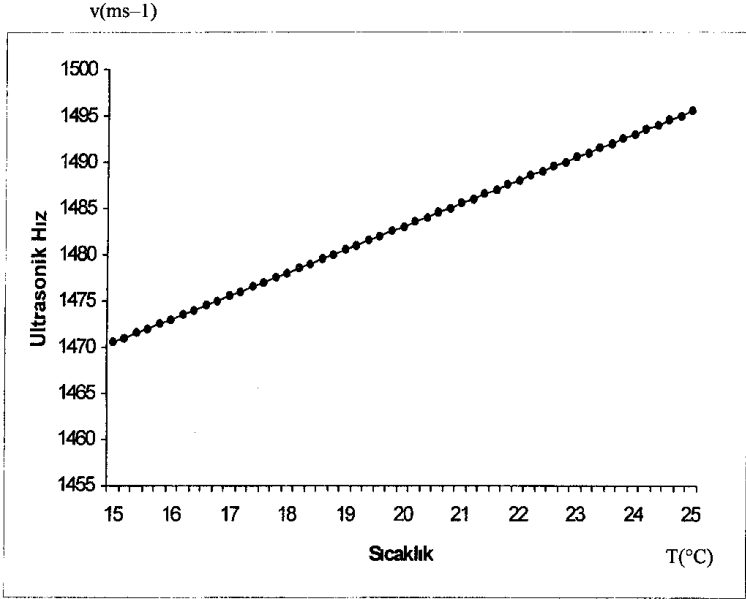


Şekil 3.5. Tuzlu su

Çizelge 3.4. Sudaki Ultrasonik Hızın Sıcaklıkla Değişimi (18).

Sıcaklık °C	Hız ms ⁻¹	Sıcaklık °C	Hız ms ⁻¹
15,0	1470,6	20,2	1483,6
15,2	1471,1	20,4	1484,1
15,4	1471,6	20,6	1484,6
15,6	1472,1	20,8	1485,1
15,8	1472,6	21	1485,6
16,0	1473,1	21,2	1486,1
16,2	1473,6	21,4	1486,6
16,4	1474,1	21,6	1487,1
16,6	1474,6	21,8	1487,6
16,8	1475,1	22,0	1488,1
17,0	1475,6	22,2	1488,6
17,2	1476,1	22,4	1489,1
17,4	1476,6	22,6	1489,6
17,6	1477,1	22,8	1490,1
17,8	1477,6	23,0	1490,6
18,0	1478,1	23,2	1491,1
18,2	1478,6	23,4	1491,6
18,4	1479,1	23,6	1492,1
18,6	1479,6	23,8	1492,6
18,8	1480,1	24,0	1493,1
19,0	1480,6	24,2	1493,6
19,2	1481,1	24,4	1494,1
19,4	1481,6	24,6	1494,6
19,6	1482,1	24,8	1495,1
19,8	1482,6	25,0	1495,6
20,0	1483,1		

Su için Çizelgeden sıcaklık katsayısının $\frac{\Delta V}{\Delta T} = +2,5 \text{ m/s } ^\circ\text{C}$ olduğu görülür.



Şekil 3.6. Sudaki Ultrasonik Hızın Sıcaklıkla Değişimi.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sesin maddeler içerisinde yayılımı maddenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Sıvı gıdalarda ultrasonik hız ölçümleri 20°C ve 60°C'de yapıldı. Çizelge 3.1. ve 3.2.'deki verilerden sıcaklık arttıkça su hariç diğer sıvı gıdalarda ultrasonik hızın sıcaklıkla düştüğü, suda ise, sıcaklık arttıkça yükseldiği gözlemlendi.

Genellikle sıvıların sıcaklığı yükseltirse hacimleri artar, yoğunlukları düşer fakat su bu kuralın dışındadır. Suda +4 °C'den sonra sıcaklık arttıkça hacmi artar. Ancak +4 °C'nin altındaki sıcaklıklarda da hacmi artar ve yoğunluk düşer. +4 °C'de su en yoğundur. Bu özellik maddelerde su, bizmut ve demire has bir özelliktir. Bu nedenle suda ölçülen ultrasonik hızda bir terslik gözlemlendi.

Bu çalışmada 20°C saf suda ultrasonik hız 1475,58 ms⁻¹ olarak ölçüldü. Kroebel ve Mahr'ın çalışmasında 20°C'de saf su içinde ultrasonik hız 1482,28 ms⁻¹ olarak verilmektedir (19).

Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi pastörize süt, çilek aromalı süt ve kakaolu süt içindeki ultrasonik hız farklı değerlerdedir. Deneyde aynı firmanın ürettiği sütler ve aynı transduser kullanıldı. Sütlerin içine konulan aromanın ultrasonik hızı az da olsa yükselttiği deney sonuçlarından görülebilir.

Çikolatalı süt başka bir firmanın ürettiği süt idi. Bu süttün içine kakaolu süttten farklı olarak karragenan E 407 maddesi ilave edilmiştir. Kakaolu süt için ultrasonik hız 1536,21 ms⁻¹ iken çikolatalı süt içinde 1546,88 ms⁻¹ bulundu. Katkı maddesinin ultrasonik hızı çok az yükselttiği tesbit edildi.

Yine Çizelge 3.1. verilerine göre portakal, kayısı ve vişne meyve suları içinde ölçülen ultrasonik hızlar az da olsa birbirinden farklı görülmektedir. Meyve sularında ultrasonik hızın farklı çıkması, ultrasonik hızın meyve sularının kimyasal içeriklerine de bağlı olduğunu göstermektedir.

Saf su ve tuzlu suda sıcaklık artırılarak ultrasonik hızlar ölçüldü (Çizelge 3.3). Her 5°C'lik sıcaklık değerine saf suda yaklaşık 12,45 ms⁻¹, tuzlu suda 10,74 ms⁻¹'lik hız değişiminin karşılık geldiği, sıcaklık arttığında

ultrasonik hızın da arttığı gözlemlendi. 1992 yılında yayınlanan ASTM standardında yer alan ve Çizelge 3.4.'de verilen sonuçlar incelendiğinde, her 5°C sıcaklık artışına 12,5 ms⁻¹'lik hız değişiminin karşılık geldiği görülür.

ASTM'de yapılan ölçümler biraz daha hassas (0,2°C artışlara karşılık) yapılmıştır. Bu çalışmada bulunan sonuçların Çizelge 3.4.deki verilerle uyum içinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3. verilerine bakarak belirli sıcaklık artışlarına belirli ultrasonik hız değişiminin karşılık geldiğini söylemiştik. Buna göre sanayi ve teknolojik uygulama alanlarında, bilimsel araştırmalarda, termometrenin yerini alabilecek yeni bir sıcaklık ölçme yöntemi kullanılabileceği düşünülebilir. Böylece ultrases tekniği ile sıcaklık değişimlerini daha hassas ve farklı bir yöntemle belirlemek yolu geliştirilebilir.

Tuzlu suyun yoğunluğu suyun yoğunluğundan büyüktür. (%20'lik tuzlu suyun yoğunluğu 1,14, suyun yoğunluğu 1,01 g cm⁻³) Çizelge 3.3.'de tuzlu suda ölçülen ultrasonik hız değişimlerinin saf suda ölçülen ultrasonik hızlardan küçük olduğu görülmektedir. Ultrasonik hızın sıvı maddelerin yoğunluğuna bağlı olduğu deney sonuçlarına dayanarak da söylenebilir.

Bu çalışmada yapılan deneylerden elde edilen verilere göre ultrasonik hızın sıcaklıkla değişiminin [$v=f(T)$ fonksiyonunun] su ve elektrolit (tuzlu su) içinde pozitif eğimli diğer sıvılarda negatif eğimli olduğu sonucuna varıldı.

Yine Çizelge 3.1. ve 3.2.'de yoğunlukları farklı sıvılarda ultrasesin enerji kaybına uğrayarak farklı hızlarda yayılmasıyla ilgili olarak verilen değerler kullanılarak herhangi bir sıvı maddenin yoğunluğunun bulunabileceği de söylenebilir.

Deneylelerde ultrases kayıpları (soğurulma) söz konusudur. Böyle bir soğurulma maddenin cinsine ve dolayısıyla kimyasal yapısındaki farklılığa göre değişebilmektedir. Ultrases kayıpları ve sıcaklık değişimlerinin kontrol zorluğu, sıcaklık nedeniyle hacimsel genleşmeler gibi olumsuzluklar nedeniyle %7'lük bir hata ortaya çıkabilmektedir.

Deneyde sonucu etkileyebilecek sıcaklık, ışık, nem, hava akımı, uzaklık gibi değişkenler mümkün olduğunca sabit tutulmuş ve böylece daha doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.

Her maddede aynı sabit frekansta ses dalgası üreten aynı transduserin kullanılması sonucu açısından objektiflik sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- [1.] J. Blitz, Ultrasonics Methods and Applications, Butterworths Ltd., London (1971).
- [2.] J. and H. Krautkramer, Ultrasonic Testing of Materials, Sec. Ed., Springer-Verlag, Inc., New York (1977).
- [3.] A.B.B.H. Hussin, and M.J.W. Povey, A Study of Dilatation and Acoustic Propagation in Solidifying Fats and Oils. Am. Oil. Chem. Soc. 61-560 (1984).
- [4.] C.A. Miles, G.A.J. Fursey and R.C.D. Jones, Ultrasonic Estimation of Solid-Liquid Ratios in Fats, Oils and Edipose Tissue. J. Sci. Food Agric. 36-215 (1985).

- [5.] N.O.N. Sonntag, In Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol.1 Edited by Daniel Swern John Wiley and Sons Inc. New York p. 412 (1979).
- [6.] H.L. Kuo, Variation of Ultrasonic Velocity and Absorption with Temperature and in High Viscosity Vegetable Oils, Jap, J. App. Phys. 10. 167 (1979).
- [7.] T.J. Weiss, Food Oils and Their Uses 2nd Edn, Ellis Horwood Ltd. Chichester, 35-63 (1983).
- [8.] A. Komatsu, Apparatus for Improving the Quality of Liquid Foods. European Patent Application Ep. 0 477583A (1992).
- [9.] S.D. Dymling, H.V. Persson, T.G. Hertz, and K.A. Lindstrom, E New Ultrasonic Method for Fluid Property Measurements. Ultrasound in Medicine, Biology, 17. 497-500 (1991).
- [10.] K. Imano, D. Okuyama, N. Chubach, Technique of Measuring Sound Velocity in Liquid and Solid Materials Electronics Letters. Vol. 27, Iss 17, 1562-1564 (1991).
- [11.] F. Eggers, Ultrasonic Velocity and Attenuation Measurements in Liquids with Resonators, Extending the MHz Frequency Range. Acustica 76:231 (1992).
- [12.] M. Donnel, L.J. Busse, and J.G. Miller, Piezoelectric Transducers, Methods of Experimental Phys., Vol 19. 29-65, 85-107. Academic press, New York (1981).
- [13.] R.S. Medlock, Sensors for Mechanic Properties. J. Phys. E; Sci. Instrum Vol 16. 964-972 (1983).

- [14.] M.G. Silk, Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing. Adam Hilger Ltd. Bristol (1984).
- [15.] S. Tuncel, Ultrasonik Muayene Transduserleri Proje Sonuç Raporu. Gebze M.B. EAE Mal (1987).
- [16.] D.W. Michael, D.A. Buttry, In Situ. Interfacial Mass Dedection with Piezoelectric Transducers. J. Science. Vol. 249. N-4972.. 1000-7 (1990).
- [17.] J.R. Pellam, and J.K. Galt, Velocity of Sound. J. Chem. Phys. 14. 608 (1946).
- [18.] ASTM Standarts, Standart Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials. E. 494-92 Annual Book of ASTM. Standart Vol. 04-02. 187 (1992).
- [19.] W. Kroebel, K.H. Mahr, Recent Results of Absolute Sound Velocity Measurements in Pure Water and Sea Water at Atmospheric Pressure, Acustica 35, 154-164 (1976).