



SAE MÜHENDİSLİK
ENGINEERING & CONSULTING

TEKNİK YAYINLAR • No. 13

Sertlik Ölçme Yöntemleri

Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop ve taşınabilir yöntemler; ölçek seçimi, dönüşüm tablolarının sınırı, hata kaynakları, sertlik profili ve sementasyon derinliği

Hazırlayan: Ahmet Asım ESER — SAE Mühendislik ve Danışmanlık Hizmetleri

Sürüm: 1.0 • **Tarih:** Ekim 2026 • **saemuhendislik.com**

Bu doküman SAE Mühendislik tarafından özgün olarak hazırlanmıştır. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

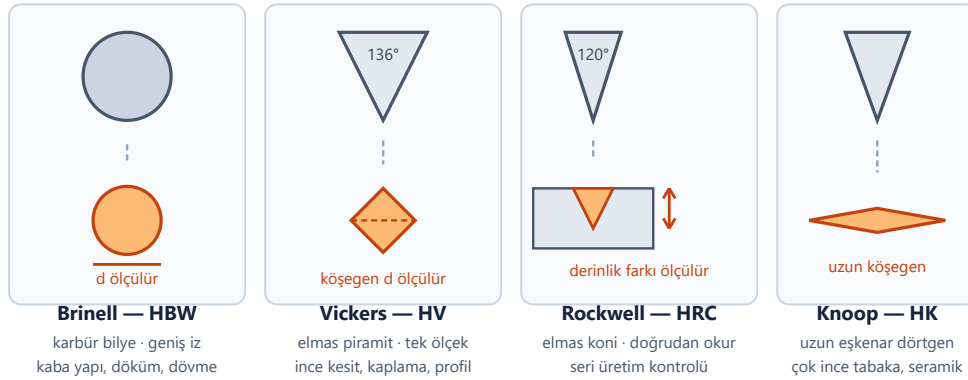
1. Giriş: Sertlik Bir Malzeme Sabiti Değildir

Çekme dayanımı ya da elastisite modülü gibi büyüklüklerin aksine **sertliğin tek ve mutlak bir tanımı yoktur**. Sertlik, "bir malzemenin kalıcı iz oluşumuna gösterdiği direnç" olarak tanımlanır — ama bu direnç, **hangi uçla, hangi yükü ve nasıl ölçüldüğüne** bağlı olarak değişir. Bu yüzden sertlik daima **yöntemiyle birlikte** yazılır: 220 HV10, 45 HRC, 180 HBW 2,5/187,5.

Sertlik ölçümü yine de endüstrinin en çok kullandığı deneydir; çünkü **hızlı, ucuz, neredeyse tahribatsız** ve doğru kullanıldığında ısıtma işleminin, kaynağın, yüzey işleminin ve malzeme karışıklığının en pratik kontrolüdür.

Yazım kuralı: Sertlik değeri **birimsizdir** — "350 HV" doğru, "350 HV/mm²" veya "350 kg/mm²" yanlıştır. Vickers ve Brinell'de yük, sembolün yanına yazılır (**HV10** = 98 N yük; **HBW 10/3000** = 10 mm karbür bilye, 3000 kgf). Rockwell'de ölçek harfi zaten yükü ve ucu tanımlar (**HRC**).

2. Dört Temel Yöntem



Şekil 1 — Dört temel yöntemin ucu, izi ve ölçülen büyüklüğü. Brinell, Vickers ve Knoop **izin boyutunu**, Rockwell ise **izin derinliğini** ölçer. Uç ve yük değiştiğinde aynı malzeme farklı sayı verir. (SAE Mühendislik özgün çizimi, şematiktir.)

2.1 Brinell (EN ISO 6506 / ASTM E10)

Sertleştirilmiş karbür bilye (D = 10; 5; 2,5 veya 1 mm) belirli bir yükü bastırılır ve **iz çapı d** ölçülür:

$$HBW = 0,102 \cdot 2F / [\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})]$$

Yük, **yük derecesi** $0,102 \cdot F / D^2$ üzerinden seçilir: çelik ve dökme demir için 30, bakır alaşımları için 10, alüminyum için 5, yumuşak metaller için 2,5 veya 1. İz büyük olduğu için **heterojen ve kaba taneli malzemelerin ortalamasını** alır; döküm, dövme ve sıcak haddelenmiş ürünlerde idealdir. Üst sınırı pratik olarak ≈ 650 HBW'dir.

2.2 Vickers (EN ISO 6507 / ASTM E92, E384)

Karşılıklı yüzeyleri arasındaki açı **136°** olan elmas piramit kullanılır; iki köşegenin ortalaması d (mm) ölçülür:

$$HV = 0,1891 \cdot F / d^2 \quad (F \text{ newton, } d \text{ mm})$$

Vickers'in en büyük üstünlüğü **tek ve sürekli bir ölçek** olmasıdır: en yumuşak metalden en sert kaplamaya kadar aynı sayı sistemi kullanılır ve **yükten (geniş bir aralıkta) bağımsızdır**. Mikro sertlik (HV0,01–HV1) ile kaplama, ITAB, karbürize tabaka ve tek tek fazlar ölçülebilir.

2.3 Rockwell (EN ISO 6508 / ASTM E18)

Diğerlerinden farklı çalışır: önce **ön yük** (tipik 98 N / 10 kgf) uygulanıp sıfır alınır, sonra ana yük uygulanıp kaldırılır ve **kalıcı derinlik farkı** doğrudan sertliğe çevrilir. İz ölçülmediği için hızlıdır ve operatöre bağımlılığı düşüktür — seri üretim kontrolünün standart yöntemidir.

Ölçek	Uç	Toplam yük	Kullanım ve geçerli aralık
HRC	120° elmas koni	1471 N (150 kgf)	Sertleştirilmiş çelik. 20–70 HRC dışında kullanılmaz
HRB	1,5875 mm (1/16") bilye	980 N (100 kgf)	Yumuşak çelik, bakır, alüminyum alaşımları; ≈20–100 HRB
HRA	120° elmas koni	588 N (60 kgf)	Çok sert ve ince malzeme, sert metal
HR15N / 30N / 45N	elmas koni (yüzeysel)	147 / 294 / 441 N	Yüzeysel ölçekler: ince sac, nitrürlenmiş yüzey, kaplama

Rockwell'in iki klasik hatası: (1) **Ölçek sınırı dışında okumak** — 20 HRC'nin altındaki değerler güvenilir değildir, HRB'ye geçilmelidir. (2) **Örs ve destek** — numune oynarsa veya alt yüzeyde tufal/çapak varsa derinlik yanlış ölçülür ve sertlik **düşük** çıkar. Rockwell'de numunenin altı, üstü kadar önemlidir.

2.4 Knoop (ISO 4545 / ASTM E384)

Uzun köşegeni kısa köşegeninin yaklaşık **7 katı** olan eşkenar dörtgen iz bırakır. İz sığ olduğu için çok ince tabakalarda, kırılgan malzemelerde ve seramiklerde Vickers'tan üstündür; ayrıca yönelime bağlı (anizotropik) sertlik ölçümüne izin verir.

3. Taşınabilir Yöntemler — Sahada Ölçüm

Parçayı laboratuvara götürmek mümkün olmadığında (büyük döküm, kaynaklı yapı, kurulu makine) taşınabilir cihazlar kullanılır. Hepsinin ortak özelliği **dolaylı ölçüm** yapmasıdır — sonuç masa tipi cihaz kadar güvenilir değildir.

Yöntem	İlke	Dikkat edilecek
Leeb (geri tepme) ISO 16859 / ASTM A956	Çarpıtılan bilyenin geri tepme hızı ölçülür	Parça kütlesi ve rijitliği sonucu doğrudan etkiler (tipik olarak >2–5 kg veya kütleye bağlanmış). İnce ve küçük parçada yanıltıcı
UCI (ultrasonik) ASTM A1038 / DIN 50159	Vickers ucu bastırılırken titreşen çubuğun frekans kayması ölçülür	Malzemenin elastisite modülüne göre kalibrasyon gerekir — çelikte kalibre cihaz alüminyumda yanlış okur
Taşınabilir Brinell (çekici)	Referans çubukla aynı anda iz bırakılır, iki iz karşılaştırılır	Kaba ama sağlam; operatör etkisi yüksek
Shore / IRHD ISO 868, ISO 48	Yaylı uç batma derinliği	Elastomer ve plastik içindir; metalde kullanılmaz

Saha kuralı: Taşınabilir ölçüm bir **tarama** aracıdır. Kabul/ret kararı verilecekse ölçüm noktası işaretlenir, yüzey hazırlanır ve mümkünse masa tipi cihazla ya da en az **5 ölçümün ortalaması** ile doğrulanır. Tek bir taşınabilir okuma ile parça reddedilmez.

4. Yöntem Seçimi

Durum	Uygun yöntem
Kaba taneli / heterojen döküm, dövme	Brinell — büyük iz ortalama alır
Sertleştirilmiş çelik, seri üretim kontrolü	Rockwell C — hızlı, doğrudan okur
İnce sac, kaplama, nitrülenmiş yüzey	Vickers düşük yük veya Rockwell yüzeysel (N)
Sementasyon derinliği, ITAB sertlik taraması	Vickers HV0,3–HV1 (profil ölçümü)
Tek faz, karbür, çok ince tabaka	Mikro Vickers / Knoop
Seramik, cam, kırılğan malzeme	Knoop — sıg iz, çatlatma riski düşük
Montajlı büyük parça, sahada	Leeb (ağır parça) veya UCI (ince/hafif parça)

5. Dönüşüm Tabloları ve Tehlikesi

ISO 18265 ve ASTM E140, ölçekler arasında dönüşüm tabloları verir. Bu tabloların **iki kritik sınırı** vardır:

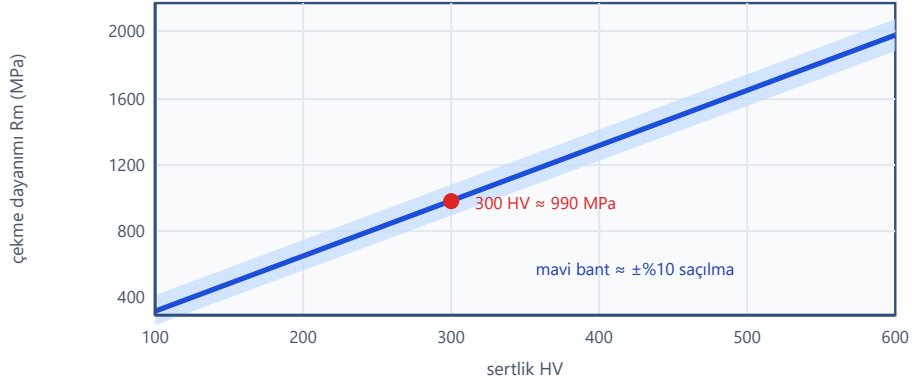
- Malzemeye özgüdür.** Karbon çeliği için geçerli dönüşüm, östenitik paslanmaz, dökme demir, bakır veya nikel alaşımı için geçerli **değildir**. Tablonun hangi malzeme grubu için verildiği okunmadan kullanılamaz.
- Yaklaşıktır.** Dönüşüm, ampirik ortalamalardır; tek tek parçada sapma, deneyin kendi belirsizliğinden büyük olabilir.

Şartname kuralı: Hangi ölçekte kabul verilecekse **o ölçekte ölçülür**. "45 HRC isteniyor, HV ölçtük, tablodan 45 HRC'ye denk geliyor" ifadesi uyumsuzluk hâlinde savunulamaz. Resimde HRC yazıyorsa HRC ölçülmeli; mümkün değilse **dönüşümün kullanıldığı raporda açıkça belirtilmelidir**.

6. Sertlik ve Çekme Dayanımı

Çeliklerde sertlik ile çekme dayanımı arasında yararlı bir yaklaşık bağıntı vardır:

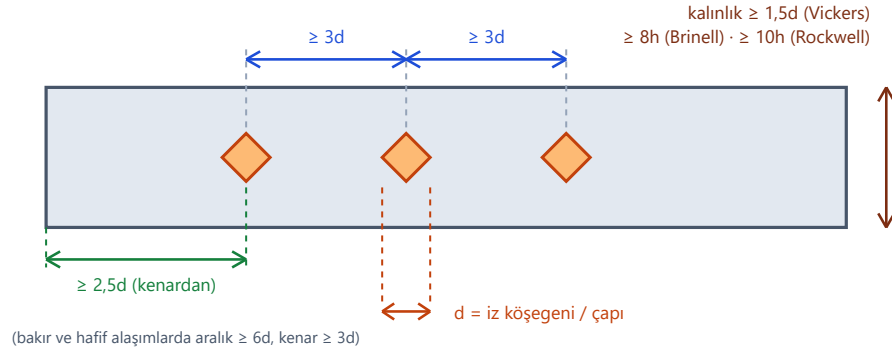
$$R_m \text{ (MPa)} \approx 3,3 \times HV \quad \cdot \quad R_m \text{ (MPa)} \approx 3,4 \times HBW$$



Şekil 2 — Çeliklerde sertlik-çekme dayanımı ilişkisi. Bağıntı **yalnızca çelikler için ve yaklaşıktır**; dökme demir, alüminyum, bakır ve pekleşmiş östenitik paslanmaz için geçerli değildir. Sayısal karşılıklar ISO 18265'te verilir. (SAE Mühendislik özgün çizimi, şematiktir.)

Bu bağıntı, parçayı kesmeden dayanım hakkında **ön fikir** vermesi bakımından değerlidir; ancak sertlik akma dayanımı, süneklik ve **tokluk** hakkında bilgi vermez. Sert olan her malzeme güçlü değildir — çoğu zaman tam tersine **daha gevrek**tir.

7. Hata Kaynakları ve Geometri Kuralları



Şekil 3 — İz aralığı, kenar mesafesi ve en küçük numune kalınlığı kuralları. Bir iz, komşusunun pekleşmiş bölgesine ya da serbest kenara düşerse ölçüm geçersizdir. (SAE Mühendislik özgün çizimi; sayısal değerler ISO 6506-1, ISO 6507-1 ve ISO 6508-1'den.)

Hata kaynağı	Etkisi ve önlemi
Yetersiz yüzey hazırlığı	Tufal, pas, boya ve dekarbürize tabaka sertliği düşük gösterir. Mikro sertlikte yüzey parlatılmalıdır (bkz. No.10)
İnce numune	Örsün etkisi okunur — "örs etkisi". Kalınlık kuralı sağlanmalı; sağlanamıyorsa daha düşük yük seçilmeli
İzlerin yakınlığı	Komşu izin pekleşmiş bölgesi sertliği yüksek gösterir
Eğri yüzey	Silindirik/küresel yüzeyde düzeltme katsayısı uygulanır veya düzlem taşlanır
Yük uygulama hızı ve süresi	Standart bekleme tipik olarak 10–15 s ; sürünen malzemelerde süre mutlaka raporlanır
Titreşim ve gevşek bağlama	Özellikle Rockwell'de derinlik ölçümünü bozar; cihaz rijit ve titreşimsiz zeminde olmalı
Kalibrasyon	Sertlik referans blokları ile her vardiya/gün dolaylı doğrulama; periyodik doğrudan kalibrasyon (ISO 6506-2/6507-2/6508-2)
Tek ölçüme güvenmek	En az 3–5 ölçümün ortalaması; aykırı değer atılmadan önce nedeni araştırılır

8. Sertlik Profili ve Tabaka Derinliği

Yüzey sertleştirilmiş parçalarda tek bir yüzey sertliği yeterli değildir; kesitten içeri doğru **sertlik profili** alınır (tipik olarak HV1 veya HV0,3 ile, yüzeye dik bir hat üzerinde kademeli aralıklarla).

Büyüklik	Tanım eşiği	Standart
CHD — sementasyon derinliği	Genellikle 550 HV1 'e düşülen derinlik	ISO 2639 · ASTM E1077
NHD — nitrürleme derinliği	Çekirdek sertliği + 50 HV	ISO 18203
SHD — indüksiyon/alev sertleşme derinliği	Tipik olarak çekirdeğin belirlenen oranı (örn. 0,8 × yüzey sertliği)	ISO 18203
Kaynakta sertlik taraması	ITAB maksimumu — yapı çeliğinde yaygın sınır ≈350 HV	ISO 9015-1 / -2

Kaynaklı bağlantıda sertlik taraması, ITAB'da martenzit oluşup oluşmadığının en pratik göstergesidir ve soğuk çatlak riskini doğrudan işaret eder (bkz. **No.11**). Isıl işlem doğrulaması için bkz. **No.7**.

9. Pratik Kontrol Listesi

- Resimde/şartnamede hangi **ölçek ve yük** isteniyor? Ölçüm aynı ölçekte mi yapılacak?
- Malzeme ve beklenen sertlik, seçilen ölçeğin **geçerli aralığında** mı (ör. HRC için 20–70)?
- Yüzey hazırlandı mı? Tufal, dekarbürizasyon, boya kaldırıldı mı?
- Numune kalınlığı ve alt destek kuralı sağlanıyor mu? Örs temiz mi?
- İz aralığı $\geq 3d$, kenar mesafesi $\geq 2,5d$ (hafif alaşımda $6d / 3d$) sağlanıyor mu?
- Cihaz bugün **referans blokla** doğrulandı mı?
- Kaç ölçüm alınacak, ortalama mı yoksa her ölçüm ayrı mı raporlanacak?

8. Dönüşüm tablosu kullanıldıysa **raporda belirtildi mi**, malzeme grubu doğru mu?

10. Yararlanılan Temel Kaynaklar

1. Tabor, D., *The Hardness of Metals*, Oxford University Press, 1951.
2. ASM International, *ASM Handbook Vol. 8: Mechanical Testing and Evaluation*, 2000.
3. Herrmann, K. (ed.), *Hardness Testing: Principles and Applications*, ASM International, 2011.
4. Chandler, H., *Hardness Testing*, 2. baskı, ASM International, 1999.
5. *İlgili standartlar*: EN ISO 6506-1...4 (Brinell), EN ISO 6507-1...4 (Vickers), EN ISO 6508-1...3 (Rockwell), ISO 4545-1 (Knoop), ISO 16859 / ASTM A956 (Leeb), ASTM A1038 / DIN 50159 (UCI), ISO 18265 / ASTM E140 (dönüşüm), ISO 2639 / ASTM E1077 (sementasyon derinliği), ISO 18203 (sertleşme derinliği), ISO 9015-1/-2 (kaynakta sertlik), ASTM E10, E18, E92, E384.