



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÇEKME-BASMA**  
**DENEY FÖYÜ**

**Deney Yürütücüsü: Prof. Dr. Birol AKYÜZ**

**Deney Yardımcısı: Arş.Gör. Onur ERKAN**

**Hazırlayan: Prof.Dr. Harun MİNDİVAN**

**T.C. BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MÜHENDİSLİKTE DENEYSSEL METODLAR DERSİ**

**METALİK MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ**

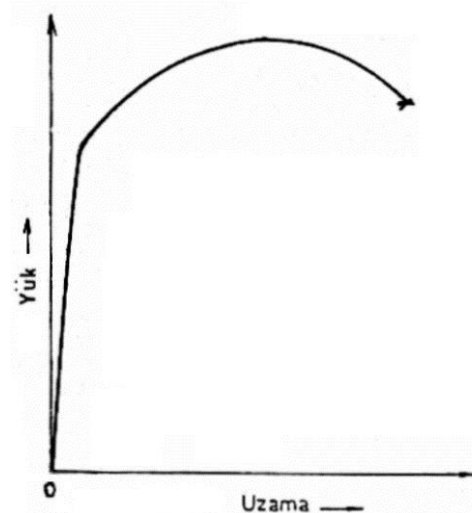
**DENEYİN AMACI**

Çekme deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin statik yükleme koşulları altında mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır.

**TEORİK BİLGİ**

Çekme deneyi, metal ve alaşımlar ile polimer, seramik ve kompozit malzemelere uygulanan en eski ve en çok kullanılan mekanik deneydir. Çekme deneyi, tasarım sırasında ihtiyaç duyulan, malzemenin en temel mekanik özellikleri hakkında bilgi sağlayan bir deney olması nedeniyle, çeşitli mühendislik uygulamalarında malzeme seçiminde, malzemelerin gerekli kalite standardının sağlanıp sağlanmadığının kontrolünde, yeni malzeme ve proseslerin geliştirilmesinde, farklı malzemelerin kıyaslanmasında ve servis koşullarında malzemelerin davranışlarının tahmin edilmesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır.

Çekme deneyinde, standartlara uygun olarak hazırlanmış bir deney numunesine tek eksenli ve sabit hızla artan bir çekme kuvveti uygulanır. Uygulanan eksenel kuvvet ile bu kuvvetin uygulanması sonucu numunenin boyunda meydana gelen uzama deney cihazı tarafından sürekli olarak kaydedilerek, Şekil 1.1'de görülen Yük – Uzama eğrisi elde edilir.



Şekil 1.1. Yük – uzama eğrisi [2].

Yük-Uzama eğrisi, çekme deneyi cihazlarının ürettiği ilk eğridir ve numuneye uygulanan yük ile bu yük neticesinde numune boyunda meydana gelen uzamayı gösterir. Ancak, çekme deneyi ile ilgili mekanik özelliklerin

belirlenmesinde, bu eğri üzerinde görülen değerler doğrudan değil, belirli formüller yardımıyla yeni değerlere dönüştürülerek kullanılır. Söz konusu bu yeni değerler, “Gerilme” ve “Birim Şekil Değişimi”dir. Gerilme “ $\sigma$ ” işareti ile gösterilir, birim alana düşen yükü ifade eder ve yük – uzama eğrisindeki herhangi bir yük değerinin, deney numunesinin orijinal (deney öncesindeki) kesit alanına bölünmesiyle elde edilir:

$$\sigma = \frac{P_i}{A_0} \quad (1)$$

Burada;

$\sigma$  : Gerilme,

$P_i$  : Numuneye uygulanan herhangi bir andaki yük değeri,

$A_0$  : Deney numunesinin orijinal kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

Birim Şekil Değişimi ise “ $e$ ” ile gösterilir, çekme deneyi sırasında numunede meydana gelen uzamanın, numunenin orijinal uzunluğuna oranını ifade eder ve yine yük – uzama eğrisinde görülen herhangi bir uzama değerinin, deney numunesinin orijinal uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir. Birim şekil değişimi değeri, rapor edilirken genellikle % olarak ifade edildiği için hesaplamalarda aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\%e = \frac{l_i - l_0}{l_0} \cdot 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Burada;

$\%e$  : Yüzde birim şekil değişimi,

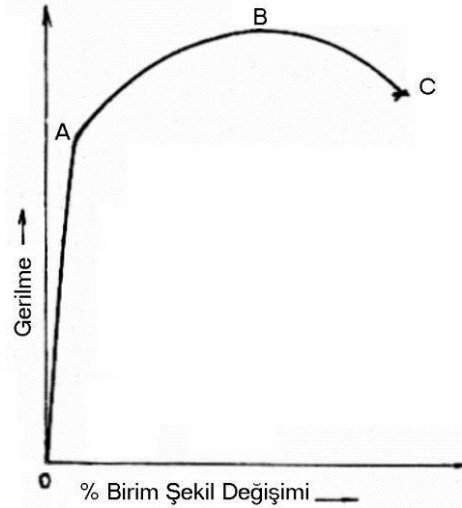
$l_i$  : Deney numunesinin herhangi bir andaki uzunluğu,

$l_0$  : Deney numunesinin orijinal uzunluğu,

$\Delta l$  : Deney numunesindeki uzama miktarı ( $\Delta l = l_i - l_0$ ) olarak tanımlanmıştır.

Görüldüğü gibi, çekme deneyi sonuçlarından mekanik özelliklerin hesaplanması için cihaz tarafından verilen ilk değerler olan yük ve uzama değerleri doğrudan kullanılmayıp, gerilme ve birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülmüştür. Hesaplanan gerilme değerleri, malzemenin yük taşıma kapasitesi ile, bir diğer deyişle mukavemeti ile ilgilidir. Birim şekil değişimi değerleri ise, malzemelerin sünekliği yani şekil değiştirme yeteneğiyle ilgilidir. Dolayısıyla, söz konusu dönüşümler, birbirinden farklı kesit alanına ve farklı uzunluklara sahip, dolayısıyla farklı yük ve farklı uzama değerleri veren malzemelerin, mukavemet ve süneklik açısından aynı birimlerle, doğru ve güvenilir bir şekilde kıyaslanması sağlar. Çekme deneyi sonuçlarına göre yapılacak hesaplamalarda hangi durum olursa olsun gerilme ve birim şekil değerlerinin hesaplanması bir zorunluluktur.

Yük – Uzama eğrisi üzerinde çok sayıda yük ve bu yüke karşılık gelen uzama değeri esas alınarak Eşitlik 1.1 ve Eşitlik 1.2 ile hesaplanan gerilme ( $\sigma$ ) ve % birim şekil değişimi ( $\%e$ ) değerleri ile Şekil 1.2’de görülen “Gerilme ( $\sigma$ ) - Birim şekil değiştirme ( $\%e$ )” eğrisi elde edilir. Bu eğrinin elde edilmesinde kullanılan gerilme ve birim şekil değişimi formüllerinde, numunenin orijinal kesit alanı ve orijinal uzunluğu esas alındığı için, bu eğri, “Mühendislik Gerilme – Mühendislik birim şekil değiştirme” eğrisi olarak da tanımlanmakta ve malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirme ve tasarımda yaygın olarak kullanılmaktadır.



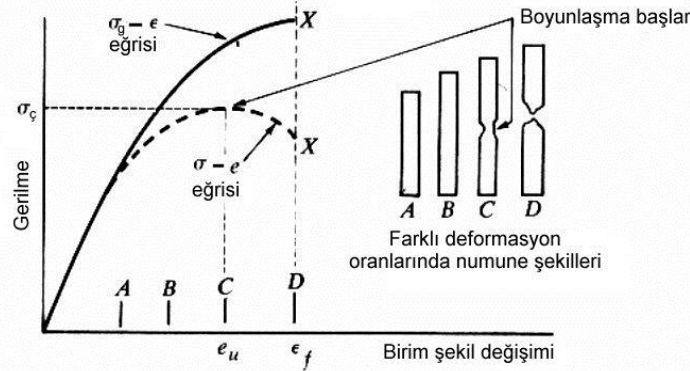
Şekil 1.2. Mühendislik gerilme–mühendislik % birim şekil değişimi eğrisi [2].

Mühendislik gerilme – Mühendislik birim şekil değişimi eğrisinin şekli, dönüşüm sabit değerlerle (numunenin orijinal kesit alanı ve orijinal uzunluğu) yapıldığı için yük – uzama eğrisinin şekliyle aynıdır, ancak eksenler gerilme ve % birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülmüştür. Gerilme-% birim şekil değişimi eğrisi denildiğinde mühendislik gerilme - mühendislik % birim şekil değişimi eğrisi anlaşılmalıdır. Bunun yanında, gerilme-birim şekil değişimi eğrisinin çizilmesi her zaman gerekli değildir. Gerilme – % birim şekil değişimi eğrisi üzerindeki önemli bir kaç noktaya ait gerilme değerlerinin hesaplanması istendiğinde, yük – uzama eğrisinden söz konusu noktaların yük değerleri belirlenir ve dönüşüm formülleri yardımıyla istenen gerilme değerleri hesaplanır.

Bir malzemeye ait gerilme-birim şekil değişimi eğrisinin şekli ve büyüklüğü, malzemenin kimyasal bileşimine, ısıl işlem koşullarına, malzemeye önceden uygulanan plastik deformasyon koşullarına ve deney sırasındaki birim şekil değiştirme hızı, sıcaklık ve gerilme koşullarına bağlıdır. Gerilme-birim şekil değişimi eğrisini tanımlamakta kullanılan parametreler, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ya da akma noktası, % birim şekil değişimi ve % kesit daralması değerleridir. Bu parametrelerin ilk ikisi mukavemetle ilgili, diğer ikisi ise süneklikle ilgilidir.

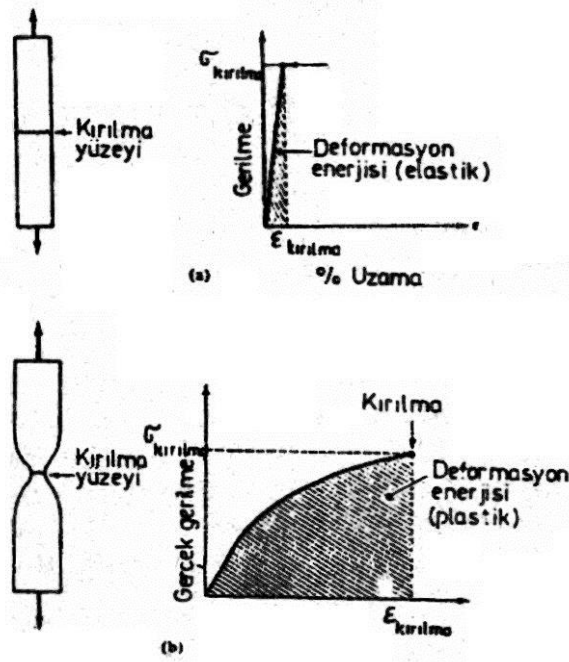
Şekil 1.2’de görülen gerilme –birim şekil değişimi eğrisi elastik deformasyon ve plastik deformasyon bölgesi olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Deneyin başlangıcından itibaren numune uzunluğu sürekli artar, kesit alanı ise sürekli azalır. Deneyin başlangıcından itibaren A bölgesine kadar olan bölgede numuneye etki eden gerilme ile bunun sonucunda meydana gelen birim şekil değişimi arasında lineer bir ilişki vardır. A bölgesine ulaşmadan deney sona erdirilir ve numuneye uygulanan yük kaldırılır ise, numune deney öncesindeki uzunluğuna geri döner. Bu nedenle OA bölgesi “elastik deformasyon bölgesi” olarak adlandırılır. A noktası bir kez geçildikten sonra ise numune, uygulanan yükün etkisiyle uzamaya devam etmesine rağmen, numuneye etki eden yük kaldırılrsa dahi numune deney öncesindeki uzunluğuna geri dönmez, meydana gelen uzama kalıcı olur. Bu kalıcı deformasyondan dolayı AC bölgesi “plastik deformasyon bölgesi” olarak adlandırılır. Plastik deformasyon bölgesi de kendi içinde ikiye ayrılır. AB ile

gösterilen kısım homojen plastik deformasyon bölgesi, BC ile gösterilen kısım ise heterojen plastik deformasyon bölgesidir. Her iki plastik deformasyon bölgesinde de numune kalıcı olarak uzar. Ancak, homojen deformasyon bölgesinde (AB), numunedeki uzama homojendir ve numunenin uzunluğu boyunca her nokta eşit miktarda plastik deformasyona uğrar. Oysa maksimum gerilme değerine (B noktası) ulaşıldıktan hemen sonra girilen heterojen deformasyon bölgesinde numunedeki yerel olarak incelme meydana gelir ve deformasyon sadece bu ince bölgede devam eder. Maksimum gerilme değerine ulaşıldıktan hemen sonra meydana gelen bu yerel incelme, “boyunlaşma ya da boyun verme” olarak bilinir ve heterojen deformasyonun başladığını gösterir (Şekil 1.3). Heterojen deformasyon bölgesinde meydana gelen yerel plastik deformasyon, numunenin C noktasında kırılmasına kadar devam eder.



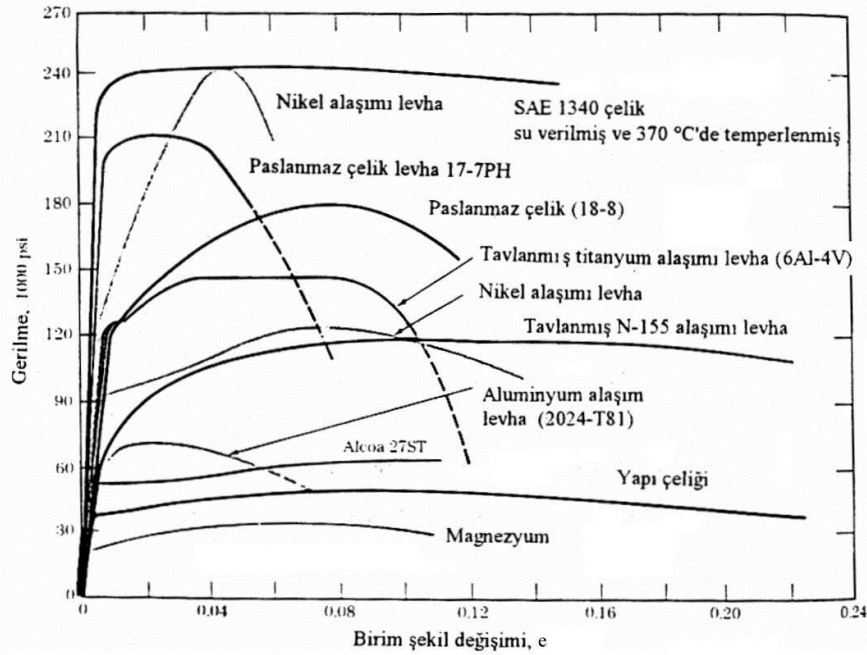
Şekil 1.3. Gerilme – birim şekil değişimi eğrisi üzerinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [1].

Gerilme - birim şekil değişimi eğrisi farklı malzemelerin birbirleri ile kıyaslanmasını kolaylaştırır. Bu eğrideki, elastik ve plastik bölgelerin büyüklüğü, malzemenin toplam birim şekil değişimi değeri, maksimum gerilme değeri ve Şekil 1.2’de A noktası olarak görülen elastik bölgeden plastik bölgeye geçişin meydana geldiği akma noktasının değeri, malzemelerin mukavemet ve sünekliklerini kıyaslama olanağı verir. Plastik deformasyon bölgesi çok geniş olan malzemeler, yüksek oranda birim şekil değişimi gösterdiklerinden şekillendirilmeleri kolaydır ve bu tür malzemeler “sünek malzeme” olarak bilinir. Öte yandan, plastik deformasyon bölgesi çok küçük olan malzemelerin, elastik deformasyondan hemen sonra hiç kalıcı deformasyon göstermeden ya da çok az kalıcı deformasyon gösterdikten sonra kırılacağı anlaşılır. Bu tür malzemeler de “gevrek malzeme” olarak adlandırılır. Şekil 1.4’de sünek ve gevrek malzemelerin gerilme-birim şekil değişimi eğrileri ve kopma bölgeleri kıyaslanmaktadır. Sünek malzemeler, çekme deneyi sonunda plastik deformasyona uğrayarak kopar. Kopma bölgesi boyun verme bölgesidir. Gevrek malzemeler ise çok az plastik deformasyon göstererek ya da hiç plastik deformasyon göstermeden kopar. Kopma bölgeleri düz olur, öyle ki, kopan parçalar birleştirildiğinde, çekme numunesinin ilk şekline yakın bir şekil elde edilir.



Şekil 1.4. a) Gevrek ve b) Sünek malzemelere ait gerilme –birim şekil değişimi eğrileri [3].

Gerilme–birim şekil değişimi eğrilerinin sağladığı bir diğer önemli bilgi de, malzemelerin deformasyon sertleşmesi karakteristiğidir. Malzemeye uygulanan plastik deformasyon neticesinde malzemenin sertliğinin artması “Deformasyon Sertleşmesi” olarak isimlendirilmektedir. Deformasyon sertleşmesi hızı, malzemelerin homojen deformasyon bölgesinin (Şekil 1.2’de AB bölgesi) eğimiyle ilgilidir. Homojen deformasyon bölgesinin eğimi yüksek olan malzemelerin, yüksek deformasyon sertleşmesi kabiliyetine sahip olduğu söylenir. Düşük deformasyon sertleşmesi kabiliyetine sahip olan malzemelerde ise, homojen plastik deformasyon bölgesi nisbeten düz bir görünümde dir. Şekil 1.5’de çekme deneyinde sünek ve gevrek davranış gösteren çeşitli mühendislik malzemelerine ait gerilme-birim şekil değişimi eğrileri görülmektedir. Bu gerilme-birim şekil değişim eğrilerinde, malzemenin mukavemet ve süneklikle ilgili özelliklerinin yanısıra deformasyon sertleşmesi kabiliyeti hakkında da bilgi elde edilebilir.



Şekil 1.5. Çekme deneyinde sünek ve gevrek davranış gösteren bazı mühendislik malzemelerine ait gerilme-birim şekil değişimi eğrileri [1].

Çekme deneyiyle belirlenen mekanik özellikler, mukavemetle ilgili olanlar, süneklilikle ilgili olanlar ve hem mukavemet hem de süneklilikle ilgili olanlar şeklinde sınıflandırılabilir (Tablo 1):

Tablo 1.1. Çekme Deneyiyle Hesaplanan Mekanik Özellikler.

Mukavemetle ilgili	Akma Mukavemeti ( $\sigma_a$ ), Çekme Mukavemeti ( $\sigma_c$ ),
Süneklilikle ilgili	Birim şekil değişimi ( $\epsilon$ ), kesit daralması ( $r$ )
Mukavemet ve Süneklilikle ilgili	Rezilyans ( $U_R$ ), Tokluk ( $U_T$ )

### Çekme Mukavemeti:

Çekme mukavemeti ( $\sigma_c$ ), maksimum çekme gerilmesi olarak da bilinir ve yük-uzama eğrisindeki maksimum yük değerinin, numunenin orijinal kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır.

$$\sigma_c = \frac{P_{maks.}}{A_0} \quad (1.3)$$

Çekme mukavemeti, en çok kullanılan çekme deneyi sonuçlarından biridir. Malzemelerin standartlara uygunluğunun denetlenmesinde ve kalite kontrol amaçlı olarak kullanılır. Gevrek malzemeler için çekme mukavemeti uygun bir tasarım kriteridir. Ayrıca malzemelerin yorulma mukavemeti başta olmak üzere sertlik gibi diğer mekanik özelliklerinin tahmin edilmesinde, çekme mukavemeti değerini kullanan ampirik bağıntılar geliştirilmiştir.

$$YDS = 0.5 \times \sigma_{\varphi}$$

(YDS: yorulma mukavemeti)

$$\sigma_{\varphi} = 0.35 \times HB$$

(HB: Brinell sertlik değeri)

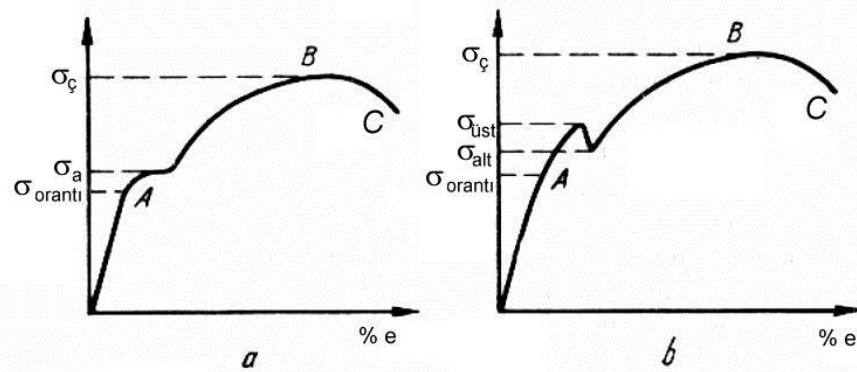
$$\sigma_{\varphi} = 3.5 \times HRC$$

(HRC: Rockwell C sertlik değeri)

### Akma Mukavemeti

Akma olayı, deformasyon sırasında elastik deformasyon sona ererek plastik deformasyonun başlamasıdır. Akma mukavemeti de plastik deformasyonun başladığı gerilme değerini tanımlar. Akma bölgesi, gerilme-birim şekil değişimi eğrileri üzerinde, lineer (elastik) ve lineer olmayan (plastik) bölgeler arasındaki geçiş bölgesi olduğu için kolayca görülebilir. Ancak, akma bölgesinin gerilme –birim şekil değişimi eğrisinde farklı şekillerde görünmesi, akma mukavemetinin malzemeden malzemeye farklı şekillerde hesaplanmasını gerektirir.

Düşük karbonlu çelik gibi malzemelerde akma bölgesi keskin ve belirgindir. Bu tür akma olayına “süreksiz akma” denir (Şekil 6a ve b). Süreksiz akma gösteren malzemelerde, akma noktasına ulaşıldığında, birim şekil değişiminin artmasına rağmen gerilme sabit kalır ve gerilme –birim şekil değişimi eğrisi bir süre yatay devam eder. Akma bölgesinin bu yatay kısmına “akma uzaması bölgesi” denir (Şekil 6a). Akma uzaması bölgesinin sonunda homojen plastik deformasyon bölgesine girilir. Bu tür süreksiz akma olayında akma mukavemeti ( $\sigma_a$ ), akma uzaması bölgesi içindeki en düşük gerilme değeri olarak alınır. Yine süreksiz akma olayında karşılaşılan bir başka durum Şekil 6b’de görülmektedir. Bu süreksiz akma olayında ise akma bölgesinde “alt akma ve üst akma noktası” olmak üzere iki ayrı gerilme değeri vardır. Bu durumda da akma mukavemeti olarak alt ve üst akma gerilmesi değeri ayrı ayrı belirtilir.

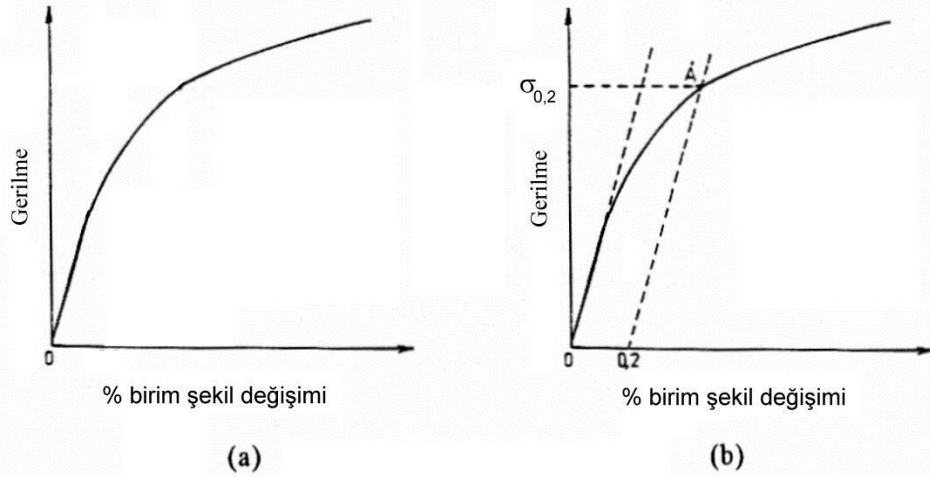


Şekil 1.6. Süreksiz akma gösteren malzemelerin gerilme – birim şekil değişimi eğrisi [5].

- a) Akma uzaması bölgesi gösteren malzeme
- b) Alt ve Üst akma gerilmeleri gösteren malzeme

“Sürekli akma” olarak bilinen akma olayı ise, bakır, alüminyum ve pirinç gibi pek çok demirdışı metal ve alaşımın gerilme-birim şekil değişimi eğrilerinde görülür (Şekil 1.7a).





Şekil 1.7. a) Sürekli akma olayı  
b) Sürekli akma gösteren malzemelerde akma mukavemetinin paralel doğru yöntemiyle hesaplanması [2].

Burada, süreksiz akmada olduğu gibi keskin bir geçiş olmadığı için akma mukavemetinin hassas olarak belirlenmesi daha zordur. Bu nedenle, bu geçiş bölgesinin sayısal değerinin hesaplanması için akma mukavemetinin yanısıra farklı kriterler ve tanımlar geliştirilmiştir. Bu kriterlerin çoğunda Şekil 7b'de görüldüğü gibi, belirli bir birim şekil değişimi değerinden başlayarak gerilme–birim şekil değişimi eğrisinin elastik kısmına paralel bir çizgi çizilir. Bu paralel çizginin gerilme–birim şekil değişimi eğrisini kestiği noktanın dikey ekseninde karşılığı olan gerilme değeri akma olayını başlatan gerilme değeri olarak esas alınır. Esas alınan bu gerilme değerinin adı, seçilen kritere göre, gerçek elastik limit, elastik limit ya da akma mukavemeti olabilir. Söz konusu kriterler aşağıda özetlenmiştir:

### Gerçek elastik limit

Yukarıda söz edilen paralel çizginin başladığı birim şekil değişimi değeri  $e = 2 \times 10^{-6}$  değeridir. Bu birim şekil değişimi değeri çok küçük olduğu için, ancak son derece hassas birim şekil değişimi ölçen aletlerle belirlenebilir. Hesaplanan elastik limit değeri de çok küçük bir değerdir ve sadece bir kaç yüz deformasyonun hareket etmesini sağlayan gerilme değeri olarak bilinir.

### Orantı sınırı

Gerilmenin birim şekil değişimiyle lineer olarak değiştiği en yüksek gerilme değeridir. Orantı sınırının hesaplanmasında, örneğin bir cetvel yardımıyla gerilme ve birim şekil değişimi arasında lineerliğin bozulduğu nokta belirlenir ve bu noktaya karşılık gelen gerilme değeri orantı sınırı olarak esas alınır.

### Elastik limit

Deney numunesi üzerindeki yük kaldırıldığında, ölçülebilecek düzeyde bir kalıcı deformasyonun gözlenmediği en yüksek gerilme değeridir. Ölçüm aletinin hassasiyeti arttıkça, elastik limit değeri, gerçek elastik limit düzeylerine kadar düşer. Ancak, mühendislik çalışmalarında genellikle  $e=10^{-4}$  düzeyinde bir birim şekil değişimi hassasiyeti kullanıldığı için, ölçülen elastik limit orantı sınırı değerinden bir miktar daha yüksek olarak hesaplanır.

## Akma mukavemeti

Küçük bir miktar plastik deformasyon üretecek gerilme değeridir. Söz konusu plastik deformasyon miktarı  $e=0.002$  ya da  $e=0.001$  ( % 0.2 ya da % 0.1 birim şekil değişimi) olarak alınır ve bu değerlerden gerilme-birim şekil değişimi eğrisinin elastik kısmına çizilen paralel çizgiyle bulunan gerilme değeri, akma mukavemeti olarak alınır. Elastik limit ya da orantı sınırının ölçülmesindeki pratik güçlüklerden dolayı, % 0.2 birim şekil değişim değerinden hareketle hesaplanan akma mukavemeti değeri, tasarım ve standardizasyon amaçlı olarak geniş ölçüde kullanılır ve  $\sigma_{0.2}$  şeklinde gösterilir.

## Sünekliğin Ölçülmesi

Süneklik, bir malzemenin plastik deformasyona uğrama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Çekme deneyi sonunda, yüksek birim şekil değişimi değerlerine ulaşan malzemeler “sünek malzeme” olarak adlandırılır. Bir malzemenin sünekliğinin sayısal değerinin bilinmesi şu bakımlardan önemlidir:

- Bir metalin haddeleme ya da ekstrüzyon gibi plastik şekil verme yöntemlerinde kırılmadan ne ölçüde deforme edilebileceği,
- Tasarımcı açısından ise malzeme kırılmadan önce ne kadar deforme olabileceği belirlenir. Bu sayede, malzemenin kırılmadan önceki deformasyona uğradığı aşamada, uygulanan gerilmenin fazla olduğu görülerek gerekli önlemler alınır. Aksi halde, kırılmadan önce plastik deformasyon görülmezse kırılma aniden meydana gelecek ve herhangi bir önlem alınmadan önemli zararlara yol açacaktır.
- Süneklik ölçümü aynı zamanda malzemenin bir kalite kontrol göstergesidir. İşlem sırasında malzeme yapısında yer alan yabancı maddeler (empüriteler) sünekliği düşüreceği için, sünekliğin belirlenmesiyle malzeme kalitesi hakkında da fikir sahibi olunur.

Çekme deneyiyle sünekliğin belirlenmesinde iki temel yöntem kullanılır: “Kopma Birim Şekil Değişimi” (genellikle Kopma Uzaması olarak adlandırılır) ve “Kopma kesit daralması”. Her iki değer de numune çekme deneyinde kırıldıktan sonra, numunenin kırılmış parçaları bir araya getirilerek, numune son boyunun ( $L_f$ ) ve numune son kesit alanının ( $A_f$ ) ölçülmesiyle hesaplanır. Kopma uzaması “ $e_f$ ” ile ve kesit daralması da “ $r$ ” ile gösterilir ve her iki değer de yüzde olarak ifade edilir. Kopma uzaması ( $e_f$ ) ve kesit daralması ( $r$ ),

$$\%e_f = \frac{L_s - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (1.4)$$

$$\%r = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \cdot 100 \quad (1.5)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada:

$L_0$  : Numunenin deney öncesindeki orijinal uzunluğu,

$L_s$  : Numunenin kırıldıktan sonraki uzunluğu

$A_0$  : Numunenin deney öncesindeki orijinal kesit alanı,

$A_s$  : Numunenin kırıldıktan sonraki kesit alanı olarak tanımlanmıştır.

Sünekliğin ölçümünde kullanılan iki değerden kopma uzamasının, numunenin ölçü uzunluğuna bağlı olarak değişmesi ve boyunlaşmadan etkilenmesi nedeniyle, kesit daralması ölçümleriyle hesaplanan süneklik değeri, numunenin maruz kaldığı deformasyon koşullarını ve malzemedeki kalite değişimlerini daha iyi yansıtmaktadır.

### **Elastisite Modülü**

Elastisite modülü (E), Young modülü olarak da bilinir ve gerilme-birim şekil değişimi eğrisinin başlangıçtaki elastik deformasyon bölgesinin eğimi olarak tanımlanır. Buna göre elastisite modülü (E),

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (1.8)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Burada;

E : elastisite modülü,

$\sigma$  : elastik bölge içerisinde herhangi bir gerilme değeri,

e : söz konusu gerilme değerine karşılık gelen birim şekil değişimi değeri olarak tanımlanır.

Elastisite modülü, atomlar arası bağ kuvvetleriyle ilgili bir değerdir. Atomlar arası bağ kuvvetleri, malzemeye uygulanan ısıl işlem, kimyasal bileşim ve deformasyondan etkilenmez. Dolayısıyla, bu parametrelerin değişmesiyle malzemenin elastisite modülü değişmez, bu bakımdan elastisite modülü gerçek bir malzeme özelliği olarak bilinir. Ancak elastisite modülü sıcaklıkla değişir ve sıcaklık arttıkça elastisite modülü düşer.

### **Rezilyans**

Rezilyans, bir malzemenin elastik deformasyon bölgesi içerisinde birim hacim başına enerji absorplama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Gerilme- birim şekil değişimi eğrisinde, elastik deformasyon bölgesinin alanı olarak tanımlanır, rezilyans modülü ( $U_R$ ) ile gösterilir. Buna göre rezilyans ( $U_R$ ),

$$U_R = \frac{\sigma_a \cdot e_e}{2} = \frac{\sigma_a^2}{2E} \quad (e_e = \frac{\sigma_a}{E}) \quad (1.9)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

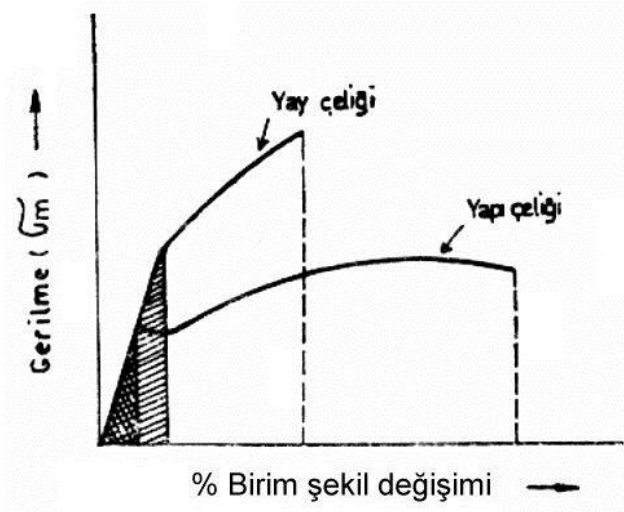
$U_R$  : rezilyans,

$\sigma_a$  : akma mukavemeti,

$e_e$  : elastik birim şekil değişimi olarak tanımlanır.

Yukarıdaki eşitliğe göre bir malzemenin yüksek rezilyansa sahip olması için, yüksek akma mukavemeti ve düşük elastisite modülün sahip olması gerekir.

Örneğin, yay çelikleri yüksek rezilyans değerine sahiptir. Şekil 1.9, iki farklı malzemenin gerilme –birim şekil değişimi eğrisini göstermektedir. Burada, yay çeliği, yapı çeliğinden daha yüksek bir rezilyans değerine sahiptir.



Şekil 1.9. İki farklı çeliğe ait gerilme-birim şekil değişimi eğrisi [2].

### Tokluk

Tokluk, bir malzemenin kırılmaya kadar ki deformasyon bölgeleri içerisinde birim hacim başına enerji absorplama yeteneğidir. Gerilme-birim şekil değişimi eğrisi altındaki toplam alan olarak tanımlanır, tokluk modülü ( $U_T$ ) ile gösterilir. Gerilme – birim şekil değişim eğrisinin altındaki alanın hesaplanması için geçerli bir eşitlik olmamakla birlikte, gerilme-birim şekil değişimi eğrileri farklı olan sünek ve gevrek malzemeler için bu eğri altındaki alanın yaklaşık hesaplanmasına yönelik eşitlikler geliştirilmiştir. Buna göre tokluk ( $U_T$ ),

Sünek malzemeler için,

$$U_T = \frac{\sigma_\zeta \cdot e_f}{2} \quad \text{ya da} \quad U_T = \left[ \frac{(\sigma_a + \sigma_\zeta)}{2} \right] \cdot e_f \quad (1.10)$$

$$\text{Gevrek malzemeler için,} \quad U_T = \frac{2}{3} \sigma_\zeta \cdot e_f \quad (1.11)$$

eşitlikleriyle hesaplanmaktadır. Burada;

- $U_T$  : tokluk,
- $\sigma_a$  : akma mukavemeti,
- $\sigma_\zeta$  : çekme mukavemeti,
- $e_f$  : kopma uzaması olarak tanımlanmıştır.

Şekil 1.9'da gösterilen iki farklı çeliğin gerilme-birim şekil değişim eğrisinden, yay çeliğin daha yüksek rezilyans değerine, fakat yapı çeliğinin daha yüksek tokluğa sahip olduğu görülmektedir. Tablo 1.2, farklı malzemeler ait elastisite modülü ve rezilyans değerlerini göstermektedir.

Tablo 1.2. Farklı malzemelere ait elastik modül ve rezilyans değerleri [1].

Malzeme	Elastisite Modülü E, GPa	Akma mukavemeti, $\sigma_a$ , MPa	Rezilyans, U <sub>R</sub> , kPa
Orta karbonlu çelik	207	310	232
Yüksek karbonlu yay çeliği	207	965	2250
Duralumin	72	124	107
Bakır	110	28	3.5
Kauçuk	0.0010	2.1	2140
Akrilik polimer	3.4	14	28

### 1.6. Gerçek Gerilme – Gerçek Birim Şekil Değişirme

Buraya kadar ki bölümde, söz edilen gerilme ve birim şekil değişimi değerleri, mühendislik gerilme ( $\sigma$ ) ve mühendislik birim şekil değişimi ( $\epsilon$ ) değerleridir. Bu değerlerin hesaplanmasında numunenin deney öncesindeki kesit alanı ( $A_0$ ) ve deney öncesindeki orijinal ölçü uzunluğu ( $L_0$ ) esas alınmıştır. Oysa çekme deneyinde uygulanan yüke bağlı olarak numunenin ölçü uzunluğu sürekli artarken, kesit alanı da sürekli olarak azalmaktadır. Bu nedenle, çekme deneyinin herhangi bir aşamasında, örneğin homojen deformasyon bölgesi içinde, numuneye etki eden gerçek gerilme değerinin hesaplanması için, numuneye etki eden yükün ( $P_i$ ), numunenin o anki kesit alanına ( $A_i$ ) bölünmesi ve gerçek gerilme değerinin ( $\sigma_g$ ),

$$\sigma_g = \frac{P_i}{A_i} \quad (1.12)$$

şeklinde hesaplanması gerekir. Çekme deneyi devam ederken, numunenin o anki kesit alanını ölçmek zor olduğu için mühendislik gerilme kavramı geliştirilmiştir ve gerilme hesabında, numunenin o anki kesit alanı yerine orijinal kesit alanı ( $A_0$ ) kullanılmaktadır. Bu şekilde hesaplanan gerilme değeri de mühendislik gerilme olarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde, çekme deneyinin herhangi bir aşamasında gerçek birim şekil değişiminin ( $d\epsilon = \frac{dL}{L_i}$ ) hesaplanması için numunedeki uzama

miktarının ( $\Delta L$ ), o anki ölçü uzunluğuna ( $L_i$ ) bölünmesi gerekirken, pratik güçlüklerden dolayı, birim şekil değişimi hesaplarında orijinal ölçü uzunluğu ( $L_0$ ) esas alınmaktadır. Tüm kalite kontrol ve standartlarla ilgili çalışmalarda dikkate alınan ve kullanılan, mühendislik gerilme-mühendislik birim şekil değişimi eğrisi ve değerleridir. Gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değişimi değerleri ise, malzemelerin farklı gerilme koşulları altındaki davranışlarını tahmin etmede ve aşağıda açıklanacak bazı parametrelerin hesaplanmasında kullanılır.

Gerçek gerilme ( $\sigma_g$ ) ve gerçek birim şekil değişimi ( $\epsilon$ ) değerleri, mühendislik gerilme ( $\sigma_m$ ) ve mühendislik birim şekil değişimi ( $\epsilon$ ) değerlerinden hesaplanır. Bu hesaplama için çekme deneyi sırasında homojen deformasyon bölgesinin sonuna kadar numune hacminin değişmediği kabul edilir. Aslında deney sırasında atom boyutu mertebesinde küçük boşluklar meydana gelir ve bu da hacmin artmasına neden olur. Ancak çok yüksek deformasyon oranlarında bile bu hacim artışı % 0.1- %0.01 oranlarındadır, dolayısıyla çekme deneyi sırasında hacmin sabit kaldığı kabul edilir. Buna göre,

$$V_i = V_0 \quad (1.13)$$

$$A_i \cdot L_i = A_0 \cdot L_0 \quad (1.14)$$

Burada;

$V_0$  : Numunenin orijinal hacmi,

$V_i$  : Homojen deformasyonun herhangi bir anındaki numune hacmidir.

$$\frac{L_i}{L_0} = \frac{A_0}{A_i} \quad (1.15)$$

bağıntısı elde edilir. Mühendislik birim şekil değişimi “e” ile gösterdiğinden,

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{L_i}{L_0} - 1 \quad (1.16)$$

ve

$$1 + e = \frac{L_i}{L_0} = \frac{A_0}{A_i} \quad (1.17)$$

olarak yazılır.

Gerçek gerilme ( $\sigma_g$ ), uygulanan yükün ( $P_i$ ), o anki kesit alanına ( $A_i$ ) oranı olarak,

$$\sigma_g = \frac{P_i}{A_i} \quad (1.18)$$

şeklinde tanımlandığı için,  $A_i$  yerine,

$$A_i = \frac{L_0 \cdot A_0}{L_i} \quad (1.19)$$

yazılırsa gerçek gerilme ( $\sigma_g$ ),

$$\sigma_g = \frac{P_i \cdot L_i}{A_0 \cdot L_0} \quad (1.20)$$

şeklinde yazılabilir.

$$\frac{P_i}{A_0} = \sigma_m \quad (1.21)$$

ve

$$\frac{L_i}{L_0} = 1 + e \quad (1.22)$$

olduğu için,

Gerçek gerilme ( $\sigma_g$ ),

$$\sigma_g = \sigma_m (1 + e) \quad (1.23)$$

eşitliğiyle, mühendislik gerilme ve mühendislik birim şekil değişimi değerlerinden hesaplanabilir. Gerçek birim şekil değişimi ( $\varepsilon$ ) de yine, çekme deneyinde hacmin sabit kaldığı kabul edilerek,

$$\varepsilon = \int_{L_0}^{L_i} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_i}{L_0} \quad (1.24)$$

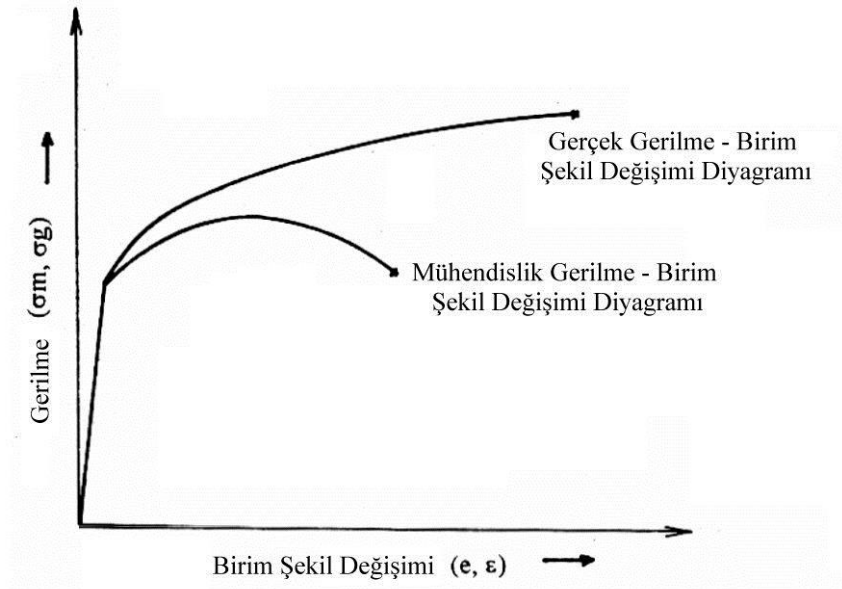
ve 
$$\frac{L_i}{L_0} = 1 + e \quad (1.25)$$

olduğu için, gerçek birim şekil değişimi ( $\epsilon$ ),

$$\epsilon = \ln(1+e) \quad (1.26)$$

eşitliğiyle mühendislik birim şekil değişimi değerinden hesaplanabilir.

Bu eşitlikler, çekme deneyinde homojen deformasyon bölgesi içinde numune hacminin sabit kalmasından hareketle çıkarıldığı için, hacmin sürekli arttığı heterojen deformasyon bölgesi içerisindeki mühendislik gerilme ve mühendislik birim şekil değişimi değerlerini, gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değişimi değerlerine dönüştürmede kullanılamaz. Öte yandan, elastik deformasyon bölgesi içerisinde meydana gelen elastik uzama ve kesit daralması çok küçük olduğu için, elastik deformasyon bölgesinde, gerçek ve mühendislik gerilme ve birim şekil değişimi değerleri birbirine eşittir. Dolayısıyla, bir gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrisi çizilirken, elastik deformasyon bölgesinde mühendislik gerilme ve mühendislik birim şekil değişimi değerleri esas alınır, homojen plastik deformasyon bölgesinde yukarıdaki eşitlikler kullanılır, maksimum gerilme değerinden kırılmaya kadar olan heterojen deformasyon bölgesinde ise herhangi bir değer alınamaz, sadece gerçek kırılma gerilmesi hesaplanır, eğri üzerine işaretlenir ve eğrinin geri kalanı ile birleştirilir. Gerçek kopma gerilmesi de yük –uzama eğrisinden alınan kopma yükünün ( $P_f$ ), kırılma sonrası hesaplanan numune kesit alanına ( $A_f$ ) bölünmesiyle hesaplanır. Şekil 1.10, mühendislik ve gerçek gerilme –birim şekil değişimi eğrilerini göstermektedir.



Şekil 1.10. Gerçek ve mühendislik gerilme –birim şekil değişimi eğrileri [2].

## Pekleşme Üsteli ve Mukavemet Katsayısı

Gerçek gerilme –gerçek birim şekil değişimi eğrilerinden elde edilebilecek iki önemli mekanik özellik, deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve mukavemet katsayısı (K) değerleridir. Bu iki değer hesaplanmasında, gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrisinin homojen deformasyon bölgesini tanımlamakta kullanılan Holloman bağıntısından yararlanır. Holloman bağıntısı,

$$\sigma_g = K \cdot \varepsilon^n \quad (1.27)$$

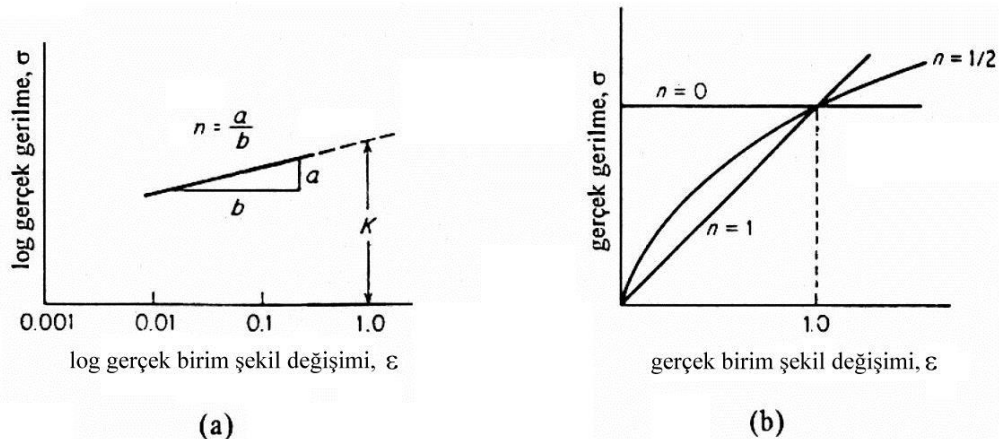
şeklinde yazılır. Burada;

- $\sigma_g$  : gerçek gerilme,
- $\varepsilon$  : gerçek birim şekil değişimi,
- K : mukavemet katsayısı,
- n : pekleşme üsteli olarak tanımlanmıştır.

Holloman bağıntısının her iki yanının logaritması alınırsa,

$$\log \sigma_g = \log K + n \log \varepsilon \quad (1.28)$$

şeklinde lineer bir doğru denklemi elde edilir. Dolayısıyla, gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değişimi değerlerinin logaritmaları alınarak çizilecek doğrunun eğimi, deformasyon sertleşmesi üssünü (n), bu doğrunun y eksenini kestiği nokta ise mukavemet katsayısı (K) değerini verir. Bu doğrunun y eksenini kestiği nokta ( $\log \varepsilon=0$ ), aynı zamanda  $\varepsilon=1$  noktası olup, gerçek birim şekil değişiminin  $\varepsilon=1$  olduğu durumda, mukavemet katsayısının gerçek gerilme değerine eşit olduğunu gösterir. Şekil 11, deformasyon sertleşmesi üssü ve mukavemet katsayısının hesaplandığı log gerçek gerilme – log gerçek birim şekil değişimi eğrisini ve farklı n değerleri için Holloman bağıntısıyla çizilen eğrilerin şeklini göstermektedir. Ayrıca, yapılan grafiksel çalışmalarda, maksimum gerilme değerine karşılık gelen gerçek birim şekil değişimi olan homojen gerçek birim şekil değişiminin ( $\varepsilon_h$ ), deformasyon sertleşmesi üssüne (n) eşit olduğunu görülmüştür ( $\varepsilon_h=n$ ).



Şekil 1.10: a)  $\log \sigma_g - \log \varepsilon$  eğrisi  
b) Farklı n değerleri için çizilen Holloman bağıntısı eğrisi [1].

Deformasyon sertleşmesi üssü, plastik şekil verme işlemleri için malzeme davranışı tahmin etmede kullanılır ve malzemenin termomekanik geçmişine bağlı



olarak 0 –1 arasında değerler alır. Şekil 11’den görüldüğü gibi, deformasyon sertleşmesi üssü, süperplastik malzemeler için  $n=0$ , elastik katı cisimler için  $n=1$  değerindedir. Çoğu malzemelerin deformasyon sertleşmesi üssü değeri  $n=0-0.5$  arasındadır (Tablo 1.3).

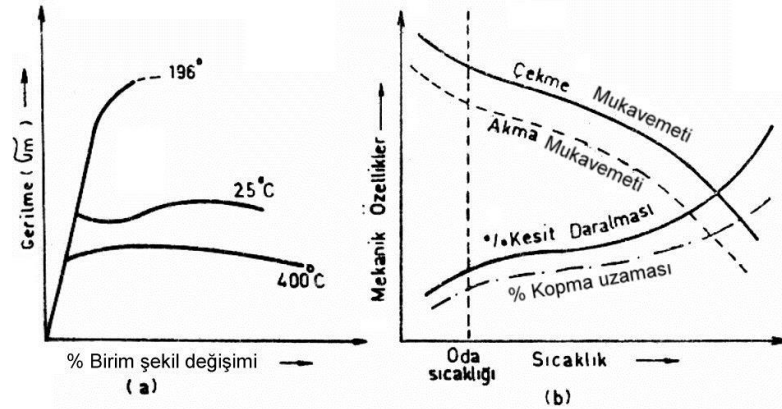
Tablo 1.3. Tavlanmış haldeki bazı metalik malzemelerin deformasyon sertleşmesi üssü ve mukavemet katsayısı değerleri [1].

Malzeme	Deformasyon sertleşmesi üssü, n	Mukavemet katsayısı, K MPa
% 0.8 C içeren çelik	0.25	600
% 0.15 C içeren çelik	0.18	620
% 0.45 C içeren çelik	0.12	950
302 kalite paslanmaz çelik	0.3	1300
410 kalite paslanmaz çelik	0.1	960
Bakır	0.33	450
Pirinç (70 Cu/30Zn)	0.41	500
Muntz metal (60 Cu/40 Zn)	0.5	800
1100 kalite alüminyum alaşımı	0.25	140
2017 kalite alüminyum alaşımı	0.15	380
5052 kalite alüminyum alaşımı	0.13	210
7075 kalite alüminyum alaşımı	0.17	400

## Deney Şartlarının Çekme Deneyi Sonuçlarına Etkisi

### Sıcaklığın çekme deneyi sonuçlarına etkisi

Çekme deneyi cihazlarında, çene tertibatı arasına yerleştirilebilecek şekilde fırınlar mevcuttur. Bu fırınlar yardımıyla numunenin sıcakta çekme deneyleri yapılabilir. Fırınlar yerine, soğutucu tertibatlar kullanılarak da oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda deney yapmak mümkündür. Farklı sıcaklıklarda deneye tabi tutulan aynı malzemeden hazırlanmış, aynı cins ve boydaki numunelerin çekme deneyi sonuçları farklıdır (Şekil 1.12a). Genel olarak, sıcaklık arttıkça malzemenin mukavemeti azalır, sünekliği ise artar (Şekil 1.12b). Düşük sıcaklıklarda ise mukavemet ve kırılmalık artar.



Şekil 12: a) Orta karbonlu bir çeliğin gerilme-birim şekil değişimi eğrisinin sıcaklıkla değişimi.  
b) Çeliğin mekanik özelliklerinin sıcaklıkla değişimi [3].

## Deformasyon hızının çekme deneyi sonuçlarına etkisi

Deformasyonun (birim şekil değişiminin) numuneye uygulanma hızı, gerilme değerlerini önemli ölçüde etkiler. Deformasyon hızı ( $\dot{\epsilon}$ ),

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} \quad (1.29)$$

eşitliğiyle tanımlanır ve birimi  $s^{-1}$  (1/s)'dir. Tablo 1.4'de farklı mekanik deneylerde numuneye uygulanan deformasyon hızı değerleri verilmiştir.

Tablo 1.4:Farklı deney koşullarında numuneye uygulanan deformasyon hızı değerleri [6].

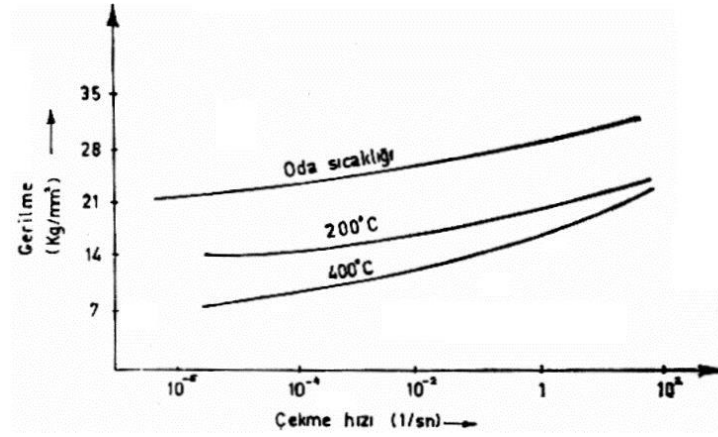
Deney tipi ya da deney koşulu	Deformasyon hızı aralığı, $s^{-1}$
Sabit yük ya da gerilme altında yapılan sürünme deneyi	$10^{-8} - 10^{-5}$
Hidrolik ya da vidalı çekme cihazlarıyla yapılan statik çekme deneyi	$10^{-5} - 10^{-1}$
Dinamik çekme ya da basma deneyi	$10^{-1} - 10^2$
Darbe numuneleri kullanan yüksek hızlı deneyler	$10^2 - 10^4$
Gaz tabancası ya da patlamayla son derece yüksek hızda darbe oluşturan deneyler	$10^4 - 10^8$

Deformasyon hızının pratik uygulamalarda kolaylıkla ölçülebilmesi bakımından, mühendislik deformasyon hızı ( $\dot{e}$ ) kavramı geliştirilmiştir. Mühendislik deformasyon hızı ( $\dot{e}$ ),

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} = \frac{d(L - L_0)/L_0}{dt} = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L_0} \quad (1.30)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Böylece, mühendislik deformasyon hızının, cihazın çekme hızı ve numunenin ölçü uzunluğuna bağlı bir değer olduğu görülür. Çekme hızı, mm/dak. birimi ile verilir ve bir dakikada cihaz çenelerinin kaç mm ilerlediğini gösterir. Çekme deneyi sırasında cihazın çekme hızı (v), deney boyunca sabit sabit tutulur ve deney sonuçları rapor edilirken, deneyde kullanılan mühendislik deformasyon hızı değeri ( $\dot{e}$ ) de belirtilir.

Çene hızının artması, malzemenin mukavemetinin artmasına neden olur. Bu nedenle çekme deneyinde, çekme hızını belirtmek gerekir. Aksi halde elde edilen sonucu yorumlamak güçleşir. Çekme hızının akma gerilmesine etkisi, çekme mukavemetine etkisinden daha fazladır. Şekil 1.13, saf bakırın çekme mukavemetine farklı sıcaklıklarda çekme hızının etkisini göstermektedir.

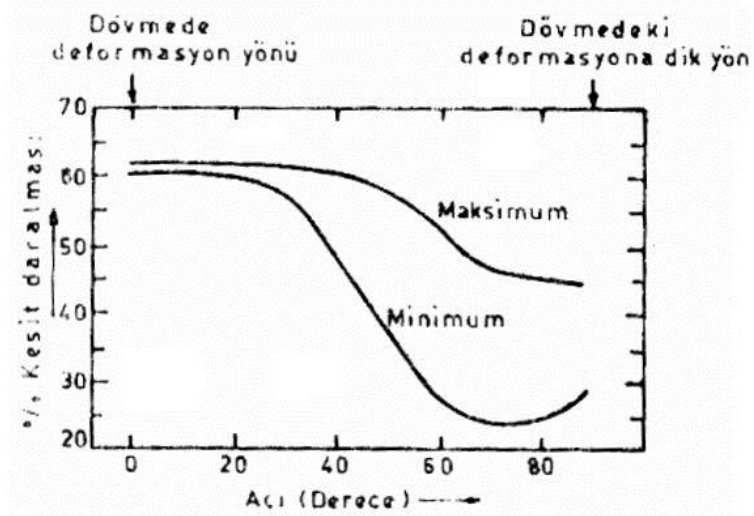


Şekil 13: Saf bakırın değişik sıcaklıklardaki çekme mukavemetine çekme hızının etkisi [3].

Çekme hızının, malzemenin akma ve çekme mukavemetine etkisi, sıcaklık yükseldikçe artar. Yani yüksek sıcaklıklarda yapılan çekme deneyinde çekme hızının etkisi çok daha fazla olur.

### Numune yönünün etkisi

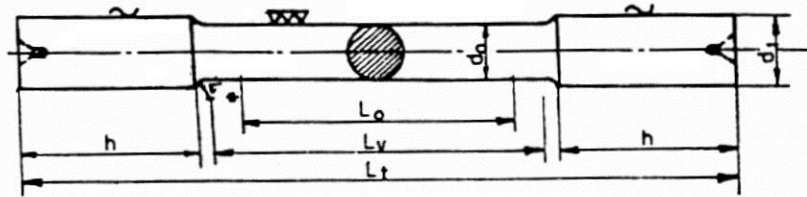
Genellikle haddelenmiş yassı metalik malzemelerden ya da dövülmüş malzemelerden hazırlanan numunelerle yapılan çekme deneyi sonuçlarının, malzemeden numunenin alındığı yöne göre değiştiği görülmüştür. Özelliklerin yöne bağımlılığı “anizotropi” olarak isimlendirilir. Metalik malzemelerdeki kristallografik anizotropi (plastik deformasyon ya da tavlama sonucu yapının kristallografik açıdan tercihli yönlenmesi) ya da mekanik anizotropi (plastik deformasyon sırasında, deformasyon yönünde ikinci fazın, mikroboşlukların ve inklüzyonların yönlenmesi) çekme deneyi sonuçlarının numune yönüne göre farklı olmasına neden olur. Anizotropik malzemelerde numunenin yönüne bağlı olarak çekme deneyi ile bulunan bütün mekanik özelliklerin değişmesine rağmen, % kesit daralmasındaki değişme en fazladır. Haddelenmiş yassı metalik malzemelerde ve dövme ürünü malzemelerde, deformasyon yönünde alınan numunelerde % kesit daralması genellikle maksimum, deformasyona dik yönde alınan numunelerde ise minimumdur. Örneğin, dövme ürünü bir alaşımlı çelikte dövme yönüne göre farklı açılarda hazırlanan çekme numunelerinde % kesit daralmasının değişimini gösteren Şekil 14’de bu durum görülmektedir.



Şekil 1.14. Dövme ürünü bir alaşımlı çelikte, dövmedeki deformasyon yönü ile çekme numunesi ekseninin yönü arasındaki açığa göre % kesit daralmasının değişimi [3].

### Çekme Deneyi Numuneleri

Çekme deneyinde tel, çubuk, sac levha gibi dairesel ya da dikdörtgen kesitli ya da boru şeklindeki numuneler kullanılabilir. Bu numunelerin şekil ve boyutlarının ne olacağı standartlarda belirtilmiştir. Dairesel kesitli çekme deneyi numunesinin tipik şekil ve boyutları Şekil 1.15’de görülmektedir. Şekil 1.15’de görüldüğü gibi bir çekme numunesinde, kafa kısımları ve ölçü uzunluğu olmak üzere iki kısım bulunur. Kafa kısımları, deney numunesinin cihazın çeneleri tarafından kavranacağı, ölçü bölgesi ise gerekli uzama ve kesit ölçümlerinin yapılacağı bölgedir. Kafa kısımları ve ölçü bölgesi arasında uygun bir eğrilik yarıçapıyla sağlanan, keskin olmayan bir geçiş bulunmalıdır. Aksi halde, kırılma gerilme yoğunlaşmasının meydana geldiği bu bölgelerde olur ve çekme deneyiyle ilgili olarak güvenilir sonuçlar elde edilemez. Deney sonuçlarının güvenilir olması bakımından, kırılma bölgesi ölçü uzunluğu içerisinde kalmalıdır.



Şekil 1.15. Dairesel kesitli tipik bir çekme numunesinin şekil ve boyutları [2].

- $d_0$  : numune çapı
- $d_1$  : kafa kısmının çapı  $= 1.2 d_0$
- $L_v$  : inceltmiş kısmın uzunluğu  $= L_0 + d_0$
- $L_0$  : ölçü uzunluğu  $= 5 \cdot d_0$
- $L_t$  : toplam uzunluk
- $h$  : kafa kısmının uzunluğu

Standartlarda Şekil 115'deki numune boyutlarından daha küçük ya da daha büyük numune boyutları da verilmiştir. Çekme deneyi numunesi hazırlanırken özellikle numune çapı ya da kesit alanı ile numunenin ilk ölçü uzunluğu arasındaki orana dikkat edilmeli, aksi belirtilmedikçe ölçü uzunluğu Barba Kanunu ile hesaplanmalıdır. İlk ölçü uzunluğu, deney sonucu rapor edilirken mutlaka belirtilmelidir. Tellerde deney numunesinin kesit alanı, telin kesit alanına eşit olmalıdır. Çekme deneyinde kullanılan çelik tel numunesinin ilk ölçü uzunluğu 100 mm ya da 200 mm olmalıdır. Çapı 10 mm'den büyük olan tellerde, ölçü uzunluğu tel çapının en az 10 katıdır. Çekme cihazının kavrama çeneleri arasında kalan kısmın uzunluğu, ölçü uzunluğundan en az 50 mm daha uzun olmalıdır. Demirdışı metalik malzemelerden yapılmış tellerin ölçü uzunluğu hesaplanırken Barba kanunu,

$$\text{Dairesel kesitli ince tellerde} \quad L_0 = 10 \cdot D_0 \quad (1.31)$$

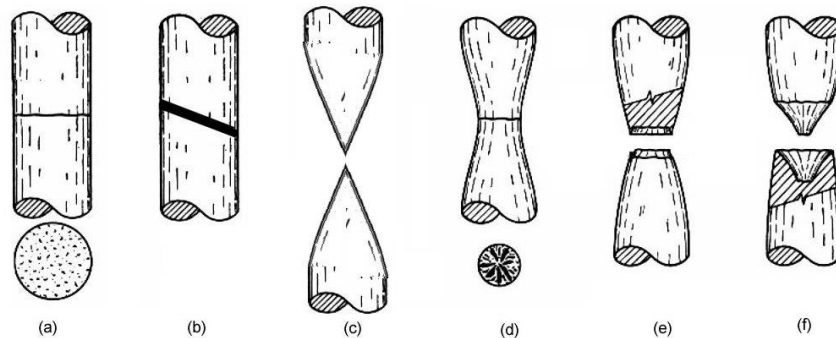
$$\text{Dikdörtgen kesitli ince numunelerde} \quad L_0 = 11.3 \sqrt{A_0} \quad (1.32)$$

( $D_0$ = numune orijinal çapı) ( $A_0$ = numune orijinal kesit alanı)

olarak uygulanır. Demirdışı metalik tellerden hazırlanan numunelerin ölçü uzunluğu 25 mm'den az olmamalıdır. Barba kanunu ile ölçü uzunluğu 25 mm'den daha az hesaplandığında, ölçü uzunluğu 100 mm ya da zorunlu hallerde 200 mm olarak olmalıdır. Boruların çekme deneyinde, deney numunesi olarak, dairesel kesitli bir boru parçası ya da borunun tüm et kalınlığından boyuna ya da enine çıkarılmış bir şerit kullanılabilir. Ölçü uzunluğu hesaplamalarında Barba Kanunu geçerlidir, ancak şerit halindeki numunenin kullanılması durumunda, şeritin kesit alanı, numunenin boru olmasından kaynaklanan eğriligi de göz önünde bulunduracak şekilde hesaplanmalıdır.

### Çekme Deneyinde Kırılma Şekilleri

Metalik malzemelerin çekme deneyi sonrasındaki kırılma şekli aynı zamanda şekil değiştirme yeteneğinin de bir ölçüsüdür. Çekme deneyinde gözlenen kırılma şekilleri, malzemenin sünekliği ile ilgilidir. Düşük süneklik değerlerine sahip numunelerde meydana gelen gevrek kırılmada, numune hemen hemen hiç boyun vermeden, çekme eksenine dik bir doğrultuda kırılır (Şekil 1.16a). Kırılma yüzeyleri düz bir görünümde. Lamel grafitli dökme demir ve bazı yüksek karbonlu çelikler bu tip bir kırılma gösterir. Bu şekilde kırılan numunelerin gerilme-birim şekil değişimi eğrisinde de kırılmanın, elastik deformasyon bölgesinin hemen sonunda meydana geldiği görülür.



Şekil 1.16: Çekme deneyinde gözlenen farklı kırılma şekilleri [5].

Sünek malzemelerde ise genellikle kırılmadan önce yüksek oranda kesit daralması (boyunlaşma) gözlenir. Bakır –alüminyum alaşımı gibi bazı metallere ise sünek kırılmadan önce önemli oranda boyunlaşma gözlenmez, kırılma kalın deformasyon bantlarının kayması sonucu oluşur (Şekil 1.16b). Çok yüksek süneklığe sahip malzemelerde hemen hemen %100 oranında boyunlaşma meydana gelebilir (Şekil 1.16c). Şekil 1.16d’de görülen kırılma şekli, çoğunlukla ısıtılmış uygulanmış yüksek mukavemetli çeliklerde görülür ve kırılma yüzeyinde, yüzeyden merkeze doğru yıldız şeklinde oluşumlar görülür. Şekil 1.16e ve f ise koni-çanak tipi kırılma olarak bilinir ve tokluğu yüksek malzemelerde görülür. Bu tip kırılma, numunenin çevresi boyunca yüzeyden merkeze doğru 45° açıyla ilerler ve merkezde çekme eksenine dik düz bir kopma şeklinde meydana gelir. Şekil 1.16e’de görülen koni-çanak tipi kırılma sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çeliklerde, Şekil 1.16f’de görülen koni-çanak tipi kırılma ise daha sünek sıcak haddelenmiş çok düşük karbonlu çeliklerde gözlenir. Gevrek kırılma, herhangi bir boyunlaşma ya da plastik deformasyon belirtisi göstermeden aniden ve çok hızlı meydana geldiği için, herhangi bir yapısal parçada telafi edilemeyecek zararlara yol açması bakımından daha tehlikelidir.

## **DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE TEÇHİZATLAR**

Çekme deneyinde farklı malzemelerden hazırlanmış çekme deneyi numunesi, mekanik çekme cihazı, video ekstansometre ve kumpas kullanılacaktır.

## **RAPORDA İSTENENLER**

Uygulamada yapılan çekme deneyleri sonuçlarından,

- a) Yük-Uzama eğrisini çiziniz,
- b) Mühendislik gerilme-mühendislik birim şekil değişimi eğrisini çiziniz,
- c) Gerçek gerilme-gerçek birim şekil değişimi eğrisini çiziniz, Akma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastisite modülünü hesaplayınız.
- d) Pekleşme üsteli ve mukavemet katsayısını hesaplayınız.
- e) Kırılma yüzeylerini şematik olarak çizerek, kırılma türünü irdeleyiniz.

## KAYNAKLAR

1. Dieter, G. E., “Mechanical Metallurgy SI Metric Editions”, McGraw-Hill Book Company, Singapur, 1988.
2. Kayalı, E. S., Ensari, C., Dikeç, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1996.
3. Kayalı, E. S., Çimenoğlu, H., “Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları”, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1986.
4. ASM Handbook, “Mechanical Testing” Tenth Ed., ASM, Ohio, 1998.
5. Jastrzebski, Z. D., “The Nature and Properties of Engineering Materials”, John Wiley & Sons, Singapur, 1987.
6. Bernstein, M. L., Zaimovski, V. A., “Mechanical Properties of Metals”, MIR Publishers, Moskova, 1983.
7. ASTM E 8M-98 “Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]”, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, ASTM, 1998.
8. TSE 138, “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Ortam Sıcaklığında Deney Metodu”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1996.
9. Davis, H. E., Troxell, G. E., Wiskocil, C. T., “The Testing and Inspection of Engineering Materials”, Third Edition, McGraw-Hill Book Company, Tokyo, 1964.
10. Liddicoat, R. T., Potts, P. O., “Laboratory Manual of Materials Testing”, The Macmillan Company, New York, 1958.