



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**LABORATUVAR FÖYÜ**

**JOMINY SERTLEŞEBİLİRLİK VE SERTLİK DENEYİ**

**Prof. Dr. Ümit ALVER**  
**Arş. Gör. Mücahit KOCAMAN**

**Eylül 2022**

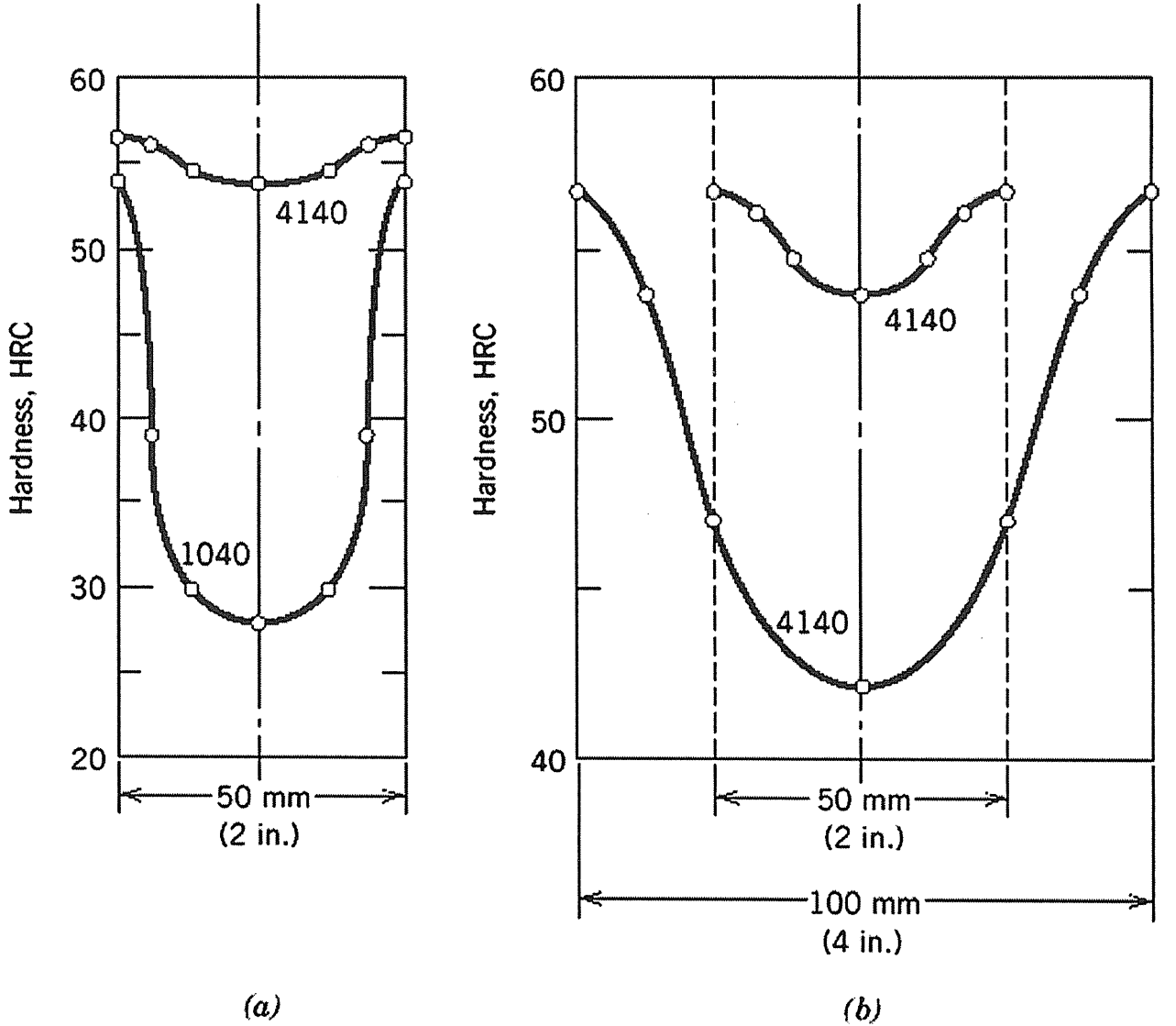
**TRABZON**

## 1. Amaç

Bu deneyin amacı soğuma hızının değişik kimyasal bileşimlere sahip çeliklerin sertliğine etkisinin incelenmesidir. Ayrıca deney, çeliklere alaşım elementi katılmasının, parçaların daha üniform olarak ve daha derinlemesine sertleşmesinin nedeninin açıklanmasını sağlar.

## 2. Giriş

Çeliklerin sertleştirilmesinde iç yapıda %100 martenzit fazı oluşturulabilmesi için belirli bir hızın (bu hıza kritik soğuma hızı denir) üzerindeki hızda soğutmak gerekir. Bu hızın altındaki soğuma hızlarında iç yapıda %100 martenzit oluşmadığı (şartlara göre perlit veya beynit de oluştuğu) için sertlik düşer. Diğer taraftan belirli bir çaptaki malzemeye su verildiğinde yüzey ile merkezin soğuma hızı farklı olduğu için sertlikleri de aynı olmaz. Isı yüzeyden uzaklaştırıldığı için yüzey nispeten daha hızlı soğur ve sertliği daha yüksek (maksimum) olur. Yüzeyden merkeze doğru gidildikçe sertlik düşer. Bu düşüş alaşımlı çeliklerde daha az olur. Çünkü alaşımlı çeliklerde kritik soğuma hızı daha düşük olduğundan daha yavaş soğuyan iç kısımlarda da oluşan martenzit oranı daha yüksektir. Diğer bir ifadeyle alaşımlı çeliklerde sertleşme derinliği daha fazladır. Sertleşme kabiliyetinin (sertleşebilirliğin) ölçüsü yüzeyden itibaren derinlemesine sertleşme miktarıdır.



Şekil 1. Çapları farklı olan bir alaşımlı (AISI 4140) ve alaşımsız (AISI 1040) çelik çubukta yüzeyden itibaren sertlik dağılımı [1]

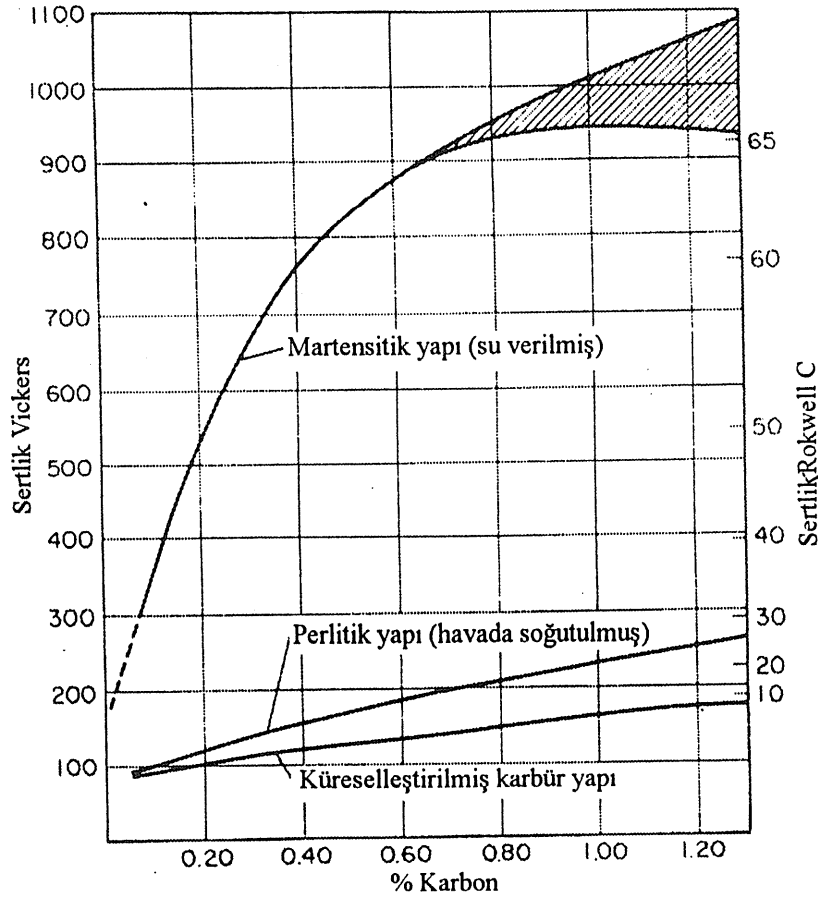
Yani sertleşebilirliği yüksek olan çeliklerde sertleşme derinliği daha fazladır. Sertleşme kabiliyeti düşük olan çeliklerde sertleşme derinliği daha azdır.

Su vermeyle elde edilebilecek maksimum sertlikle sertleşme kabiliyeti karıştırılmamalıdır. Çünkü maksimum sertlik karbon oranına bağlıdır. Bu nedenle karbon oranları aynı olan alaşımsız ve alaşımlı çeliklerin yüzeydeki sertlikleri yaklaşık aynıdır.

### 3. Çeliklerde Sertleşebilirlik

#### 3.1. Sertleşebilirliğe etki eden faktörler:

a) **Karbon oranı:** Çeliklerde su verme işlemiyle yüzeyde ulaşılabilecek en yüksek sertlik, doğrudan çeliğin karbon oranına bağlıdır (Şekil 1). % C arttıkça su verilen çeliklerde ulaşılabilen sertlik artar ve yaklaşık % 0.8C değerinde maksimum değere ulaşır. Bu değer üzerinde iç yapıda bulunan kalıntı ostenit, sertliğin teorik (beklenen) değere (şekilde taralı alan) yükselmesine engel olur. Karbon sertliği arttırdığı gibi sertleşme derinliğini de artırır.



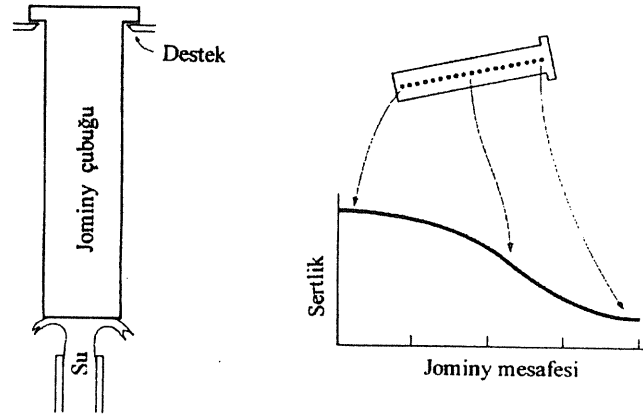
Şekil 2. Alaşımsız çeliklerde çeşitli ısıl işlem şartlarında sertliğin karbon oranı ile değişimi.[2]

**b) Kimyasal Bileşim:** Kobalt dışındaki tüm alaşım elementlerinin sertleşebilirliği artırır. Çünkü bu elementler difüzyonu yavaşlatarak TTT eğrisinin burnunu sağa doğru kaydırır ve kritik soğuma hızını azaltırlar. Özellikle Cr, Mo, V v.b. karbür yapıcı elementler çok etkin sertleşebilirlik artırıcı elementlerdir. Alaşımli çeliklerde sertleşme derinliği çok daha fazladır. Diğer bir deyişle daha büyük çaplı parçalar su verilerek sertleştirilebilir. Sertleşebilirliği arttıran en etkin element bordur.

**c) Ostenit Tane Büyüklüğü:** Tane boyutunun küçülmesi olursa sertleşebilirliği düşürür. Bunun nedeni, tane boyutunun azalmasına paralel olarak tane sınırlarının toplam yüzeylerinin artması (difüzyon hızının artması) ve bunun sonucu perlit oluşumu için başlangıç yerleri olan çok sayıda çekirdeğin bulunmasıdır. Ostenitik tane büyüklüğünün artması sertleşebilirliği artırır. Fakat mukavemet ve tokluk olumsuz etkilenir ve su verme sırasında çatlama ihtimali ve distorsiyon (çarpılma, bükülme) artar. Bu nedenle tane büyüklüğünün ASTM 6–8 arasında olması tercih edilir.

#### 4. Jominy (Uçtan Su Verme) Sertleşebilirlik Deneyi

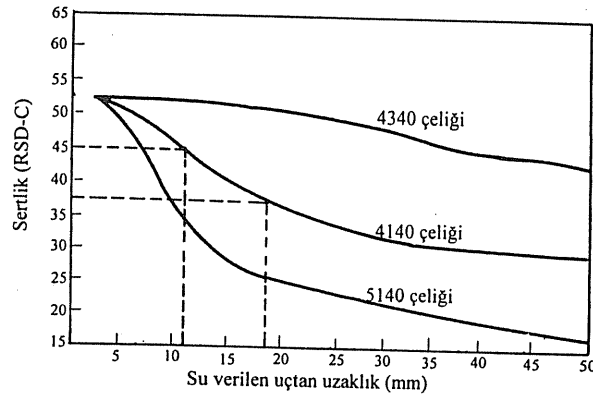
Günümüzde en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyi Jominy tarafından geliştirilmiş ve ASTM (American Society for Testing and Materials), SAE (Society of Automotive Engineers) ve AISI (American Iron and Steel Institute) tarafından standartlaştırılmış olan Jominy veya uçtan su verme deneyidir. Bu deneyde bir inç çapında (25.4 mm) ve 100 mm uzunluğundaki silindirik numuneler kullanılır. Deney numunesi fırın içerisinde uygun ostenitleştirme sıcaklığında genellikle 1 saatten daha az süre ile tavlınır. Daha sonra fırından alınan deney numunesi, hızla deney düzeneğine yerleştirilerek su jetinin numune alt ucuna püskürtülmesi sağlanır (Şekil 3). Numune boyunca su verilen uçtan itibaren soğuma hızı giderek azalır. Su verme işleminden 15 dakika sonra numune yerinden alınıp, eksenine paralel ve ucundan itibaren 0.4 mm derinliğinden başlamak üzere taşlama ile iki paralel yüzey oluşturulur. Bu yüzeyler ince zımparalama aşamasından sonra su verilen uçtan itibaren (genellikle Rockwell-C veya Vickers yöntemi ile) sertlik ölçümü yapılır. Numune boyunca her bir noktanın soğuma hızı farklı olduğundan sertlikleri de farklı olur ve sertliğin numune boyunca değişimi Şekil 3’de gösterildiği gibi azalan bir eğri şeklini alır ve bu eğriye Jominy eğrisi adı verilir. Soğutulan uçtan itibaren olan mesafe Jominy mesafesi olarak adlandırılır ve bu mesafe arttıkça soğuma hızı azalır (Tablo 1).



Şekil 3. Jominy deney düzeneğinde çelik parçaya su verilmesi ve tipik bir Jominy eğrisi  
Tablo 1. Jominy mesafesi ile soğuma hızı arasındaki ilişki

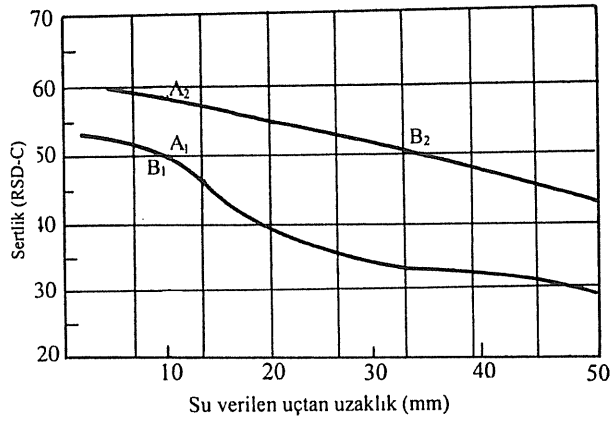
Jominy Mesafesi (mm)	Soğuma Hızı ( $^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ )
1.6	315
3.2	110
4.8	50
6.4	36
8.0	28
9.6	22
11.2	17
12.8	15
16.0	10
19.2	8
25.4	5
32.0	3
38.4	2.8
44.5	2.5
57.2	2.2

Alaşımli çeliklerin sertleşebilirlikleri daha yüksek olduğundan daha düşük soğuma hızlarında iç yapılarında martenzit oluşabilir. Alaşımmanın en önemli amaçlarından biri de sertleşebilirliği arttırmaktır. Yüksek sertleşebilirliğe sahip bir alaşımli çeliğin Jominy eğrisi ani düşüş göstermezken alaşımatsız karbon çeliğinin Jominy eğrisinde hızlı bir düşüş gözlenir. Şekil 4'de değişik kimyasal bileşime sahip çeliklerin Jominy eğrileri verilmiştir. Şekilden AISI 4340 çeliğinin en yüksek, 1040 çeliğinin ise en düşük sertleşebilirliğe sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4. Değişik kimyasal bileşime sahip çeliklerin Jominy eğrileri

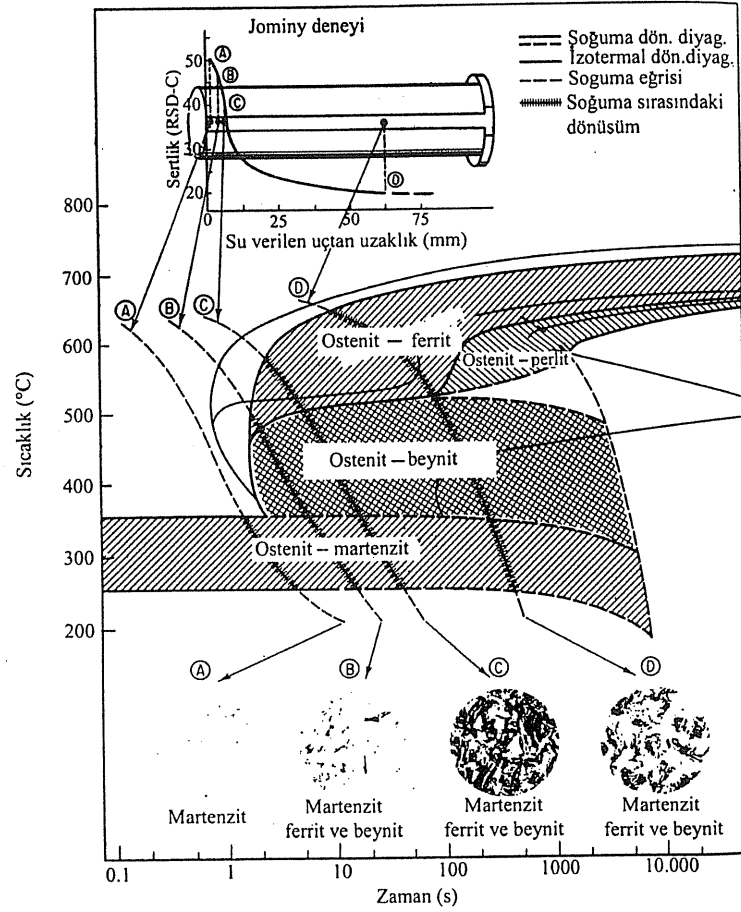
Aynı tür çeliklerin kimyasal bileşimlerinde ilgili standartlarda müsaade edilen maksimum ve minimum değerler dikkate alındığında, alt ve üst değerler için farklı değerler elde edileceğinden Jominy eğrisi yerine Jominy bandı elde edilir. Örneğin; AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi % olarak C (0.37-0.44), Mn (0.65-1.1), Si (0.2-0.35), Cr (0.75-1.2), Mo (0.15-0.25) şeklindedir. Şekil 5'de AISI 4140 çeliği için elde edilen bu tür bir Jominy veya sertleşebilirlik bandı görülmektedir.



Şekil 5. AISI 4140 çeliği için sertleşebilirlik bandı

## 5. IT ve CCT Diyagramlarının Pratik Uygulamaları

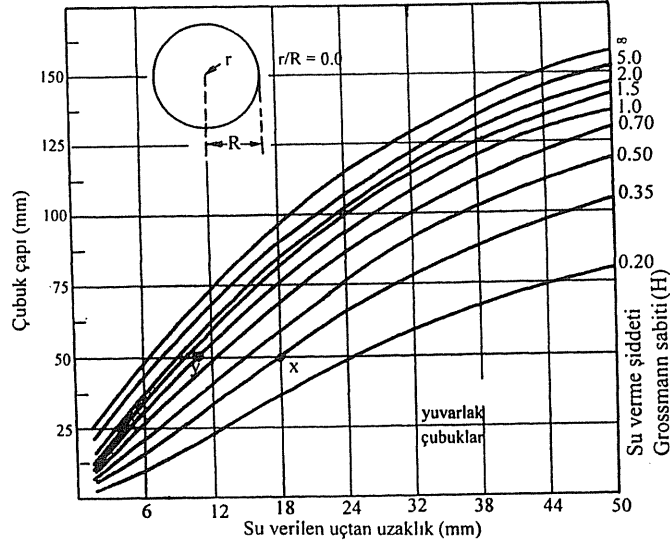
Sabit sıcaklıkta dönüşümün (izotermal dönüşümün) ilerleyişini gösteren IT diyagramları, izotermal tavlama, ostemperleme veya martemperleme gibi izotermal işlemleri içerdiği zaman yararlı bilgiler verebilir. Ancak IT diyagramlarıyla çeşitli çeliklerin sertleşebilirlikleri tahmini olarak saptanabilir. CCT şeklinde gösterilen sürekli soğuma dönüşüm eğrileri, ısıl işlemle uğraşan kişilerin soğuma hızının değişimine bağlı olarak hangi fazın oluşacağını tahmin etmeleri için çizilmişlerdir. Jominy numunesi üzerindeki noktaların her biri bir soğuma hızına tekabül ettiği için, Jominy deneyinden sağlanan veriyi kullanarak, farklı Jominy mesafelerindeki soğuma hızlarına uygun soğuma eğrilerini CCT diyagramları üzerinde göstermek mümkündür. Böyle bir diyagram Şekil 6'da verilmiştir. Bu diyagramda AISI 8630 çeliği için uçtan su verme deneyinden elde edilen verilerle dönüşüm davranışı arasındaki ilişki yer almaktadır. Jominy deney numunesi üzerinde yer alan A noktasına ait soğuma hızı, çeliğin kritik soğuma hızından daha yüksek olduğundan dönüşüm sonucunda tamamen martenzitik bir yapı elde edilir. Numune üzerindeki B,C ve D noktalarının soğuma hızları kritik soğuma hızından daha düşük olduğundan su verme işlemi sırasındaki dönüşüm sonucunda ferrit, beyrit ve martenzit fazlarından oluşan içyapılar elde edilir. Soğuma hızı azaldıkça bu yapılarıdaki martenzit oranı azalır. Öte yandan bu çelikte perlitik bir yapı elde etmek için soğuma hızının çok düşük olması gerekir. Sertleşme kabiliyeti eğrisindeki sertlik değişimi çelikte meydana gelen iç yapıdaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Alaşım elementleri kritik soğuma hızını azaltıp martenzit oluşumunu kolaylaştırmak suretiyle çeliğin sertleşme kabiliyetini artırırlar.



Şekil 6. 8630 çeliğinin uçtan su verme sertleşebilirlik verileri ile sürekli soğuma ve izotermal dönüşüm diyagramları arasındaki ilişki.

##### 5. Sertleşebilirliğin Pratik Uygulamaları

Bir çelik parçanın istenilen bir bölgesinde istenilen sertlik değerinin elde edilmesi için su verme sırasında o bölgedeki soğuma hızının bilinmesi ve Jominy deney numunesi üzerinde aynı soğuma hızına karşı gelen referans noktasının belirlenmesi gerekir. Literatürde daire, dikdörtgen ve kare kesitli parçaların farklı noktalarının değişik su verme durumlarındaki soğuma hızlarını gösteren tablolar bulunmaktadır. Değişik şartlarda su verilen, farklı çaplara sahip daire kesitli parçaların merkezleri ile Jominy deney numunesi üzerindeki Jominy mesafesi arasındaki ilişkiler Şekil 7'de verilmiştir. Daire kesitli çubuklarda soğuma bütün yönlerden olduğu için aynı soğuma hızına tekabül eden daire çapları Jominy mesafesine göre daha büyüktür. Bunun yanında değişik ortam ve koşullardaki su verme (soğutma) şiddeti (H) değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Değişik koşullarda su verilen çubukların merkezlerine karşı gelen noktaların Jominy deney numunesi üzerindeki konumları

Tablo 2. Değişik su verme şartlarına ait su verme şiddeti (H) değerleri [2]

Su Verme (soğutma) Şiddeti (H)	Su Verme Şartları
0.2	Yağda su verme-hareketsiz
0.35	Yağda iyi su verme-orta karıştırma
0.5	Yağda çok iyi su verme-iyi karıştırma
0.7	Yağda mükemmel su verme-hızlı karıştırma
1.0	Durgun suda su verme
1.5	Suda su verme-hızlı karıştırma
2.0	Tuzlu suda su verme-hareketsiz
5.0	Tuzlu suda su verme-hızlı karıştırma
∞	İdeal ortamda su verme

Jominy deneyinin pratik bir uygulamasına örnek olarak AISI 4140 çeliğinde 50 mm çapında ve merkez noktasındaki en düşük sertlik değeri 42 RSD-C olan bir mil yapmak isteyelim. Sertleşme işlemi orta derecede karıştırmalı yağda su vermek suretiyle yapılmak ( $H=0.35$ ) istenirse, yağ banyosunda su verilen 50 mm çapındaki çubuğun merkez noktasındaki gerçek soğuma hızını bulmak veya Jominy deney numunesi boyunca aynı soğuma hızına karşılık gelen noktanın su verilen uca olan uzaklığını belirlemek gerekir. Şekil 7'deki diyagram üzerinde 50 mm çapından bir yatay çizgi çizilirse  $H=0.35$  olan eğriyi kestiği nokta X ile gösterilmiştir. X noktasından dik inilerek 50 mm çapındaki çubuğun merkezi ile aynı hızda soğumaya tekabül eden Jominy mesafesinin 18 mm olduğu bulunur. Jominy eğrisinde bu mesafedeki sertliği belirlemek için çeliğin Şekil 4'de verilen Jominy eğrisine gidilir. Bunun için su verilen uçtan 18 mm uzaklıktaki noktadan bir dik çıkılarak bunun çeliğin sertleşme kabiliyetini gösteren eğriyi kestiği noktadan sertlik eksenine dik inildiğinde sertliğin yaklaşık 37 RSD-C olduğu görülür. İstenilen sertlik değeri 42 RSD-C olduğuna göre, bu çeliğe yağda su verildiğinde istenilen değere kadar sertleştirilemeyeceği anlaşılır.

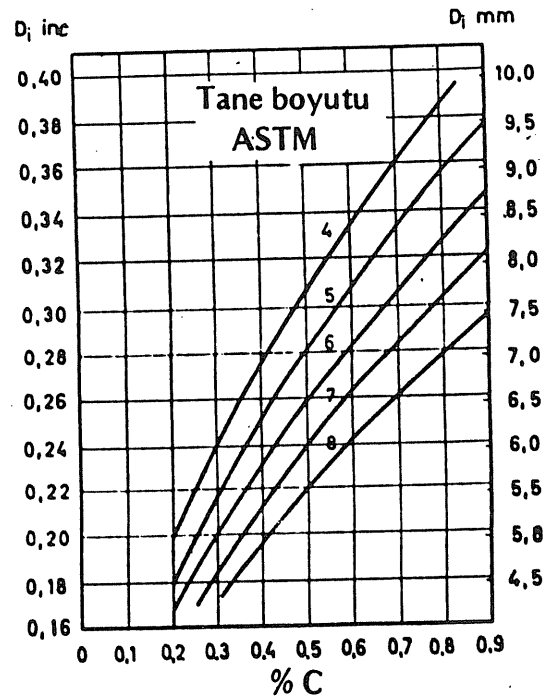
Eğer bu mile durgun suda ( $H=1.0$ ) su verildiği düşünülürse, çubuğun merkezinin soğuma hızı Jominy deney numunesi üzerindeki y noktasının ( $y=11.1$  mm) soğuma hızına karşılık geldiği görülür (Şekil 7). Tekrar bu çeliğin Şekil 4'de verilen Jominy eğrisine gidilirse 11,1 mm'den dik çıkıldığında bulunan sertlik değerinin 45 RSD-C olduğu görülür. Bu durum,



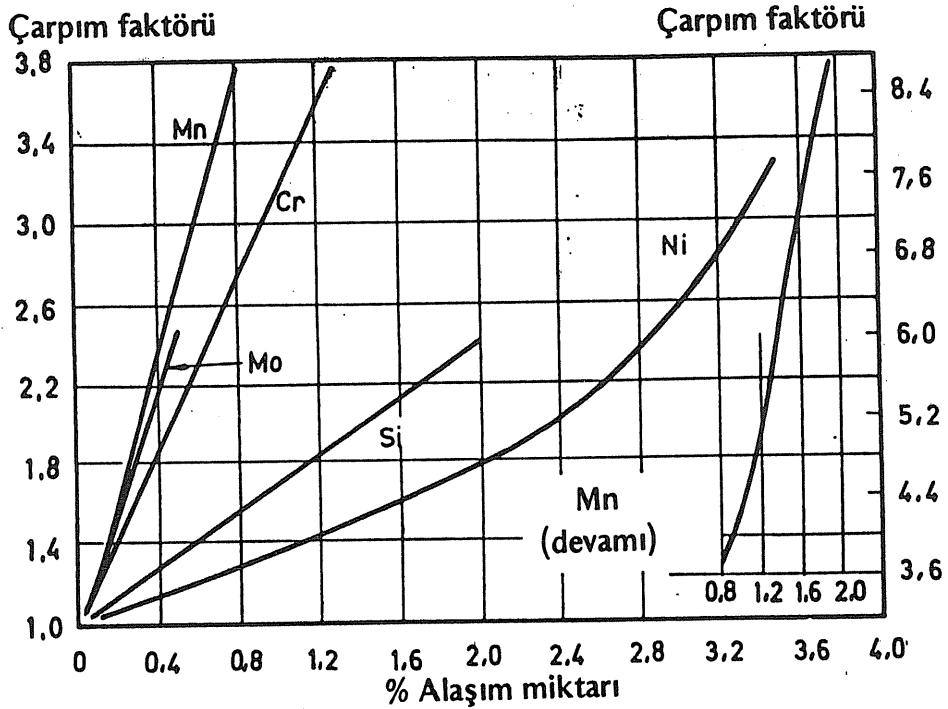
söz konusu milin merkezinde elde edilen sertliğin 45 RSD-C olduğu anlamına gelir. Böylece su verme ortamı ve şartlarını değiştirmek suretiyle istenilen sertlik değerinin elde edilebileceği ortaya çıkar. Yüksek olan sertlik değeri menevişleme ile düşürülebilir. Ancak yağda sertleştirilebilen bir çeliğe suda su verildiğinde çatlayabileceği unutulmamalıdır. Eğer su verme işlemi suda yapılamıyorsa, yüksek sertleşme kabiliyetine sahip başka bir çelik kullanmak gerekir. Örneğin AISI 4340 çeliğinin kullanılması durumunda milin merkezinde 52 RSD-C değerinde bir sertlik elde edilebilir (Şekil 4). Bu sertlik değeri istenilen koşulu sağlar, ancak bu uygulama için oldukça yüksek sayılabilir.

İdeal soğutma ortamında ( $H=\infty$ ) sertleştirildiğinde merkezinde %50 martenzit oluşan çubuk çapına **ideal kritik çap** adı verilir. Alaşımız çeliklerde farklı karbon oranları için farklı tane boyutlarına karşılık gelen ve Grossman tarafından belirlenen ideal kritik çap değerleri Şekil 8’de verilmiştir. Jominy deneyi uygulamadan önce çelikler normalize edildiğinden ASTM tane boyutu numaraları genellikle 6-8 arasında olup bu deneyde 7 olarak alınacaktır. Buna göre %0,40 karbon içeren alaşımız çelik için yaklaşık  $D_{i,temel} = 0,215$  inç bulunur (Şekil 8). Alaşımız çeliklerde ideal kritik çapı bulmak için bu değer her alaşım elementi için verilen bir faktörle çarpılır. Bu faktörlerin alaşım oranına göre değişimi Şekil 9’da verilmiştir.

$$D_i = D_{i,temel} \times f_{Mn} \times f_{Si} \times f_{Cr} \times f_{Mo} \times f_{Ni} \times \dots$$



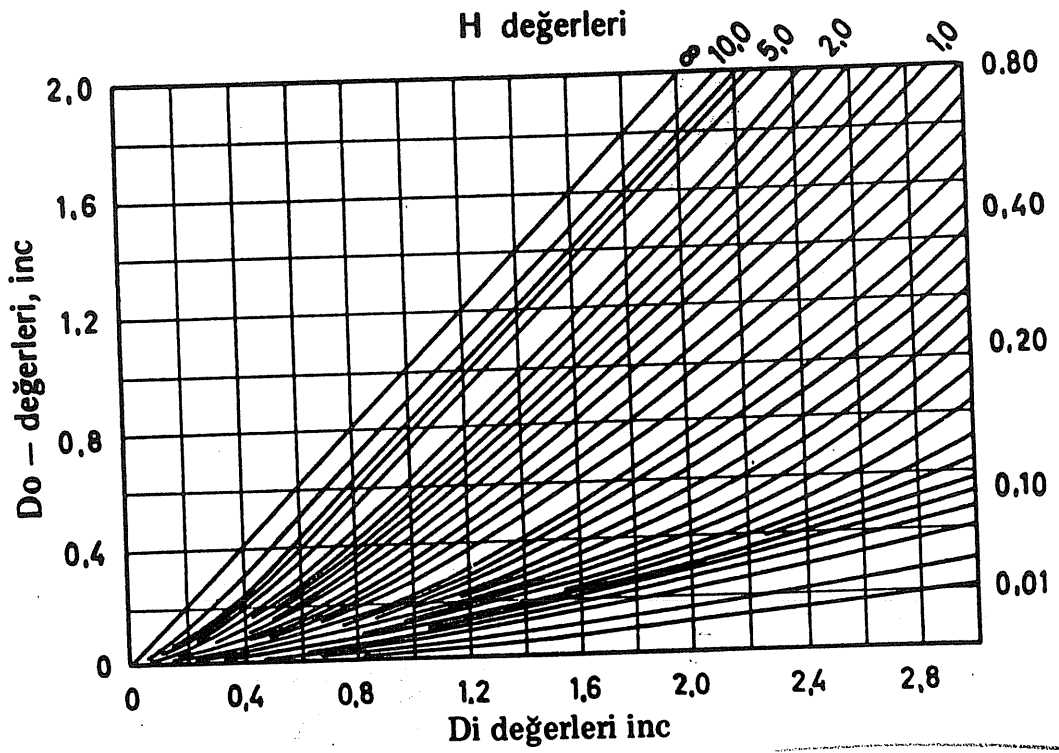
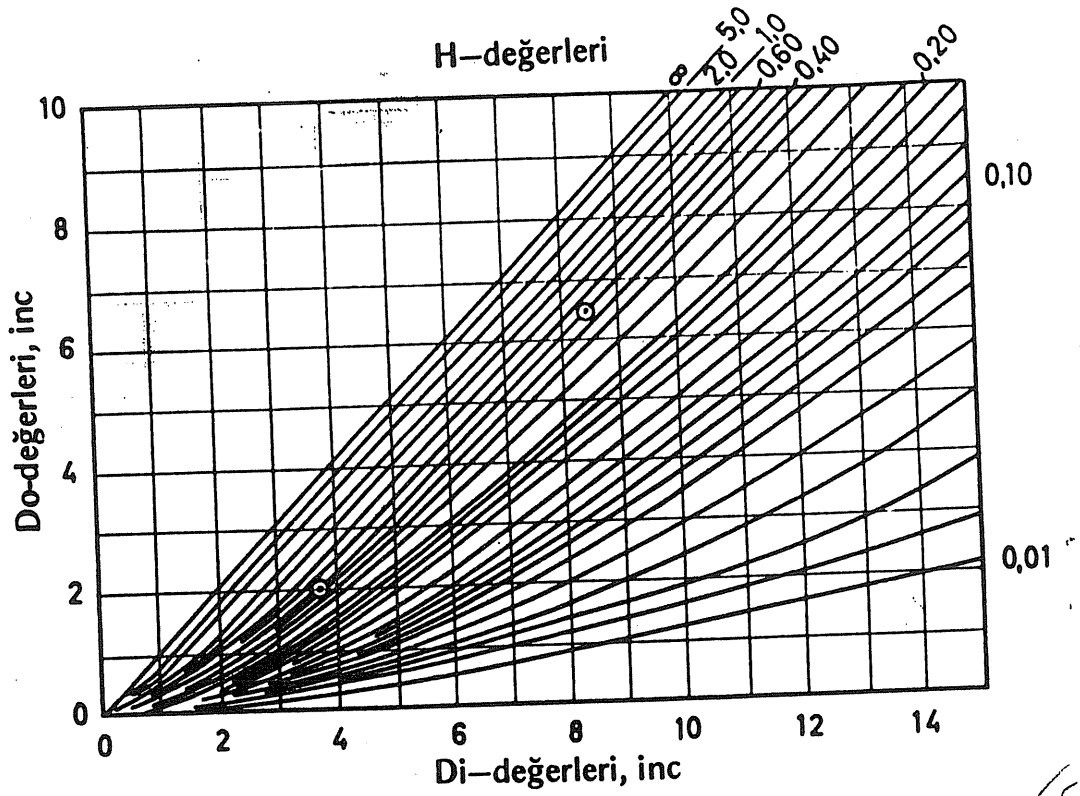
Şekil 8. Alaşımız karbon çeliklerinde ideal kritik çapın karbon miktarı ve ostenit tane boyutu ile değişimi



Şekil 9. Kritik çap hesaplamalarında değişik alaşım elementleri için çarpım faktörleri

İdeal soğutmanın dışındaki soğutma ortamları için de ideal kritik çapa karşılık olan kritik çap ( $D_0$ ) değeri Şekil 10'dan bulunur.

Örnek: %0,40C, %0,7Mn, %0,8 Cr, %1,75 Ni, %0,25 Mo içeren 4340 çeliği için :  
 $D_1 = 0,215 \times 3,3 \times 1,5 \times 2,7 \times 1,7 = 4,9$  inç bulunur. İyi karıştırmalı yağda su verildiğini kabul edilirse Şekil 10'dan  $D_0$  (yani merkezinde %50 martenzit oluşan çap) yaklaşık 3.2 inç (81,3mm) bulunur.



Şekil 10. Çeşitli H değerli soğutma ortamları için ideal kritik çapa karşılık gelen Do değerleri

**Raporda istenenler:**

- a) Bulunan sertlik değerlerini kullanarak her iki elięin Jominy eğrilerini raporun sayfasına yapıştıracağınız milimetrik kağıda çiziniz.
- b) Alaşımlı elięin kritik apımı bulunuz.

**Kaynaklar :**

1. Callister ,V.D.&Rethwish,G.D. “Fundamentals of Materials Science AND Engineering” John Wiley and Sons Inc. ,2008
2. Bain,E.C. and Paxton,H.W. “Alloying Elements in Steels” 2ND Ed. ASM ,1966
3. Savařkan , T.“Malzeme Bilgisi ve Muayenesi “ KTÜ, , İber Ofset. Trabzon 2004
4. Thelning, K.E. (eviren : Tekin,A.) “ elik ve Isıl İşlemi ” , Bofors Elkitabı, , Hakan Ofset ,İst.1984
5. Askeland,D.R. (eviri : Dr. Mehmet Erdoęan) “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri ” Third Edition,,Cilt I, Nobel Yayın Dağıtım
6. Avner,S. H. “ Introduction to Physical Metallurgy ”, , Second Edition, , Ankara Üniversitesi, Basımevi, 1986
7. “eliklerin Sertleşebilirlik Özelięi ve Sertleşebilirliğe Göre elik Seçimi ”, 1. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül 1984, ODTÜ, Ankara, Sayfa.519-529

# SERTLİK DENEYİ

## 1. Giriş

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.

Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir.

## 2. Deneyin Prensibi

Sertlik ölçme standart bir batıcı ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Batıcı uçlar bilye, piramit veya koni biçiminde olup sertliği deney malzemesinin sertliğinden çok daha yüksektir. Uygun olarak seçilen batıcı uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır.

Sertlik ölçümünde dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları şunlardır:

- a) Sertlik numunesinin ölçüm yapılan yüzeyi ile oturma yüzeyinin düzgün ve birbirine paralel olmaları gerekir.
- b) Sertlik numunesinin kalınlığı, iz derinliğinin en az 10 katı olmalıdır.
- c) Batıcı uç, numune kenarlarına yakın bölgelere uygulanmamalı ve izler arasında en az iz çapının veya ortalama köşegen uzunluğunun üç katı kadar bir uzaklık bulunmalıdır.

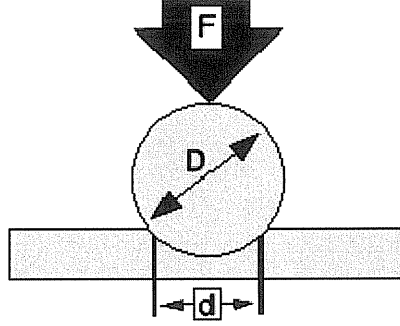
## 3. Sertlik Deneyleri

Laboratuarlarda uygulanan sertlik ölçme yöntemleri şunlardır.

- a) Brinell sertlik deneyi
- b) Rockwell sertlik deneyi
- c) Vickers sertlik deneyi
- d) Mikro sertlik deneyi

### a)Brinell Sertlik Deneyi:

Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F) belirli bir çaptaki (D) sert malzemedan yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz (d) meydana getirmek esasına dayanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir.



Brinell sertlik değeri;

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

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan F uygulanan yükü (kg), D bilya çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir.

Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm' den daha küçük olan (örneğin 1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılır.

Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilya çapına göre seçilmektedir.  $d/D = 0.20 - 0.70$  oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Deney yükünün saptanmasında  $F=CD^2$  bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme ( Çelik , DD ) → C=30
- Cu ve Al alaşımlı malzeme → C=10
- Yumuşak malzeme → C=5

Metalik malzemelerde sertlik arttıkça çekme dayanımı da artar. Çeliklerin Brinell sertlik değeri ile çekme dayanımları arasındaki ilişkiyi;

$$\sigma_c \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0,35 \times \text{BSD (kg/mm}^2\text{)}$$

bağıntısıyla bulunabilir. Bu bağıntı yardımıyla çeliklerin çekme dayanımını yaklaşık olarak belirlemek mümkündür.

### **b) Rockwell Sertlik Deneyi:**

Rockwell sertlik deneyinde standart bir batıcı uç genelde 10 kg 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 çıkartılıp 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. 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.

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. 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 çelik 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.

Rockwell sertlik deneyinde kullanılan batıcı uçun malzemeye her 0,002 mm'lik batışında Rockwell sertlik değeri 1 sayı düşer. Rockwell skalası malzemenin cinsine, sertliğine ve iç yapısına göre seçilir.

Rockwell sertlik skalalarının tipik kullanma yerleri Tablo-1'de gösterilmiştir. Bazı hallerde birden fazla Rockwell skalası kullanılabilir.

**Tablo 1. Rockwell Sertlik Skalaları**

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

Rockwell sertlik değerinin bulunmasında kullanılan formüller;

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

Burada t batıcı uçun batma derinliği (mm) dir.

### **c)Vickers Sertlik Denevi:**

Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas kare piramit kullanılır. F yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine konarak sertlik değerleri bulunur.

Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyütmek faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 kgf seçilebilir. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagoneller elde



edilir. Yüknün numune üzerinde kalma süresi yaklaşık 20 saniyedir. Bu süre sonunda baskı ucu numune üzerinden kaldırılır ve deney bitirilir.



Vickers sertlik değerinin tespiti için aşağıdaki formülden faydalanılır.

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

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

Vickers sertlik deneyi çok yumuşak ve çok sert tabakalar için de uygundur. Deneyde yük düşük olduğu için genellikle ince parçalarda ve sadece yüzeyi sert olan özel işlem görmüş malzemelerde tercih edilir.

#### **d) Mikrosertlik Ölçme Yöntemleri:**

Bu yöntem özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. 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, metlik karbürleri gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede kullanılır.

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

Knoop sertlik değeri;

$$KSD = 14,2 P/l^2 \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

P uygulanan yükü, l ise uzun köşegen uzunluğunu gösterir.

**KAYNAKLAR:**

1. Savařkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Trabzon, 2007.
2. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, İstanbul, 1990.
3. Smith, W.F., “Principles of Materials Science and Engineering” Third Edition, McGraw-Hill, Inc. 1996.