

# SERTLİK BİRİMLERİ VE SERTLİK METROLOJİSİ

Şakir BAYTAROĞLU, Hakan Özgür ÖZBAY  
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K.21, 41470, Gebze-KOCAELİ

## Özet

Bu bildiriye, konvansiyonel bir eşel olan sertlik skalalarının gerçekleştirilmesi ve sertlik ölçümü için kullanılan yöntemler, sertlik ölçümlerinde izlenebilirlik ve Türkiye'nin sertlik metrolojisi ile ilgili ihtiyaçları hakkında bilgi verilmektedir.

## 1. Giriş

Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için sanayide sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi de sertlik ölçümüdür. Bugün bilim ve teknolojinin gelmiş olduğu seviye, ulusal ve uluslararası pazarlarda rekabet koşulları daha hassas, daha yüksek doğruluğa sahip ve birbirleriyle mukayese edilebilir sertlik ölçümlerini zorunlu kılmaktadır. Bu durumun doğal sonucu ise; metrolojinin diğer uygulama alanlarında olduğu gibi ulusal sertlik skalasının oluşturularak sertlik birimlerinin endüstri ve bilimden kullanıcılara aktarılması, ülke içinde gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinin teknik açıdan denetim altına alınabilmesi, sertlik ölçümlerinde uygulanacak olan kalibrasyon prosedürünün standardizasyonudur.

## 2. Sertlik ve sertlik ölçümü

Sertlik, tanımlanması bugün dahi oldukça güç olan önemli bir malzeme özelliği olup; statik veya dinamik yükleme koşulları altında sürtünmeye, çizilmeye, kesilmeye veya plastik deformasyona karşı direnç olarak ifade edilebilir. Sertlik, Uluslararası Birimler Sistemi SI'da yer almayan konvansiyonel bir büyüklüktür. Sertlik değerleri, "maksimum çekme dayanımı" gibi tasarım aşamasında doğrudan kullanılamamaktadır; ancak, elde edilen sonuçlar diğer mekanik özelliklerin tahmininde veya malzemeler yada imalat usulleri arasında bir mukayese yapmak için kullanılabilir.

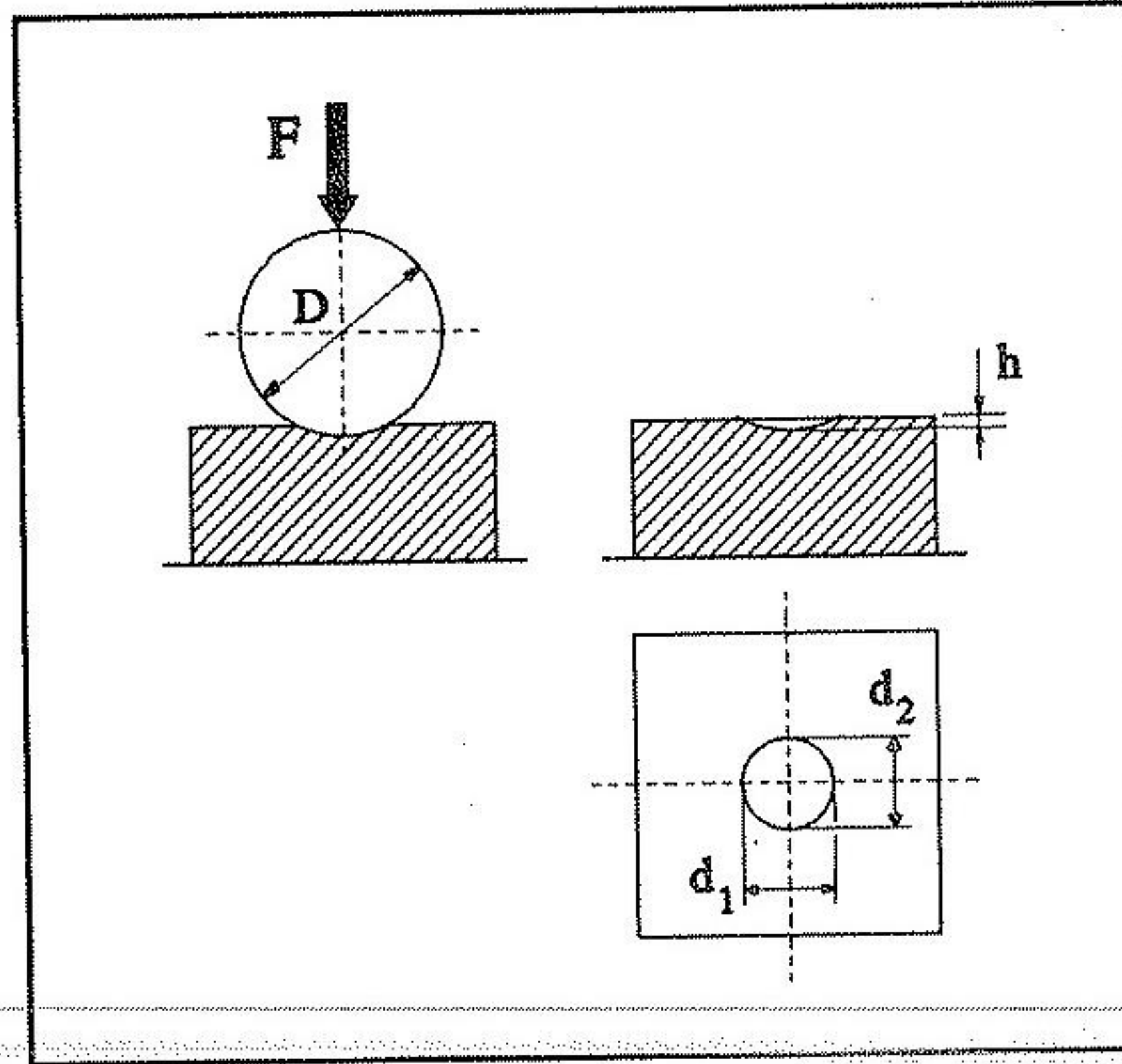
Sertlik ölçümünde, kullandıkları prensipler, hedeflenen doğruluk seviyeleri ve uygulanacakları malzeme itibari ile farklılıklar gösteren bir çok metod geliştirilmiştir. Statik yük altında malzemenin iz açılmasına gösterdiği direnci prensip olarak kullanan BRINELL, VICKERS ve ROCKWELL sertlik deneyleri, statik bir yöntem olarak çok ince malzemelerin sertliklerinin belirlenmesinde kullanılan ve VICKERS başlığı altında ele alınan mikrosertlik deneyi, daha kaba sonuçların elde edilebileceği dinamik bir metod olan ve malzemenin esnekliğinin (Rezilyans) ölçüsünü Skleroskop yardımıyla veren SHORE sertlik deneyi, yine dinamik bir metod olan ve zaman sertliği olarak da adlandırılan HERBERT sertlik deneyi,



artık daha çok minerolojide kullanılan malzemenin çizilmeye gösterdiği direnci ölçerek belirleyen MOHS sertlik deneyi veya endüstriyel uygulamalarda hemen akla gelen POLDI sertlik deneyi, BAUMANN çekici veya lastik ve rijit olmayan malzemelerin elastik direncinin ölçüldüğü durometre'ler ve malzemenin eğe ile, taşla aşındırılabilirliğinin veya delmeye ve kesmeye gösterdiği direncin gözlenmesi, günümüzde kullanılmakta olan sertlik belirleme ve mukayese metodlarıdır. Tüm bu metodlar sanayi ve bilimin çeşitli alanlarında farklı amaçlarla kullanılmaktadır, ancak doğruluk seviyesi göz önünde bulundurulduğunda en yüksek doğruluğa sahip sonuçların statik sertlik ölçme yöntemleri ile elde edildiği görülmektedir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen bu deneyler kısaca aşağıda açıklanmıştır [1].

## 2.1. Brinell sertlik deneyi

Sertlik ölçümüne ait ilk standardize olmuş yöntemlerden biri olan Brinell Sertlik Deneyi, 1900 yılında Dr.J.A.BRINELL tarafından geliştirilmiştir. Deney, belirli çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilyanın, deneyi yapılacak malzemenin yüzeyine, belirli bir yükü, belirli bir süre bastırılmasından ve sonuç olarak meydana gelen iz alanının belirlenmesinden ibarettir. Yüzeyde açılan izin alanı, bilya çapı ile izin derinliğinin bir fonksiyonudur (Bkz. Şekil.1).



Şekil 1. Brinell Sertlik Deneyinin Prensipleri

İzin d çapı ölçülerek bilinen bilya çapı ve uygulanan kuvvet değeri de kullanılarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla Brinell sertlik değeri  $\text{kgf/mm}^2$  cinsinden hesaplanır :

$$BS = \frac{F'}{A} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot g_n \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \approx 0.102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



- F' : Kilogram kuvvet (kgf) cinsinden test yükü,
- F : Newton (N) cinsinden test yükü,
- A : Yarıçapı d olan küre takkesinin alanı,
- h : Yüzeyde açılan izin derinliği,
- d : Yüzeyde açılan izin çapının milimetre (mm) cinsinden ortalama değeri  
= (d<sub>1</sub> + d<sub>2</sub>)/2,
- g<sub>n</sub> : Standard yerçekimi ivmesi = 9.80665 m/s<sup>2</sup>.

Test yükleri 1 kg (9.807 N) ile 3000 kg (29.42 kN) arasında değişmektedir. Ancak, numune üzerindeki iz çapının 0.24·D (D : batıcı uç olarak kullanılan bilyanın çapı, 1 mm ile 10 mm arasında seçilebilir) ile 0.6·D arasında olacağı bir test yükü seçilir. Yükleme derecesi adı verilen 0.102·F/D<sup>2</sup> oranı test edilecek malzeme türüne uygun olarak normlardan seçilir.

İz merkezinin numune kenarından uzaklığı BS150'den sert malzemeler için 2.5·d 'den, BS150'den yumuşak malzemeler için 3·d'den az olmamalıdır. En yakın iki izin merkezleri arasındaki uzaklık ise yine BS150'den sert malzemeler için 4·d 'den, BS150'den yumuşak malzemeler için 6·d'den az olmamalıdır.

Genel olarak testlerin gerçekleştirilebileceği ortam sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında ise de kontrollü ortamlarda bu değer (23 ± 5)°C arasında tutulmalıdır.

Testin uygulanmasında, test yükünün uygulanmaya başladığı andan tam değere ulaşmaya kadar geçen süre 2 saniyeden az 8 saniyeden fazla olmamalı, tam yükün uygulandığı süre ise 10 ila 15 saniye arasında olmalıdır [2,3,4,12].

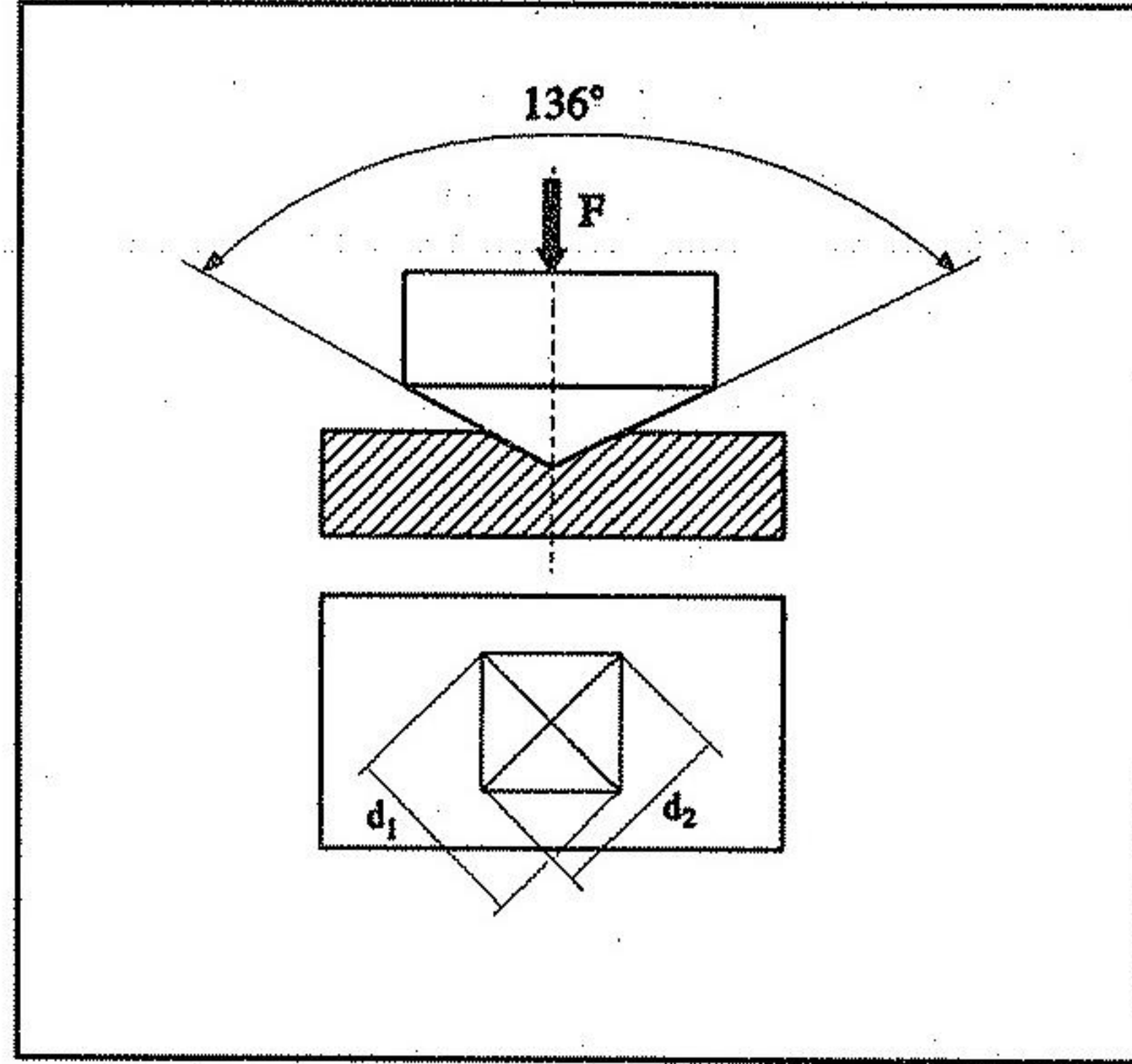
## 2.2 Vickers sertlik deneyi

Vickers sertlik deneyi, kare tabanlı elmas bir piramidin deneme ucu olarak kullanıldığı Brinell benzeri bir testdir. Deney, sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, 136° tepe açılı elmas, kare piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında, belirli bir süre daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen iz alanının, köşegenlerin ölçülmesi vasıtasıyla belirlenmesinden ibarettir (Bkz. Şekil.2).

Brinell testinde olduğu gibi, Vickers sertlik değeri de yükün, izin yüzey alanına oranıdır ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla kgf/mm<sup>2</sup> cinsinden ifade edilir.

$$VS = \frac{F'}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin\left(\frac{136^\circ}{2}\right)}{g_n \cdot d^2} \approx 0.1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$





Şekil 2. Vickers Sertlik Deneyinin Prensibi

- $F'$  : Kilogram kuvvet (kgf) cinsinden test yükü,  
 $F$  : Newton (N) cinsinden test yükü,  
 $A$  : Köşegeni  $d$  olan karenin alanı,  
 $d$  : Yüzeyde açılan izin köşegenlerinin milimetre (mm) cinsinden ortalama değeri =  $(d_1 + d_2)/2$ ,  
 $g_n$  : Standard yerçekimi ivmesi =  $9.80665 \text{ m/s}^2$ .

Deney yükü 0.2 kg (1.961 N) ile 100 kg (980.7 N) arasındaki standard değerlerden seçilir. 5 kg ile 100 kg arasındaki yükler normal bölge, 0.2 kg ile 5 kg arasındaki yükler ise küçük yük bölgesi olarak adlandırılır. [0.01 kg (0.09897 N) ile 0.2 kg (1.961 N) arasındaki değerlerle yapılan ölçümler mikrosertlik deneyi olarak adlandırılır.]

Genel olarak testlerin gerçekleştirilebileceği ortam sıcaklığı  $10^\circ\text{C}$  ile  $35^\circ\text{C}$  arasında ise de kontrollü ortamlarda bu değer  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$  arasında tutulmalıdır.

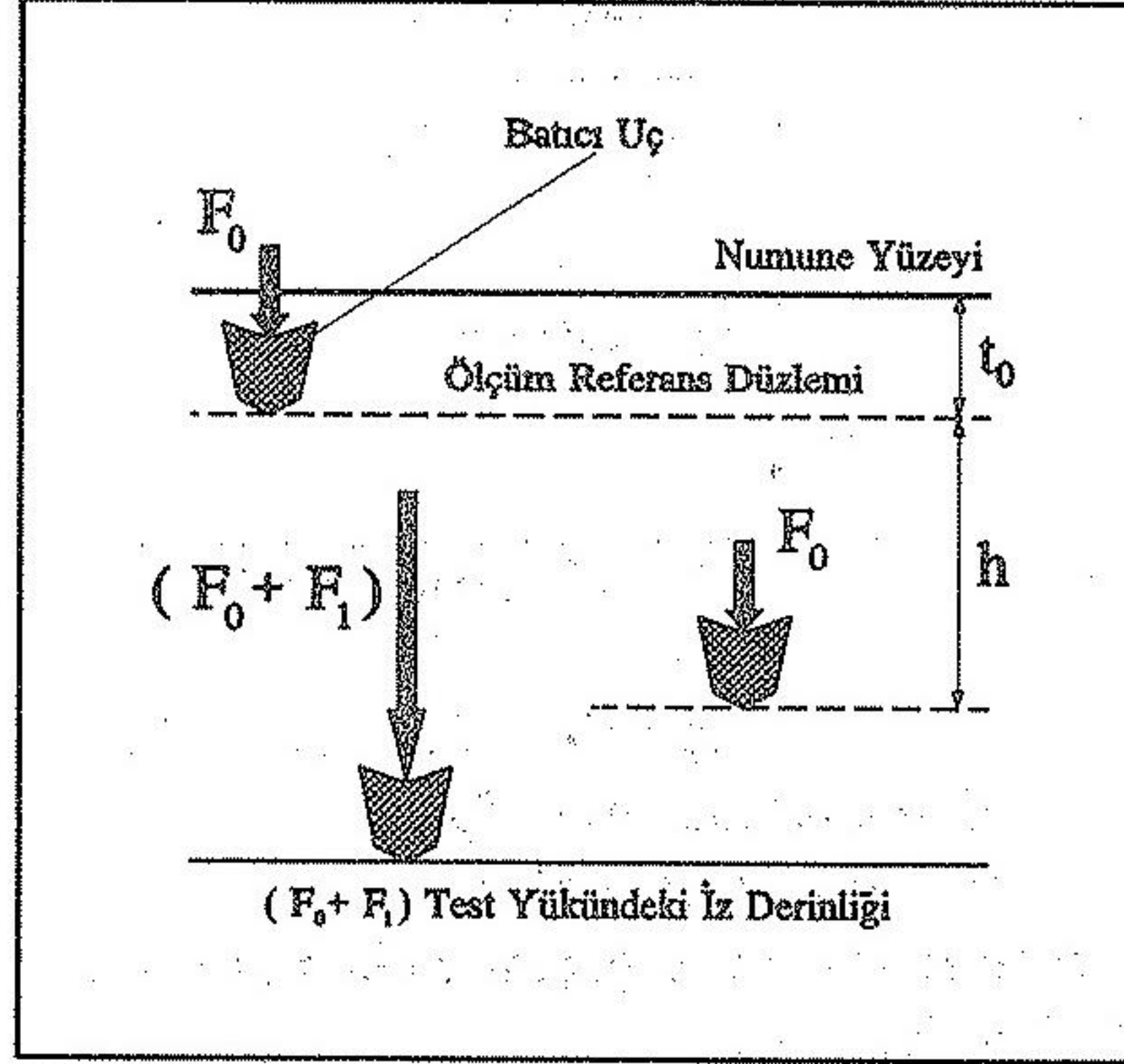
İz merkezinin numune kenarından uzaklığı çelik, bakır ve bakır alaşımları için  $2.5 \cdot d$  'den, hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları için  $3 \cdot d$  'den az olmamalıdır. En yakın iki izin merkezleri arasındaki mesafe çelik, bakır ve bakır alaşımları için  $3 \cdot d$  'den, hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları için  $6 \cdot d$  'den az olmamalıdır.

Testin uygulanmasında, test yükünün uygulanmaya başladığı andan tam değere ulaşıncaya kadar geçen süre normal bölge için 2 saniyeden az 8 saniyeden fazla, küçük yük bölgesi için bu süre 10 saniyeden fazla olmamalıdır. Mikro sertlik ve küçük yük bölgesi için batıcı ucun numuneye yaklaşma hızı  $0.2 \text{ mm/s}$  'yi aşmamalıdır. Tam yükün uygulandığı süre ise 10 ila 15 saniye arasında olmalıdır [8,9,10,14].



### 2.3. Rockwell sertlik deneyi

Rockwell sertlik deneyi, malzeme üzerine çelik bir bilya veya tepe açısı 120°, uç çapı 0.200 mm olan konik elmas batıcı bir ucun önce sabit küçük bir yükü bastırılmasıyla meydana getirilen izin dip kısmı başlangıç noktası alınarak, yük daha yüksek belirli bir yüke artırılıp belirli bir sürenin ardından tekrar önceki yüke dönmek suretiyle, başlangıçtaki ize oranla meydana gelen iz derinliğindeki net artışın belirlendiği bir deneydir (Bkz. Şekil.3)



Şekil 3. Rockwell Sertlik Deneyinin Prensibi

- $F_0$  : Deney ön yükü,  
 $F_1$  : Deney yükü,  
 $t_0$  : Deney ön yükünde meydana gelen iz derinliği,  
 $h$  : Kalıcı iz derinliği.

Brinell ve Vickers deneylerinden farklı olarak, oluşan izin yüzey alanı yerine iz derinliği ( $h$ ) ile sertlik değeri arasında aşağıdaki bağıntıyla verilen bir ilişki kurulmuştur, ancak Rockwell Sertliği birimsizdir.

$$RS = N - \frac{h}{S}$$

Burada,  $N$  her bir Rockwell skalası için belirlenmiş olan sayısal değeri,  $S$  ise kullanılan ölçme cihazının skala bölüntüsünü göstermektedir.

Rockwell sertlik deneyleri temel olarak iki grupta toplanmaktadır;

1. Standard Rockwell sertlik deneyleri (A, B, C, D, E, F, G, H, K skalaları):



Tüm skalalarda standard bir  $F_0 = 10$  kgf (98.07 N) ön yükü uygulanmakta, skalaya bağlı olarak da 50 kgf (490.3 N), 90 kgf (882.6 N) veya 140 kgf (1.373 kN) bir deney yükü uygulanmaktadır. Kullanılan skalaya bağlı olarak 1/8", 1/16" çaplı çelik bilya veya elmas uç kullanılacağı normlarda belirtilmiştir.

## 2. Yüzeysel Rockwell sertlik deneyleri (N ve T skalaları) :

Her iki skalada da standard bir  $F_0 = 3$  kgf (29.42 N) ön yükü uygulanmakta, skalaya bağlı olarak da 12 kgf (117.7 N), 27 kgf (264.8 N) veya 42 kgf (411.9 N) bir deney yükü uygulanmaktadır. Kullanılan skalaya bağlı olarak 1/16" çaplı çelik bilya veya elmas uç kullanılacağı normlarda belirtilmiştir.

Genel olarak testlerin gerçekleştirilebileceği ortam sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında ise de kontrollü ortamlarda bu değer  $(23 \pm 5)$ °C arasında tutulmalıdır.

İz merkezinin numune kenarından uzaklığı, iz çapının 2.5 katından az olmamalıdır. En yakın iki izin merkezleri arasındaki mesafe ise iz çapının dört katından az olmamalıdır.

Testin uygulanmasında, test yükünün uygulanmaya başladığı andan tam değere ulaşmaya kadar geçen süre 2 saniyeden az 8 saniyeden fazla olmamalı, deney yükünün uygulandığı süre ise  $4 \pm 2$  saniye arasında olmalıdır [5,6,7,11,13,15,16,17,19].

## 3. Sertlik skalaları ve izlenebilirlik

Bilim ve teknolojide yapılan ölçümlerin büyük bir çoğunluğu SI-Uluslararası Birimler Sistemi'nde yer alan birimler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sertlik birimleri de, SI'a dahil temel ve türetilmiş birimler aracılığı ile (uzunluk, açı, zaman, kuvvet) belirlenmekte, ancak sertlik birimleri bu sistemde yer almamaktadır.

Sertlik deneyleri, metalik malzemelerin mekanik deneyleri başlığı altında uluslararası normlarda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Sertlik değerinin belirlenmesi, bilindiği üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir;

- Normlarda belirtilen şartlarda ve yöntemle deneyin gerçekleştirilmesi (batıcı ucun numuneye uygulanması),
- Batıcı ucun ve oluşan izin boyutsal karakteristiklerinin tespiti (uzunluk, açı ölçümleri).

Bu testler farklı malzeme olaylarını değerlendirdiği için farklı sertlik değerleri arasında belirlenmiş basit bir ilişki yoktur. Sadece aynı yöntemle ve aynı koşullar altında belirlenen sertlik değerleri birbirleriyle tam olarak karşılaştırılabilir. Değişik yöntemlerle elde edilen değerlerin yaklaşık karşılaştırılması ise ancak benzer malzemeler için sınırlı olarak

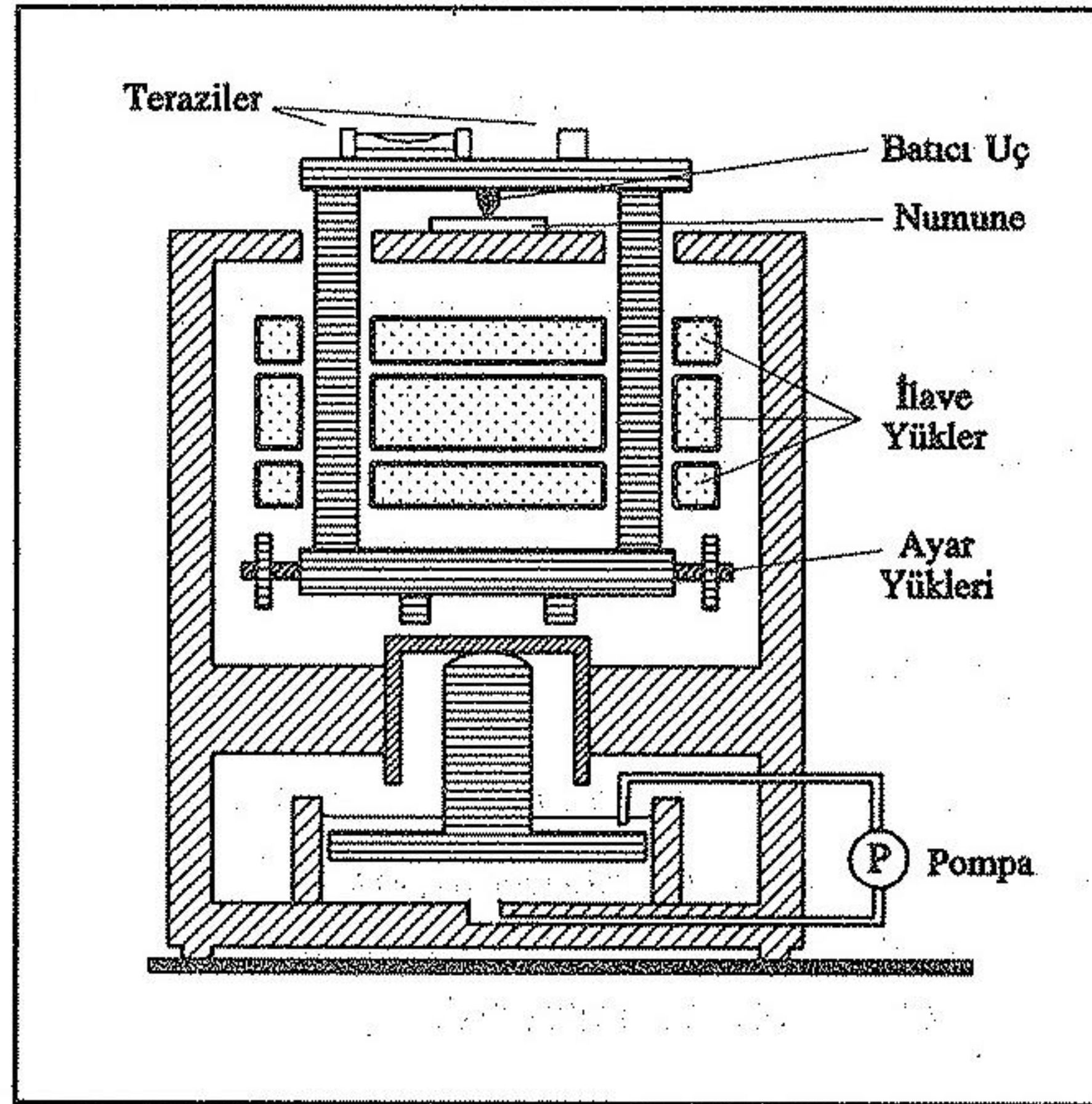


yapılmaktadır. Dolayısıyla, herbir sertlik birimi için (Brinell, Rockwell, Vickers) ayrı bir sertlik skalasının gerçekleştirilmesi zorunluluğu vardır.

Sertlik skalası, iki ayrı yöntem ile oluşturulmakta ve muhafaza edilmektedir :

- Referans sertlik makinaları vasıtasıyla,
- Referans sertlik plakaları vasıtasıyla.

Referans sertlik makinalarında sertlik deneyinin ilk aşaması olan yük uygulanması, Kuvvet Standardı Makinaları'nda olduğu gibi doğrudan, yerçekim kuvveti etkisi altındaki ölü ağırlıklarla gerçekleştirilmektedir (Bkz. Şekil.4). Batıcı ucun geometrisi, kuvvetin uygulama süresi, malzemede oluşan izin boyutları ise normlarda belirtilmiş olan değerlerde, kalibreli cihazlar ile ölçülerek belirlenir.



Şekil 4. Referans Sertlik Makinası

Bilim ve teknolojinin çeşitli alanlarında kullanılmakta olan sertlik ölçme cihazlarına, sertlik birimi, primer seviyeden başlamak üzere *Referans Sertlik Makinası*'nda kalibre edilmiş, sabit değerli *Referans Sertlik Plakaları* vasıtasıyla aktarılır. Bu amaçla sertlik ölçme makinalarının ölçme bölgesini kapsayacak şekilde yeterli sayıda ölçme plakasına sahip olunması gerekmektedir. İzlenebilirliği sağlamak için kullanılan bu sertlik plakalarından başka sertlik deney cihazlarının batıcı uca uyguladığı kuvvetin değerinin ve periodunun, batıcı ucun geometrisinin ve batma izini ölçen cihazın da kalibreli cihazlarla kontrol edilmesi ve sertlik deney cihazlarının düzenli olarak "doğrulanması" gereklidir. Sertlik plakaları ile yukarıda belirtilen ölçümler yapıldıktan sonra makinenin sahip olduğu hassasiyet değerleri kontrol edilir. Söz konusu bu kontroller uzman kuruluşlar ve akredite laboratuvarlar tarafından yapılabilir [20].



#### 4. Türkiye'nin sertlik metrolojisindeki temel gereksinimleri

Avrupa ile entegrasyona giden ülkemizde, bu bildiride genel olarak açıklanan ulusal sertlik skalalarının Ulusal Metroloji Enstitüsü, UME, tarafından bir an önce kurularak, uluslararası mukayeseli ölçümlerle seviyesini belirlemesi ve ilan etmesi, sanayi, üniversiteler ve diğer kuruluşlarla işbirliği çerçevesinde TKS (Türk Kalibrasyon Servisi) bünyesinde yer alacak olan akredite ikincil seviye sertlik ölçüm laboratuvarlarının organizasyonun başlatılması, Avrupa ülkelerinde uygulanan EN (Norme Europeenne) serisi normların TSE (Türk Standardları Enstitüsü) tarafından türkçeleştirilerek kullanıcıların hizmetine sokulması, dolayısıyla yapılan ölçümlerin Avrupa ülkelerinde yapılan ölçümlerle mukayese edilebilirliğinin sağlanarak bilim ve teknolojinin olduğu kadar ekonominin de ihtiyaçlarına cevap vermesi, sertlik metrolojisinde kullanılan türkçe terminolojinin belirlenerek dil birliğine gidilmesi sertlik metrolojisi ile ilgili olarak ülkemizin temel ve acil ihtiyaçları olarak karşımıza çıkmaktadır [12,13,14,15,16,17,18].

#### Kaynaklar

1. Ş.GÜLEÇ, A.ARAN, "Malzeme Bilgisi", p.152-158, 1988
2. EN 10003 - 1, "Metallic materials - Brinell hardness test - Part 1: Test method", July 1993.
3. EN 10003 - 2, "Metallic materials - Brinell hardness test - Part 2: Verification of Brinell hardness testing machines", July 1993.
4. EN 10003 - 3, "Metallic materials - Brinell hardness test - Part 3: Calibration of standardized blocks to be used for Brinell hardness testing machines", July 1993.
5. EN 10109 - 1, "Metallic materials - Hardness test - Part 1: Rockwell test (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K) and Rockwell superficial test (scales 15N, 30N, 45N, 15T, 30T and 45T)", July 1993.
6. EN 10109 - 2, "Metallic materials - Rockwell hardness test - Part 2: Verification of Rockwell hardness testing machines (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)", July 1993.
7. EN 10109 - 3, "Metallic materials - Rockwell hardness test - Part 3: Calibration of standardized blocks to be used for Rockwell hardness testing machines (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)", July 1993.
8. ISO 6507 - 1 : 1995, "Metallic materials - Vickers Hardness test - Part 1: Test method".
9. ISO 6507 - 2 : 1995, "Metallic materials - Vickers Hardness test - Part 2: Verification of the hardness testing machines".
10. ISO 6507 - 3 : 1995, "Metallic materials - Vickers Hardness test - Part 3: Calibration of hardness reference blocks".
11. DIN 50103, "Rockwell hardness test", March 1984.
12. TS 139 : 1992/02, Metalik malzemelerin Brinell sertlik deneyi



13. TS 140 : 1992/04, Rockwell sertlik deneyi (metalik malzemeleri için)
14. TS 207 : 1965/04, Vickers sertlik deneyi - Metalik malzemeleri için
15. TS 1183 : 1972/04, Rockwell Yüzeysel N ve T Skalası - Sertlik Deney Cihazında Kullanılan Ayarlı Blokların Kalibrasyonu
16. TS 1184 : 1972/04, Rockwell Yüzeysel N ve T Skalası - Sertlik Deney Cihazının Muayene ve Ayarlanması
17. TS 1185 : 1972/04, Çeliklerde Rockwell Yüzeysel Sertlik Deneyi (N ve T Skalaları)
18. "Metrological involvement in the definition and dissemination of hardness scales", G.BARBATO, F. PETIK, Proceedings of the XIII. IMEKO World Congress, p.761-766, Torino, September 1994.
19. "Über die Genauigkeit des Ungarischen Normal-Harteprüfgerätes nach Rockwell", F.PETIK, VDI-Berichte Nr.100, p.157 - 159.
20. "Hardness Standard Equipment", F.PETIK, OIML P 13. Paris 1989.