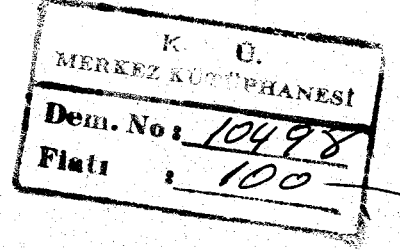


KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANA BİLİM DALI
FİZİK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :
Ana Bilim Dalı :
Program :



ÇEKME İLE YÖNLENDİRİLMİŞ POLİVİNİLKORÜR'ÜN ELASTİK
SABİTLERİNİN ULTRASONİK YÖNTEMLE ÖLÇÜLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan SARİMEHMETOĞLU

Yönetici : Yrd.Doç.Dr. Taner OSKAY

Trabzon, 1985

ÖNSÖZ

Karadeniz Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nün olanakları ile gerçekleştirilen bu çalışmada, önemli bir polimer olan Polivinilklorür (PVC)'ün elastik sertlik sabitleri, polimerlerin fizik yapılarını incelemede çeşitli fiziksel yöntemlerden biri olan "ultrasonik" yöntemle incelenmiştir.

Burada, özellikle bu çalışmayı veren Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Taner OSKAY'a teşekkür ederim.

Çalışmanın tüm kuramsal ve deneysel sorunlarının çözümünde büyük yardımlarını gördüğüm Sayın Arş.Gör. Yüksel GÜNEY'e ve kaynak konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Uzman Atilla AKAY'a, ayrıca bu çalışmayı daktilo eden Sayın Temel TOSUN'a, Şekil ve Grafikleri çizen Sayın Asude HALİLBEYOĞLU'na teşekkür ederim.

Orhan Sarımeahmetođlu

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

ÖZET

I. BÖLÜM

POLİMERLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	1
1.1 POLİMERLERİN FİZİK YAPILARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	1

II. BÖLÜM

GENEL KURAMSAL BAĞINTILAR	4
2.1 KATILARIN ELASTİK ÖZELLİKLERİ	4
2.2 ÇEKME KUVVETLERİ VE ZORLAMALAR	6

III. BÖLÜM

3.1 AKUSTİK ALAN VE DALGA DENKLEMLERİ	10
---------------------------------------	----

IV. BÖLÜM

4.1 POLİMERLERİN ÇEKME İLE YÖNLENDİRME İŞLEMİ VE ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI	15
4.2 FIRIN SICAKLIĞININ KONTROLÜ	17
4.3 KULLANILAN ULTRASONİK ÖLÇME TEKNİĞİ	18
4.3.1 Deney Düzeneği	18
4.3.2 Ölçme Tekniği	19

V. BÖLÜM

ELASTİK SERTLİK SABİTLERİNİN KURAMSAL HESABI	23
5.1 HEKZAGONAL SİMETRİYE SAHİP BİR ORTAMDA DISPERSİYON BAĞINTISI	23
5.2 ÖLÇÜM SONUÇLARI	31
5.3 ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ELASTİK SABİTLERİNİN HESAPLANMASI	51

SONUÇLAR	55
----------	----

KAYNAKLAR	58
-----------	----

ÖZET

Bu çalışma, çekilerek yönlendirilmiş polivinilklorür (PVC) ün elastik sertlik sabitlerinin "ultrasonik" yöntemle ölçümünü içerir.

Biri Avrupa diğeri yerli olmak üzere iki ayrı yoğunluk ve kalitedeki örnek maddeler 80°C sıcaklıkta çekilerek uzatıldılar. Çekme oranları, yerli örnek maddeler için; 1.20, 1.26, 1.33, 1.37 Avrupa örnek maddeler için; 1.21, 1.30 ve 1.41 değerindedirler.

İçinde ultrasonik alıcı ve verici bulunan bir sıvı kabına batırılan bir örnek madde ve ultrasonik dalgaların bu örnek maddeden 0° ve farklı açılardaki geçiş süresinin ölçümünden oluşan teknikte örnek madde içinde 2MHz frekansla yayılan iki tip (enine ve boyuna) dalganın ölçülen hızlarından elastik sertlik sabitleri hesaplanmıştır.

Ultrasonik dalgaların yayılma hızlarının çekme doğrultusuna dik düzlemde pek fazla değişmediği, dolayısıyla bu düzlemde izotropik yapının korunduğu, öte yandan çekme doğrultusuna paralel düzlemde ise izotropinin korunmadığı, hızlardaki farklılıklar sonucu gözlenmiş ve deneysel sonuçların kuramsal sonuçlarla Avrupa örnek maddelerde yerli örnek maddelere göre daha iyi bir şekilde uyduğu gözlenmiştir.

I. BÖLÜM

POLİMERLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

1.1. POLİMERLERİN FİZİK YAPILARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Polimer molekülleri büyük moleküllerdir ve bunları oluşturmak için birbirleri ile kimyasal bağlarla bağlanan küçük moleküllere ise monomer adı verilir.

Kovalent bir yapı gösteren polimerlerin makromoleküllerden oluştuğu fikri ilk olarak 1920 yılında Staudinger tarafından ileri sürülmüştür.

Doğal polimerik maddeler; yiyeceklerin, giyeceklerin, yapı ve taşıt malzemelerinin temel ögesidir. İnsanın günlük gereksinimleri yada uygarlık düzeyi içinde yararlandığı çoğu maddeler doğal organik ürünlerden sağlanır. Bu tür maddelerin temeli olan doğal organik polimerler canlı evrenin ürünleri olup, yapıları son derece karmaşık moleküllerden oluşurlar. Moleküllerinin büyük ve karmaşık oluşu bu maddelerin değişik ve üstün özellikler göstermesine yol açar.

Bazı polimerler kristallendirilebilir, bazıları ise amorfurlar. Amorf polimerler çoğunlukla rastgele oluşmuş molekül yumakları şeklinde gözönüne alınır. Polimerler katı, sıvı ve çözelti hallerinde kullanılırlar. Polimerlerin çoğu; bir kristal katı ile viskozitesi çok yüksek sıvı halinin amorf karışımlarından oluşur. Polimer kristalinde yerel yapı oldukça basittir. Amorf polimerler çekilirlerse, moleküller çekme doğrultusu boyunca yönlendirilir. Bu yönlendirme optik yöntemlerle gözlenebilir. Çekilmiş yapıya yönlendirilmiş amorf yapı denir.

Bir polimerde kristalografik yapı yüzdesi ve kristallenme türü, deneysel olarak x ışınları, elektron difraksiyonu ve nükleer magnetik rezonans spektroskopisi gibi fiziksel yöntemlerle belirlenebilir.

Polimerlerin kristallenme eğilimleri pratik uygulamalar için büyük önem taşır. Çünkü kristallenme derecesi polimerin, termal, mekanik ve diğer özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bir polimerin kristallenme derecesi, moleküldeki yapı birimlerinin kristal düzeyine kolayca girebilmesine ve polimer zincirleri arasındaki çekim

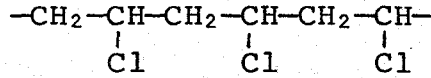
kuvvetlerine bağlıdır. Moleküller arasındaki önemli çekim kuvvetleri polimer zincirlerinin kristalleşmesini kolaylaştırır.

Polimerler yeterince yüksek sıcaklıklarda amorf kauçuksu bir eriyiktir. Yeterince düşük sıcaklıklarda ise aynı polimer sert bir katıdır. Bir polimer soğutulduğu zaman birbirinden tamamen ayrı iki şekilde katılaşabilir. Bunlardan biri "kristallenme" diğeri ise "camsılaşma"dır. Bazı polimerlerde kristallenme önemli olduğu halde, bazılarında camsılaşma önemlidir.

Endüstride ve çağdaş insanın yaşamında önemli bir yeri olan polimer maddeler çok değişik yapılar ve özellikler gösterirler. Bazı polimerler elektriksel yalıtkanlık özelliği gösterirler ve bu polimerler elektriksel yalıtkan, dielektrik kapasitör ve mikrodalga aygıtlarının parçalarında kullanılırlar. Bazı polimerlerin üstün optik özellikleri önem taşır. Bu polimerlerden uçak camları, güvenlik camlarının iç katmanları yapılır, bazı polimerler ise operasyonla insan vücudunun çalışmayan organlarının yerine konur.

Polimerik maddeler ısı yalıtkanı olarak da geniş ölçüde kullanılırlar, bu durumda termal özellikleride önem kazanır⁽²⁾.

Bu çalışmada incelenmeğe çalışılan PVC (polivinilklorür) kimyasal formülü



şeklinde olan önemli bir polimerdir. Suda çözünmez, kolay yanar. PVC; seyreltiklere, asitlere, eriyiklere, mineral yağlara ve bitkisel yağlara, alkole, hidrokarbonlara ve ozon'a karşı dayanıklıdır. Sağlam, aşınma direnci çok yüksek olan PVC bir termoplastiktir. 40°C 'ye kadar sıcaklıkların madde üzerindeki etkisi çok küçüktür. Bu sınırın üzerinde dayanıklılık düşer, küçük mekanik zorlamalar 60°C sıcaklığa kadar etkisizdir. Katı PVC alçak sıcaklıklarda (-30°C ve daha aşağı) kullanılabilir. Kuvvetli ve ani zorlamalara dayanır. Bugün 90°C 'ye kadar yüksek sıcaklıklara dayanıklı PVC çeşitleri vardır. 130°C den 140°C 'ye kadar sıcaklıklarda katı PVC levhalar, herhangi bir şekilde şekil değiştirebilirler. 180°C 'nin üzerinde ise kaynak yapılması mümkündür. PVC, kristalite oranı çok düşük olan amorf bir polimerdir⁽⁶⁾.

Polimer maddelerin en önemli yanları, bu maddelerin doğal ürünler yerine materyal olarak kullanılmasına olanak sağlayan mekanik özellikleridir. Bir polimerin mekaniksel davranışları ise zorlama-zorlanma özellikleri ile incelenir. Böyle bir uygulamada yönlendirilmiş yani anizotropik yapıda polimerler kullanılmaktadır. Anizotropik elastik maddelerin mekanik özellikleri, küçük gerilmeler için genelleştirilmiş Hooke Yasası ile tanımlanabileceğinden, bu çalışmada da bir polimer olan PVC (polivinilklorür) çekme ile yönlendirilerek mekanik özellikleri (elastik sertlik sabitleri) araştırıldı.

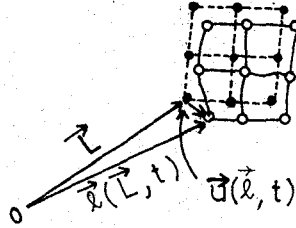
II. BÖLÜM

GENEL KURAMSAL BAĞINTILAR

2.1. KATILARIN ELASTİK ÖZELLİKLERİ

Tüm maddeler kendi konumları etrafında titreşim hareketine zorlanabilen atomların bileşimidirler. Bir maddede, parçacıklar kendi denge konumlarından saptırıldıkları takdirde içgeriçağırıcı kuvvetler doğar. Bunlar parçacıklar arasındaki titreşim hareketini oluştururlar. Bu titreşimlerin matematiksel tanımını formüle etmek için, ilk olarak parçacığın yerdeğişimini, maddenin şekildeğişimini ve içgeriçağırıcı kuvvetlerin nicel tanımlarını vermek gerekir.

Şekildeğişmiş bir ortamda madde parçacıklarının yerdeğişimleri Şekil-2.1 deki gibi gösterilebilir.



Şekil-2.1: Bir katı cismin şekildeğişimi ve denge konumunda parçacıkların hareketi. İçi boş daireler şekildeğişmiş durumu gösteriyor.

Herbir parçacık denge durumunda \vec{L} konum vektörü ile, bir yerdeğiştirme durumunda $\vec{\ell}(\vec{L}, t)$ konum vektörü ile belirtilmiştir. Konum vektörleri doğal olarak bir O merkezinden itibaren dikkate alınır.

Denge konumu için \vec{L} de yerleştirilen parçacığın yerdeğişimi Şekil-2.1 den

$$\vec{u}(\vec{L}, t) = \vec{\ell}(\vec{L}, t) - \vec{L} \quad (2.1)$$

olarak bulunur. Zorlanma ile yerdeğiştirme arasındaki bağıntı lineer durumda

$$S_{ij}(\vec{L}, t) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i(\vec{L}, t)}{\partial L_j} + \frac{\partial U_j(\vec{L}, t)}{\partial L_i} \right) \quad i, j = x, y, z \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir. Lineerleştirilmiş bir teoride konum vektörleri $\vec{\ell}$ ve \vec{L} arasında bir ayrıma gerek yoktur. Böylece dik koordinat sisteminde

$$\vec{L} \cong \vec{\ell} = \hat{x}x + \hat{y}y + \hat{z}z = \vec{r}$$

olarak alınabilir. Dolayısıyla lineerleştirilmiş zorlanma-yerdeğiştirme bağıntısı dik koordinat sisteminde,

$$S_{ij}(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial r_j} + \frac{\partial U_j}{\partial r_i} \right) \quad i, j = x, y, z \quad (2.3)$$

eşitliği ile verilir.

Zorlanma-yerdeğiştirme ilişkisinin dik koordinatlardaki gösterimi

$$S_I = \nabla_{Ij} U_j \quad (2.4)$$

şeklindedir. Simetrik gradient operatörü ∇_s 'nin dik koordinatlardaki matris gösterimi ise

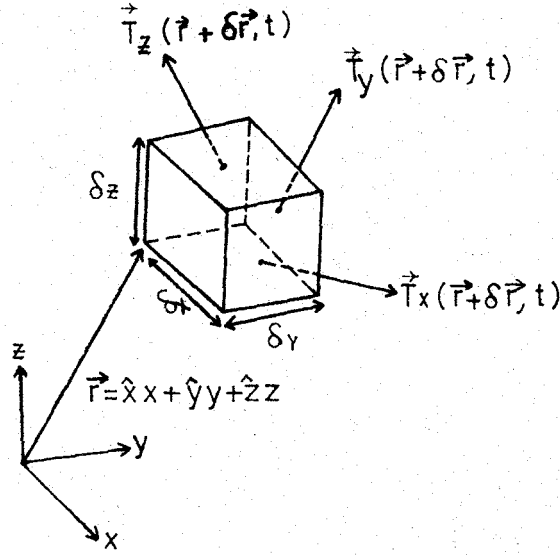
$$\nabla_s \rightarrow [\nabla_{Ij}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

olarak verilir.

2.2. ÇEKME KUVVETLERİ VE ZORLAMALAR

Bir cisimde akustik titreşimler meydana getirmenin değişik bir yöntemi de, cismin sınırlarına yüzey kuvvetleri uygulanmasıdır. Sınıra uygulanan bu çekme kuvvetleri bir hacimden çok yüzey üzerine etkirler ve $Nt. m^{-2}$ boyutundadırlar.

Titreşen bir ortamdaki zorlamalar, dik koordinatlarda hacim elemanı olan bir parçacığın alınmasıyla (Şekil-2.2) tanımlanabilir.



Şekil-2.2: Bir elemanter parçacığa etkiyen çekme kuvvetleri \vec{T}_x , \vec{T}_y ve \vec{T}_z yüzey birimi başına kuvvettirler.

Şekil-2.2 de görüldüğü gibi, her yüzey komşu eleman tarafından uygulanan kuvvetin etkisi altında kalır. Bu kuvvetleri tayin edebilmek için parçacığın her yüzünde üç kuvvet bileşeni gereklidir. +x yönüne yönelmiş yüzey elemanı üzerine etkiyen çekme kuvveti aşağıdaki gibidir:

$$\vec{T}_x = \hat{x}T_{xx} + \hat{y}T_{yx} + \hat{z}T_{zx} \quad (2.6)$$

Benzer şekilde +y ve +z yönünde yönelmiş yüzey elemanları yönündeki çekme kuvvetleri

$$\vec{T}_Y = \hat{x}T_{xy} + \hat{y}T_{yy} + \hat{z}T_{zy} \quad (2.7)$$

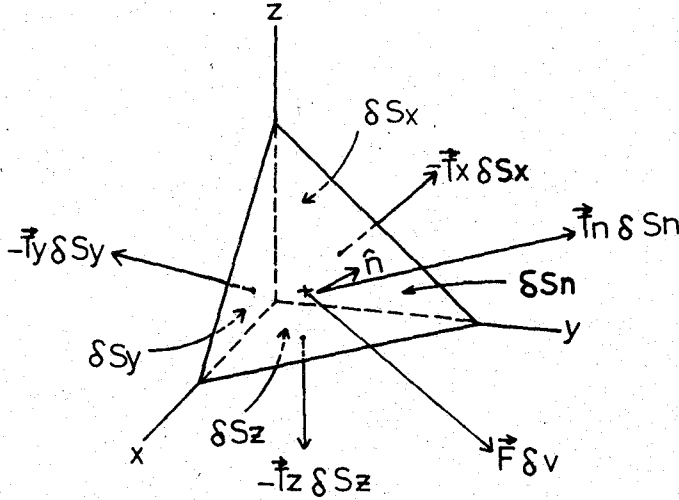
$$\vec{T}_Z = \hat{x}T_{xz} + \hat{y}T_{yz} + \hat{z}T_{zz} \quad (2.8)$$

şeklindedir. Bu \vec{T}_x, \vec{T}_y ve \vec{T}_z kuvvetlerinin T_{ij} ($i, j=x, y, z$) bileşenleri zorlama bileşenleri olarak adlandırılırlar. Bunlar bir titreşim ortamında daima uzay konumunun bir fonksiyonudurlar. Bu nedenle (Şekil-2.2)'de

$$\vec{r} = \hat{x}x + \hat{y}y + \hat{z}z$$

noktasındaki zorlama alanı $\delta_x, \delta_y, \delta_z = 0$ limitleri alınarak tanımlanır. Bu tanıma göre $T_{ij}(\vec{r}, t)$, \vec{r} konumunda sonsuz küçük bir hacim elemanının $+j$ yüzeyi üzerine etki eden kuvvetin i . bileşenidir.

Şekildeğiştirmiş ortamlardaki zorlamalar; koordinat düzlemlerine dik yüzeyler üzerine etki eden kuvvetlerin terimleri cinsinden kolayca tanımlanabileceği gibi, herhangi bir doğrultuda yönelmiş yüzeylerde de hesaplanabilirler, Şekil-2.3.



Şekil-2.3: \hat{n} normali ile verilen yüzeydeki ve diğer yüzeylerdeki çekme kuvvetlerinin görünümü.

Sonuç olarak Şekil-2.3 'de normali \hat{n} olan herhangi bir yüzeyin zorlama matrisi

$$\begin{bmatrix} T_{xn} \\ T_{yn} \\ T_{zn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

olarak bulunur ve kısaca

$$[T_n] = [T] [n] \quad (2.10)$$

şeklinde gösterilir.

\vec{F} , bir yüzeyi ve hacmi olan bir parçacığın titreşimi ile ilgili cisim kuvveti olmak üzere, bu parçacığın titreşimi ile ilgili öteleme hareketinin denklemi

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{T} = \rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2} - \vec{F} \quad (2.11)$$

eşitliği ile verilir. Bu denklemdeki \vec{T} nin diverjansı kısaltılmış indis terimleri cinsinden

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{T} &= \hat{x} \left(\frac{\partial}{\partial x} T_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} T_{xy} + \frac{\partial}{\partial z} T_{xz} \right) \\ &+ \hat{y} \left(\frac{\partial}{\partial x} T_{yx} + \frac{\partial}{\partial y} T_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} T_{yz} \right) \\ &+ \hat{z} \left(\frac{\partial}{\partial x} T_{zx} + \frac{\partial}{\partial y} T_{zy} + \frac{\partial}{\partial z} T_{zz} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir ve bu bir matris operatörü ile sütun matrisinin çarpımı olarak da ifade edilebilir;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{T} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

öteleme hareket denkleminin kısaltılmış indislerdeki gösterimi

$$\nabla_{iJ}^T = \rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2} - F_i \quad (2.14)$$

$$i = x, y, z$$

$$J = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

ile verilir. Dolayısıyla zorlama operatörünün diverjansı dik koordinat sisteminde

$$\vec{\nabla} \cdot \nabla_{iJ} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

şeklinde bir matris gösterimine sahiptir. Görüldüğü gibi diverjans matrisi simetrik gradient operatörünün transpozesidir.

III. BÖLÜM

3.1. AKUSTİK ALAN VE DALGA DENKLEMLERİ

Akustik olarak titreşen bir cisimdeki şekildeğişimi, parçacık yerdeğiştirme alanı $\vec{U}(\vec{r}, t)$ 'ye bağlı $\vec{S}(\vec{r}, t)$ zorlanma alanı ile (2.4) eşitliğindeki gibi tanımlanır.

$$\vec{S}(\vec{r}, t) = \nabla_s \vec{U}(\vec{r}, t) \quad (2.4)$$

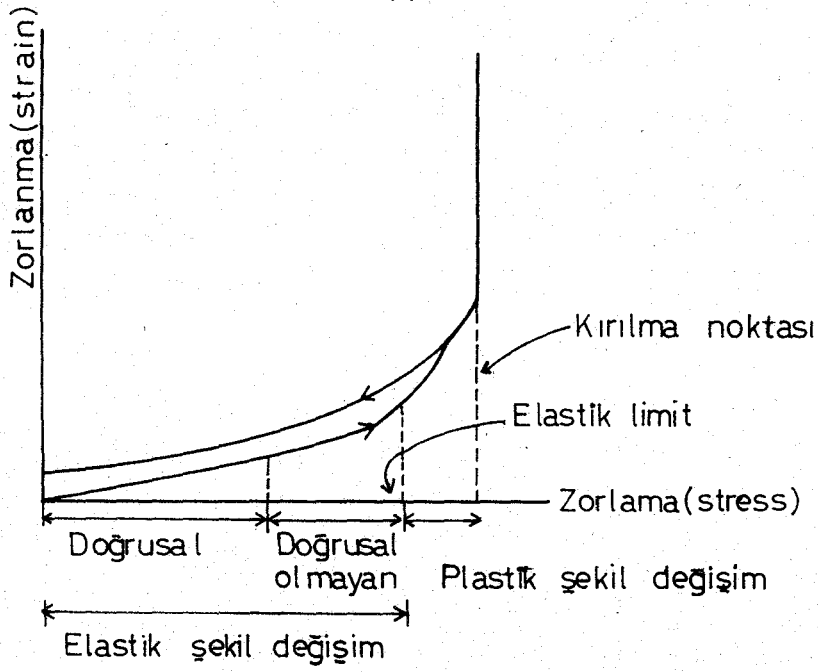
Özgürce titreşen bir ortamda geriçağırıcı kuvvetler ve eylemsizlik kuvvetleri her bir parçacığın üzerine etki ederler. Bu kuvvetlerin karşılıklı etkileri bir mikroskobik kütle içinde salınım hareketi oluştururlar. Eylemsizlik ve elastik geriçağırıcı kuvvetler arasındaki bağıntı, tek parçacığın üzerine mekaniğin hareket yasalarının uygulanmasıyla çıkarılabilir. Özgürce titreşen bir ortamdaki eylemsiz ve elastik geriçağırıcı kuvvetler, hareketin yayılma denkleminde (2.11) eşitliğinde verildiği gibi bağlıdır. Cisim kuvvetinin olmadığı durumda bu eşitlik,

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{T} = \rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2} \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Küçük şekildeğişimler için, şekildeğişmiş cisimdeki zorlanmanın uygulanan zorlama ile doğru orantılı olduğu deneysel yöntemlerle gözlenmiş bir gerçektir (Hooke Yasası). Şekildeğişim arttıkça, zorlama ve zorlanma arasındaki bağıntı doğrusal olmayan bir şekilde artarak düzenlenir. Fakat zorlama kaldırıldığı zaman cisim tekrar eski haline döner. Zorlama (stress) ve zorlanma (strain) arasındaki bağıntıyı gösteren eğri doğrusal ve doğrusal olmayan kısımlara ayrılır, Şekil-3.1.

Bununla beraber katı maddeler için zorlama kesin bir limitten öteye artırılırsa şekildeğişimi pek elastik değildir. Bu elastik limitten öteye ortam sürekli olarak şekildeğiştirir (deforme olur) ve kırılır (Plastik şekildeğişim). Plastik şekildeğişim bölgesi akustik çalışmalarında pek kazançlı değildir.



Şekil-3.1: Katı bir madde için tipik zorlama-zorlanma bağıntısı

Elastik zorlama-zorlanma bağıntısı "mikroskobik kuvvet sabiti" hesaplanmasında kullanılır. Küçük genlikli titreşim olayına bağlı "kuvvet sabitleri" Hooke Yasası ile tanımlanır. Hooke Yasası; zorlanmanın zorlama ile doğru orantılı olduğunu ifade eder. Matematiksel olarak tensör gösterimiyle,

$$T_{ij} = c_{ijkl} S_{kl} \quad (3.2)$$

$i, j, k, \ell = x, y, z$

veya

$$S_{ij} = s_{ijkl} T_{kl} \quad (3.3)$$

$i, j, k, \ell = x, y, z$

şeklinde gösterilir. Burada zorlamanın her bir bileşeni tüm zorlanma bileşenlerinin lineer bir fonksiyonu ve karşıt olarak da zorlanmanın her bir bileşeninin zorlama bileşenlerinin genel doğrusal fonksiyonu oldukları görülmektedir. (3.2) ve (3.3) bağıntıları genelleştirilmiş Hooke Yasası olarak bilinirler. (3.2) eşitliğindeki c_{ijkl} terimine maddenin elastik sertlik sabiti (elastic stiffness constants) denir. Kolay deforme olan (şekildeğiştiren) maddeler için küçük, zor şekildeğiştiren maddeler için büyük değere

sahiptir. Maddenin elastik sertlik sabitlerini belirleyen c_{ijkl} dördüncü mertebeden bir tensördür.

Zorlama ve zorlanma tensörlerinin simetri özelliğinden

$$c_{ijkl} = c_{jikl} = c_{ijlk} = c_{jilk}$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler gözönüne alındığında, bağımsız eleman sayısı 81 den 36 ya indirgenir. Enerji-iş değişimleri gözönüne alındığında

$$c_{ijkl} = c_{klij}$$

eşitliği yazılabileceğinden, dördüncü mertebeden c_{ijkl} tensörünün en çok 21 bağımsız elemanının olabileceği söylenebilir.

Aynı görüşler (3.3) eşitliğindeki s_{ijkl} sabitleri için de geçerlidir. Bu sabitlere 'elastik uyum sabitleri' (compliance constants) adı verilir. Ortamın şekildeğişebilirliğinin bir ölçüsüdür ve kolay şekildeğişim için büyük, sert (rijit) maddeler için küçük değerlere sahiptirler.

Simetri özelliğinden yararlanılarak ij ile kl arasındaki kombinasyon, tensör gösterimi yerine matris gösterimi alınarak dört alt indis ikiye indirgenir

ij	xx	yy	zz	yz,zy	xz,zx	xy,yx	kl
I	1	2	3	4	5	6	J

Dolayısıyla kısaltılmış gösterimde Hooke Yasası

$$T_I = c_{IJ} S_J \quad (3.4)$$

$$S_I = s_{IJ} T_J \quad (3.5)$$

şeklindedir. Yukarıdaki eşitliklerden matris şeklinde bir yazımla

$$[s] = [c]^{-1}$$

$$[s][c] = [c][s] = [I]$$

birim matris bulunur. Bu bağıntı elastik sertlik sabitlerini uyum sabitleri cinsinden bulmağa yarar⁽³⁾.

Öte yandan ideal bir kayıpsız ortamda Hooke Yasası, bir yay için kuvvet-yerdeğiştirme bağıntısına karşılık gelir ve bu

$$f = Kx$$

şeklindedir. Burada uygulanmış f kuvveti zorlamaya ve yay yerdeğiştirmesi x de zorlanmaya karşılık gelir. Fakat ortam her zaman uygulamada ideal olamaz. Enerjinin absorblanmasından dolayı bir sönüm vardır. Bu benzerliği içeren ideal Hooke Yasası bağıntısı

$$T_I = c_{IJ} S_J \quad (3.6)$$

zorlanmanın zaman türevini kapsayan ilave terimleriyle sönümü içermesi için biraz değiştirilir ve

$$T_I = c_{IJ} S_J + \eta_{IJ} \frac{\partial S_J}{\partial t} \quad (3.7)$$

veya tam indis gösterimiyle

$$T_{ij} = c_{ijkl} S_{kl} + \eta_{ijkl} \frac{\partial S_{kl}}{\partial t}$$

şeklinde gösterilir. Burada η viskozite tensörüdür. Kısaltılmış gösterimde

$$\vec{T} = c : \vec{S} + \eta : \frac{\partial \vec{S}}{\partial t} \quad (3.8)$$

şeklindedir. Burada çift nokta kısaltılmış indisler üzerinden toplamı gösterir.

Katılarda akustik alan teorisinin temellerini kurabilmek için zorlanma yerdeğiştirme bağıntısı

$$\vec{S} = \nabla_s \vec{U} \quad (3.9)$$

ve öteleme hareketin denklemi olan

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{T} = \rho \frac{\partial^2 \vec{U}}{\partial t^2} - \vec{F} \quad (3.10)$$

eşitliklerinden yararlanılabilir. Böylece U, S, T gibi üç alan değişkeni ve yalnız iki denklem vardır. Ek bir koşul daha gereklidir ve bu da elastik denklemi (3.8)

$$\vec{T} = c:\vec{S} + \eta: \frac{\partial \vec{S}}{\partial t}$$

ile sağlanır.

Maxwell'in elektromagnetik denklemleriyle akustik alan denklemleri arasında bir benzerlik kurabilmek için \vec{U} parçacık yerdeğiştirmesinin birinci dereceden zaman türevi

$$\vec{v} = \frac{\partial \vec{U}}{\partial t} \quad (3.11)$$

olarak alınır. O zaman (3.10) denklemi

$$\vec{v} \cdot \vec{T} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} - \vec{F} \quad (3.12)$$

olur. Burada $\vec{p} = \rho \vec{v}$ ($\text{kg/m}^2 \text{sn}$) momentum yoğunluğu olarak tanımlanır. Dolayısıyla (2.4) zorlanma-yerdeğiştirme bağıntısı

$$\nabla_s \vec{v} = \frac{\partial \vec{S}}{\partial t} \quad (3.13)$$

haline gelir. (3.8) eşitliği uyum sabiti ile çarpılırsa kısaltılmış indis gösterimi ile

$$s_{JI} T_I = S_J + \tau_{JK} \frac{\partial S_K}{\partial t} \quad (3.14)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik daha açık olarak

$$\vec{S} = s:\vec{T} - \tau:\nabla_s \vec{v} \quad (3.14a)$$

şeklinde yazılır.

(3.12) ve (3.14a) eşitlikleri \vec{T} zorlama alanı ve parçacık hız alanı \vec{v} nin terimleri cinsinden ifade edilebilirler.

$$\vec{v} \cdot \vec{T} = \rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} - \vec{F} \quad (3.15)$$

$$(1 + \tau:\frac{\partial}{\partial t}) \nabla_s \vec{v} = s:\frac{\partial \vec{T}}{\partial t} \quad (3.16)$$

Burada

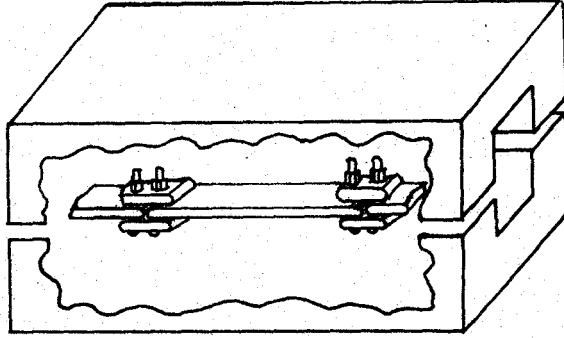
$$\tau_{JK} = s_{JI} \eta_{IK}$$

matris bağıntısı ile tanımlanmıştır⁽¹⁾.

IV. BÖLÜM

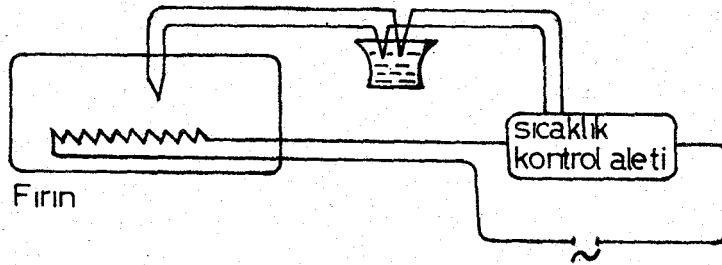
4.1. POLİMERLERİN ÇEKME İLE YÖNLENDİRME İŞLEMİ VE ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada kullanılan örnek maddeler, dikdörtgen şeklinde kesilip hazırlanan PVC levhalardır. Çekme işlemi sırasında bu levhaların bir ucu torna tezgâhı üzerinde sabitlendi, diğer ucu yine torna tezgâhının hareketli arabasına bağlanarak yaklaşık 80°C sıcaklığındaki fırının içinde 4.18 mm/dak. sabit hızıyla çekilip uzatıldı. Çekme işleminin şematik görünümü Şekil-4.1 deki gibidir.



Şekil-4.1: Fırın içinde örnek maddenin çekilmesini gösteren şematik görünüm

Öte yandan fırın sıcaklığının çekme işlemi süresince sabit kalmasını sağlamak için Şekil-4.2 deki düzenek kuruldu.



Şekil-4.2: Fırın sıcaklığının otomatik kontrol düzeni

Örnek maddeler çekilip uzatılmadan önce, maddenin tümünde çekme sonunda oluşacak uzama miktarının bilinmesi gerekiyordu. Bunun için merkezler arası uzaklığı 2.54 mm olan letraset kullanıldı. Örnek maddeler çekilmeden önce üzeri letrasetle işaretlendi, çekme işleminden sonra uzayan örnek maddelerle birlikte üzerlerindeki dairelerinde uzadığı, dolayısıyla merkezlerarası uzaklığın arttığı gözlemlendi, Şekil-4.3. Daha sonra mikroskop altında bu uzaklıklar ayrı ayrı ölçülerek uzamadan önceki uzaklığa bölündü. Böylece örnek maddelerin boyca uzama oranları tesbit edildi.



Şekil-4.3: Letraset ile işaretlenmiş örnek maddenin
a) çekilmeden önceki, b) çekilmeden sonraki
sematik görünüşleri

Sıcaklık etkisi altında uzatılıp çekilen örnek maddelerin bir süre oda sıcaklığında soğumaya bırakılarak sertleşmeleri sağlandı.

Boyca uzama oranları hesaplandıktan sonra, uzamanın en düzgün olduğu bölgeler, yapılan basit bir aygıtla yuvarlak bir şekilde kesilip çıkartıldı. Bu parçaların kenarları tornada iyice yuvarlatıldı ve yüzeyleri ise yüzey parlatma aletinde olabildiğince düzeltilti.

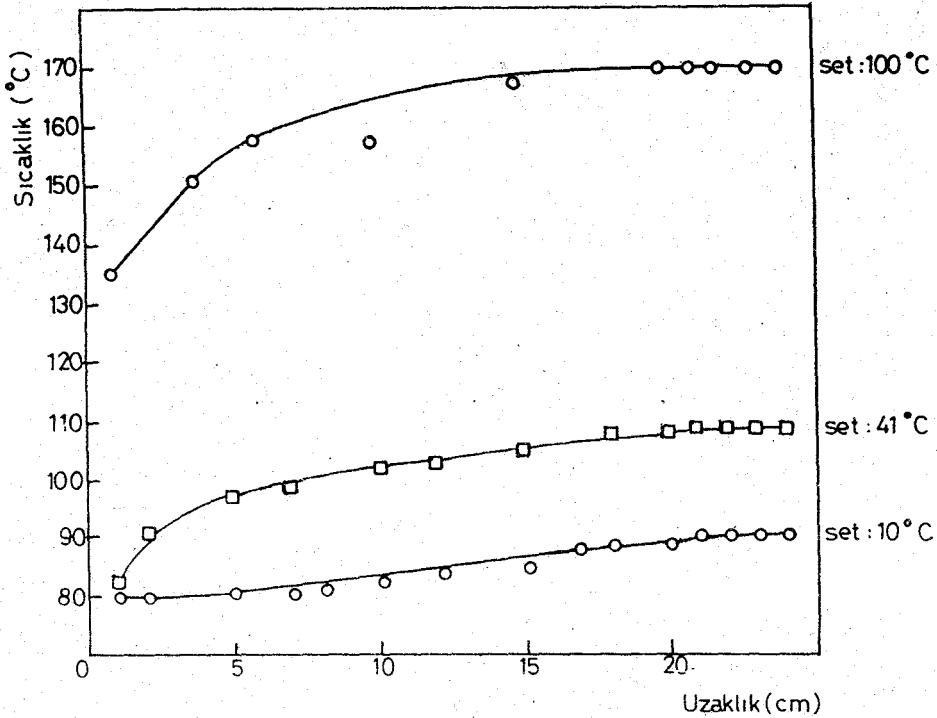
Sıcaklık etkisi altında örnek maddeler çekme ile uzatılırken bazı örneklerin boyca uzamanın yanında, enine olarak oval bir şekilde şekil değiştirdikleri görüldü. Bu şekilde şekil değiştiren örnek maddeler bir tahtaya vidalanarak $90^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ derecede fırın içinde 90 dakika bekletildi ve iyice yumuşayan malzeme bir mengene yardımıyla hafifçe sıkıştırılarak düzeltilti.

Yüzey parlatma işleminin sonunda, ilerde ultrasonik dalgaların örnek maddedeki yayılım hızlarının bulunmasında gerekli olacağından duyarlılığı 0.002 mm olan sferometre yardımıyla örnek maddelerin kalınlıkları ölçüldü. Yine yapılan ölçümler sonunda

yerli örnek maddelerin yoğunlukları $1,41 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$, Avrupa örnek maddelerin yoğunlukları ise $1,396 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ olarak bulundu.

4.2. FIRIN SICAKLIĞININ KONTROLÜ

Fırın içinde -sıcaklık etkisi altında- örnek maddelerin uzatılma işlemi sırasında, örnek maddelerin tüm yüzeylerinin eşit sıcaklık etkisi altında bulunması gerekiyordu. Bunun için, -tamamen kendi olanaklarımızla yapımı gerçekleştirilen- fırın içindeki sıcaklık dağılımının tekdüze -homogen- olarak dağıldığı bölgelerin bulunması gerekiyordu. Fırının içindeki sıcaklık dağılımını tespit edebilmek için Şekil-4.2 deki düzeneğe fırının içinde merkezden uca doğru hareket edecek şekilde yeni bir ısı çifti -Termokupl- eklendi. Bu ısı çifti fırın içinde merkezden uca doğru 1 cm aralıklarla hareket ettirilirken, bağlı olan voltmetreden her 1 cm değerine karşılık gelen mV -milivolt- değerleri okunarak kaydedildi. Bu işlem, sıcaklık kontrol aleti 10°C , 41°C ve 100°C değerlerine ayarlanarak tekrarlandı. Daha sonra mV -milivolt- değerlerinin karşılık geldikleri sıcaklık değerleri tablodan bulunarak, değişen uzaklığın fonksiyonu olarak sıcaklık değerlerini gösteren aşağıdaki grafik çizildi.



Şekil-4.4: Fırının yarısındaki sıcaklık dağılımını gösteren grafik

4.3. KULLANILAN ULTRASONİK ÖLÇME TEKNİĞİ

4.3.1. Deney Düzenegi

Deney düzenegini; ultrasonik spektrometre, ölçü hücresi ve yardımcı elektronik düzenek olmak üzere üç kısımda incelemek yerinde olur.

Ultrasonik spektrometre olarak SANYO UAC-9 spektrometresi kullanıldı. Spektrometrenin teknik özellikleri şöyle sıralanabilir.

- a) Frekans bandı : 0.5-22 MHz arasında oniki kademelidir.
- b) Tekrarlama frekansı : 1 KHz
- c) Puls genişliği : 0-20 μ sn sürekli değişebilir.
- d) Puls çıkış gerilimi : 0-1000 V sürekli değişebilir.
- e) Geciktirme sistemi : Atma çıkışına göre 0-100 μ sn sürekli değişebilir.
- f) Osiloskop : National VP-5260A

Ölçü hücresi, bir su kabı içinde karşılıklı iki dönüştürgen ile bunların arasında bir örnek tutucudan meydana gelmiştir. Verici dönüştürgen, paralelliğin sağlanabilmesi için ayarlanabilir bir düzenek üzerine oturtulmuştur. Alıcı dönüştürgen ise, ortak eksen boyunca bir mikrometre yardımıyla hareket edebilecek bir düzeneğe bağlıdır. Örnek tutucu, ortak dönüştürgen eksenine dik bir eksen etrafında dönebilecek bir gonyometreye bağlıdır.

Alıcı dönüştürgenin eksen boyunca hareket miktarı toplam 50 mm olup, bağlı olduğu mikrometre yardımıyla 0.005 mm duyarlıkla okuma yapabilmeğe elverişlidir. Örnek tutucunun bağlı olduğu gonyometre $\pm 50^\circ$ dönebilmekte ve açılar 0.1° duyarlıkla okunabilmektedir.

Deneyde; okumaların mikrometre, geciktirme düzenegi ve osiloskop yardımı ile yapılması gerekirken, şebeke gerilimindeki değişmelerle meydana gelen ölçme hatalarını gidermek için ayrı bir zaman işaretleyicisi yapılmıştır.

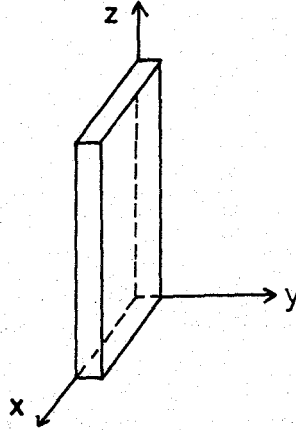
Bu zaman işaretleyicisi, tetikleme üretcinin ultrasonik atmayı başlatan ilk atmasından itibaren ayarlanabilen (1-500 μ sn) bir gecikme süresinden sonra çalışan bir ana tekkararlı devre ve

bu devrenin (1) durumu süresince çalışan, periyodu ve atma genişliği ayarlanabilen bir atma üretici olarak tanımlanabilir.

Böylece, zaman ekseni boyunca aradaki farkın ölçülmesi istenen iki nokta arasına istenilen sayıda atma yerleştirilip sonra bunların periyodu Tektronix DC 503 universal sayıcısı ile ölçülerek osiloskopla yapılacak ölçmeden çok daha duyarlı bir ölçme sistemi geliştirildi (3).

4.3.2. Ölçme Tekniği

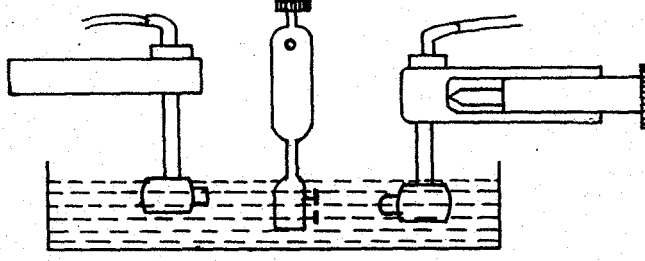
Elastik sertlik sabitleri c_{ij} 'ler PVC içindeki ultrasonik dalga hızının ölçümünden yararlanılarak hesaplanır. Ölçüm için bu bölümün başında anlatılan şekilde hazırlanan örnek maddeler kullanılır. Örnek madde için, çekme yönü doğrultusundaki eksen z, levhanın geniş yüzeyine dik eksen y, y ve z eksenleri ile dik açı yapan eksen x ekseni olarak tanımlandı, Şekil-4.5.



Şekil-4.5: Örnek madde için tanımlanan esas eksenler

Örnek maddenin kenarları bu eksenlere paraleldir. y-ekseni boyunca olan kenar uzunluğu örnek maddenin kalınlığıdır ve bu kalınlık çekilme işlemi sırasında bir miktar azalmıştır.

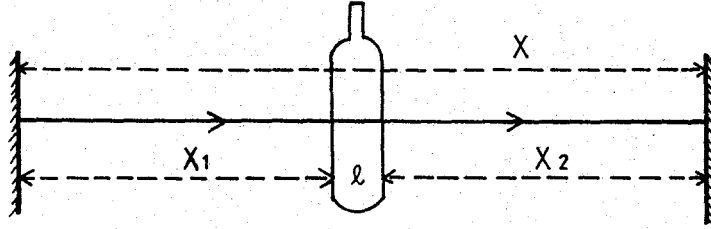
Ölçme olayını gerçekleştirebilmek için, su tankının içindeki yatay bir eksen üzerine yerleştirilmiş sabit bir ultrasonik verici ve hareketli bir alıcı arasına x veya z eksenine dik bir şekilde örnek maddeyi yerleştirmek gerekir, Şekil-4.7. Ultrasonik dalgalar örnek madde ile dik olarak ve belli bir kritik açı değerine kadar ki açılarla etkileşiyorsa, örnek madde boyunca dalgaların



Şekil-4.6: Ölçü hücresinin şematik görünümü

etkisi altındadır. Fakat bu kritik açı değerinden büyük açılarda ise enine dalgaların etkisi altındadır.

Örnek maddenin ortama dik konması durumunda;



Şekil-4.7: Örnek maddenin ortama dik olarak konması durumunun şematik görünümü

Madde ortama konmadan önce ultrasonik dalgalar x (metre) yolunu T_0 (saniye) süresinde alıyor olsunlar. Örnek madde ortama daldırılınca $x_1 + l + x_2$ yolunu T (saniye) süresinde alırlar. Böylece ultrasonik dalgaların örnek madde içinden geçme süresi

$$t = T_0 - T \quad (4.1)$$

olur. Yayılma hızı ise; V_0 , ultrasonik ses dalgalarının saf sudaki yayılma hızı olmak üzere ($V_0 = 1497$ m/sn)

$$t = \frac{x}{V_0} - \left(\frac{x_1 + x_2}{V_0} + \frac{l}{V_L} \right) \quad (4.2)$$

$$x = x_1 + l + x_2$$

$$t = \frac{x_1 + l + x_2}{V_0} - \frac{x_1 + x_2}{V_0} - \frac{l}{V_L}$$

$$t = \frac{l}{V_0} - \frac{l}{V_L} = l \left(\frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_L} \right)$$

$$\frac{t}{\ell} = \frac{1}{V_0} - \frac{1}{V_L} \quad (4.3)$$

olarak bulunur. Burada ℓ örnek maddenin kalınlığı, t ise ultrasonik dalgaların örnek maddeyi geçiş süresidir. Ultrasonik alıcının bağlı olduğu mikrometrenin hareketli kısmı d (milimetre) kadar döndürülerek atma, ortama örnek madde konulmadan önceki yerine getirilirse, yayılma süresi ortama örnek madde koyulmadığı durumdaki yayılma süresi t 'ye eşit yani

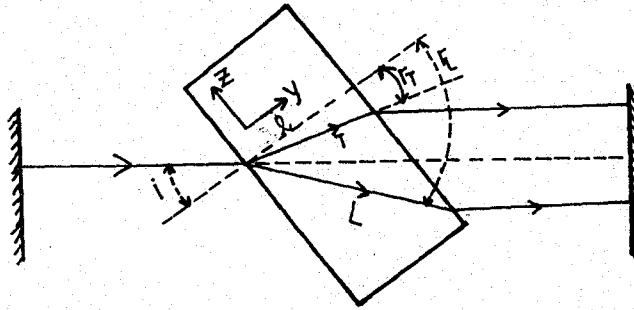
$$d = V_0 t \quad (4.4)$$

olur. Buradan t çekilip (4.3) eşitliğinde yerine konulursa

$$V_L = V_0 \frac{\ell}{\ell - d} \quad (4.5)$$

eşitliği, yani boyuna dalgaların hız ifadesi bulunur.

Örnek madde, değişik açılarda ultrasonik dalgalarla etkileşecek şekilde yerleştirilecek olursa, (Şekil-4.8) geliş açısının i ve kırılma açısının r olduğu bu durumda, açılar Snell yasasına uyarlar.



Şekil-4.8: Boyuna (L) ve enine (T) dalgalarının katı-sıvı ara yüzeyinde yayılması

$$\frac{\sin i}{\sin r_T} = \frac{V_0}{V_T}, \quad \frac{\sin i}{\sin r_L} = \frac{V_0}{V_L} \quad (4.6)$$

$$V_T = V_0 \frac{\sin r_T}{\sin i}, \quad V_L = V_0 \frac{\sin r_L}{\sin i} \quad (4.7)$$

(4.7) eşitliğindeki V_L ve V_T hızlarını bulabilmek için r kırılma açısının hesaplanması gerekmektedir. Şekil-4.8 gözönüne alınırsa

$$t_j = T_o - T_j, \quad j = L, T \quad (4.8)$$

$$T_o = \frac{x_o}{V_o}$$

$$T_j = \frac{x_1 + x_2}{V_o} + \frac{\ell}{V_j \cos r_j}$$

$$t_j = \frac{x_o}{V_o} - \frac{x}{V_j} \quad (4.9)$$

$$x_o = x_1 + x_2 + \frac{\ell \cos(r_j - i)}{\cos r_j} \quad (4.9a)$$

$$x = x_1 + x_2 + \frac{\ell}{\cos r_j} \quad (4.9b)$$

bağıntıları yazılabilir. (4.9a) ve (4.9b) eşitliklerinin (4.9) eşitliğine uygulanması ile

$$t_j = \frac{\ell \cos(r_j - i)}{V_o \cos r_j} - \frac{\ell}{V_j \cos r_j} \quad (4.10)$$

bulunur. (4.7) den

$$V_j = V_o \frac{\sin r_j}{\sin i} \quad (4.11)$$

yazılabilir ve bu (4.10) da yerine konursa

$$\operatorname{tgr}_j = \frac{\sin i}{\cos i \mp \frac{V_o t}{\ell}} \quad (4.12)$$

eşitliği elde edilir. Burada i gelme açısı gonyometreden okunur, t süresi osiloskoptan veya daha hassas olması için sisteme ek olarak bağlanan zaman sayıcıdan okunur. ℓ , maddenin kalınlığıdır. r_j kırılma açısı, (4.12) eşitliğinde (-) işareti alınırsa boyuna dalgalarda, (+) işareti alınırsa enine dalgalarda hesaplanır⁽³⁾.

V. BÖLÜM

ELASTİK SERTLİK SABİTLERİNİN KURAMSAL HESABI

5.1. HEKZAGONAL SİMETRİYE SAHİP BİR ORTAMDA DİSPERSİYON BAĞINTISI

Düzlem dalga çözümleri daha önce (3.12) ve (3.13) akustik alan denklemlerinin bileşenler formunda yazılması ile elde ediliyordu. Bu durum dalga denklemi çözümlerinin fiziksel anlam kazanabilmesi için önemlidir, fakat tamamen yeterli bir yaklaşım değildir. Alan denklemlerinin sembolik şekilde gösterilmesiyle gerekmiyen değişkenleri elemine etmek daha basit bir yöntemdir. Bu durum elektromagnetizmde olduğu kadar, akustikte de önemli bir yöntemdir. Şöyle ki; akustik dalga denklemleri, akustik alan denklemleri ve esas denklem bağıntılarından T veya V 'nin birinin elemine edilmesiyle elde edilebilir. Çoğunlukla zorlama alanı T elemine edilir, çünkü o üçten fazla, altı bileşen içerir.

(3.15) ve (3.16) eşitliklerinden kayıpsız alan denklemleri

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{T} = \rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} - \vec{F} \quad (5.1)$$

$$\nabla_s \vec{V} = s : \frac{\partial \vec{T}}{\partial t} \quad (5.2)$$

şeklindedir. Zorlama alanı, (5.1) eşitliğinin t 'ye göre birinci diferansiyeli alınarak elde edilebilir:

$$\vec{\nabla} \cdot \frac{\partial \vec{T}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\partial \vec{F}}{\partial t} \quad (5.3)$$

(5.2) eşitliğinin "c elastik sertlik sabiti" ile çarpılması

$$c : \nabla_s \vec{V} = \frac{\partial \vec{T}}{\partial t} \quad (5.4)$$

sonucunu verir. \vec{V} için dalga denklemi, (5.4) eşitliğinin (5.3) eşitliğinde yerine konması ile bulunabilir,

$$\vec{\nabla} \cdot c : \nabla_s \vec{V} = \rho \frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2} - \frac{\partial \vec{F}}{\partial t} \quad (5.5)$$

Kısaltılmış indis gösterimiyle matris formunda bu ifade

$$-\nabla_{iK} c_{KL} \nabla_{Lj} v_j = \rho \frac{\partial^2 v_i}{\partial t^2} - \frac{\partial F_i}{\partial t} \quad (5.6)$$

şeklindedir. Burada ∇_{iK} ve ∇_{Lj} matris diferansiyel operatörleri sırasıyla (2.5) ve (2.15) eşitliklerinde tanımlanmışlardır.

$\vec{F} = 0$ olduğu kabul edilirse,

$$\hat{I} = \hat{x}I_x + \hat{y}I_y + \hat{z}I_z \quad (5.7)$$

yönü boyunca yayılan bir düzgün düzlem dalga

$$e^{i(\omega t - k\hat{I} \cdot \vec{r})}$$

ile orantılı alanlara sahiptir.

Bu durumda, (5.6) denklemindeki ∇_{iK} ve ∇_{Lj} operatörleri sırasıyla $-ik_{iK}$ ve $-ik_{Lj}$ matrisleri ile yerdeğiştirmelidir. Burada

$$-ik_{iK} = -ikI_{iK} = -ik \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 & 0 & I_z & I_y \\ 0 & I_y & 0 & I_z & 0 & I_x \\ 0 & 0 & I_z & I_y & I_x & 0 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

ve

$$-ik_{Lj} = -ikI_{Lj} = -ik \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \\ 0 & I_z & I_y \\ I_z & 0 & I_x \\ I_y & I_x & 0 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

olurlar. $\vec{F}=0$ olarak alınan (5.6) eşitliği o zaman

$$k^2 (I_{iK} c_{KL} I_{Lj}) v_j = k^2 \Gamma_{ij} v_j = \rho \omega^2 v_i \quad (5.10)$$

olur. Bu Christoffel denklemi diye adlandırılır ve sol taraftaki

$$\Gamma_{ij} = I_{iK} c_{KL} I_{Lj} \quad (5.11)$$

matrisine Christoffel matrisi denir. Bu matrisin elemanları düzlem

dalga yayılma yönünün ve ortamın elastik sertlik sabitlerinin fonksiyonduurlar (1).

Hekzagonal simetri için; $c_{66} = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12})$ olmak üzere,

$$c_{KL} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix}$$

şeklinde verilir (3). Bu ifade (5.11) eşitliğinde yerine konulursa

$$\Gamma_{ij} = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 & 0 & I_z & I_y \\ 0 & I_y & 0 & I_z & 0 & I_x \\ 0 & 0 & I_z & I_y & I_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \\ 0 & I_z & I_y \\ I_z & 0 & I_x \\ I_y & I_x & 0 \end{bmatrix}$$

eşitliği elde edilir ve bunun çözümü Γ_{ij} 'ler için

$$\Gamma_{11} = c_{11} I_x^2 + c_{66} I_y^2 + c_{44} I_z^2$$

$$\Gamma_{12} = \Gamma_{21} = I_x I_y (c_{12} + c_{66})$$

$$\Gamma_{13} = \Gamma_{31} = I_x I_z (c_{13} + c_{44})$$

$$\Gamma_{22} = c_{66} I_x^2 + c_{11} I_y^2 + c_{44} I_z^2$$

$$\Gamma_{23} = \Gamma_{32} = I_y I_z (c_{13} + c_{44})$$

$$\Gamma_{33} = c_{44} I_x^2 + c_{44} I_y^2 + c_{33} I_z^2$$

değerlerini verir.

(5.10) eşitliği

$$[\Gamma_{ij} - \rho V^2 \delta_{ik}] v_j = 0 \quad (5.12)$$

şeklinde yazılabilir ve (5.12) açık şekilde aşağıdaki gibidir,

$$\begin{bmatrix} \Gamma_{11} - \rho v^2 & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} - \rho v^2 & \Gamma_{23} \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} - \rho v^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = 0$$

Bu işlemde Γ_{ij} 'lerin değerleri yerine konulup çarpma işlemi yapılır, işlem kolaylığı için

$$\begin{aligned} H &= \rho v^2 - c_{44} \\ a &= c_{11} - c_{44} \\ c &= c_{11} - c_{12} - 2c_{44} \\ d &= c_{13} + c_{44} \\ g &= \frac{1}{2}(c_{11} + c_{12}) \\ h &= c_{33} - c_{44} \end{aligned} \quad (5.13)$$

alınır ve

$$I_x^2 + I_y^2 + I_z^2 = 1$$

eşitliğinden

$$I_z^2 = 1 - I_x^2 - I_y^2$$

olduğu dikkate alınırsa aşağıdaki eşitlikler bulunur⁽⁴⁾;

$$\begin{aligned} (I_x^2 a + \frac{1}{2} I_y^2 c - H) v_x + (I_x I_y g) v_y + (I_x I_z d) v_z &= 0 \\ (I_x I_y g) v_x + (\frac{1}{2} I_x^2 c + I_y^2 a - H) v_y + (I_y I_z d) v_z &= 0 \\ (I_x I_z d) v_x + (I_y I_z d) v_y + (I_z^2 h - H) v_z &= 0 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Dalganın yayılma hızı -faz hızı- bu eşitliklerin katsayılar determinantının çözümü ile bulunur.

$$\begin{bmatrix} I_x^2 a + \frac{1}{2} I_y^2 c - H & I_x I_y g & I_x I_z d \\ I_x I_y g & \frac{1}{2} I_x^2 c + I_y^2 a - H & I_y I_z d \\ I_x I_z d & I_y I_z d & I_z^2 h - H \end{bmatrix} = 0 \quad (5.15)$$

$I_z = I$, $I_x^2 + I_y^2 = 1 - I^2$ olduğu gözönüne alınarak, bu determinant açılıp düzenlendiğinde,

$$\left[H - \frac{1}{2}(1 - I^2)c \right] \{ H^2 - [(1 - I^2)a + I^2h]H + I^2(1 - I^2)(ah - d^2) \} = 0 \quad (5.16)$$

bulunur. Bu eşitlik yalnız I doğrultu kosinüs'ünü içerir.

(5.16) eşitliği gözönüne alınarak dalganın yayılma hızı -faz hızı- yayılma düzlemlerine göre irdelenebilir.

a) xy düzleminde yayılma durumu:

Yayılmamanın xy düzleminde olduğu durumda; $I_x, I_y \neq 0$, $I_z = 0$ olduğundan (5.16) eşitliği

$$\left[H - \frac{1}{2}c \right] \{ H^2 - aH \} = 0 \quad (5.17)$$

eşitliğine indirgenir. (5.17) eşitliği H 'ye göre çözülürse $H = \frac{c}{2}$, $H = 0$, $H = a$ bulunur. H, c ve a 'nın (5.13) 'deki değerleri gözönüne alınarak;

$$H = a \quad \text{için}; \quad \rho v_L^2 = c_{11} \quad v_L = \left(\frac{c_{11}}{\rho} \right)^{1/2} \quad (5.18)$$

$$H = 0 \quad \text{için}; \quad \rho v_{T2}^2 = c_{44} \quad v_{T2} = \left(\frac{c_{44}}{\rho} \right)^{1/2} \quad (5.19)$$

$$H = \frac{c}{2} \quad \text{için}; \quad \rho v_{T1}^2 = \frac{c_{11} - c_{12}}{2} \quad v_{T1} = \left(\frac{c_{11} - c_{12}}{2\rho} \right)^{1/2} \quad (5.20)$$

yukardaki hız değerleri bulunur.

v_{T1} : xy düzleminde yayılan, xy düzleminde polarize olmuş enine dalganın hızı.

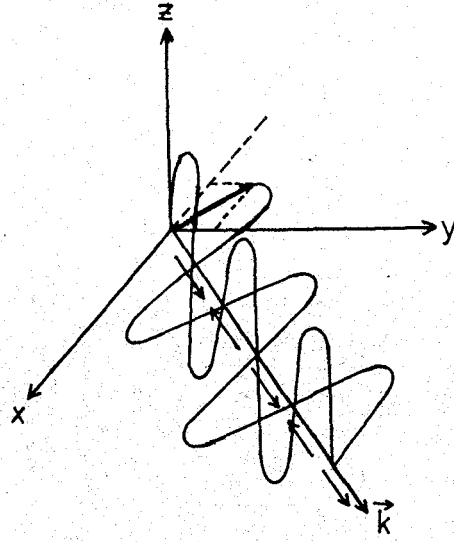
v_{T2} : xy düzleminde yayılan, bu düzleme dik doğrultuda polarize olmuş enine dalganın hızı.

v_L : xy düzleminde yayılan, yayılma yönünde polarize olan boyuna dalganın hızı.

Şekil-5.1 'den görüldüğü gibi xy düzleminde izotropik yapı korunmaktadır.

b) yz düzleminde yayılma durumu:

Yayılmamanın yz düzleminde olduğu durumda, $I_y, I_z \neq 0$, $I_x = 0$



Şekil-5.1: xy düzleminde yayılan saf enine ve saf boyuna dalgalar

olduğundan (5.16) eşitliği,

$$(H - \frac{1}{2}I_Y^2 c) [(I_Y^2 a - H) (I_Z^2 h - H) - I_Y^2 I_Z^2 d^2] = 0 \quad (5.21)$$

eşitliğine indirgenir. (5.21) eşitliği H 'ya göre çözülürse,

$$H = \frac{c}{2} I_Y^2 \text{ için; } \rho v_{T1}^2 = c_{44} + \frac{c}{2} I_Y^2 \quad v_{T1} = \left[\left(\frac{c_{44}}{\rho} + \frac{c_{11} - c_{12} - 2c_{44}}{2\rho} I_Y^2 \right)^{1/2} \right] \quad (5.22)$$

enine hız ifadesi bulunur. Öte yandan

$$(I_Y^2 a - H) (I_Z^2 h - H) - I_Y^2 I_Z^2 d^2 = 0$$

ifadesi için

$$H_{LT2} = \frac{1}{2} \left[I_Y^2 a + I_Z^2 h \pm \left\{ (I_Y^2 a + I_Z^2 h)^2 - 4 I_Y^2 I_Z^2 (ah - d^2) \right\}^{1/2} \right] \quad (5.23)$$

bulunur. Bu düzlemde L ve T2 dalgaları sankiboyuna ve sankienine dalgalarıdır. (5.23) eşitliği (H 'nın (5.13) eşitliğindeki değeri yerine konulursa)

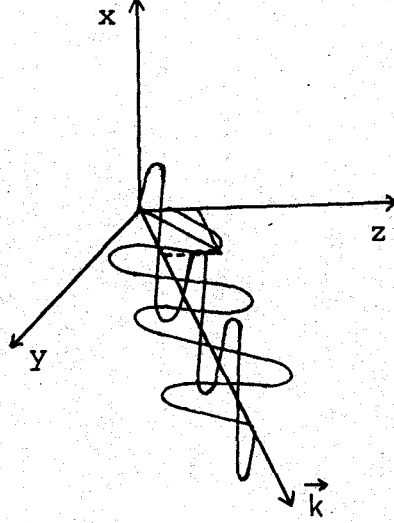
$$\rho v_{LT2}^2 = c_{44} + \frac{1}{2} \left[I_Y^2 a + I_Z^2 h \pm \left\{ (I_Y^2 a + I_Z^2 h)^2 - 4 I_Y^2 I_Z^2 (ah - d^2) \right\}^{1/2} \right]$$

şeklinde daha açık olarak yazılabilir.

v_{T1} : yz düzleminde yayılan, buna dik düzlemde polarize olan saf enine dalganın hızı.

v_L : yz düzleminde yayılan, yz düzleminde polarize olan sanki boyuna dalganın hızı.

v_{T2} : yz düzleminde yayılan, yz düzleminde polarize olan sanki enine dalganın hızı.



Şekil-5.2: yz düzleminde yayılan sanki enine ve sanki boyuna dalgalar

Şekilde de görüldüğü gibi yz düzleminde izotropik yapı korunmamaktadır.

Şimdi yeniden Şekil-4.5 ile örnek maddeler için tanımlanan esas eksenleriyle Şekil-4.8 de verilen geometrik yapıyı gözönüne alarak (5.23) bağıntısını irdeleyelim. Şekil-4.8 'den;

$$\begin{aligned} I_x &= 0 \\ I_y &= \cos r \\ I_z &= \sin r \end{aligned} \quad (5.24)$$

olduğu kolaylıkla görülür. Buradaki r , kırılma açısı r_j ($j=L,T$) ile özdeş olmakla beraber, i_j geliş açısının farklı değerlerinden, hem boyuna hem de enine dalgaların eşit olan değerleri için anlamlıdır⁽³⁾.

Öte yandan (5.13) kısaltma tanımlarının ve (5.24) eşitliklerinin (5.21) eşitliğine uygulanması sonucunda yz düzleminde dalga normalinin y eksenine (bu, sıvı kabı içine konan katı maddenin kalınlığıdır) ile yaptığı açı r olmak üzere,

$$\rho v_L^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} c_{33} + \frac{1}{2} c_{11} + c_{44} - \frac{1}{2} (c_{33} - c_{11}) \cos 2r + p \right] \quad (5.25)$$

$$\rho v_{T2}^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} c_{33} + \frac{1}{2} c_{11} + c_{44} - \frac{1}{2} (c_{33} - c_{11}) \cos 2r - p \right] \quad (5.26)$$

bulunur. Burada

$$p = + \left\{ \left[\frac{1}{2} c_{33} - \frac{1}{2} c_{11} + (c_{44} - \frac{1}{2} c_{33} - \frac{1}{2} c_{11}) \cos 2r \right]^2 + [(c_{13} + c_{44}) \sin 2r]^2 \right\}^{1/2} \quad (5.27)$$

dir. Dalganın normalı y ekseninde ise, $p = c_{11} - c_{44}$ ($c_{11} > c_{44}$) ve

$$\rho v_L^2 = c_{11} \quad (5.28)$$

z eksenineyle çakışır, $p = c_{33} - c_{44}$ ($c_{33} > c_{44}$) ve

$$\rho v_L^2 = c_{33} \quad (5.29)$$

bulunur. (5.25) ve (5.26) eşitlikleri altalta toplanırsa, p yok edilerek,

$$\rho (v_L^2 + v_{T2}^2) = \frac{1}{2} (c_{33} + c_{11}) + c_{44} - \frac{1}{2} (c_{33} - c_{11}) \cos 2r \quad (5.30)$$

bulunur. $\rho (v_L^2 + v_{T2}^2)$ ye göre $\cos 2r$ nin grafiği bir doğru olacaktır. (5.25) ve (5.26) eşitliklerinin farkı $r = 45^\circ$ de

$$\rho (v_L^2 - v_{T2}^2) = \left[\frac{1}{4} (c_{33} - c_{11})^2 + (c_{13} + c_{44})^2 \right]^{1/2} \quad (5.31)$$

olur⁽⁵⁾.

Elastik uyum sabitlerinin (s_{pq}) elde edilmesi:

Elastik uyum sabitleri, elde edilen elastik sertlik sabitlerinin değerlerinden

$$[s][c] = [I]$$

bağıntısı kullanılarak elde edilir⁽³⁾.

$$\begin{aligned}
s_{11} + s_{12} &= \frac{c_{33}}{c_{33}(c_{11}+c_{12})-2(c_{13})^2} \\
s_{11} - s_{12} &= \frac{1}{c_{11}-c_{12}} \\
s_{13} &= \frac{-c_{13}}{c_{33}(c_{11}+c_{12})-2(c_{13})^2} \\
s_{33} &= \frac{c_{11}+c_{12}}{c_{33}(c_{11}+c_{12})-2(c_{13})^2} \\
s_{44} &= \frac{1}{c_{44}}
\end{aligned} \tag{5.32}$$

5.2. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Beşinci bölümde kuramsal yönü anlatılan ölçümler; bu çalışmada biri yerli diğeri Avrupa, yoğunlukları ve kalınlıkları farklı iki ayrı örnek madde için farklı çekme oranlarında yapıldı ve aşağıda tablolar halinde verilen değerler elde edildi. z eksenini etrafında dönmeler sonucu izotropi korunduğundan bu eksen etrafında dönmeler sonucu elde edilen hız değerlerinin tümü tabloların fazla yer kaplamaması için gösterilmedi. Ancak ortalamalar tüm değerler üzerinden alındı.

TABLO-I.a

Çekme oranı : $\lambda=1$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\ell=4.831$ mm
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_1}(\text{msn}^{-1})$
0	1.84	-	-	-	2417	-
14	-	1.344	23.5	-	2467	-
16	-	1.365	27.1	-	2474	-
17.5	-	1.386	29.8	-	2474	-
19	-	1.396	32.4	-	2463	-
23.5	-	1.491	41.2	-	2472	-
25	-	1.533	44.4	-	2478	-
25.5	-	1.540	45.3	-	2471	-
29	-	1.659	53.3	-	2475	-
30	-	1.680	55.3	-	2461	-
36	kritik açı	-	-	-	-	-
40	-	1.522	-	27.4	-	1071
43.5	-	1.533	-	29.8	-	1080
47.2	-	1.575	-	32.1	-	1084
49	-	1.596	-	33.2	-	1086
51	-	1.627	-	34.4	-	1088
52	-	1.638	-	35.0	-	1089

$$\bar{v}_L = 2478 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_T = 1083 \text{ msn}^{-1}$$

Dönme eksenini: x

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	1.84	-	-	-	2417	-
14	-	1.344	23.5	-	2467	-
16	-	1.365	27.1	-	2479	-
19	-	1.396	32.4	-	2463	-
25	-	1.533	44.4	-	2478	-
25.5	-	1.540	45.3	-	2471	-
26	-	1.554	46.1	-	2460	-
30	-	1.680	55.3	-	2461	-
36	kritik açı	-	-	-	-	-
40	-	1.522	-	27.4	-	1071
45.5	-	1.554	-	31.0	-	1080
49	-	1.596	-	33.2	-	1086
52	-	1.638	-	35.0	-	1089
53	-	1.669	-	35.5	-	1088

TABLO-I.b

Çekme oranı : $\lambda = 1.2$
 Sıcaklık : 19°C
 Kalınlık : $\ell = 4.882 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T1}(\text{msn}^{-1})$
0	1.85	-	-	-	2410	-
10	-	1.295	13.1	-	2437	-
12	-	1.301	19.7	-	2427	-
15	-	1.333	24.9	-	2443	-
20	-	1.396	33.7	-	2428	-
22	-	1.428	37.4	-	2427	-
23	-	1.459	39.5	-	2436	-
28	-	1.606	50.2	-	2449	-
29	-	1.638	52.4	-	2446	-
31	-	1.701	56.9	-	2434	-
32	-	1.753	59.6	-	2436	-
33	-	1.827	62.9	-	2446	-
38.5	kritik açı	-	-	-	-	-
40	-	1.617	-	26.9	-	1053
42	-	1.638	-	28.2	-	1057
46	-	1.701	-	30.6	-	1059
51	-	1.785	-	33.4	-	1060
53	-	1.816	-	34.5	-	1061

$$\bar{v}_L = 2435 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_T = 1058 \text{ msn}^{-1}$$

TABLO-I.c

Çekme oranı : $\lambda = 1.2$
 Sıcaklık : 19°C
 Kalınlık : $\ell = 4.882 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : x

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	1.96	-	-	-	2501	-
1	-	1,323	1.68	-	2514	-
9	-	1.344	15.2	-	2509	-
10	-	1.354	16.9	-	2506	-
11.5	-	1.365	19.5	-	2506	-
14	-	1.386	23.9	-	2506	-
15	-	1.407	25.8	-	2517	-
16	-	1.415	27.5	-	2507	-
17	-	1.438	29.5	-	2521	-
19	-	1.470	33.3	-	2524	-
20	-	1.501	35.5	-	2541	-
21	-	1.512	37.3	-	2531	-
22	-	1.575	40.1	-	2574	-
23	-	1.606	42.3	-	2578	-
24	-	1.627	44.4	-	2575	-
25	-	1.659	46.7	-	2577	-
26	-	1.669	48.5	-	2557	-
27	-	1.701	50.8	-	2555	-
28	-	1.743	53.4	-	2559	-
29	-	1.837	57.2	-	2595	-
30	-	1.869	59.6	-	2582	-
31	-	1.953	63.3	-	2596	-
32	-	1.995	65.9	-	2578	-
33.5	kritik açı	-	-	-	-	-
37	-	1.512	-	25.5	-	1070
40	-	1.522	-	27.5	-	1076
44	-	1.543	-	30.2	-	1084
46	-	1.554	-	31.5	-	1088
47	-	1.575	-	31.1	-	1057
50	-	1.606	-	34.0	-	1093
52	-	1.617	-	35.3	-	1098
53	-	1.627	-	35.9	-	1100

yz düzleminde

r	2r	Cos2r	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	$10^6(\text{msn}^{-2})$
25.50	51.00	0.6293	7.49	
27.59	55.18	0.5710	7.48	
30.22	60.44	0.4933	7.71	
35.33	70.16	0.3295	7.66	

TABLO-I.d

Çekme oranı : $\lambda = 1.26$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\ell = 5.138 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_1}(\text{msn}^{-1})$	
0	1.95	-	-	-	2412	-	
1	-	1.407	1.69	-	2529	-	
19	-	1.512	32.8	-	2490	-	
28	-	1.764	51.8	-	2505	-	
30	-	1.896	57.2	-	2516	-	
32	-	1.953	62.2	-	2498	-	
34	-	2.100	68.7	-	2494	-	
38	kritik açı	-	-	-	-	-	
41.5	-	1.701	-	28.0	-	1060	
45	-	1.722	-	30.3	-	1068	
47	-	1.743	-	31.5	-	1069	
50	-	1.848	-	32.9	-	1061	
53	-	1.869	-	34.8	-	1069	
		$\bar{v}_L = 2497 \text{ msn}^{-1}$			$\bar{v}_T = 1065 \text{ msn}^{-1}$		

TABLO-I.e

Çekme oranı : $\lambda = 1.26$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\ell = 5.138$
 Dönme eksenini : x

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	1.97	-	-	-	2427	-
1	-	1.386	1.67	-	2499	-
7	-	1.428	11.9	-	2532	-
14	-	1.470	24.0	-	2516	-
15.5	-	1.495	26.8	-	2525	-
17	-	1.512	29.5	-	2521	-
18	-	1.546	31.6	-	2532	-
20	-	1.575	35.4	-	2535	-
23.5	-	1.680	43.0	-	2560	-
24	-	1.735	44.9	-	2597	-
26.5	-	1.785	49.9	-	2566	-
33	kritik açı	-	-	-	-	-
38	-	1.512	-	26.6	-	1088
41	-	1.564	-	28.4	-	1085
46	-	1.575	-	31.9	-	1099
49	-	1.596	-	33.9	-	1106
51.5	-	1.617	-	35.5	-	1110
53	-	1.659	-	36.3	-	1109

yz düzleminde

r	2r	Cos2r	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	10^6 msn^{-2}
26.8	53.6	0.5934	7.55	
31.9	63.8	0.4415	7.61	
35.5	71.0	0.3255	7.65	

TABLO-I.f

Çekme oranı : $\lambda = 1.33$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\delta = 4.426 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$\bar{v}_L(\text{msn}^{-1})$	$\bar{v}_{T1}(\text{msn}^{-1})$
0	1.705	-	-	-	2435	-
1	-	1.249	1.73	-	2589	-
8	-	1.260	13.8	-	2565	-
17	-	1.365	30.5	-	2598	-
18	-	1.371	32.3	-	2588	-
25	-	1.522	47.1	-	2594	-
26	-	1.543	49.3	-	2588	-
29	-	1.638	56.5	-	2574	-
36.5	kritik açı	-	-	-	-	-
41.5	-	1.564	-	27.4	-	1039
45.5	-	1.585	-	29.2	-	1041
47	-	1.606	-	30.8	-	1048
50.5	-	1.648	-	32.8	-	1050
53	-	1.659	-	34.4	-	1059

$$\bar{v}_L = 2583 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_{T1} = 1047 \text{ msn}^{-1}$$

TABLO-I.g

Çekme oranı : $\lambda = 1.33$
 Sıcaklık : 16.8°C
 Kalınlık : $\ell = 4.426 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : X

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T2}(\text{msn}^{-1})$
0	1.75	-	-	-	2475	-
1	-	1.260	1.74	-	2604	-
7	-	1.281	12.2	-	2595	-
8.5	-	1.302	15.0	-	2621	-
12	-	1.323	21.3	-	2615	-
13	-	1.333	23.2	-	2621	-
15	-	1.354	26.9	-	2616	-
16	-	1.365	28.8	-	2616	-
17	-	1.386	30.9	-	2629	-
19	-	1.428	35.1	-	2643	-
20.5	-	1.470	38.5	-	2661	-
22	-	1.491	41.5	-	2647	-
23	-	1.512	43.6	-	2642	-
23.5	-	1.535	45.0	-	2654	-
24	-	1.576	46.8	-	2682	-
25.7	-	1.680	52.4	-	2735	-
35	kritik açı	-	-	-	-	-
38	-	1.365	-	26.2	-	1073
41	-	1.386	-	28.2	-	1078
44	-	1.396	-	30.2	-	1084
47.5	-	1.407	-	32.6	-	1093
49	-	1.428	-	33.5	-	1094
51	-	1.470	-	34.6	-	1093
53	-	1.522	-	35.5	-	1088

yz düzleminde

r	$2r$	$\text{Cos}2r$	$(v_L^2 + v_{T2}^2)$	10^6msn^{-2}
26.9	53.8	0.5906	7.994	
28.2	56.4	0.5533	8.000	
30.9	61.8	0.4725	8.086	
35.5	71.0	0.3255	8.169	

TABLO-I.h

Çekme oranı : $\lambda = 1.37$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\ell = 4.796 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$\bar{v}_L(\text{msn}^{-1})$	$\bar{v}_{T_1}(\text{msn}^{-1})$
0	1.72	-	-	-	2337	-
13.5	-	1.239	21.7	-	2371	-
20	-	1.323	32.9	-	2377	-
23	-	1.365	38.3	-	2374	-
27	-	1.449	45.9	-	2367	-
30	-	1.575	53.1	-	2394	-
38	kritik açı	-	-	-	-	-
41	-	1.512	-	28.1	-	1074
46	-	1.543	-	31.4	-	1084
49	-	1.564	-	33.4	-	1091
52	-	1.596	-	35.2	-	1095
53	-	1.606	-	35.9	-	1099

$$\bar{v}_L = 2375 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_T = 1088 \text{ msn}^{-1}$$

TABLO-I.i

Çekme oranı : $\lambda = 1,37$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\ell = 4.796 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : x

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	1.79	-	-	-	2389	-
1	-	1.218	1.61	-	2409	-
13	-	1.260	21.1	-	2395	-
16.5	-	1.312	27.3	-	2417	-
18	-	1.325	29.8	-	2407	-
19	-	1.344	31.7	-	2416	-
20	-	1.365	33.6	-	2422	-
22	-	1.417	37.6	-	2438	-
23	-	1.455	39.9	-	2457	-
25	-	1.470	43.3	-	2429	-
26	-	1.485	45.2	-	2423	-
27	-	1.575	48.6	-	2473	-
28.5	-	1.680	53.3	-	2515	-
30.5	-	1.785	59.0	-	2528	-
32	-	1.890	64.0	-	2529	-
36	kritik açı	-	-	-	-	-
38	-	1.218	-	27.7	-	1130
41	-	1.239	-	29.8	-	1133
43	-	1.260	-	31.2	-	1137
48	-	1.281	-	34.8	-	1149
50	-	1.323	-	35.9	-	1145
53	-	1.365	-	37.8	-	1148

yz düzleminde

r	$2r$	$\text{Cos}2r$	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	10^6msn^{-2}
27.3	54.6	0.5792	7.11	
29.8	59.6	0.5060	7.07	
31.7	63.4	0.4477	7.12	
37.8	75.6	0.2488	7.26	

TABLO-I.j

Çekme oranı : $\lambda = 1$
 Sıcaklık : 16°C
 Kalınlık : $\lambda = 2.861 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{m/sn})$	$v_{T1}(\text{m/sn})$
0	1.1	-	-	-	2432	-
17	-	0.830	28.4	-	2435	-
19	-	0.840	32.0	-	2436	-
24.5	-	0.892	43.0	-	2461	-
28.5	-	1.018	54.0	-	2538	-
31	-	1.050	59.1	-	2494	-
34.5	-	1.155	68.7	-	2462	-
38	kritik açı	-	-	-	-	-
39	-	0.882	-	26.9	-	1076
41	-	0.903	-	28.1	-	1074
47	-	0.930	-	32.0	-	1084
50	-	0.945	-	33.9	-	1089
53	-	0.966	-	35.8	-	1096

$$\bar{v}_L = 2465 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_{T1} = 1083 \text{ msn}^{-1}$$

Dönme eksenini: x

$i(^{\circ})$	d(mm)	t(μsn)	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{m/sn})$	$v_{T2}(\text{m/sn})$
0	1.1	-	-	-	2432	-
11	-	0.819	19.0	-	2554	-
16	-	0.822	27.4	-	2499	-
17	-	0.830	28.4	-	2435	-
19	-	0.840	32.0	-	2436	-
20.5	-	0.861	35.7	-	2494	-
24.5	-	0.892	43.0	-	2461	-
25	-	0.924	44.9	-	2500	-
28.5	-	1.018	54.0	-	2538	-
31	-	1.050	59.1	-	2494	-
34.5	-	1.155	68.7	-	2462	-
38	kritik açı	-	-	-	-	-
39	-	0.882	-	26.9	-	1076
42.5	-	0.924	-	28.9	-	1070
47	-	0.930	-	32.0	-	1084
50	-	0.945	-	33.9	-	1089
53	-	0.966	-	35.8	-	1096

TABLO-I.k

Çekme oranı : $\lambda = 1.21$
 Sıcaklık : 15.5°C
 Kalınlık : $\delta = 2.572 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{m/sn})$	$v_{T1}(\text{m/sn})$
0	0.98	-	-	-	2418	-
14.5	-	0.735	24.8	-	2507	-
18.5	-	0.756	31.9	-	2493	-
21	-	0.787	37.0	-	2513	-
26	-	0.840	46.9	-	2493	-
28	-	0.861	50.8	-	2471	-
31.5	-	0.915	58.5	-	2442	-
32	-	0.945	60.6	-	2461	-
33.5	-	0.987	64.8	-	2454	-
35	-	1.050	70.0	-	2452	-
38	kritik açı	-	-	-	-	-
41	-	0.840	-	27.8	-	1064
47	-	0.861	-	31.7	-	1075
51.5	-	0.903	-	34.2	-	1075
53	-	0.924	-	35.0	-	1075

$$\bar{v}_L = 2478 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_{T1} = 1074 \text{ msn}^{-1}$$

TABLO-I.2

Çekme oranı : $\lambda = 1.21$
 Sıcaklık : 15.5°C
 Kalınlık : $\ell = 2.572 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : x

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	0.99	-	-	-	2433	-
1	-	0.714	1.7	-	2544	-
10	-	0.735	17.3	-	2563	-
13	-	0.756	22.8	-	2578	-
15	-	0.777	26.7	-	2598	-
17.5	-	0.798	31.5	-	2601	-
18	-	0.808	32.7	-	2621	-
19.5	-	0.819	35.6	-	2610	-
21	-	0.829	38.4	-	2594	-
23.5	-	0.840	42.9	-	2559	-
24.5	-	0.856	45.2	-	2561	-
25.5	-	0.861	47.0	-	2543	-
27	-	0.882	50.2	-	2534	-
28	-	0.913	53.1	-	2549	-
28.5	-	0.924	54.4	-	2550	-
29.5	-	0.945	56.9	-	2546	-
30	-	0.966	58.7	-	2558	-
31	-	1.018	62.8	-	2588	-
32.5	-	1.071	67.7	-	2577	-
33	-	1.102	70.0	-	2577	-
35	kritik açı	-	-	-	-	-
37.5	-	0.777	-	26.0	-	1077
44	-	0.798	-	30.4	-	1090
46	-	0.819	-	31.5	-	1087
48	-	0.829	-	32.8	-	1091
51.5	-	0.833	-	35.2	-	1102
53	-	0.840	-	36.2	-	1107

yz düzleminde

r	$2r$	$\text{Cos}2r$	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	10^6msn^{-2}
26.7	53.4	0.596		7.90
31.5	63.0	0.453		7.94
32.8	65.6	0.413		8.05
35.2	70.4	0.335		8.02

TABLO-I.m

Çekme oranı : $\lambda = 1.30$
 Sıcaklık : 15°C
 Kalınlık : $\ell = 2.558 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$\bar{v}_L(\text{msn}^{-1})$	$\bar{v}_{T1}(\text{msn}^{-1})$
0	0.98	-	-	-	2426	-
6	-	0.693	10.0	-	2486	-
12	-	0.714	20.0	-	2462	-
21.5	-	0.777	37.6	-	2492	-
27	-	0.819	47.7	-	2438	-
30	-	0.892	55.8	-	2476	-
32	-	0.945	60.8	-	2465	-
35	-	1.039	69.7	-	2447	-
38.5	kritik açı	-	-	-	-	-
40	-	0.892	-	26.5	-	1039
48	-	0.903	-	31.8	-	1061
51	-	0.913	-	33.7	-	1068
53	-	0.924	-	34.9	-	1072

$$\bar{v}_L = 2462 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_{T1} = 1060 \text{ msn}^{-1}$$

TABLO-I.n

Çekme oranı : $\lambda = 1.30$
 Sıcaklık : 15°C
 Kalınlık : $\ell = 2.558 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : x

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{msn}^{-1})$	$v_{T_2}(\text{msn}^{-1})$
0	0.97	-	-	-	2411	-
1	-	0.672	1.64	-	2454	-
8	-	0.707	13.5	-	2511	-
11	-	0.714	18.6	-	2502	-
14	-	0.735	24.1	-	2526	-
16	-	0.745	27.6	-	2516	-
17	-	0.776	29.9	-	2552	-
17.5	-	0.777	31.0	-	2564	-
18	-	0.787	32.2	-	2581	-
20	-	0.790	35.6	-	2547	-
21	-	0.798	37.5	-	2542	-
23	-	0.819	41.5	-	2538	-
24	-	0.840	43.9	-	2552	-
24.5	-	0.850	45.1	-	2557	-
25	-	0.871	46.8	-	2582	-
27	-	0.892	50.8	-	2555	-
28	-	0.913	53.4	-	2559	-
29.5	-	0.945	57.2	-	2555	-
30.5	-	0.976	60.2	-	2559	-
31	-	0.987	61.5	-	2554	-
32	-	1.039	65.6	-	2572	-
32.5	-	1.050	66.9	-	2562	-
33.5	-	1.102	71.0	-	2564	-
36	kritik açı	-	-	-	-	-
39.5	-	0.808	-	27.0	-	1068
44.5	-	0.819	-	30.4	-	1080
46	-	0.820	-	31.4	-	1084
51	-	0.829	-	34.8	-	1099
52	-	0.835	-	35.5	-	1103
53	-	0.840	-	36.1	-	1104

yz düzleminde

r	$2r$	$\text{Cos}2r$	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	$10^6 \frac{2-2}{\text{msn}}$
27.6	55.2	0.5707	7.47	
30.4	60.8	0.4878	7.67	
31.4	62.8	0.4570	7.76	
35.6	71.2	0.3222	7.70	

TABLO-I.o

Çekme oranı : $\lambda = 1.41$
 Sıcaklık : 18°C
 Kalınlık : $\ell = 2.474 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : z

$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$\bar{v}_L(\text{msn}^{-1})$	$\bar{v}_{T1}(\text{msn}^{-1})$
0	0.94	-	-	-	2410	-
10	-	0.661	16.5	-	2448	-
17	-	0.693	28.5	-	2443	-
20	-	0.714	33.9	-	2441	-
24.5	-	0.756	42.5	-	2438	-
28.5	-	0.819	51.2	-	2445	-
31	-	0.861	56.8	-	2432	-
34	-	0.945	65.2	-	2430	-
36	-	1.029	72.4	-	2427	-
38	kritik açı	-	-	-	-	-
42	-	0.871	-	27.7	-	1039
44	-	0.886	-	28.9	-	1041
47.5	-	0.903	-	31.1	-	1048
51	-	0.913	-	33.3	-	1057
53	-	0.924	-	34.5	-	1061

$$\bar{v}_L = 2433 \text{ msn}^{-1}$$

$$\bar{v}_{T1} = 1049 \text{ msn}^{-1}$$

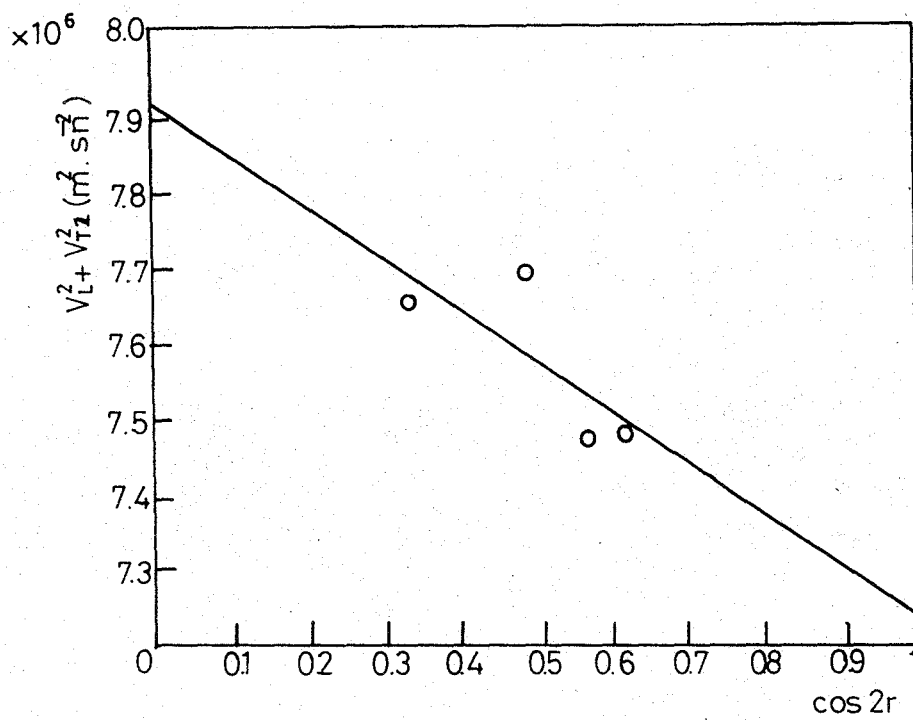
TABLO-I.p

Çekme oranı : $\lambda = 1.41$
 Sıcaklık : 20°C
 Kalınlık : $\delta = 2.474 \text{ mm}$
 Dönme eksenini : x

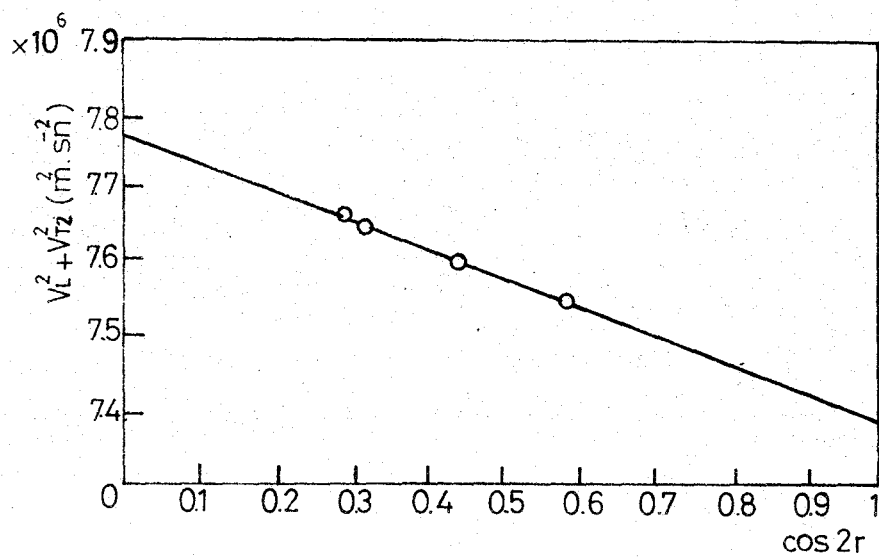
$i(^{\circ})$	$d(\text{mm})$	$t(\mu\text{sn})$	$r_L(^{\circ})$	$r_T(^{\circ})$	$v_L(\text{m/sn})$	$v_{T_2}(\text{m/sn})$
0	0.95	-	-	-	2430	-
1	-	0.682	1.7	-	2533	-
12	-	0.703	20.6	-	2533	-
15	-	0.709	25.7	-	2508	-
16	-	0.714	27.5	-	2507	-
17	-	0.724	29.4	-	2513	-
18.5	-	0.735	32.2	-	2514	-
20	-	0.756	35.3	-	2529	-
20.5	-	0.764	36.4	-	2536	-
21	-	0.777	37.7	-	2554	-
22	-	0.798	40.1	-	2574	-
23.5	-	0.819	43.4	-	2579	-
24.5	-	0.825	45.2	-	2561	-
25.6	-	0.840	47.6	-	2558	-
27	-	0.861	50.8	-	2555	-
28	-	0.882	53.3	-	2556	-
28.5	-	0.913	55.6	-	2588	-
29	-	0.924	56.9	-	2586	-
30	-	0.945	59.5	-	2579	-
31	-	0.966	62.1	-	2568	-
31.5	-	0.987	63.9	-	2572	-
32	-	1.039	67.5	-	2609	-
32.5	-	1.050	68.8	-	2597	-
35.5	Kritik açı	-	-	-	-	-
37	-	0.735	-	25.8	-	1082
40	-	0.745	-	27.8	-	1086
45	-	0.756	-	31.2	-	1096
50	-	0.777	-	34.5	-	1102
51.5	-	0.798	-	35.2	-	1102
53	-	0.819	-	36.0	-	1101

yz düzleminde:

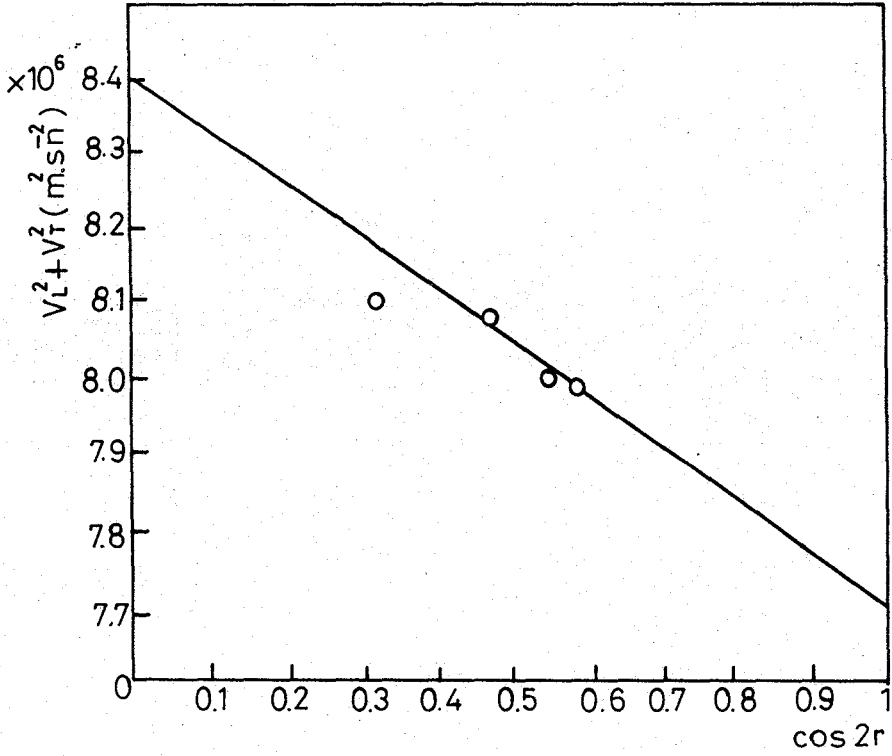
r	$2r$	$\text{Cos}2r$	$(v_L^2 + v_{T_2}^2)$	$10^6 \text{ m}^2 \text{ sn}^{-2}$
25.7	51.4	0.6238		7.460
27.8	55.6	0.5649		7.464
35.3	70.6	0.3321		7.610
36.0	72.0	0.3090		7.640



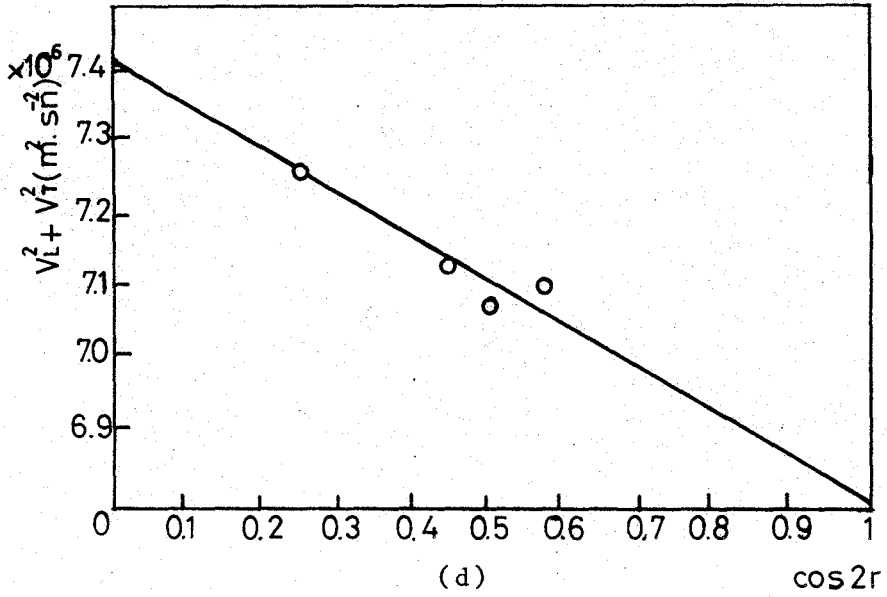
(a)



(b)

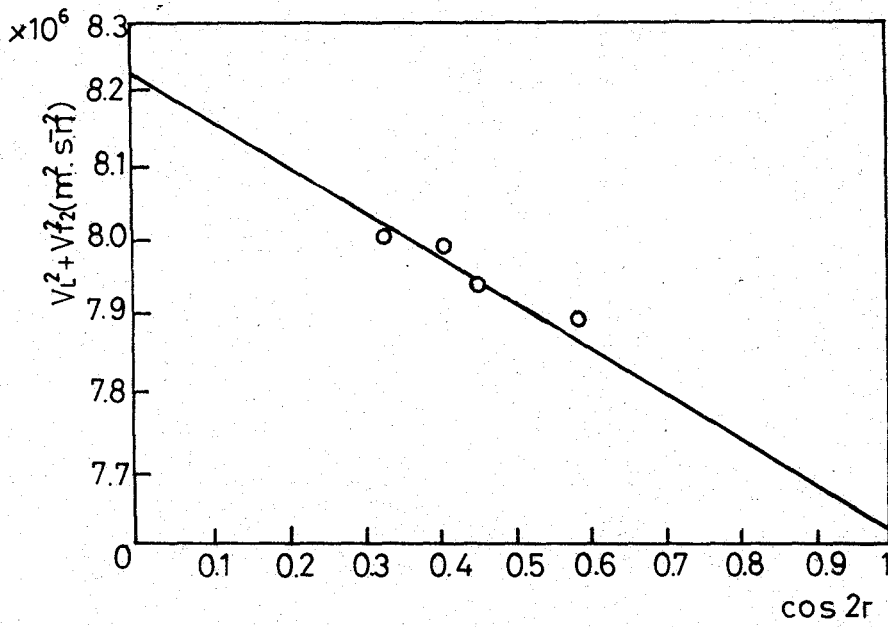


(c)

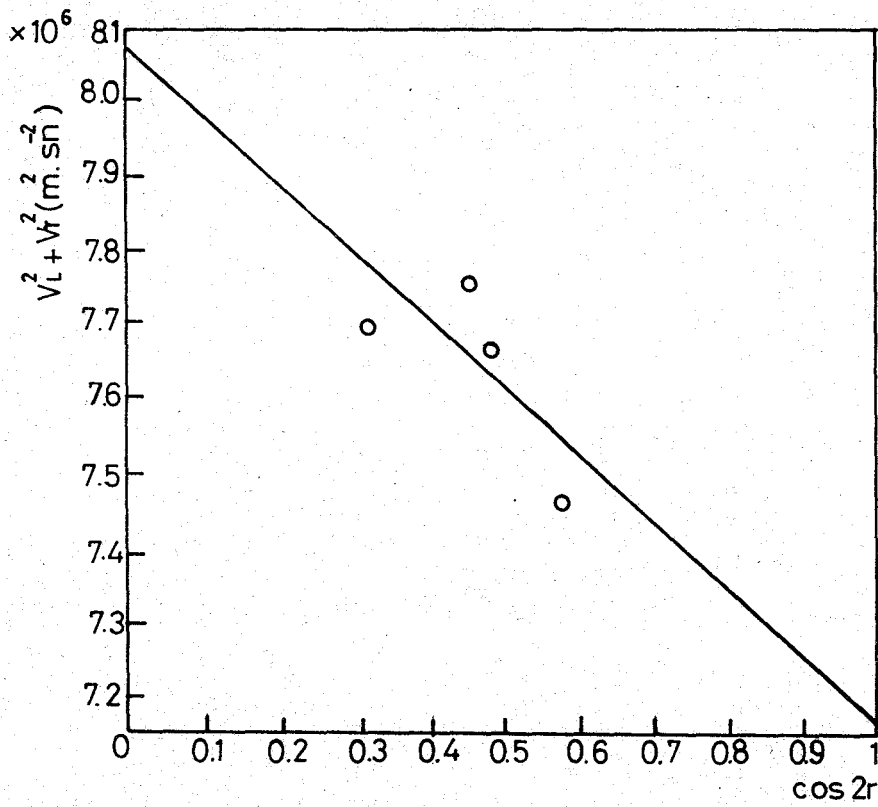


(d)

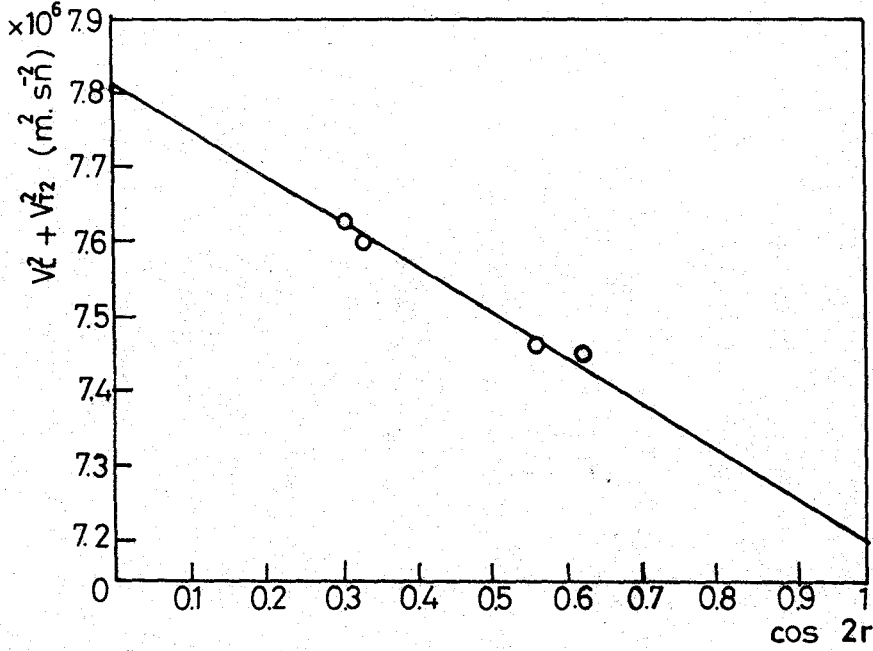
Şekil-5.3: a) $\lambda=1.20$, b) $\lambda=1.26$, c) $\lambda=1.33$ d) $\lambda=1.37$ çekme oranlı yerli örnek maddeler için $v_L^2 + v_{T2}^2$ 'nin $\cos 2r$ 'ye göre grafiği. v_L ve v_{T2} (5.25) ve (5.26) denklemlerindeki sankiboyuna ve sankienine dalga hızlarıdır. r , dalga normalinin y eksenine yaptığı açıdır.



(a)



(b)



(c)

Şekil-5.4: a) $\lambda = 1.21$, b) $\lambda = 1.30$, c) $\lambda = 1.41$ çekme oranlı Avrupa örnek maddeler için $v_L^2 + v_{T2}^2$ 'nin $\cos 2r$ 'ye göre grafiği, Burada da v_L ve v_{T2} (5.25) ve (5.26) denklemlerindeki sankiboyuna ve sankienine dalga hızlarıdır. r , dalga normalinin y eksenine yaptığı açıdır.

5.3. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ELASTİK SABİTLERİNİN HESAPLANMASI

Örnek maddeler ince olduklarından x ve z eksenlerine paralel doğrultularda dalga göndererek hız ölçebilmek mümkün olmadığından, Şekil-4.5 de tanımlanan eksen sistemine göre türetilen bağıntılardan elastik sertlik sabitlerinin değerleri hesaplandı.

Çekme doğrultusuna dik düzlemde $v_L(r)$ ve $v_{T1}(r)$ hızları değişik açılarda ölçülüp, ortalamaları alınarak

$$c_{11} = \rho v_L^2 \quad (5.18)$$

ve

$$c_{12} - c_{11} = 2\rho v_{T1}^2 \quad (5.20)$$

eşitliklerinde yerlerine konularak c_{11} ve c_{12} sabitlerinin değerleri hesaplandı.

Çekme doğrultusuna paralel düzlemde ise, yine değişik açılarda $v_L(r)$ ve $v_{T2}(r)$ hızları ölçülüp, r_L , r_T kırılma açılarının eşit olan değerleri alınarak $2r$ 'ler ve bunların kosinüs'leri ile $v_L^2(r) + v_{T2}^2(r)$ hesaplandı, toplamları bulundu. $v_L^2(r) + v_{T2}^2(r)$ 'nin $\cos 2r$ 'ye göre grafiği çizildi. (5.30 eşitliğinin grafiği en küçük kareler yöntemi ile çizildi ve bu çizimde $\cos 2r$ değerleri x eksenini boyunca, $v_L^2(r) + v_{T2}^2(r)$ değerleri ise y eksenini boyunca yer aldılar.)

$$m = \frac{\sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2}$$

$$n = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum y_i \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2}$$

eşitliklerinden m -doğrunun eğimi- ve n değerleri hesaplandı.

(5.30) eşitliği dikkate alınır, bu doğrunun eğiminin $-\frac{1}{2\rho}(c_{33} - c_{11})$ ifadesine eşit olmasından c_{33} elde edildi. $\cos 2r=0$ olmasına karşı gelen noktanın ordinatının $1/2(c_{33} + c_{11}) + c_{44}$ ifadesine eşit olmasından ise c_{44} elde edildi.

c_{13} için (5.31) eşitliğinin sol tarafındaki v_{T2}^2 değeri $v_L^2 + v_{T2}^2 = n$ eşitliğinden hesaplanır, $v_{T2}(r)$ 'nin hesaplanan değeri ile $v_L(r)$ 'nin 45° lik kırılma açısı değerine karşılık gelen hız değerleri (5.31) eşitliğinde yerine konularak c_{13} bulundu.

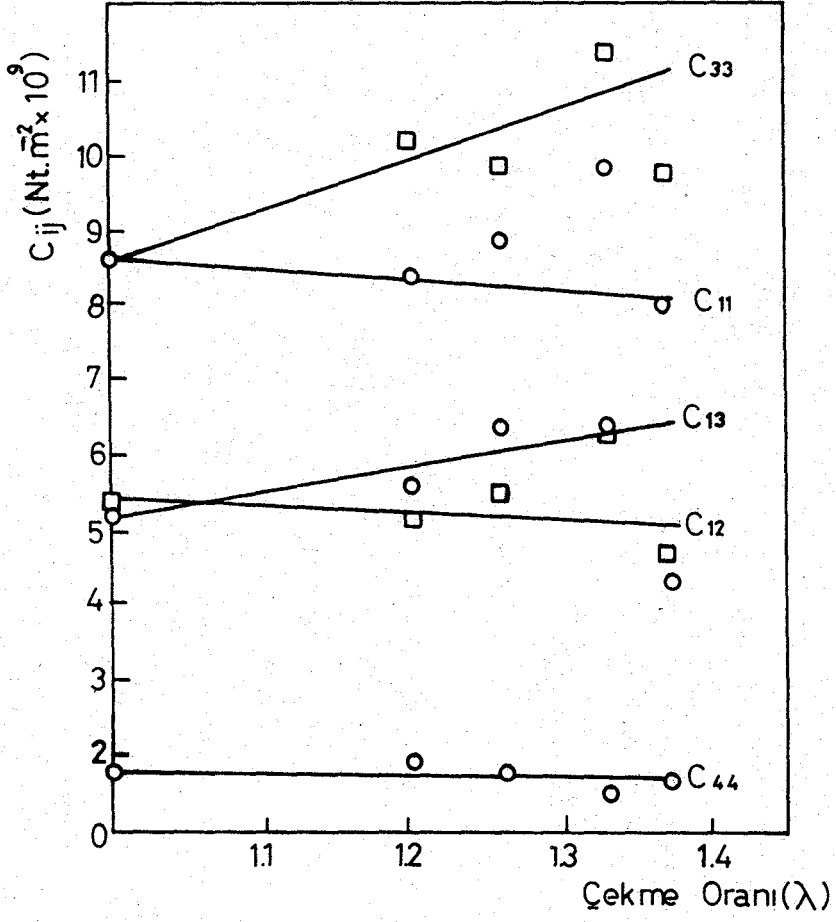
Elastik sertlik sabitleri ve elastik uyum sabitleri

Yerli örnekler için:

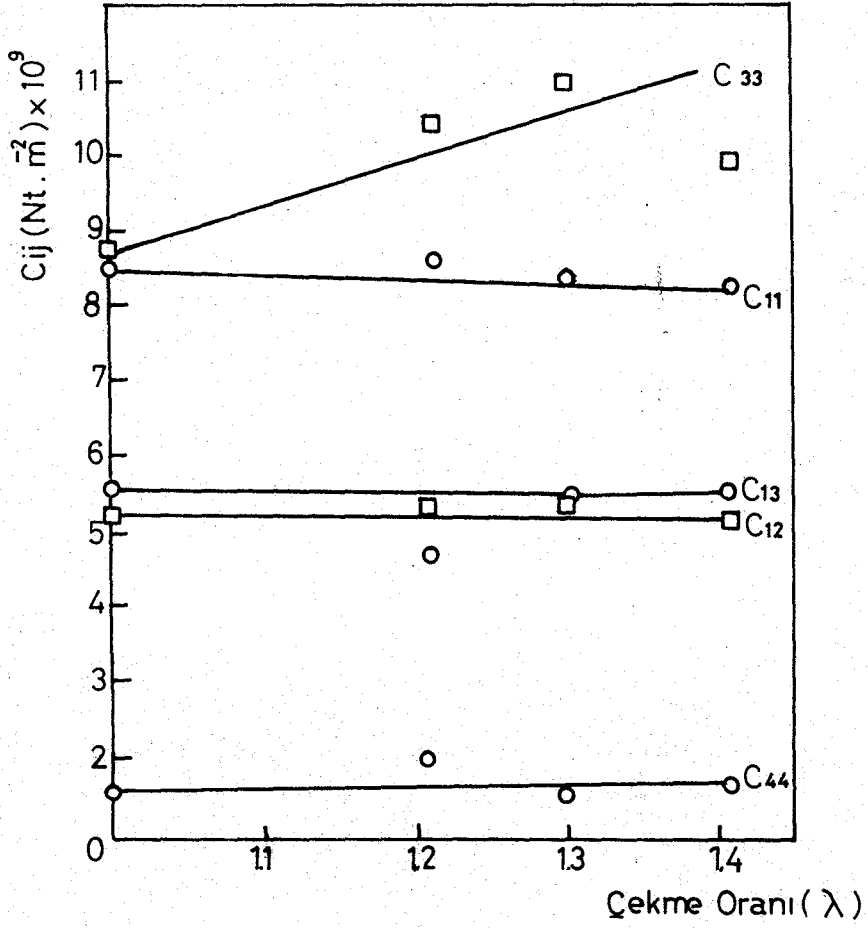
λ	1	1.20	1.26	1.33	1.37	
C_{11}	8.65	8.36	8.79	9.40	7.95	
C_{12}	5.34	5.20	5.59	6.31	4.61	
C_{13}	5.14	5.60	6.41	6.49	4.48	$Nt\ m^{-2} \times 10^9$
C_{33}	8.65	10.24	9.85	11.38	9.53	
C_{44}	1.71	1.87	1.63	1.45	1.68	
S_{11}	0.214	0.225	0.239	0.222	0.208	
S_{12}	-0.087	-0.091	-0.073	-0.101	-0.090	
S_{13}	-0.075	-0.073	-0.107	-0.068	-0.054	$m^2\ Nt^{-1} \times 10^{-9}$
S_{33}	0.205	0.178	0.241	0.166	0.156	
S_{44}	0.584	0.534	0.613	0.689	0.591	

Avrupa örnekler için:

λ	1	1.21	1.30	1.41	
C_{11}	8.48	8.57	8.46	8.26	
C_{12}	5.20	5.35	5.32	5.19	
C_{13}	5.51	4.64	5.36	5.52	$Nt\ m^{-2} \times 10^9$
C_{33}	8.77	10.31	10.91	9.98	
C_{44}	1.58	2.07	1.55	1.79	
S_{11}	0.225	0.206	0.217	0.232	
S_{12}	-0.077	-0.103	-0.100	-0.094	
S_{13}	-0.092	-0.046	-0.057	-0.075	$m^2\ Nt^{-1} \times 10^{-9}$
S_{33}	0.230	0.138	0.148	0.183	
S_{44}	0.632	0.483	0.645	0.558	



Şekil-5.5: Yerli örnek maddenin (PVC) elastik sertlik sabitlerinin çekme oranına göre değişimi



Şekil-5.6: Avrupa örnek maddenini (PVC) elastik sertlik sabitlerinin çekme oranına göre değişimi

SONUÇLAR

Birinci bölümde de belirtildiği gibi; polimerler gerek endüstride gerekse de yiyecek, giyecek yapımında yararlanılmasıyla, hatta insanın çalışmayan organlarının yerine de kullanılmasıyla çağdaş insanın yaşamında önemli bir yer tutarlar. Dolayısıyla insan yaşamı için büyük önemi olan bu kimyasal maddelerin fizik yapılarını da incelemek onları daha yakından tanımak açısından önemlidir.

Bu çalışmada; önemli bir polimer olan PVC -Polivinilklorür- nin fiziksel özellikleri -polimerlerin fiziksel yapılarını incelemeye çeşitli yöntemlerden biri olan- "Ultrasonik Puls" yöntemi ile araştırıldı.

Başlangıçta fiziksel yapısını bilemediğimiz PVC sıcaklık etkisi altında bir yönde çekilerek uzatıldı. Dolayısıyla çekme doğrultusunda, bilinen bir kristal yapısı olan "Hekzagonal Yapı" oluşturuldu. Daha sonra, biri çekme doğrultusuna dik, diğeri ise çekme doğrultusu yönünde olmak üzere iki yönde ve değişik açılar altında ultrasonik dalgaların hazırlanan örnek maddelerden geçişi izlendi.

Çekme doğrultusuna dik düzlemde değişen açıya bağlı olarak dalga hızlarında önemli bir değişimin gözlenmemesi bu düzlemde izotropluğun korunduğunun, aksine olarak çekme doğrultusu yönündeki düzlemlerde ise dalga hızının, dalga normalinin yayılma doğrultusu ile yaptığı açıya bağlı olarak değiştiğinin gözlenmesi ise bu doğrultuda anizotropik bir yapı oluştuğunun kesin kanıtıdır.

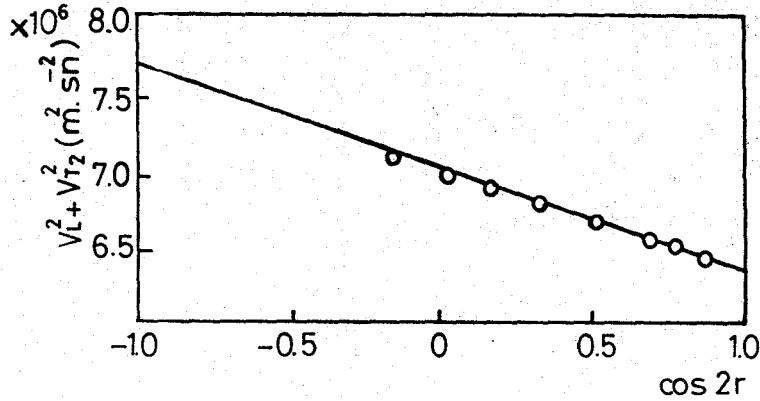
Gerek izotropik gerekse de anizotropik yönlerde ölçülen dalga hızlarından, beşinci bölümdeki kuramsal bağıntıların yardımı ile c_{ij} elastik sertlik sabitleri hesaplandı. Kuramsal olarak, çekilmemiş durumda -yani $\lambda=1$ - elastik sertlik sabitlerinin değerleri için $C_{11}=C_{33}$, $C_{12}=C_{13}$ olması gerekmektedir.

DeneySEL sonuçlarda gözlenen küçük farklılıkların başlıca nedenlerini şu şekilde açıklayabiliriz: Başlangıçta yerli örnek maddeler yaklaşık 10 cm çapındaki bir borudan, Avrupa örnek maddeler ise 5 cm çapındaki bir borudan kesildiler. Böylelikle bu ilk durumda bile örnek maddelerde bir deformasyon (şekildeğişim) vardır. Öte yandan boru halden düzeltilen örnek maddeler fırında ısıtılarak yumuşatıldılar ve sonra üzerlerine konan düzgün ağır-

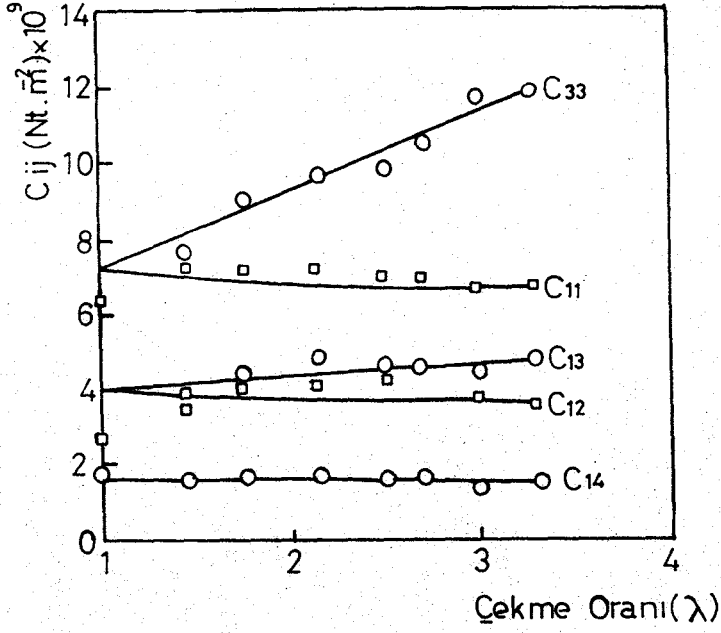
lıklar yardımı ile düzeltildiler. Bu arada bazı örneklerde ovalleşme görüldü. Fakat incelenecek olan örnek maddelerin yüzeyleri olabildiğince düzgün olmalıydı. Bunun için yeniden fırına koyulan örnek maddeler 90°C sıcaklıkta birbuçuk saat bekletilerek yumuşatıldı ve mengene yardımıyla sıkıştırılarak düzgünleştirildi. Yüzeydeki bu ovalleşme torna ile alınarak yüzeyin düzgünleşmesi sağlanabilirdi, fakat bu durumdaki örnek maddelerin kalınlıkları bu işlem için yeterli değildi. Nitekim bu sıkıştırmanın etkisi yerli örneklerden $\lambda=1.37$ ye karşılık gelen örneğin değerlerinde gözlemlendi. Burada çekme oranı ile ilgili olarak artması gereken C_{33} değeri büyük düşüş gösterdi.

Hız ölçümleri ve bu ölçümlerden elde edilen deneysel sonuçlar; polimerik maddelerde çekme işlemi sonunda, çekme doğrultusu boyunca yapının anizotropik yapıya dönüştüğü kuramsal varsayımını doğrulamıştır.

Benzer çalışmayı 1973 yılında İngiltere'de Surrey Üniversitesinde gerçekleştiren F.F. Rawson ve J.G. Rider aşağıdaki deneysel sonuçları elde etmişlerdir⁽⁵⁾.



Şekil-5.7: F.F. Rawson ve J.G. Rider'in deneysel sonuçları ve $v_L^2 + v_{T2}^2$ nin $\cos 2r$ 'ye göre grafiği. Burada da v_L ve v_{T2} boyuna ve enine hızlardır. r ise dalga normalinin y eksenine ile yaptığı açıdır.



Şekil-5.8: F.F.Rawson ve J.G. Rider'in buldukları c_{ij} elastik sertlik sabiti değerlerinin çekme oranı λ 'ya göre çizilmiş grafiği.

Bu açıklamalardan da görüleceği gibi, deneysel olanaksızlıklar yüzünden kalınan küçük çekme oranları durumunda, bulunan sonuçlar Rawson ve Rider'in sonuçları ile karşılaştırılmış ve yaklaşık değerlerde oldukları gözlenmiştir. Oluşan farklılıklar ise -yukarıda belirtildiği gibi- kullanılan örnek maddelerin yoğunluklarının farklılığı ve ilk durumda bile belli bir deformasyona sahip olmalarının sonucudur.

KAYNAKLAR

1. Auld, B.A.
ACOUSTIC FIELDS AND WAVES IN SOLIDS, John Wiley, USA, 1971.
2. Baysal, Bahattin,
POLİMER KİMYASI, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1981.
3. Gümüş, Cafer
ÇEKME İLE YÖNLENDİRİLMİŞ POLİMETİLMETAKRİLAYT VE POLİOKSİMİ-
TİLEN'in ELASTİK SABİTLERİNİN ULTRASONİK YÖNTEMLE ÖLÇÜLMESİ,
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1980.
4. Musgrave, M.J.P.,
CRYSTAL ACOUSTICS, Holden-Day, San Fransisco, 1970.
5. Rawson, F.F. and J.G. Rider,
THE ELASTIC CONSTANTS OF ORIENTED POLYVINYL CHLORIDE,
Department of Physics, University of Surrey, Guildford,
Surrey, 1974.
6. Römpp, Hermann,
CHEMIE LEXIKON, Band III: M-R, Franckh'sche Verlagshandlung,
Stuttgart, 1966.

Deney düzeneğinin fotoğrafı