



Piezoelektrik Dönüştürücülerde Kullanılan Takviye Malzemesinin Sertlik Yönünden İncelenmesi

Investigation of Hardness of Backing Material Used in Piezoelectric Transducers

Baki Karaböce, Hüseyin Okan Durmuş, Emel Çetin, Mithat Özdingiş
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Medikal Metroloji Laboratuvarı, Kocaeli, Türkiye

{baki.karaboce, huseyinokan.durmus, emel.cetin, mithat.ozdingis}@tubitak.gov.tr

Özetçe — Ultrasonik proplar/dönüştürücüler, temelde başlıca gövde, piezoelektrik eleman/malzeme, takviye malzemesi (backing malzemesi), ön yüze uygulanan akustik eşleştirme katmanı, elektriksel bağlantılar ve empedans uyumlaştırma devreleri/bobinlerinden meydana gelmektedir. Ultrasonik gücün tek bir yönde kuvvetli bir şekilde iletilmesi, ultrasonik dönüştürücülerde kullanılan takviye malzemelerinin katı, sert, sabit yani rijit bir yapıda olmasına bağlıdır. Bu nedenle, ultrasonik dönüştürücülerde kullanılan takviye malzemelerinin sertliği hem hacimsel hem de ağırlıksal olarak epoksi malzemelerin farklı oranlarda karıştırılması ile araştırılmaya çalışılmıştır. Buradaki amacımız, farklı oranlardaki epoksi karışımların sertlik değerlerini değerlendirerek doğru karışım oranlarına ulaşmaktır. Sertlik ölçümleri Shore A skalasına göre yapılmıştır. Çalışmada, önce hacimsel olarak 7 farklı oranda hazırlanan karışımların sertliklerine bakılmış, çalışmanın ikinci bölümünde ise hacimsel oran sonuçları temelinde ağırlık olarak hazırlanan 4 farklı karışımın sertlikleri incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise yapıştırıcı ve sertleştiriciden oluşan epoksi malzemeye yoğunluğu artırarak ağırlık vermesi ve dolayısıyla daha iyi akustik empedans sağlaması için kullanılan tungsten tozu farklı ağırlıklarda eklenmiş ve nihai sertlik oranları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Ultrasonik Dönüştürücü / Prop, Piezoelektrik Malzeme, Takviye (Backing) Malzemesi, Sertlik Ölçümü

Summary — Ultrasonic probes / transducers are mainly composed of the main body (holder/case/housing), the piezoelectric element / active material, the backing material, the acoustic matching layer applied to the front face of the probe, the electrical connections and the impedance matching circuits / coils. The ability to transmit ultrasonic power in a single direction strongly depends on the rigid structure of the backing materials used in ultrasonic transducers. For this reason, it has been tried to be investigated the hardness of the backing materials used in ultrasonic transducers by mixing the epoxy materials at different ratios both in volume and by weight. Our goal here is to reach the correct mixture ratios by evaluating the hardness values of epoxy mixtures in different ratios. Hardness measurements were made on the Shore A scale. In the study, the hardnesses of the mixtures prepared in

seven different ratios were examined, and in the second part of the study, the hardnesses of the four different mixtures prepared as weight on the basis of the results of the volumetric ratios were investigated. In the last part of the study, tungsten powder, which is used to increase the density of the epoxy material and thus provide better acoustic impedance, was added in different weights to the epoxy material that consisted of adhesive and hardener components and so the final hardness ratios were tried to be determined.

Keywords - Ultrasonic Transducer / Probe, Piezoelectric Material, Backing Material, Hardness Measurement

I. GİRİŞ

Ultrasonik propların/dönüştürücülerin gövdelerinde piezoelektrik elemanı destekleyen ve genelde epoksi karışımlarından oluşan takviye malzemeler kullanılmaktadır. Bu takviye malzemelere “backing material”, yapılan işleme de “backing işlemi” denilmektedir.

Destek malzemelerinde yüksek akustik empedans elde etmek için tungsten, demir, magnezyum, alüminyum, vs. gibi dolgu tozları tercih edilmektedir. Ticari ultrasonik propların çoğu, tungsten partikülleri katılmış epoksiden oluşan bir kompozit destek malzemesine bağlı piezoelektrik transdüseri formundadır. Uygun katkılarla karıştırılan epoksiler birçok ultrasonik tahribatsız muayene (NDT) probunda ve diğer sualtı akustik transdüserlerinde (dönüştürücülerinde) destek malzemesi olarak kullanılmaktadır. Destek malzemeleri; dönüştürücülerden olabildiğince fazla güç alabilmek, aktif elemanın (piezoelektrik malzemenin) arka yüzeyine yayılan gücü emebilmek/sönümleyebilmek, aktif elemanı tek bir yönde desteklemek, yüksek bir yoğunluğa sahip ve yüksek derecede zayıflatıcı olduklarından dolayı dönüştürücünün titreşimini önlemek, azaltmak, kontrol edebilmek, destek malzemesi ile piezoelektrik malzeme arasındaki akustik empedans uyumlaştırma ile daha kısa bir sinyal uzunluğuna sahip ultrasonik dalgalar oluşturarak daha fazla çözünürlük (dar bant genişliği, daha yüksek hassasiyet) elde edebilmek, elektromanyetik kuplaj ve yankılamayı önleyebilmek, hem



yüksek seviyede bir akustik absorpsiyon (soğurma) hem de yüksek bir akustik empedans sağlayabilmek ve çalışma şartlarında yüksek basınçlara dayanabilecek sertlikte malzemelere ihtiyaç duyulduğu için kullanılmaktadır [1-4].

Bu çalışmada, ultrasonik proplarının gövdesi içerisinde bulunan ve başlıca yapıştırıcı, sertleştirici ve tungsten tozundan oluşan takviye malzemesinin sertlik yönünden en uygun/optimal karışım oranının tespit edilmesine çalışılmıştır.

II. KULLANILAN YÖNTEM

A. Karışımda Kullanılan Malzemeler

Backing malzeme başlıca iki farklı epoksi malzeme ve tungsten tozundan meydana gelmektedir. Epoksi malzemeler, ARALDITE AW 106 epoksi reçinesi ve HARDENER HV 953 U BD adındaki sertleştiriciden oluşan iki farklı kimyasal malzemenin farklı oranlarda karıştırılması ile elde edildikten sonra bu karışıma çeşitli oranlarda tungsten tozu ilave edilerek hazırlanmaktadır.

Araldite AW 106 reçine / sertleştirici HV 953U epoksi yapıştırıcı, seramik, ahşap ve metal de dahil olmak üzere birçok farklı malzemenin yapıştırılmasında kullanılan çok amaçlı, viskoz bir malzemedir. Elektriksel olarak yalıtkan bir yapıştırıcı, ya elle spatula veya sert fırça ile ya da mekanik olarak metre / karışım ve kaplama ekipmanı ile uygulanabilmektedir. Araldite AW 106 reçine / sertleştirici olarak HV 953U epoksi yapıştırıcı, uçucu bileşenler içermeyen 68 °F (20 °C) ila 356 °F (180 °C) arasındaki sıcaklıklarda kürlenebilmektedir [5].

Wolfram olarak da bilinen Tungsten, W sembolü ile gösterilmektedir ve atom numarası 74'dür. Tüm metaller arasında en yüksek erime sıcaklığına sahiptir (3422 ± 15 °C). Yoğunluğu 19.25 g / cm³ olan tungsten en ağır metaller arasındadır. Tungsten, tüm metallerin en düşük buhar basıncına sahiptir. Çok yüksek sıkıştırma (compression) ve elastikiyet modülüne, çok yüksek termal süne direncine ve yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptir [6]. Tungsten'in bazı temel fiziksel parametreleri şu şekildedir; Young Modulusun Nominal Değeri : 362 GPa (10⁹ N/m²); Yoğunluk : 19350 kg/m³; Ses Hızı : 4320 m/s; Poisson Oranı : 0,17; Karakteristik Empedansı : 83,6 Mrayls (10⁶ kg/(m²·s)) [7].

B. Hacimsel Oranlı Hazırlanan Karışımlar

ARALDITE AW 106 epoksi reçine ve HARDENER HV 953 U BD sertleştirici bileşenleri önceden belirlenen oranlarda ayrı ayrı 50 cc'lik hacim şırıngaları içerisine boşaltılmış, şırıngalar içerisindeki bileşenler farklı bir kapta bir araya getirilmiş ve homojen bir yapı elde edilene kadar karıştırılmıştır. Karıştırılan epoksi karışımı 5 ayrı gün için ayrılmış olan kaplara eşit bir şekilde paylaştırılmıştır. Epoksi karışımı döküldükten sonra kaplar üzerinde oluşan kabarcıklar, toplu iğne veya kürdan ucu yardımıyla giderilmiştir. Dökülen epoksi karışımının sertleşmesi için kaplar uygun, düz bir zemine yerleştirilmiştir. Çünkü sertlik ölçümü yapabilmek için en az 50 mm'lik düz bir zemine ihtiyaç duyulmaktadır. Hazırlanan hacim oranlı karışımların

bekleme süreleri sonundaki sertlikleri "Shore A" skalasına göre incelenmiştir.

C. Ağırlık Oranlı Hazırlanan Karışımlar

Epoksi karışım, aşağıda görülen iki farklı kimyasal malzemenin (ARALDITE AW 106 ve HARDENER HV 953 U BD) ağırlıklarının önceden belirlenen oranlarda (80/20, 90/10 vb.) karıştırılması ile elde edilmiştir. Epoksi karışımı döküldükten sonra yine kaplar üzerinde oluşan kabarcıklar, toplu iğne veya kürdan ucu yardımıyla giderilmiş ve dökülen epoksi karışımının sertleşmesi için kaplar uygun, düz bir zemine yerleştirilmiştir. Ağırlık ölçümlerinde METTLER TOLEDO PR2004 Comparator kullanılmıştır. Ağırlık ölçümlerinde kap ve reçine tartımlarından sonra dara alınarak sertleştirici tartımı yapılmıştır. ARALDITE HARDENER HV 953 U BD bileşeni kap terazi üzerindeyken diğer bileşenin üzerine yavaş yavaş ilave edilmiş ve ağırlıktaki değişim gözlenerek önceden belirlenen oranlarda ağırlıklar tartılmıştır. Hazırlanan ağırlık oranlı karışımların bekleme süreleri sonundaki sertlikleri Shore A skalası olarak incelenmiştir.

D. Tungsten Katkılı Ağırlık Oranlı Hazırlanan Karışımlar

Ağırlık oranlı hazırlanan epoksi karışımlara 1, 2, 5 ve 10 gram ağırlıklarda tungsten tozu karıştırılarak yeni karışımlar elde edilmiş ve bu karışımların bekleme süreleri sonundaki sertlikleri Shore A skalası olarak incelenmiştir.

E. Shore A Sertlik Ölçümü

Shore Sertlik cihazları, DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 868 ve ISO 7619-1 standartlarına uygun olarak Shore sertliklerini ölçmektedirler [8]. Shore sertliği batma derinliği esas alınarak ölçülür. Plastiğin içine batan bir uç ve ucun gerisinde bulunan yay lastiğinin sertliğine göre gerilir ve yayın gerilmesine bağlı olarak sertlik belirlenir. Malzemenin değeri ne kadar büyükse, batma mesafesi o kadar az, uygulanan kuvvetse bir o kadar yüksek olur [9]. Polimerlerin, elastomerlerin, kumaşların, kauçukların, süngerlerin, plastik ve esnek malzemelerin sertliğini belirlemek için Shore skalası kullanılır. Shore skalası sınırları batıcı uç ve kullanılan ağırlığa göre belirlenir.

- Shore A: yumuşak, doğal kauçuk, kauçuk, elastomer
- Shore B: Shore A'dan daha sert elastomerler
- Shore C: Orta sertlikteki elastomerler için
- Shore D: Sert elastomerler, plastikler ve güçlü termoplastikler
- Shore 0: Tekstil dokuma kumaşlar ve yumuşak elastomerler
- Shore 00: Köpük-Sünger-hücreli kauçuklar [10].

Plastik yada esnek malzemelerin sertlik değerini belirlemek için kullanılan yöntem "Shore Sertlik Değeri" denilmektedir. Bu nedenle, sertlik ölçümlerinde "Shore A" ölçeği/skalası kullanılmıştır. İstenilen gün sayısı kadar beklenen epoksi karışımlar ölçüme hazır hale getirilerek sertlikleri Shore A ölçeğine göre ölçülmüştür. Aşağıda Şekil 1'de Shore A Sertlik Ölçüm Cihazı ve cihaz ile numunelerin ölçümünün alınması görülmektedir.

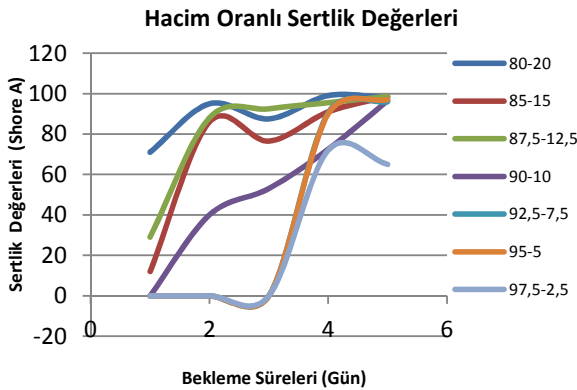


Şekil 1. Zwick Roeli marka Shore A sertlik ölçüm cihazı ve cihaz ile numunelerin ölçümünün alınması

III. SONUÇLAR

A. Hacim Oranlı Sertlik Ölçümleri

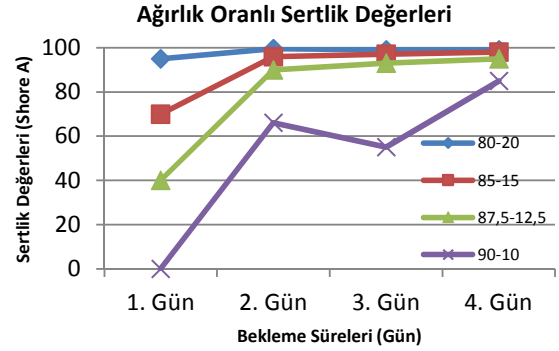
Epoksi reçine - sertleştirici oranı olarak yedi farklı karışım (80-20; 85-15; 87,5-12,5; 90-10; 92,5-7,5; 95-5; 97,5-2,5) hacimsel oranlı olarak hazırlanmış ve bu karışımların beş ayrı gün bekletilerek günlük olarak sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 2'de gösterildiği gibidir. İlginç bir biçimde 5. Gün sonunda 97,5-2,5 karışımı hariç diğer tüm numunelerin hepsi sertlik yönünden aynı noktaya yönelindikleri görülmüştür. 87,5-12,5 oranlı karışımın ise daha kararlı bir yönelimde olduğu bulunmuştur. Buradan yola çıkarak hacimsel olarak 80-20, 85-15, 87,5-12,5 ve 90-10 oranlı karışımların ağırlık olarak sertlik yönünden incelenmesine karar verilmiştir.



Şekil 2. Hacim oranlı sertlik değerleri

B. Ağırlık Oranlı Sertlik Ölçümleri

Epoksi reçine - sertleştirici oranı olarak 4 farklı karışım ağırlık oranlı (80-20; 85-15; 87,5-12,5 ve 90-10) olarak hazırlanmış ve bu karışımların dört ayrı gün bekletilerek günlük olarak sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları aşağıda Şekil 3'de gösterildiği gibidir. Yine ağırlık oranlı karışımlarda da ilginç bir biçimde 4. Gün sonunda 90-10 karışımı hariç diğer tüm karışımların sertlik yönünden aynı noktaya yönelindikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3. Ağırlık Oranlı Sertlik Değerleri

C. Tunsten Katkılı Sertlik Ölçümleri

Ağırlık oranlı karışımların sertlik değerleri sonuçlarından 80-20, 85-15 ve 87,5-12,5 oranlı karışımlara 1, 2, 5 ve 10 gram ağırlıklarda tungsten tozu karışımı ilave edilmiş ve bu karışımların bekleme süreleri sonundaki sertlik değerlerine bakılmıştır. Ölçüm sonuçları aşağıda Tablo 1'den Tablo 3'e kadar görüldüğü gibidir.

Tablo 1. 80-20 oranları üzerine eklenen tungsten tozu miktarlarına karşılık ölçülen sertlik değerleri tablosu

| Ölçülen Sertlik Değerleri (Shore A) | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| | 1 g | 2 g | 5 g | 10 g |
| 1. Gün | 96 | 91 | 95 | 94 |
| 2. Gün | 97 | 99 | 99 | 99 |
| 3. Gün | 99 | 98 | 98 | 98 |
| 4. Gün | 99 | 99 | 99 | 99 |
| 5. Gün | 97 | 97 | 99 | 93 |
| Ortalama | 97,6 | 96,8 | 98 | 96,6 |

Not : Verilen sertlik değerleri en yüksek ölçülen sertlik değerlerdir.

Tablo 2. 85-15 oranları üzerine eklenen tungsten tozu miktarlarına karşılık ölçülen sertlik değerleri tablosu

| Ölçülen Sertlik Değerleri (Shore A) | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 g | 2 g | 5 g | 10 g |
| 1. Gün | 65 | 71 | 97 | 70 |
| 2. Gün | 92 | 91 | 93 | 94 |
| 3. Gün | 94 | 95 | 93 | 96 |
| 4. Gün | 96 | 97 | 95 | 95 |
| 5. Gün | 98 | 99 | 94 | 93 |
| Ortalama | 89 | 90,6 | 94,4 | 89,6 |

Not : Verilen sertlik değerleri en yüksek ölçülen sertlik değerlerdir.



Tablo 3. 87,5-12,5 oranları üzerine eklenen tungsten tozu miktarlarına karşılık ölçülen sertlik değerleri tablosu

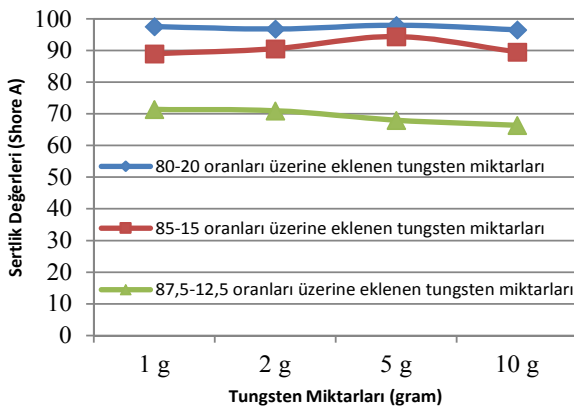
| Ölçülen Sertlik Değerleri (Shore A) | | | | |
|-------------------------------------|------|-----|-----|------|
| | 1 g | 2 g | 5 g | 10 g |
| 1. Gün | 35 | 35 | 40 | 40 |
| 2. Gün | 70 | 68 | 64 | 62 |
| 3. Gün | 94 | 80 | 68 | 64 |
| 4. Gün | 71 | 81 | 75 | 80 |
| 5. Gün | 87 | 91 | 93 | 86 |
| Ortalama | 71,4 | 71 | 68 | 66,4 |

Not : Verilen sertlik değerleri en yüksek ölçülen sertlik değerlerdir.

Ağırlık oranlı farklı epoksi karışım oranlarının; 1, 2, 5 ve 10 gramlık tungsten tozları karışımları ile birlikte 5 günlük ortalamalarını sertlik yönünden incelediğimizde 80-20 oranları üzerine eklenen tungsten tozu miktarlarının daha sert bir yapıda olduğu ortaya çıkmaktadır. Sertlik ölçüm sonuçları Tablo 4 ve Şekil 4'den görülebilir.

Tablo 4. Ağırlık oranlı farklı karışım oranlarına eklenen 1, 2, 5 ve 10 gramlık tungsten ilavelerinin sertlik değerine etkisinde 5 günlük ortalama sertlik değerleri tablosu

| Tüm Günler Üzerinden Bulunan Ortalama Sertlik Değerleri (Shore A) | 1 g | 2 g | 5 g | 10 g |
|---|------|------|------|------|
| 80-20 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları | 97,6 | 96,8 | 98 | 96,6 |
| 85-15 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları | 89 | 90,6 | 94,4 | 89,6 |
| 87,5-12,5 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları | 71,4 | 71 | 68 | 66,4 |



Şekil 4. Ağırlık oranlı karışımların üzerine eklenen 1-2-5 ve 10 gramlık numunelerin tüm günlerin ortalaması olarak sertlik değerleri

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada, ultrasonik propların gövdesi içerisinde bulunan takviye (backing) malzemesinin sertlik yönünden en uygun karışımı elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde hacimsel oranlar üzerinden en sert karışımlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise ağırlık oranları üzerinden en sert karışımlar elde

edilmiştir. Ağırlık oranları sonuçları üzerinden de epoksi karışımlarına değişik oranlarda (1,2,5 ve 10 gram olarak) tungsten tozu ilave edilmiş ve bu şekilde nihai sertlikler ölçülmüştür.

Çalışmamızda, hem epoksi karışımının hem de epoksi-tungsten karışımlarının sertlik değerlerinin 3 günden sonra arttığı gözlemlenmiştir. Bu bilgi temelinde 3 gün ile 5 gün arasında ölçülen ağırlık oranlı farklı oranlardaki epoksi-tungsten karışımlarının sertlik değerlerinin ortalaması değerlendirildiğinde daha net bir kıyaslama imkanı vermektedir. 5 gram ve 10 gram tungsten ilaveli karışımlarda yapıştırıcı-sertleştirici oranındaki sertleştirici miktarı azaldıkça sertlik değeri de azalmaktadır.

Sonuç olarak 80-20 oranındaki epoksi karışımına ilave edilen tungsten miktarlarının en sert karışımları verdiği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak ağırlıkça 80-20 oranındaki epoksi karışımlarına 1 veya 2 gramlık tungsten tozu ilave edilmesinin sert takviye (backing) malzemesi elde edilmesi için optimum bir değer olduğu söylenebilir.

Bundan sonraki çalışmalarda “Yapıştırıcı-Sertleştirici (80-20 oranı gibi)” oranında, yapıştırıcı yönünde de araştırma çalışması genişletilebilir. Bir başka deyişle, 80-20, 75-25, 70-30 gibi oranlarda da benzer bir çalışma tekrarlanabilir.

TEŞEKKÜR

Numune hazırlama çalışmalarına katkıda bulunan stajyer öğrencilerimiz Kübra Ergül, Esra Toprak, Şule Balcı ve Ayşenur Kıracı ile sertlik ölçüm çalışmalarına destek veren TÜBİTAK UME Kuvvet Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] K. B. Kim, M. S. Kim, S. D. Lee, and M. Y. Choi, Consideration of Design Parameters of Ultrasonic Transducer for Fruit, AIP Conference Proceedings 760, 1047 (2005); doi: 10.1063/1.1916788
- [2] G.C. LOW and R.V. JONES, Design and construction of short pulse ultrasonic probes for non-destructive testing, 0041-624W84/020085-1 1/\$03.00 (C) 1984 Butterworth Et Co (Publishers) Ltd, ULTRASONICS. MARCH 1984
- [3] S.K. Jain, Reeta Gupta, Subhash Chandra, Evaluation of acoustical characteristics of ultrasonic transducer backing materials at high hydrostatic pressures Ultrasonics 36 (1998) 37 40
- [4] <http://www.ndk.com/en/sensor/ultrasonic/basic02.html>
- [5] [adhesive.leaderseal.com/download/TDS-A106-953\(US\).pdf](http://adhesive.leaderseal.com/download/TDS-A106-953(US).pdf)
- [6] Xiaosheng Yang, Beneficiation studies of tungsten ores – A review, Minerals Engineering 125 (2018) 111-119.
- [7] Charles H. Sherman & John L. Butler (2008, 2nd Edition), “Transducers and Arrays for Underwater Sound”, New York, NY: Springer.
- [8] <http://www.kutlultd.com.tr/tr/product.asp?PID={241EC1B6-E771-489D-B4CC-DF4A4AD7989D}>
- [9] <http://www.aldemirltd.com/polymer-hardness-comparison-chart>
- [10] http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/53867/46596/5.hafta_sertlik_deneyleri1.pdf