



**T.C.**

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**

**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MAKİNE LABORATUARI-1 DERSİ**

**DENEY FÖYLERİ**

**SERTLİK ÖLÇME DENEYİ**

**DENEY FÖYÜ**

**GİRESUN, 2021**

## 1. DENEYİN AMACI

- Farklı sertlik ölçme metotları hakkında teorik bilgi edinilmesi;
- Rockwell sertlik ölçme yöntemi kullanılarak malzemelerin yüzeylerine batırılan uca karşı gösterdikleri dirençten yola çıkarak sertliklerinin belirlenmesi ve mukavemetleri hakkında bilgi edinilmesi.

## 2. DENEYİN ÖNEMİ

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

## 3. TEORİK BİLGİ

Yapılışının basit olması ve malzemeye hasar vermemesi nedeniyle malzeme üzerinde yapılan en genel mekanik deneylerden biri sertlik deneyidir. Ayrıca, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişki de bulunmaktadır ve bu sayede diğer bazı özellikler hakkında fikir edinilebilmektedir. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik değeri ile orantılıdır. Dolayısıyla yapılan basit bir sertlik deneyi sonucunda o malzemenin mukavemet değerleri hakkında da fikir edinilebilir.

Sertlik izafi bir ölçü olup, malzemelerin sürtünmeye, kesilmeye, çizilmeye ve plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilir. Bilimsel anlamda ise malzemelerin dislokasyon hareketine karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilir.

### **Cisimlerin sertliği ölçme yöntemleri üç gruba ayrılabilir:**

- 1- Malzeme yüzeyini sert bir cisim ile çizerek yapılan sertlik deneyleri.
- 2- Malzemeye sert bir cisim kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.
- 3- Sert bir bilyeyi malzeme üzerine düşürmek ve sıçratmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

### **3.1 Çizerek Yapılan Sertlik Deneyleri**

Sertlik ile kırılabilirlik doğru orantılıdır. Dolayısıyla, sert maddeler herhangi bir basınç kuvveti etkisi ile kırılabilir. Konu ile ayrıntılı bilimsel açıklamayı şu şekilde yapabiliriz;

Sertlik, bir mineralin çizilme ve sürtünmeye karşı gösterdiği dirençtir. Minerallerin sertlikleri daha çok çizme sertliği cinsinden belirtilir. Çizme sertliği bir mineralin keskin bir köşesinin başka bir mineralin düzgün yüzünü çizme kapasitesidir ve Mohs sertlik skalasına göre belirlenir. Bu skala Avusturyalı mineralog F. Mohs tarafından 1824’de düzenlenmiştir. Mohs sertlik skalası, sertliklerin artış sırasına göre dizilmiş olan on mineralden oluşur (Şekil 1).



Şekil 1. Mohs sertlik skalası

### 3.2 Sert Bir Cismin Malzemeye Batırılması ile Yapılan Sertlik Deneyleri

Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir.

Sert bir cismin malzemeye batırılması ile yapılan sertlik ölçme deneyleri aşağıda verilmiştir. Bu ölçüler arasında matematiksel ilişkiler mevcut olup bir değerden diğerine geçiş yapılabilmektedir. Sertlik ölçümleri yapılırken, yöntem ne olursa olsun numune üzerinde birkaç ölçüm yapıp bunların ortalaması alınmalıdır.

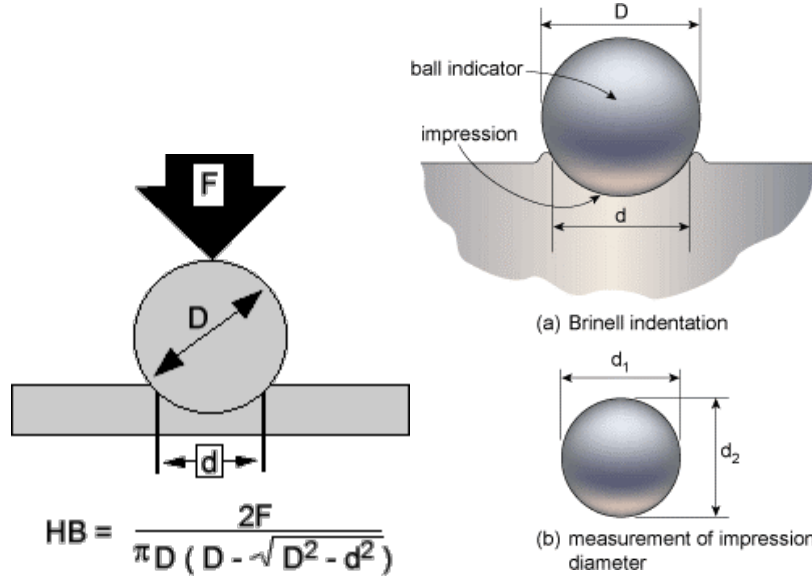
- Brinell sertlik ölçme yöntemi,
- Vickers sertlik ölçme yöntemi
- Rockwell sertlik ölçme yöntemi,
- Mikro-sertlik ölçme deneyi.

#### 3.2.1 Brinell sertlik ölçme yöntemi

Yüzeye belirli bir yükün, belirli çaptaki sert bir malzemedan yapılmış bir bilye yardımıyla belirli

süre uygulanması sonucunda meydana gelen iz çapının ölçülmesinden ibarettir.

**Brinell sertlik değeri (BSD):** Belirli çapta bir bilye ile bir malzemenin yüzeyine belirli bir süre bastırmak suretiyle meydana getirilen kalıcı izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir. Brinell sertlik değeri, bilye üzerine uygulanan yükün numune yüzeyi üzerinde elde edilen küresel yüzey alanına bölünerek belirlenir.



Şekil 2. Brinell sertlik deneyi

$$BHN = \frac{F}{2\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Burada:

F: uygulanan kuvvet (N,kg)

D: Bilya çapı (mm<sup>2</sup>)

d: İz çapı (mm<sup>2</sup>)

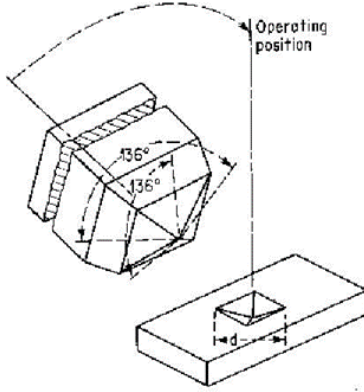
Standart deneylerde genellikle 10 mm çapında çelik bilye, 300 kg yük ve 30 saniye bekleme süresi şartlarında yapılır. Diğer deney şartları için BSD işaretinin yanına bilye çapı/yük/süre sırasına göre bilgiler eklenir. Örneğin; 60BSD 5/500/30 şeklinde bir gösterimde, deneyin 5 mm çapında bir bilye üzerine 500 kg yükün 30 saniye süreyle tatbik edilmesi anlatılmaktadır. Ancak pratikte bu yükler çok büyük olduğu ve yüzeyde büyük ezilmeler yarattığı için daha küçük yük-bilye çapı kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu deneyin en önemli dezavantajı ise yük-çap kombinasyonlarının malzemeye özel olarak seçilmesi gereğidir. Örneğin çelik bir malzemenin sertliği ölçülecekse, deneyde 2.5 mm çapında bir bilye kullanılırsa uygulanması gereken kuvvet 187.5 kg.f'dir. Ancak bir Al alaşımının sertliği ölçülecekse bu durumda 31.25 kgf'lik bir kuvvet

uygulanması yeterli olmaktadır. Batıcı uç olarak kullanılan bilyeler sertleştirilmiş çelikten imal edilmektedir. Deney sırasında bilyenin de ezilebileceğini düşünerek, çelik bilyelerle en çok 400 BSD değerine kadar sertlik ölçülmelidir. 550 BSD'ye kadar sert metal (sinter tungsten karbür) bilye kullanılarak deney yapmak mümkündür. Daha yüksek sertliğe sahip metaller üzerinde Brinell deneyi yapmak uygun değildir. Bu durumda bilye ezilerek çapı büyür ve deformasyon geometrisinde yanlış ölçümlerin yapılmasına neden olur.

### 3.2.2 Vickers sertlik ölçme yöntemi

Bu yöntemde, sertliği ölçülecek malzeme parçası üzerine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi sağlanır.

Meydana gelen iz tabanı, köşegeni  $d$  olan bir kare piramittir ve tepe açısı batıcı ucun tepe açısının (136) aynısıdır. Vickers sertlik değeri **kg** olarak ifade edilen deney yükünün **mm<sup>2</sup>** olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.



Şekil 3. Elmas-piramit Vickers ucu

$$VSD = \frac{2P \sin(\alpha / 2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2}$$

Burada: P=kgf cinsinden uygulanan yük

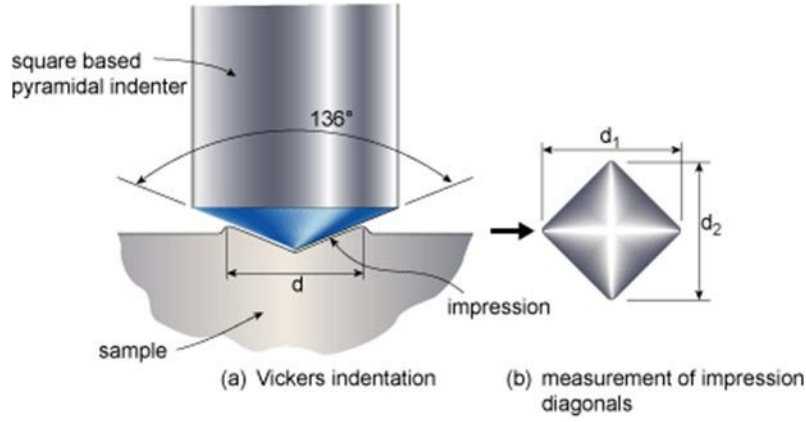
$\alpha$ =Tepe açısı

d= Taban köşegen uzunluğu  $[(d_1 + d_2)/2]$

Vickers sertlik deneyi ASTM E-92-72, B.S. 427, DIN 50133 ve TS 207 standartlarında tanımlanmıştır ve Vickers sertlik değeri HV veya elmas piramit sertlik deneyi anlamına gelen DPH ile sembolize edilmiştir. Vickers sertlik değeri, sembolün yanında uygulanan yükü gösteren sayısal değerler ve yükün uygulama süresini gösteren ikinci sayısal değerler ilave edilerek gösterilir. Örneğin 455 HV/30/20, 20 saniye uygulanan 30 kg yük altında ölçülen 455 Vickers sertlik değeri anlamına gelir.

Yumuşak malzemelerden (5 HV sertliğinde) sert malzemelere (1500 HV sertliğinde) geniş malzeme grubunda Vickers sertlik deneyinden yararlanılır.

Vickers sertlik deneyi, çok doğru sertlik değeri veren yöntemlerden biri olmasına rağmen Brinell veya Rockwell sertlik değeri kadar yaygın kullanılmamaktadır. Elmas piramit uç, geniş açığa sahip olmasından ve oluşturulan izin köşegenleri özellikle yüksek sertlikteki metallerde, izin derinliğinden yaklaşık olarak yedi kat büyük olduğundan Vickers sertlik deneyi, Brinell veya Rockwell sertlik deneyleri ile elde edilen değerden daha iyi doğruluk sağlamaktadır. Bu, Vickers izinin, Brinell izinden küçük olduğu gerçeğine de dayanmaktadır.



**Şekil 4.** Vickers sertlik deneyi

Çok sert malzemelerin sertliğinin ölçümünde Brinell bilyenin distorsiyonu oluşurken normal malzemelerin sertliğinin ölçümünde bilyenin biraz elastik distorsiyonu meydana gelmektedir. Bununla birlikte Vickers piramitle yapılan deneylerde batıcı uç çok düşük derecelerde hasara uğramaktadır.

### 3.2.3 Rockwell sertlik deneyi

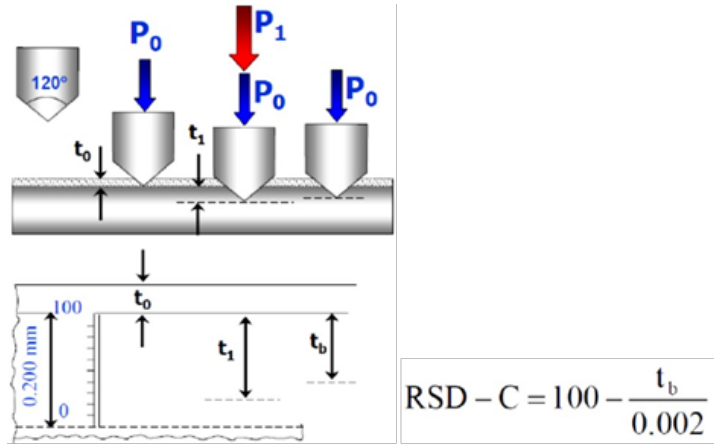
Rockwell sertlik deneyi (RSD), yapılmasının çok kolay olması ve özel bir ustalık gerektirmemesinden dolayı metallerin sertlik ölçümünde en yaygın kullanılan metottur. Rockwell sertliği, batma derinliğine karşı gelen birimsiz bir sayıdır. Batıcı uç, konik uçlu veya bilye şeklindedir (Şekil 5). Yumuşak malzemeler bilye batıcı uç ile ölçülür. Çok sert malzemeler elmas konik uç ile ölçülür.



Şekil 5. Batıcı uç modelleri

Rockwell sertlik ölçümünde batıcı uç, malzeme üzerine 10 kg (100 N) ön bir yükleme ile batırılır. Sonra batıcı uca ana yük uygulanarak elde edilen derinlik ölçülür. Ana yük Rockwell B (RB) için 100 kg, Rockwell C (RC) için 150 kg'dır.

Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir. Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yük (P<sub>0</sub>=ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır. Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük (P<sub>1</sub>) uygulanır. Son olarak ana yük (P<sub>1</sub>) kaldırılır (Şekil 6.). Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergedan Rockwell sertlik değeri okunur.



Şekil 6. Rockwell sertlik ölçümünün şematik gösterimi

Rockwell sertlik değeri boyutsuzdur. Uzun malzeme içine her 0,002 mm batışı bir sertlik değerinin 1 sayı dūşmesi olarak alınır. Ön yük uygulandıktan sonra ucun konumu ile ana yük kaldırıldıktan sonra ucun konumu arasındaki batma derinliği  $t_b$  olmak üzere Rockwell Sertlik Deęeri-C (RSD-C) yukarıdaki formülle hesaplanabilir.

Sertlik ölçümünde kullanılan batıcı ucun tipi ile uygulanan yükün değeri bir sembolle gösterilir. Bu nedenle, farklı skalalara göre yani değişik deney koşullarında ölçülen farklı düzeydeki sertlik değerleri RSD-A, RSD-B, RSD-C, RSD-D gibi simgelerle birlikte verilir (Tablo 1). Çok sert malzemelerin Rockwell sertliği koni biçimindeki elmas uç kullanarak 150 kg' lık yük altında ölçülür ve sonuçlar RSD-C simgesi ile belirtilir. Yumuşak malzemelerin sertliğinin ölçümünde ise batıcı uç olarak elik bilye kullanılır ve 100 kg' lık yük altında elde edilen ölçüm sonuçları RSD-B simgesi ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilye kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü çok sert malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde batıcı uç olarak bilye kullanılması, hem bilyenin deforme olmasına hem de ölçüm hassasiyetinin azalmasına neden olur. Diğer taraftan herhangi bir skalaya göre Rockwell sertliği 20 sayısından daha düşük olan malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde koni biçimindeki elmas uç kullanılması tavsiye edilmez.

**Tablo 1.** Rockwell sertlik skalaları

Sembolü	Batıcı Uç	Büyük Yük Kgf.	Tipik Kullanma Yerleri
B	1.6 mm (1/16 in) bilya	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları, temper döküm vs.
C	Elmas konik uç	150	elik, sert dökme demirler, perlitik temper döküm, titan, derin olarak yüzeyi sertleştirilmiş elik ve Rockwell B değeri 100'den daha fazla olan diğer malzeme
A	Elmas konik uç	60	Sert metaller, ince elik ve yüzeyi ince tabaka halinde sertleştirilmiş elik
D	Elmas konik uç	100	İnce elik ve orta kalınlıkta yüzeyi sertleştirilmiş elik ve temper döküm
E	3.2 mm (1/8 in) bilya	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yumuşak ince sac metaller
F	1.6 mm (1/16 in) bilya	60	Tavlanmış bakır alaşımları, yumuşak ince sac metaller
G	1.6 mm (1/16 in) bilya	150	Fosforlu bronz berilliyumlu bakır temper dökümler



Rockwell sertlik değerinin bulunmasında kullanılan formüller;

$$\left. \begin{array}{l} RSD - A = \\ RSD - C = \\ RSD - D = \end{array} \right\} 100 - 500t \quad \text{ve} \quad \left. \begin{array}{l} RSD - B = \\ RSD - F = \\ RSD - G = \\ RSD - E = \end{array} \right\} 130 - 500t \text{ şeklindedir.}$$

Burada t batıcı uçun batma derinliği (mm) dir.

### 3.2.4 Mikro-sertlik deneyi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerinin ölçülmesinde elverişlidir. Sertleştirilmiş ve kaplanmış yüzeylerin sertlikleri de bu yöntemle belirlenebilir. Ayrıca, malzeme içyapısında bulunan çeşitli fazların ve bölgelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülür. Bu yöntemde batma derinliği genellikle 1 mikronu geçmez.

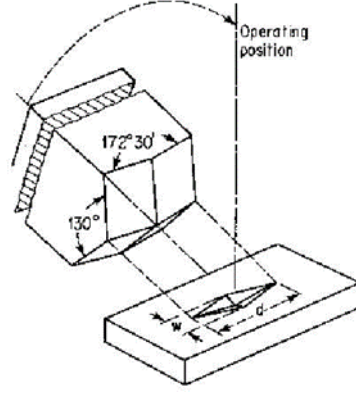
Mikro sertlik ölçüm cihazı hassas bir cihaz olup, kontrolü otomatik olarak yapılır. Makro sertlik ölçüm cihazlarından farkı, sistemin komple bir metal mikroskobu içermesidir.

Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerden net görüntü alınmaya kadar tabla hareket ettirilir. Daha sonra, sertlik ölçülecek bölge seçilir ve düğmeye basılarak otomatik olarak yükleme yapılır. Böylece numune üzerinde bir iz elde edilir. İzin boyutları genellikle el ile ayarlanan bir sistemle belirlenir.

Mikro-sertlik deneylerinde iki standart uç kullanılır. Bunlardan biri 136° tepe açısına sahip tabanı kare olan piramit uç (Vickers ucu) dur. Diğeri ise, Knoop ucu olarak bilinen 172°30' lık piramit uçtur. Vickers ucu numune üzerinde kare şeklinde iz bırakırken, Knoop ucu eş kenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır.

Mikro-sertlik cihazlarında genellikle 1-10.000 g arası yük değerleri kullanılmaktadır.

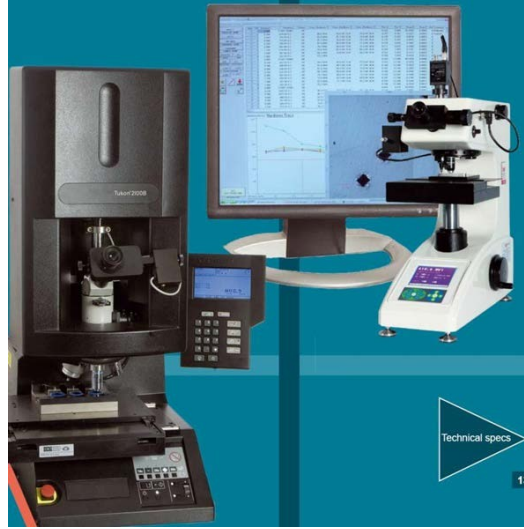
1 g altında yük kullanan ultra-sertlik ölçüm cihazları da vardır. Öte yandan son yıllarda geliştirilen ve nano-sertlik ölçüm cihazları olarak bilinen cihazlarla  $\mu\text{N}$  seviyelerinde yükler kullanılarak nm ölçüsünde iz derinlikleri de elde edilebilmektedir.



**Şekil 7.** Knoop sertlik ucu ve elde edilen izin geometrisi

$$\text{Knoop sertliği (KS)}=14.229F/d^2$$

Mikro-sertlik ölçümü yapılacak numune yüzeyinin metalografik olarak hazırlanması gerekir. Yüzeyin temiz, parlatılmış ve genellikle dağlanmış olması istenir.



**Şekil 8.** Tipik mikro-sertlik ölçüm cihazları

### 3.3 Endüstriyel sertlik ölçüm yöntemleri

Şimdiye kadar incelenen sertlik ölçme yöntemleri laboratuvar tipi olup, “statik sertlik ölçme yöntemleri” olarak adlandırılır. Bu yöntemlerde numunenin sertlik ölçümü için özel olarak hazırlanması gerekir. Bazı hallerde ise parçadan numune çıkarmanın imkânı olmayabilir veya sertliğin çok büyük parçalar üzerinde ölçülmesi gerekir. Bu tipteki sertlik ölçümleri için endüstriyel tipte cihazlar geliştirmiştir. Endüstriyel sertlik ölçme yöntemleri genellikle “dinamik sertlik ölçme yöntemleri” diye anılır. Bu amaçla geliştirilen cihazları iki grup altında toplamak mümkündür.

3.3.1 Darbe etkisi ile sertlik ölçen cihazlar,


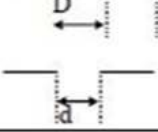





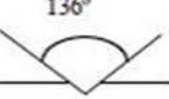
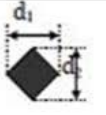
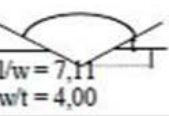
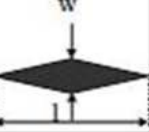
3.3.2 Sıçrama miktarı ile sertlik ölçen cihazlar.

Birinci grupta, Brinell deneyine benzer bir yol izlenir. Ancak burada kuvvet darbe şeklinde uygulanır. Çelik bilye şeklindeki batıcı uç darbe etkisi ile yüzeyde bir iz bırakır. Bu gruptaki cihazların en tanınmış Poldi çekici sertlik ölçme yöntemidir. Bu yöntemde, sertliği bilinen bir master kullanılır. Elde edilen izin boyutları, aynı zamanda mastarda elde edilen iz ile karşılaştırılarak sertlik değeri belirlenir.

İkinci grupta ise numune üzerine, belirli bir yükseklikten düşürülen küçük bir ağırlık, numune üzerinde daha çok elastik bir deformasyon yaparak geriye sıçramaktadır. Sıçrama miktarı, düşen cismin numuneye çarptıktan sonraki elastik enerji miktarı ile orantılı olup, bu durum yöntemin prensibini oluşturmaktadır. Bu açıklamaya göre, yumuşak malzemelerde sıçrama daha az, sert malzemelerde daha fazla olacağı açıktır. Bu cihazda batıcı uç olarak sertleştirilmiş çelik bilye veya küresel elmas uç kullanılır ve bunlar düşen ağırlığın alt yüzeyine tutturulur. Sıçrama miktarının kolay ölçülebilmesi için gösterge üzerinde hareket edebilen seyyar ibreler kullanılır. Sıçrama esasına göre çalışan cihazların en tanınmış olanı “Shore Skleroskobu” dur. Bu tip cihazların en önemli avantajı, iz bırakmadan sertlik ölçmesi ve çok geniş bir yüzeyde sertlik dağılımını ölçebilme kolaylığı sağlamasıdır.

Aşağıdaki şekilde uygulanan temel sertlik ölçme yöntemleri ve bu yöntemlerin genel uygulanış prensipleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Sertlik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılması

Sertlik	Simgesi	Batıcı Uç	İz Şekli		Yük	Sertlik Değer Formülü	Prensip	Uygulama	
			On Görünüş	Üst Görünüş					
Brinell		$H_B$	10 mm çapında çelik veya tungsten karbür bilya			500-3000 kg	$BHN = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle $kg/mm^2$	Dökme demir, çelikler ve demir dışı alaşımlar
Rockwell	A	$R_A$	Elmas koni			60 kg	100-500 t	Batıcı ucun malzemeye batma derinliği	Çok sert malzemeler
	C	$R_C$				150 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	D	$R_D$				100 kg			Yüksek mukavemetli çelikler
	B	$R_B$	1/16 inç. Çapında çelik bilya			100 kg	130-500 t	Batıcı ucun malzemeye batma derinliği	Pirinç ve düşük mukavemetli çelikler
	F	$R_F$				60 kg			Çok yumuşak malzemeler
	G	$R_G$				150 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
	E	$R_E$				100 kg			Yumuşak malzemeler ve alüminyum
Vickers	$HV, DPH$	Elmas pramit			10-30kg	$VHN = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle $kg/mm^2$	Sert malzemeler	
Knoop Mikrosertlik	$KHN$	Elmas pramit			25-10000 gr	$KHN = 14,2 \cdot \frac{F}{l^2}$	Uygulanan yükün, malzeme yüzeyinde oluşan izin yüzey alanına oranı, birimi genellikle $kg/mm^2$	Yapıyı oluşturan bileşenler, nitrize edilmiş parçalar, elektrolitik kaplanmış malzemeler	

**Sertlik değerini etkileyen faktörler:** Deney süresi, yani statik yükün uygulama süresi, ölçülen sertlik değerini etkiler. Özellikle sürünme eğilimi gösteren yumuşak malzemelerde bu süre en az 30 saniye, diğer malzemelerde 10-15 saniye arasında seçilmelidir. Deney sıcaklığının etkisi statik ve dinamik dayanım büyüklüklerine olan etki gibidir. Artan sıcaklık değeri sertlik değerinin düşmesine neden olur.

Parçanın büyüklük ve boyutunun sertlik değerine etkisi, ancak deney yükü nedeniyle parçanın eğilmesi, ize göre ölçüm yüzeyinin ve parça kalınlığının yeterli olmaması gibi durumlarda görülür. Deney yüzeyinin çok küçük olması veya ucun kenara çok yakın basılması malzemenin batmaya karşı direncinin küçük olmasına yol açar. Ayrıca iki iz arasındaki mesafe de az olursa izler birbirini etkiler. Numune kalınlığının batma derinliğinin en az 10 katı, hatta Brinell deneylerinde 17 katı olmalıdır.

**Sertlik-çekme dayanımı ilişkisi:** Metalik malzemeler için sertlik değerleri ile çekme dayanımları arasında deneysel olarak farklı kantitatif ilişkiler bulunmasın rağmen, bütün metalik malzemelerde sertlik arttıkça çekme dayanımının da arattığı görülmüştür.

#### 4.KAYNAKÇA

- 1) Chandler, H; Hardness Testing, Second Edition, ASM International, United States of America, 1999.
- 2)Pürçek, G.; Mekanik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler (Ders Notu), 2014
- 3) Oran, K. ve Erman, B.; Malzemelerin yapı özellikleri, cilt II, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1993
- 4) Kayalı, E.S.; Ensari, C. ve Dikeç, F.; Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, İ.T.Ü. Kimya Metalürji Fa. Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
- 5) Güleç, Ş. ve Aran, A.; Malzeme bilgisi, Cilt 1, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Gebze, 1988.
- 6) Dieter, G.E.; Mechanical Metallurgy, 2. Edition, Mc Graw Hill Book Comp. Inc., London, 1976.
- 7) Bursa Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Sertlik Ölçme Deney Föyü, 2019.