

SERTLİK DENEYİ

Çukurova Üniversitesi
Ceyhan Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
ADANA - 2026

1. DENEYİN AMACI VE KAPSAMI

Mühendislik malzemelerinin, tasarımda belirlenen amaç ve işlevleri yerine getirebilmesi için çalışma koşullarına uygun özelliklere sahip olması gerekir. Bu nedenle malzeme seçiminde ve üretim süreçlerinin kontrolünde, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve tasarım gereksinimlerini ne ölçüde karşıladığının değerlendirilmesi önem taşır. Sertlik deneyi, uygulanmasının pratik olması ve çoğu durumda parçanın bütünlüğünü bozmadan yerel bir ölçüm yapılmasına olanak sağlaması nedeniyle yaygın kullanılan mekanik deneylerden biridir. Ölçüm sırasında yüzeyde kalıcı bir iz oluşmakla birlikte, uygun koşullarda parçanın kullanılabilirliği korunabilir. Sertlik ölçümleri, malzemenin yerel plastik deformasyona karşı direnci hakkında bilgi verirken üretim ve ısıl işlem süreçlerinin etkilerinin değerlendirilmesinde de kullanılır. Ayrıca belirli malzeme gruplarında sertlik ile diğer mekanik özellikler arasında deneysel ilişkiler kurulabilir. Örneğin bazı çeliklerde, uygun bağıntılar ve geçerlilik sınırları dikkate alınarak sertlik değerinden çekme dayanımı yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Bu deney kapsamında, sertlik kavramına ilişkin kuramsal bilginin geliştirilmesi, Brinell, Vickers ve Rockwell yöntemlerinin temel prensiplerinin tanıtılması ve yöntemler arasındaki farklılıkların kavranması amaçlanmaktadır. Laboratuvar uygulamasında ise uygun metalik numunelerin sertliği Rockwell C yöntemiyle ölçülerek numune hazırlığının ve deney koşullarının sonuçlara etkisi incelenecektir. Elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesiyle öğrencilerin, sertlik deneylerini malzeme seçimi ve kalite kontrolü gibi mühendislik uygulamalarıyla ilişkilendirebilmesi hedeflenmektedir.

2. DENEYİN ÖĞRENME ÇIKTILARI

Bu deneyi tamamlayan öğrencinin;

- Sertlik kavramını tanımlayabilmesi ve sertliğin diğer mekanik özelliklerle ilişkisini açıklayabilmesi, Brinell, Vickers ve Rockwell yöntemlerini batıcı uç geometrisi, uygulanan kuvvet, ölçülen büyüklük ve kullanım alanları açısından karşılaştırabilmesi,
- Malzemenin özelliklerini ve numune boyutlarını dikkate alarak uygun sertlik ölçme yöntemini seçebilmesi, Rockwell C yönteminde ön yük, toplam yük ve ön yüke dönüş aşamalarını açıklayarak sertlik ölçümünü gerçekleştirebilmesi,
- Numune hazırlığının, yüzey durumunun, numune kalınlığının ve ölçüm noktalarının konumunun sonuçlara etkisini değerlendirebilmesi, Ölçüm sonuçlarını HRC gösterimiyle kaydedebilmesi,
- tekrarlı ölçümlerin ortalamasını ve standart sapmasını hesaplayarak sonuçların dağılımını yorumlayabilmesi,
- Sertlik ölçekleri arasındaki dönüşümlerin ve sertlikten çekme dayanımı tahmininin geçerlilik sınırlarını açıklayabilmesi beklenmektedir.

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Sertlik deneyi, uygulanmasının basit ve hızlı olması, çoğu durumda parçanın bütünlüğünü ve kullanılabilirliğini koruyarak ölçüm yapılmasına olanak sağlaması nedeniyle malzemeler üzerinde yaygın olarak uygulanan mekanik deneylerden biridir. Batma esaslı sertlik yöntemleri numune yüzeyinde kalıcı bir iz oluşturduğundan tamamen tahribatsız değildir; ancak uygun ölçüm koşulları ve konumu seçildiğinde parçanın kullanımını engellemeden gerçekleştirilebilir. Bu özellikleri sayesinde sertlik ölçümleri, malzeme özelliklerinin değerlendirilmesinde, üretim ve ısıtılma işlem süreçlerinin kontrolünde sıklıkla kullanılır.

3.1 Sertlik Kavramı

Sertlik, genel olarak bir malzemenin çizilme veya batma gibi yerel mekanik etkilere karşı gösterdiği dirençtir. Bu deneyde incelenen batma esaslı yöntemlerde ise sertlik, malzemenin kendisinden daha sert bir ucun etkisiyle oluşan yerel plastik deformasyona karşı direnci olarak tanımlanır.

Batma esaslı sertlik deneylerinde, belirli geometriye sahip bir uç numune yüzeyine kontrollü bir kuvvetle uygulanır. Yükleme sırasında elastik ve plastik deformasyon birlikte meydana gelir. Kuvvet azaltıldığında elastik deformasyonun bir bölümü geri kazanılırken numune yüzeyinde kalıcı bir iz oluşur. Sertlik değeri, kullanılan yönteme göre bu izin boyutlarından veya kalıcı batma derinliği artışından belirlenir.

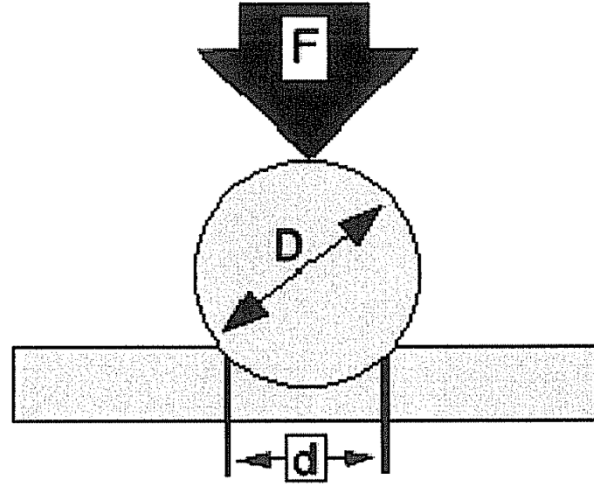
Ölçülen sertlik; malzemenin kimyasal bileşimi, mikroyapısı, ısıtılma durumu ve plastik deformasyon geçmişiyle ilişkilidir. Bunun yanında batıcı uç geometrisi, deney kuvveti, yükleme süresi ve yüzey hazırlığı da sonucu etkileyebilir. Bu nedenle sertlik değeri, kullanılan yöntem ve deney koşulları belirtilerek raporlanmalıdır.

3.2 Sertliğin Diğer Mekanik Özellikler ile İlişkisi

Sertlik, dayanım, süneklik ve tokluk birbiriyle ilişkili olabilen ancak farklı davranışları tanımlayan mekanik özelliklerdir. Sertlik yerel plastik deformasyona karşı direnci ifade ederken çekme dayanımı, çekme deneyinde ulaşılan en yüksek mühendislik gerilmesidir. Süneklik, malzemenin kırılmadan önce plastik deformasyona uğrayabilme; tokluk ise kırılmaya kadar enerji soğurabilme yeteneğidir. Belirli malzeme gruplarında sertlik ile çekme dayanımı arasında deneysel ilişkiler kurulabilir. Bununla birlikte bu ilişkiler bütün malzemeler ve ısıtılma işlem koşulları için geçerli değildir. Sertlikteki bir artıştan hareketle malzemenin tokluğu veya kırılganlığı hakkında tek başına kesin bir sonuca varılamaz.

3.3 Brinell Yöntemi

Brinell yönteminde, çap ölçüsü bilinen tungsten karbür bir bilye numune yüzeyine belirli bir kuvvetle bastırılır. Kuvvet, belirlenen süre boyunca uygulandıktan sonra kaldırılır ve yüzeyde oluşan kalıcı izin çapı optik olarak ölçülür. Brinell sertlik değeri (**BSD**) bilye üzerine uygulanan yükün numune yüzeyi üzerinde elde edilen küresel yüzey alanına bölünerek belirlenir.



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

Burada: F uygulanan yük (kgf), D bilye çapı (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir.

Yük miktarı, malzemenin cinsine göre seçilir ve tam deney kuvvetinde bekleme süresi 10 ile 15 saniye arasında değişir. Standart bilye çapları 1; 2,5; 5 ve 10 mm'dir.

Malzeme üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre belirlenmektedir. ISO 6506 standardına göre $0,24 \leq d/D \leq 0,60$ durumu sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Deney yükünü saptanmasında $F=C.D^2$ bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C ise malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzemelerde, $C=30$
- Bakır ve alüminyum alaşımlı malzemelerde, $C=10$
- Yumuşak malzemelerde, $C=5$

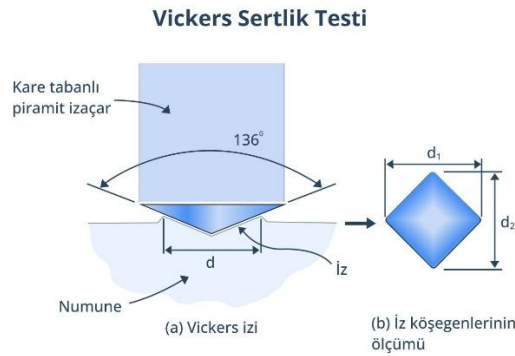
Brinell sertlik deneyinde batıcı uç olarak tungsten karbür bilye kullanılır ve sertlik sonucu HBW sembolüyle gösterilir. Geçmişte kullanılan sertleştirilmiş çelik bilyeler, yüksek sertlikteki malzemelerin ölçümünde deformasyona uğrayabildiğinden güncel uygulamalarda tungsten karbür bilyeler esas alınır. Bununla birlikte tungsten karbür bilyelerin kullanılması da her sertlik düzeyinde ölçüm yapılabileceği anlamına gelmez. Yöntemin uygulanabilirliği, ilgili standardın sertlik aralığı, seçilen bilye çapı, deney kuvveti ve oluşan izin uygunluğu birlikte değerlendirilerek belirlenir. Brinell yönteminin uygun olmadığı yüksek sertlikteki malzemeler için Vickers veya uygun bir Rockwell ölçeği tercih edilir. Deneyler çoğu zaman 10 mm çapında çelik bilye, 300 kgf yük ve 30 saniye bekleme süresi şartlarında yapılır. Diğer deney şartları için BSD işaretinin yanına bilye çapı/yük/süre sırasına göre bilgiler eklenir. Örnek olarak 60 BSD 5/300/30 şeklinde bir gösterimde deneyin 5 mm çapında bir bilye üzerine 300 kgf yük ve 30 saniye bekleme süresi şartlarında yapılır. Pratik uygulamalarda genellikle küçük yük-bilye çapı birleşimleri kullanılmaktadır. Bu deneyin en önemli dezavantajı ise yük-çap birleşimleri malzemeye özel olarak seçilmesidir. Örneğin, 2,5 mm çapında bilye kullanılan bir deneyde yükleme katsayısı $C = 30$ seçilirse uygulanacak kuvvet 187,5 kgf olur. Aynı bilye çapında $C = 10$ için 62,5 kgf, $C = 5$ için ise 31,25 kgf uygulanır. Yükleme katsayısı, malzemenin türü ve beklenen sertliği dikkate alınarak seçilir; oluşan iz çapının uygunluğu kontrol edilir.

Brinell sertlik ölçme yönteminin ISO standartlarına uygun olarak yapılabilmesi için şunlara dikkat edilmelidir;

- Sertliği ölçülecek malzemenin kalınlığı iz derinliğinin minimum 8 katı olmalıdır. ($k=8h$)
- Ölçüm yapılacak noktanın en yakın kenara olan uzaklığı iz çapının minimum 2,5 katı kadar olmalıdır.
- İki ölçüm noktası arasındaki mesafe iz çapının minimum 4 katı olmalıdır.
- Sertlik ölçümünde en az 3 eşdeğer ölçüm yapılarak bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmalıdır.
- Numunenin uygulama yüzeyi yeterince düz ve parlatılmış olmalıdır.

3.4 Vickers Yöntemi

Bu yöntemde sertliği ölçülecek malzeme parçasının üzerine tabanı kare 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.



$$HW = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

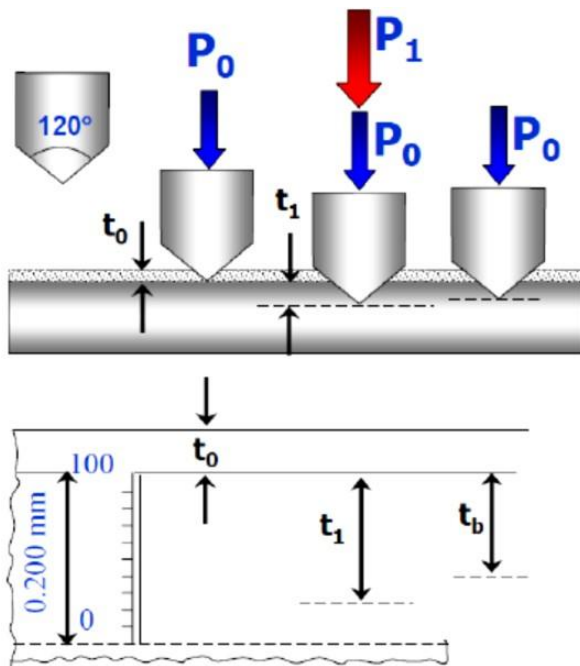
Burada F uygulanan yükü (kgf), d iz köşegenlerini ortalaması (mm) olup $d=(d_1+d_2)/2$ formülü ile hesaplanır. d_1 ve d_2 sırasıyla ölçülen köşegen uzunluklarıdır.

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 kgf yük altında ölçülen 455 Vickers sertlik değeri (HW) anlamına gelir. Teorik olarak Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Fakat pratik açıdan düşük yükler (1 kgf ve altı) ile yapılan ölçümlerde sertlik değeri yüke son derece bağımlı hale gelir. Bunun nedenleri yüzey sertleşmesi, ölçüm hataları, elmas ucun kusursuz olmaması ve indantasyon büyüklüğü etkisi olarak verilebilir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla 'z' büyötmek faydalıdır. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagonaller elde edilir. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar değildir. Yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 kgf seçilebilir. Yumuşak malzemelerden (5 HV) sert malzemelere (1500 HV) geniş malzeme grubunda Vickers sertlik deneyinden yararlanılır. Çok sert malzemelerin sertliğinin ölçümünde Brinell

metodunda kullanılan bilye deformasyona uğrarken Vickers piramitle yapılan deneylerde batıcı uç çok düşük derecelerde hasara uğramaktadır. Ölçme ve değerlendirme kriterleri aynı Brinell yöntemindeki gibidir. Bu yöntemi Brinell'den ayıran tek özellik kullanılan ölçme ucunun farklı olması değildir. Ayrıca iz geometrisi, optik ölçüm ve yük aralıklarında da farklılıklar vardır. Bu yöntem, daha sert malzemelerin ölçümünde veya daha hassas ölçümler için tercih edilir. Vickers sertliği metallerin yanında seramik malzemelerin sertliğinin ölçümünde de güvenilir bir sertlik ölçüm metodudur.

3.5 Rockwell Yöntemi

Rockwell sertlik deneyinde standart bir batıcı uç genelde 10 kgf (P₀, ön yük) gibi küçük bir yük ile malzeme yüzeyine bastırılır ve oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Bunun amacı numune ile uç arasındaki kesin teması sağlamak ve ölçü düzenindeki boşlukları gidermektir. Daha sonra yük yüksek bir değere çıkarılıp (P₁) tekrar önceki değerine indirilir. Uçun batma derinliğinde meydana gelen artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir. Rockwell sertliğinin ölçümünde batıcı uç olarak ya elmas koni ya da çelik bilye kullanılır. Yumuşak malzemeler bilye batıcı uç ile ölçülür. Çok sert malzemeler elmas konik uç ile ölçülür. Elmas koninin tepe açısı 120° olup, tepe noktası yarıçapı 0,2 mm olan bir küre parçasından oluşur. Bilye tipindeki batıcı uçların çapları yaklaşık 1,6 mm, 3,2 mm, 6,35 mm ve 12,7 mm olabilir.



$$\text{RSD-A} = 100 - 500t_b$$

$$\text{RSD-C} = 100 - 500t_b$$

$$\text{RSD-D} = 100 - 500t_b$$

$$\text{RSD-B} = 130 - 500t_b$$

$$\text{RSD-F} = 130 - 500t_b$$

$$\text{RSD-G} = 130 - 500t_b$$

$$\text{RSD-E} = 130 - 500t_b$$

Rockwell sertlik değeri boyutsuzdur. Uçun malzeme içine her 0,002 mm batışı bir sertlik değerinin 1 sayı düşmesi olarak alınır. Ön yük uygulandıktan sonra uçun konumu ile ana yük kaldırıldıktan sonra uçun konumu arasındaki batma derinliği t_b olmak üzere Rockwell Sertlik Değeri-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 kgf'lık yük altında ölçülür ve sonuçlar RSD-C simgesi ile belirtilir. Yumuşak malzemelerin sertliğinin

ölçümünde ise batıcı uç olarak çelik bilye kullanılır ve 100 kgf'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

Sembol	Batıcı Uç	Toplam Deney Kuvveti (kgf)	Malzeme Cinsi
B	1,6 mm (1/16 inç) bilye	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları, temper dökme demir
C	Elmas konik uç	150	Çelik, sert dökme demir, perlitik temper döküm, titanyum, yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve rockwell B değeri 100'den yüksek olan diğer malzemeler
A	Elmas konik uç	60	Sert metaller, ince çelik plakalar, yüzeyi ince tabaka halinde sertleştirilmiş çelikler
D	Elmas konik uç	100	İnce ve orta kalınlıkta yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve temper dökme demir
E	3,2 mm (1/8 inç) bilye	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yumuşak ince sac metaller
F	1,6 mm (1/16 inç) bilye	60	Tavlanmış bakır alaşımları, yumuşak ince sac metaller
G	1,6 mm (1/16 inç) bilye	150	Fosforlu bronz, berilyumlu bakır, temper dökme demir

Rockwell sertlik ölçme yönteminin standartlara uygun yapılabilmesi için şunlara dikkat edilmelidir:

- Yük parça yüzeyine dik uygulanmalıdır.
- Numune sağlam olarak temiz yüzeyli basma tepesine yerleştirilmelidir.
- Numunenin minimum kalınlığı kalıcı dalma derinliğinin 10 katı olmalıdır.
- Ölçüm bölgesinin numune kenarından uzaklığı iz çapının 2,5 katı olmalı ve izler arası mesafe 3 iz genişliğinde olmalıdır.

3.6 Mikro Sertlik Yöntemi

Bu yöntem özellikle çok küçük boyuttaki numunelerin ve ince sac levhaların sertliklerini ölçmek için kullanılır. Karbürize, dekarbürize veya azotla sertleştirilmiş yüzeylerle elektrolit olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deneyle tespit edilir. Ayrıca metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerini ölçmede kullanılır. Bu yöntemde batma derinliği genellikle 1 mikronu (0,001 mm) geçmez.

Mikro sertlik ölçüm cihazı hassas bir cihaz olup, kontrolü otomatik veya manuel olarak yapılır. Makro sertlik ölçüm cihazlarından farkı, sistemin komple bir metal mikroskobu içermesidir. Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerden net görüntü alıncaya 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 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 μN seviyelerinde yükler kullanılarak nm ölçüsünde iz derinlikleri de elde edilebilmektedir.

Mikro sertlik ölçme yöntemleri Vickers ve Knoop mikrosertlik ölçme yöntemleridir. Vickers ucu, tabanı kare, tepe açısı 136° olan piramit uç, Knoop ucu ise 172° olan piramit biçiminde elmas uç kullanılır.

Knoop sertlik değeri;

$$HK = 14,229 \cdot P/l^2$$

formülü ile hesaplanır. P uygulanan yükü, l ise uzun köşegen uzunluğunu gösterir.

3.7 Poldi Çekici ve Shore Sklereskobu

Şimdiye kadar incelenen (Brinell, Rockwell ve Vickers) sertlik ölçme yöntemleri laboratuvar tipi olup, “statik sertlik ölçme yöntemleri” olarak adlandırılır. Bu yöntemlerde numunenin sertlik ölçümü için özel olarak hazırlanması gerekir. Bazı hâllerde ise parçadan numune çıkarmanın imkânı olmayabilir veya sertliğin çok büyük parçalar üzerinde ölçülmesi gerekir. Bu tipteki sertlik ölçümleri için endüstriyel tipte cihazlar geliştirilmiştir.

Endüstriyel sertlik ölçme yöntemleri genellikle “dinamik sertlik ölçme yöntemleri” diye anılır. Bu amaçla geliştirilen cihazları, darbe etkisi ile sertlik ölçen cihazlar ve sıçrama miktarı ile sertlik ölçen cihazlar olarak iki grup altında toplamak mümkündür.

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.

3.8 Yöntemlerin Karşılaştırılması

Özellik	<i>Brinell</i>	<i>Vickers</i>	<i>Rockwell C</i>
Batıcı uç	Tungsten karbür bilye	Elmas kare piramit	Elmas konik uç
Ölçülen büyüklük	İz çapı	İki iz köşegen uzaklığı	Kalıcı derinlik artışı
Sonuç gösterimi	HBW	HV	HRC
Optik iz ölçümü	Gerekir	Gerekir	Gerekmez
Başlıca kullanım alanı	Döküm ve dövme metaller	Genel sertlik ve küçük bölgelerin ölçümü	Sertleştirilmiş çeliklerin ve uygun diğer metalik numuneler

Yöntemler arasında her durumda geçerli bir üstünlük sıralaması yoktur. Seçim; malzemenin özelliklerine, incelenecek bölgenin büyüklüğüne, numune geometrisine ve ölçümün amacına göre yapılır.

Sertlik	Simge	Batıcı Uç	İz Şekli		Yük	Sertlik Değeri Formülü	Prensip	Uygulama	
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		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 pramat			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 pramat			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, nitritize edilmiş parçalar, elektrolitik kaplanmış malzemeler	

3.9 Sertlik Dönüşümleri ve Çekme Dayanımı Tahmini

Brinell, Vickers ve Rockwell değerleri arasındaki dönüşümler deneysel verilere dayanır. Bu dönüşümler birim dönüşümü değildir ve kullanılan tablonun malzeme grubu, malzeme durumu ve sertlik aralığı için geçerli olması gerekir. Dönüşüm yoluyla elde edilen bir değer, ilgili yöntemle doğrudan ölçülmüş bir sonuç gibi raporlanmamalıdır. Örneğin HRC ölçümünden tahmin edilen HV değeri, doğrudan Vickers deneyi sonucu olarak sunulamaz.

Benzer şekilde, sertlikten çekme dayanımı tahmini ancak uygun bir deneysel bağıntının geçerlilik sınırları içinde yapılabilir. Kullanılan bağıntı veya tablonun kaynağı raporda belirtilmeli; elde edilen sonucun yaklaşık olduğu açıklanmalıdır. Malzemeye uygun bir ilişki bulunmadığında sayısal tahmin yapılmamalıdır.

4. Deney Sonrası Değerlendirme Soruları

4.1 Sertlik değerlerinin dönüştürülmesi

Deneyde elde ettiğiniz Rockwell C sertlik değerlerini uygun dönüşüm tablolarını kullanarak Vickers ve Brinell sertlik değerlerine dönüştürünüz. Doğrudan ölçülen ve dönüşümle elde edilen değerleri ayrı sütunlarda gösteriniz.

Kullandığınız dönüşüm tablosunun hangi malzeme grubu ve sertlik aralığı için geçerli olduğunu belirtiniz. Dönüştürülen değerlerin neden doğrudan Vickers veya Brinell deneyiyle ölçülmüş değerler gibi değerlendirilemeyeceğini açıklayınız.

4.2 Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Deneyde elde ettiğiniz Rockwell C sertlik değerlerinin aritmetik ortalamasını, örnek standart sapmasını ve değişim aralığını hesaplayınız. Ölçüm noktalarını numunenin basit bir çizimi üzerinde gösteriniz.

Sonuçların dağılımını inceleyerek numunenin tamamının hesapladığınız ortalama sertlik değeriyle temsil edilemeyeceğini tartışınız. Ölçümler arasındaki farklılıkların malzemenin yapısından veya deney koşullarından kaynaklanabilecek nedenlerini ayrı ayrı değerlendiriniz.

4.3 Farklı çıkan ölçümün incelenmesi

Aynı numunede ve aynı deney koşullarında **42,1; 42,4; 41,9; 48,7 ve 42,2 HRC** değerlerinin ölçüldüğünü varsayınız. Bir öğrenci, 48,7 HRC değerini diğer sonuçlardan farklı olduğu gerekçesiyle hesaplamaya katmamıştır.

Bu yaklaşımın uygun olup olmadığını değerlendiriniz. Farklı sonucun malzemenin gerçek sertlik değişiminden kaynaklanması ve ölçüm hatasından kaynaklanması için birer olası açıklama geliştiriniz. Bu iki olasılığı ayırt etmek amacıyla uygulanabilecek bir kontrol ve yeniden ölçüm planı öneriniz. Değerin hangi koşullarda veri grubunda tutulması veya dışlanması gerektiğini gerekçelendiriniz.

4.4 Uygun sertlik yönteminin seçilmesi

Aşağıdaki üç parçanın sertliğinin ölçülmesi istenmektedir:

- İri taneli ve heterojen yapıya sahip büyük bir döküm parçası,
- Yüzeyi ince bir tabaka hâlinde sertleştirilmiş çelik parça,
- Seri üretimde hızlı biçimde kontrol edilmesi gereken sertleştirilmiş çelik parçalar.

Her parça için Brinell, Vickers veya Rockwell yöntemlerinden hangisini tercih edeceğinizi belirtiniz. Seçiminizi; izin büyüklüğü, ölçülen büyüklük, numune kalınlığı, yüzey hazırlığı, incelenecek bölgenin boyutu ve ölçüm süresi açısından gerekçelendiriniz.