

# Çelik Yapı Elemanları

GKT/YDKT

Ders Notları

2-YAPI ÇELİĞİ

Prof.Dr. Zeki AY  
SDÜ İnş. Müh. Böl.  
Isparta 2019

[www.zekiay.com.tr](http://www.zekiay.com.tr)

# 2. YAPI ÇELİĞİ

## 2.1 GİRİŞ

## 2.2 YAPI ÇELİĞİNDE GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ

## 2.3 YAPI ÇELİĞİNİN KARAKTERİSTİK DAYANIMLARI

## 2.4 AVRUPA STANDARTLARINA GÖRE YAPI ÇELİĞİNİN GÖSTERİMİ

## 2.5 YAPI ÇELİĞİ İÇİN DAYANIM-SICAKLIK İLİŞKİSİ

## 2.6 SÜNEKLİK (DUCTILITY)

## 2.7. ÇELİKTE KARBON ORANI DAYANIM İLİŞKİSİ

## 2.8. EŞDEĞER KARBON ORANI(CE)

## 2.9 HİDROJEN GEVREKLİĞİ

## 2.10 SERTLİK(HARDANESS)

## 2.11 YORULMA(FATIGUE)

## 2.12 SÜNME(CREEP)

## 2.13 TOKLUK(TOUGHNESS)

## 2.14 ÇELİĞİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ

## 2.15 ÇELİĞİN SAKINCALI ÖZELLİKLERİ

## 2.16 STANDART ÇELİK ÜRÜNLER

## 2.17 ÇELİK PROFİLLERDE BOYUTLAR

## 2. YAPI ÇELİĞİ

### 2.1 GİRİŞ

Mekanik olarak işlenebilen yani, dövülerek, preslenerek ve haddeden geçirilerek şekil alabilen *demir alaşımlarına* çelik denir. Çelik malzemenin bünyesinde demirden başka %0.16 - %0.20 kadar karbon bulunur. Karbon miktarı arttıkça çeliğin ham dayanımı hem de sertliği artar. Sertliği artan çelik malzemenin ise sünekliği azalır ve kırılabilirliği artar. Yapı çeliğinin hem dayanımının hem de sünekliğinin yüksek olması istenir. Bu nedenle dayanımını artırmak için yapılan işlemlerin sünekliği azaltmasını önlemek için diğer bazı elementlerden de faydalanılır. Bu elementler krom, nikel, vanadyum ve molibden gibi elementlerdir. Ayrıca çelik malzemede belli oranlarda fosfor, kükürt, azot, silisyum, bakır gibi elementlerde bulunur. Çelikler, alaşımında bulunan elementlere göre Karbon çeliği, Düşük alaşımlı çelik, Paslanmaz çelik, Yüksek mukavemetli çelik, Düşük alaşımlı çelik, Yangına dayanıklı çelik, Isıya dayanıklı çelik, Nitrit ile güçlendirilmiş çelik, Ferritik / martensitik çelik gibi farklı adlarla anılırlar. Çelik alaşımlarında bulunan elementlerin çelik özelliklerine etkileri aşağıda verilmiştir. (Handbook of Stainless Steel Outokumpu Oyj, Sweden, 2013).

**Krom (Cr):** Bu en önemli alaşım elementidir ve korozyon direncini artırır. Krom ayrıca yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı direnci artırır.

**Nikel (Ni):** Sünekliği ve tokluğu artırır. Aynı zamanda aktif durumdaki korozyon oranını azaltır ve bu nedenle asit ortamlarında avantajlıdır. Ayrıca, nikel ilavesi kaynaklanabilirliği artırır.

**Molibden (Mo):** Hem mekanik mukavemeti hem de üniform ve yerel korozyona karşı direnci önemli ölçüde artırır.

**Bakır (Cu):** Bazı asitlerden kaynaklanan korozyona karşı direnci artırır ve ayrıca, daha iyi işlenebilirlik için sertliği azaltmakta kullanılır.

**Manganez (Mn):** Sünekliği arttırmak için kullanılır.

**Silikon (Si):** Hem yüksek sıcaklıklarda hem de düşük sıcaklıklarda güçlü oksitleyici çözeltilerde oksidasyona karşı direnci ve mekanik dayanımı artırır.

**Karbon (C):** Önemli ölçüde mekanik dayanımı artırır. Diğer taraftan korozyon direncini azaltır. Karbon dayanımı artırırken sertliği de artırdığı için işlenebilirliği azaltır aynı zamanda tokluğu da azaltır.

**Azot (N):** Mekanik mukavemeti artırır. Azot, özellikle molibden ile birlikte yerel korozyon direnci artırır.

**Titanyum (Ti):** Korozyona karşı direnci arttırmak için eklenir, ancak aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri ve tokluğu artırır. Ayrıca, şekillendirilebilirliği ve korozyon direncini arttırmak sertliğini karbonla birleştirerek azaltır ve tavlama direncini artırmak için titanyum eklenir.

**Niyobyum (Nb)** Niyobyum, yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri, sertliği azaltır ve temperleme(tavlama) direncini artırır.

Alüminyum (Al): Alüminyum ilave edildiğinde, oksidasyon direncini artırır.

Kobalt (Co): Kobalt, özellikle yüksek sıcaklıklarda sertliği ve temperleme direncini artırır.

Vanadyum (V): Vanadyum, düşük sıcaklıklarda karbürler ve nitritler oluşturur, mikro yapıdaki ferriti teşvik eder ve tokluğu, sertliğini, tavlama artırır.

Tungsten (W) : Korozyon direncinin arttırmak için ilave edilir

Kükürt (S) : İşlenebilirliği arttırmak için kükürt eklenir. Buna karşın korozyon direncini, sünekliği, kaynaklanabilirliği ve şekillendirilebilirliği hafifçe azaltır.

Seryum (Ce): Seryum nadir toprak metallere biridir ve yüksek sıcaklıkta oksidasyona direnci arttırmak için bazı ısıya dirençli kalitelere küçük miktarlarda eklenir.

Çelik yapıların tasarımında kullanılacak yapı çeliğinin hem genel malzeme özellikleri hem de basınç dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, süneklik, kaynaklanabilirlik, yangın dayanımı, korozyon dayanımı, çentik dayanımı, işlenebilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi mühendislik özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Bunun için mutlaka çelik malzemenin Gerilme-Şekil Değiştirme grafiğinin çekme deneyi ile elde edilmiş olması gerekir. Gerilme-Şekil değiştirme grafiği, Elastisite Modülü (E), Kayma Modülü(G), Poisson Katsayısı( $\nu$ ) ve Isı Genleşme Katsayısı( $\alpha_t$ ) gibi malzeme karakteristik özellikleri birlikte orantılılık sınırı, elastik sınırı, akma dayanımını(alta ve üst sınırlar ile birlikte), pekleşme durumunu ve kopma dayanımını ve bu dayanımlara karşılık gelen şekil değiştirme değerlerini bilmemizi sağlayacaktır. Çekme deneyi TS EN ISO 6892-1 standardına uygun hazırlanan numuneler kullanılarak yapılır. Şekil 2.2'de çekme deneyi hazırlanmış numune örnekleri ve Şekil 2.3'de betonarme donatısının test cihazına yerleştirilmiş hali görülmektedir

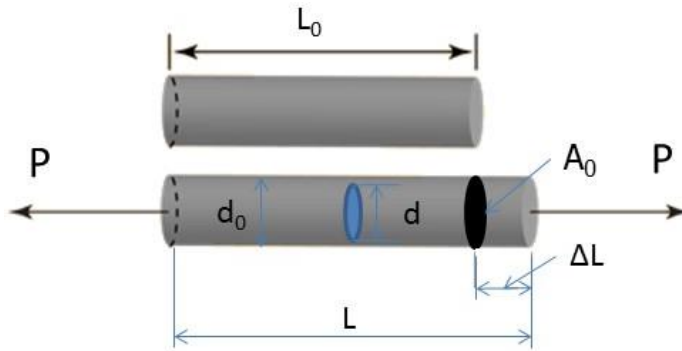
Çelik, ahşap ve beton gibi diğer yapı malzemelerinden farklı olarak homojen ve izotrop bir malzemedir. Bu özellikleri çeliğe önemli bir üstünlük kazandırır. Elastisite Modülü (E), Kayma Modülü(G), Poisson Katsayısı( $\nu$ ) ve Isı Genleşme Katsayısı( $\alpha_t$ ) gibi malzeme karakteristik özellikleri bütün yönlerde aynı olan malzemeye izotrop malzeme denir. Eğer malzeme karakteristik özellikleri bütün yönlerde aynı değilse böyle malzemeye anizotrop malzeme denir. Ahşap, lifli Kompozit malzemeler gibi, bazı malzemelerde birbirine dik üç düzleme göre simetri vardır. Birbirine dik üç simetri düzlemi bulunan malzemeye ortogonal anizotrop kelimelerinin kısaltılmışı olan ortotropik malzeme adı verilir. Ortotropik malzemedeki birbirinden bağımsız değişken sayısı dokuzdur. Anizotrop malzemedeki ise yirmi bir bağımsız değişken vardır. Bir malzemedeki, sadece bir düzleme göre simetri varsa, böyle malzemeye de monoklinik malzeme denir. Yapı çeliğinin olması gereken diğer bir önemli özelliği de sünek(düktil) olmasıdır. Toplam şekil değiştirmenin elastik şekil değiştirmeye oranı olan malzeme düktilitesi, malzemenin tokluğunu etkileyen önemli bir büyüklüktür. Tokluk ise gerilme-şekil değiştirme grafiğinin altında kalan alandır ve malzemenin enerji yutma kapasitesinin gösterir. Gerilme-şekil değiştirme grafiğinde elastik bölgenin altında kalan alana ise Rezilyans denir. Rezilyans elastik davranış sırasında depolanan enerjiyi ifade eder.

Şekil değiştirme, tüm katı cisimlerde, dıştan uygulanan aksenal yüklerle deformasyona uğradıklarında, gövdenin boyutundaki değişim gözlenir. Uzunluktaki değişimin orijinal uzunluğa oranına doğrusal ya da normal şekil değiştirme ya da basitçe şekil değiştirme adı verilir ve bu oran, şekil değiştirme boyutsuz bir miktardır. Elastik deformasyon sırasında ölçülen şekil

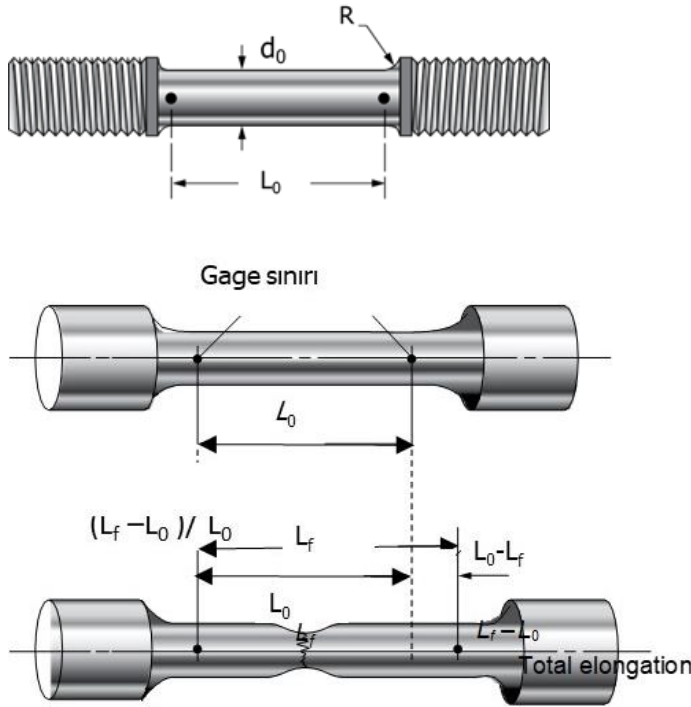
değiştirme elastik veya geri kazanılabilir şekil değiştirme olarak bilinir ve plastik deformasyon sırasında kalıcı veya plastik şekil değiştirmez.

## 2.2 YAPI ÇELİĞİNDE GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ

Çelik çekme testi, çelik yapıların tasarımında kullanılacak karakteristik çelik malzeme bilgilerini (Elastisite modülü, kayma modülü, Poisson oranı, Orantılılık sınırı, akma gerilmesi ve kopma dayanımı) belirlemek için yapılan bir testtir. Test sonucu elde edilen malzeme bilgileri ülkemizde yürürlükte olan çelik yapıların tasarımı ile ilgili şartname ve yönetmelik hükümlerini sağlamayan çelik malzeme tasarımda kullanılmaz. Test, uygun şekilde hazırlanmış standart bir test parçasının uçlarının bir çekme testi makinesinde (Şekil 2.3) kavranması ve daha sonra, test parçası kopuncaya kadar sürekli artan aksenal bir yükün uygulanmasıyla yapılır. Test parçaları, sonuçların Şekil 2.3'te gösterildiği gibi tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir olması için standartlaştırılmıştır.



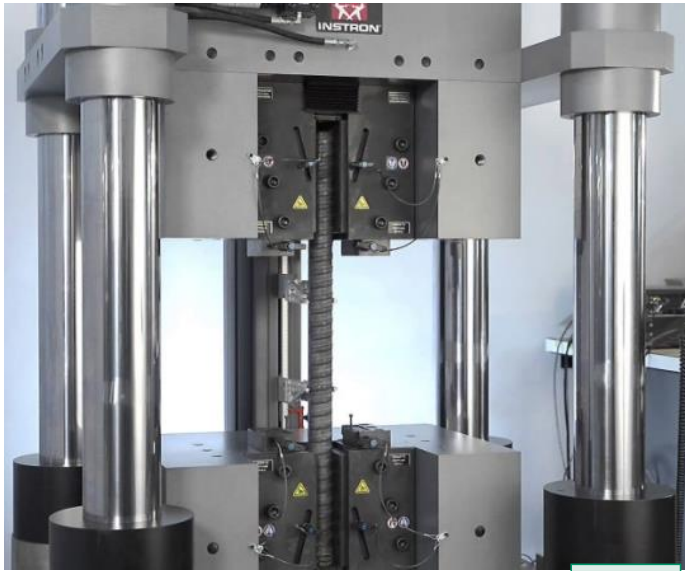
Şekil 2.1 Çekme çubuğu



Şekil 2.2 Çekme deneyi numunesi



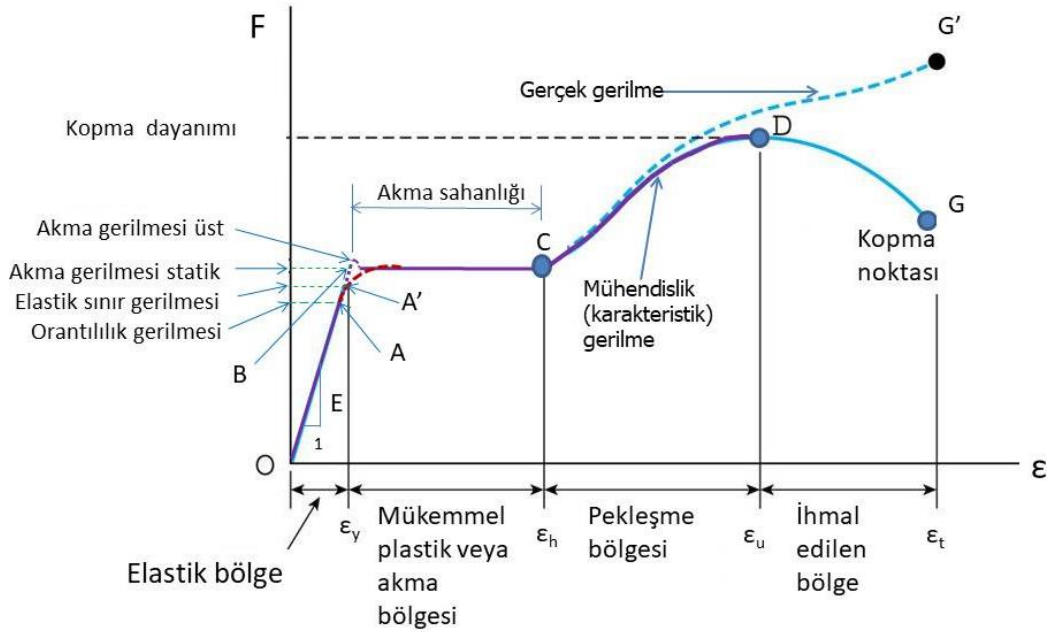
Şekil 2.3 Çekme deneyi numuneleri



Şekil 2.4 Çelik çekme test cihazı

$$\tau = G\gamma$$

Çelik malzemenin gerilme şekil değiştirme diyagramını elde edilişi şöyle açıklanabilir. İlk boyu  $L_0$ , ilk çapı  $d_0$  olan prizmatik(çubuk eksenli boyunca kesiti değişmeyen)çelik bir çubuğun ilk enkesit alanı da  $A_0$  olsun.(Şekil 2.1). Bu çubuğa bir  $P_1$  kuvveti uyguladığımız zaman çubuğun boyu  $\Delta L_1$  kadar uzayarak  $L_1$  olacak ve çapı  $\Delta d_1$  kadar küçülerek  $d_1$  olacaktır. Yani  $\Delta L_1=L_1-L_0$  ve  $\Delta d_1= d_0-d_1$  olacaktır. Buna göre, gerilme  $\sigma_1= P_1/A_0$ , boyuna şekil değiştirme  $\epsilon_{b1}=\Delta L_1/L_0$ , enine şekil değiştirme  $\epsilon_{e1}=-\Delta d_1/ d_0$ , Poisson oranı  $\nu_1=- \epsilon_{e1}/ \epsilon_{b1}$  olacaktır. Uyguladığımız kuvveti artırarak  $P_2, P_3...$  vb. işleme devam eder ve her adımda gerilme, boyuna şekil değiştirme ve diğer büyüklükleri hesaplayalım. Hesapladığımız gerilmeleri ordinatta, şekil değiştirmeleri de apsiste göstererek elde edeceğimiz grafik bir gerilme şekil değiştirme grafiği olacaktır. Bu grafiğin herhangi bir noktasındaki teğetin eğimi Elastisite Modülü(E)'nü verir. Grafiğin apsis ile arasındaki alan malzemenin tokluğu, yine  $F - \epsilon$  eğrisinde, elastik bölge altında kalan alan ise Rezilyans olarak adlandırılır. Yapı çeliğin  $F - \epsilon$  eğrisinde, orantılılık sınırına kadar malzeme doğrusal ve elastiktir. Yani  $F - \epsilon$  eğrisi hem doğrusal hem de yük kaldırıldığında kalıcı bir deformasyon kalmamaktadır. Diğer bir ifade ile  $\Delta L=0$  olmaktadır. Sonuç olarak, orantılılık sınırına kadar olan bölgede  $E=F / \epsilon$  sabittir. Bunun anlamı, bu bölgede malzeme Hook kanuna uymaktadır.



A-Orantılılık sınırı, A'=Elastik sınır B=Akma başlangıç noktası, C=Pekleşme noktası, D=Kopma(Çekme)dayanımı noktası, G=Kopma noktası, G'=Gerçek kopma noktası  
E=Elastisite Modülü

Şekil 2.5 Yapı Çeliğinin Şematik Gerilme Şekil Değişirme Eğrisi

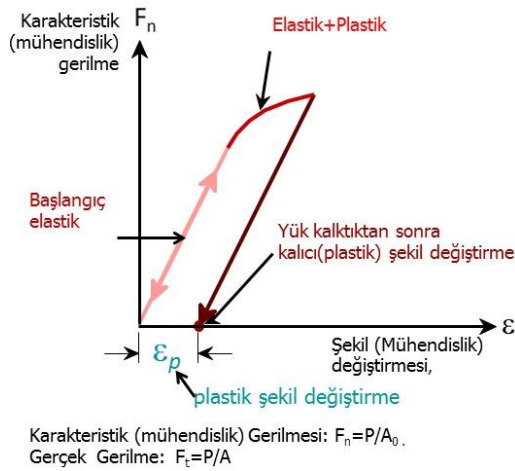
Uygulanan yük artırılmaya devam edildikçe önce elastik sınır gerilmesi dediğimiz bir sınır gerilmeye gelinir. Elastik sınır gerilme ile orantılılık gerilmesi arası doğrusal ve elastik bölgedir. Elastik sınır gerilmesi aşılmaya başlayınca yükün kaldırılması ile birlikte kalıcı deformasyonlar oluşmaya başlar. Artırılmaya devam edilen yük öyle bir değere gelir ki, yükte meydana gelen çok küçük artımlarda çok büyük deformasyonlar oluşur. Küçük yük artımları ile çok büyük deformasyonların oluşması durumuna malzemenin akması denir. Diğer bir ifade ile malzeme plastik davranış sergilemeye başlar.

Malzemenin akması şekil değiştirmede bir direnç değerine kadar devam eder. Akmanın başladığı nokta ile direncin başladığı nokta arasında akma platosu denir. F - ε eğrisinde direncin başladığı nokta ile eğrinin teğetinin eğiminin sıfır olduğu nokta (E=0 olan nokta) arasına pekleşme bölgesi denir. F - ε eğrisindeki E=0 olan noktaya karşılık gelen gerilme değeri bize kopma dayanımını, akmanın başladığı noktaya karşılık gelen gerilme değeri de akma dayanımını verir. Yük uygulanmaya devam ederse kopma dayanımını geçtikten hemen sonra da malzeme kopacaktır. Poisson oranı enine şekil değiştirmenin boyuna şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanır ve elastik bölgede çeliğin Poisson oranı  $\nu = -0.3$  dir. Malzeme bütünüyle plastik davrandığı zaman yani akma bölgesinde  $\nu = -0.5$ , diğer plastik bölgelerde Poisson oranı  $\nu^p$  aşağıdaki formülle hesaplanır.

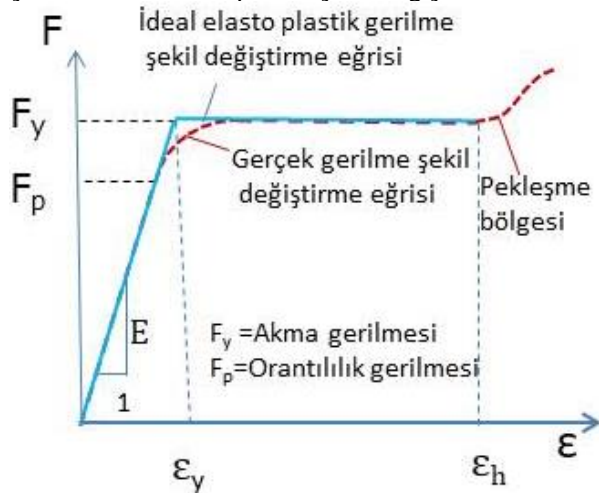
$$\nu^p = \frac{1}{2} - \left( \frac{1}{2} - \nu \right) \frac{E'}{E}$$

Burada:  $E'$  = efektif teğet modülüdür (Yani; gerilme-şekil değiştirme diyagramının her hangi bir noktasındaki eğimidir). Elastik bölgede,  $E' = E$  and  $\nu^p = \nu = -0.3$  dür. Pekleşme bölgesinde ise  $E' = E/30$ ,  $\nu^p = -0.49$ . Daha büyük şekil değiştirmenin olduğu  $E'$  'nin azaldığı bölgelerde Poisson oranı  $\nu$  yaklaşık olarak 0.5 alınır. Her yapı çeliği cinsi için farklı gerilme şekil değiştirme grafikleri

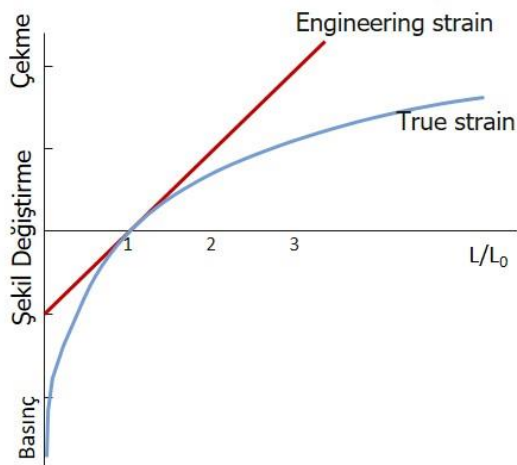
vardır. Çelik malzemenin tanımlanmasında bilinmesi gerekli diğer özellikleri de sertliği, kaynaklanabilmesi, korozyona karşı korunabilmesi ve yorulmasıdır.



Şekil 2.6 Elastik ve plastik şekil değiştirme

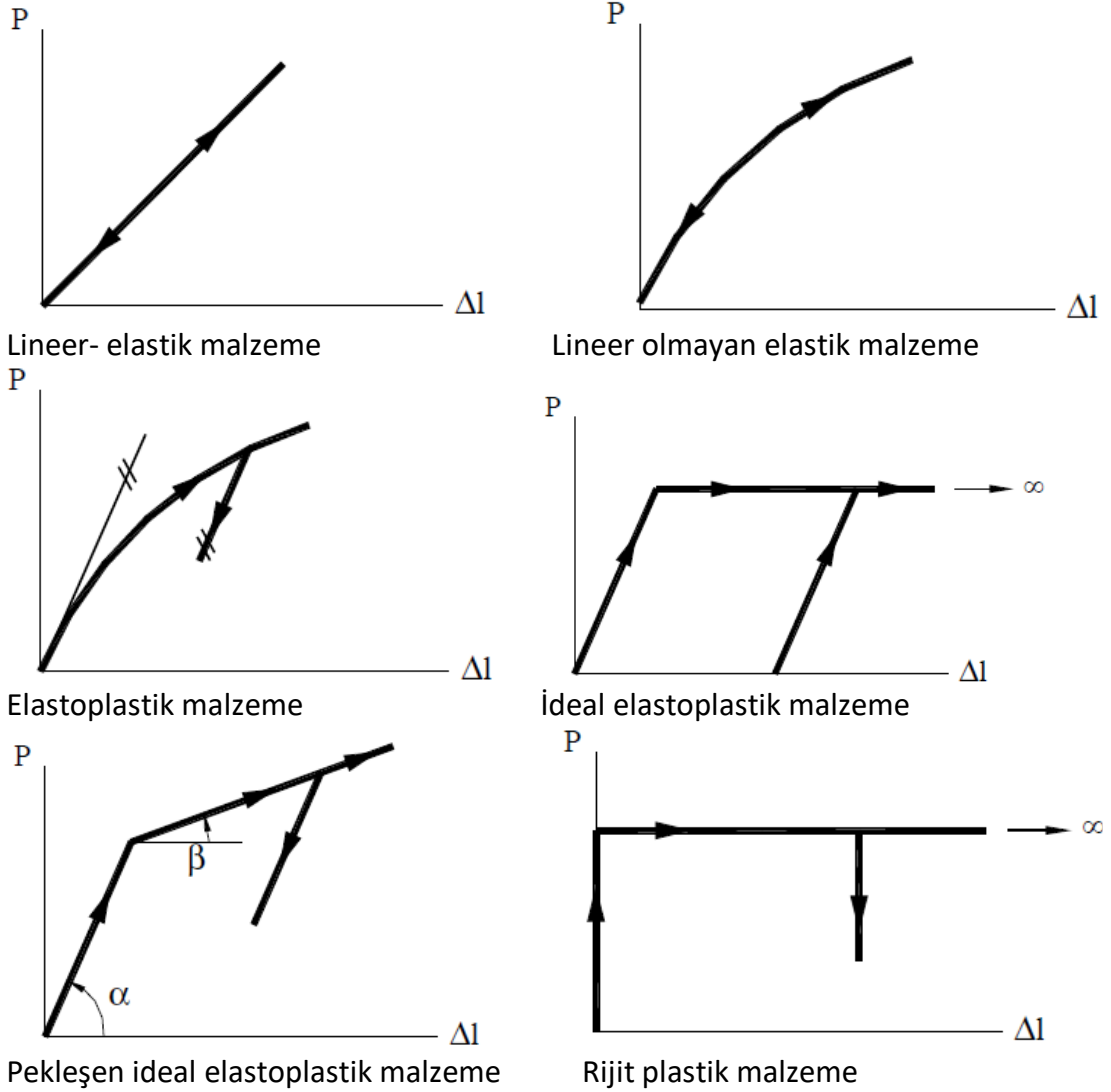


Şekil 2.7 İdeal elasto-plastik malzeme



Şekil 2.8 Mühendislik ve gerçek şekil değiştirme





Şekil 2.9. İdeal malzemeler

Kırılganlık(brittleness), sünme(creep), süneklik(ductility), elastiklik(elasticity), yorulma(fatigue), sertlik(hardness), şekillendirilebilme(malleability), plastiklik(plasticity), elastik bölge alanı(resilience), rijitlik(Stiffness), tokluk(Toughness), akma dayanımı(yield strength) metallerin önemli mekanik özelliklerinden bazılarıdır.

Aşağıdaki malzeme karakteristikleri bütün çelik cinslerin için geçerlidir.

Malzeme sünekliği (kinematik duktilite) :

$$\mu_h = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} = 10 \sim 12$$

Akma oranı:

$$\frac{F_y}{F_u} = 0.5 \sim 0.7$$

Ayrıca;

$$\mu_u = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} = 60 \sim 120$$

arasında olmalıdır.

Elastisite modülü  $E = 200000 \text{ N/mm}^2 = 200000 \text{ MPa} = 20000 \text{ kN/cm}^2$

Poisson sayısı  $\nu = 0,3$

Kayma modülü  $G = E/2(1+\nu) = 77200 \text{ MPa} = 7720 \text{ kN/cm}^2$

Lineer ısı genişleme katsayısı  $\alpha_t = 0,000012$

$\rho =$  Birim Hacim Ağırlığı:  $7850 \text{ kg/m}^3 = 78500 \text{ kN/m}^3$

## 2.3 YAPI ÇELİĞİNİN KARAKTERİSTİK DAYANIMLARI

Tablo 2.1A Sıcak Haddelenmiş Yapısal Çeliklerde Karakteristik Akma Gerilmesi( $F_y$ ) ve Çekme Dayanımı( $F_u$ )

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, $t$ (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	440

Tablo 2.1B Yapısal Kutu ve Boru Profillerde Karakteristik Akma Gerilmesi( $F_y$ ) ve Çekme Dayanımı( $F_u$ )

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, $t$ (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40$ mm $< t \leq 80$ mm	
	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$F_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
EN 10210-1				
S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
S275 NH/NLH	275	390	255	370
S355 NH/NLH	355	490	335	470
S420 NH/NLH	420	540	390	520
S460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S235 H	235	360		
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		
S275 NH/NLH	275	370		
S355 NH/NLH	355	470		
S460 NH/NLH	460	550		
S275 MH/MLH	275	360		
S355 MH/MLH	355	470		
S420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		

Tablo 2.2 Bulonlarda Karakteristik Akma Gerilmesi  $F_{yb}$  ve Çekme Dayanımı,  $F_{ub}$  (Mpa= N/mm<sup>2</sup>)

Bulon sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$F_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$F_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

Tablo 2.3 Bazı Çelik Sınıfları Malzeme Karakteristik Değerleri

Çelik	$t$ mm	$F_y$ N/mm <sup>2</sup>	$F_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_y$ %	$\epsilon_h$ %	$\epsilon_u$ %	$\epsilon_t$ %	$E_h$ N/mm <sup>2</sup>
S235	$< 40$	235	360	0,115	1,41	14,0	25,0	5500
	$> 40$	215	340	0,105				
S275	$< 40$	275	430	0,134	1,47	12,0	22,0	4800
	$> 40$	255	410	0,124				
S355	$< 40$	355	510	0,173	1,70	11,0	20,0	4250
	$> 40$	355	490	0,163				

Tablo 2.4 Bazı Çelik Sınıfları Malzeme Karakteristik Değerleri(USA-Imperial)

Steel	Minimum yield stress, ksi	Relative price factor	Ratio of minimum yield stresses	Relative cost of tension members
A36	36	1,00	1,00	1,00
A572 grade 42	42	1,09	1,17	0,93
A572 grade 50	50	1,12	1,39	0,81
A588 grade A	50	1,23	1,39	0,88
A852	70	1,52	1,94	0,78
A514 grade B	100	2,07	2,78	0,75

## 2.4 AVRUPA STANDARTLARINA GÖRE YAPI ÇELİĞİNİN GÖSTERİMİ

Örnek: "S"235"J2^K2"C"Z"W"JR"JO"

Tablo 2.5 S235, S275 ve S355 yapı çeliklerinin içerdiği element oranları

Grade	C%	Mn%	P%	S%	Si%
S235	0.22 max	1.60 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
S275	0.25 max	1.60 max	0.04 max	0.05 max	0.05 max
S355	0.23 max	1.60 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max

Burada;

S – Yapı çeliği,

235 – Akma dayanımı(Mpa-N/mm<sup>2</sup>)

J2 / K2 / JR / JO – Malzeme tokluğu ile ilgili semboller

W – Atmosferik korozyon dayanımı

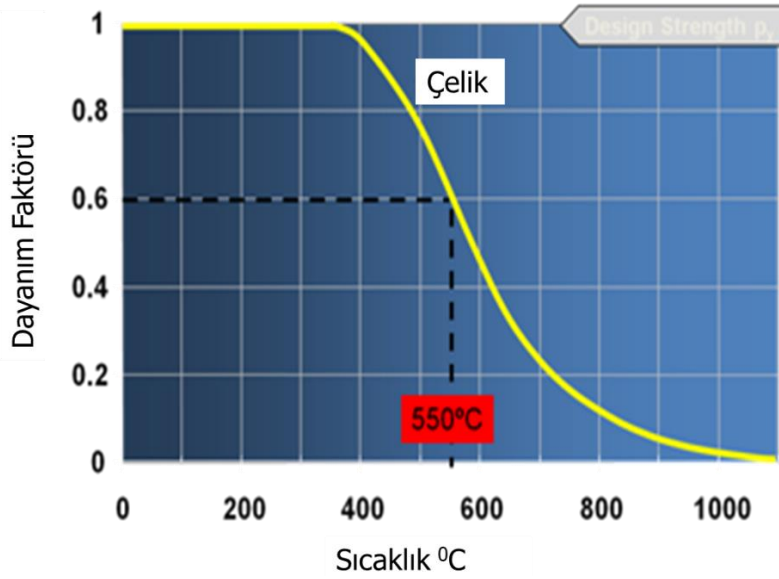
Z – Yüzeye dik olarak geliştirilmiş mukavemete sahip yapısal çelik,

C – Soğukta şekil verilmiş

### **Avrupa ve Amerikan çelik kalite karşılıkları:**

S235-A283C, S275-A570Gr40, S355-A572Gr50

## 2.5 YAPI ÇELİĞİ İÇİN DAYANIM-SICAKLIK İLİŞKİSİ

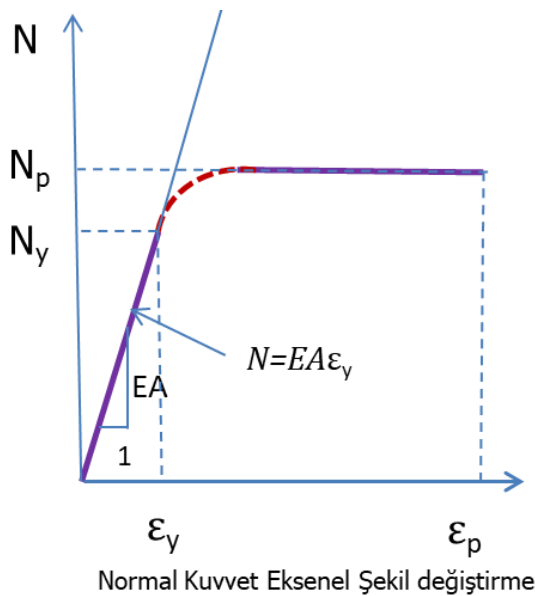


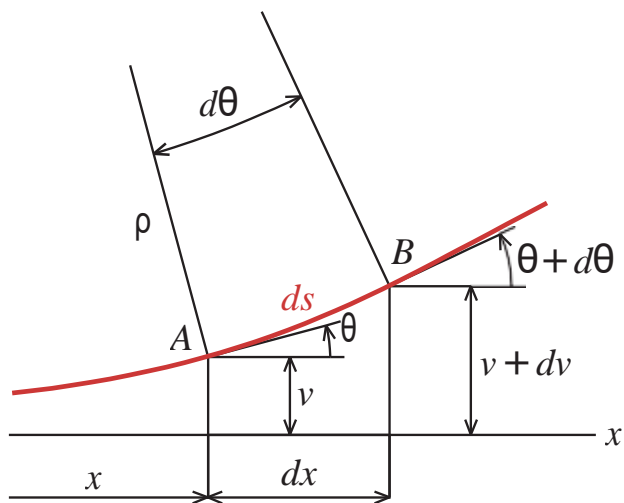
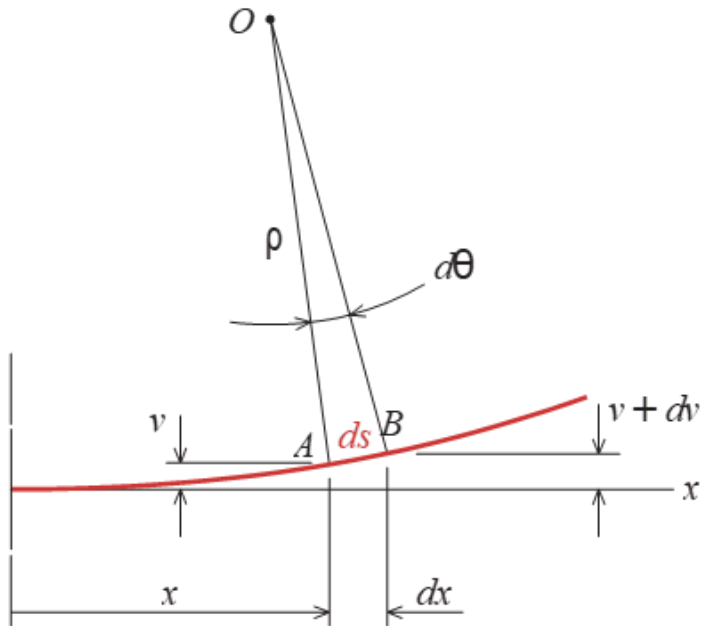
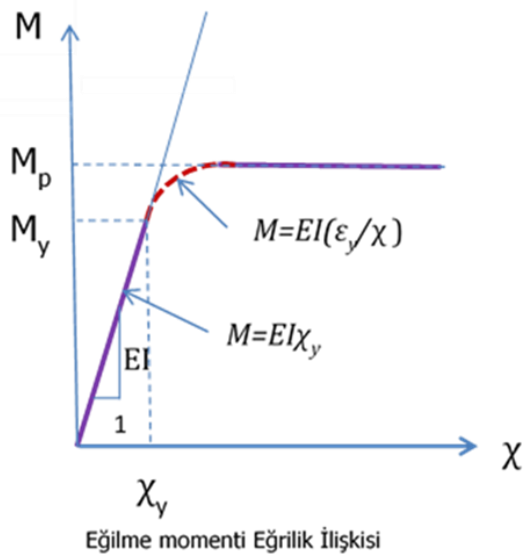
Şekil 2.9 Yapı Çeliği için dayanım-sıcaklık ilişkisi

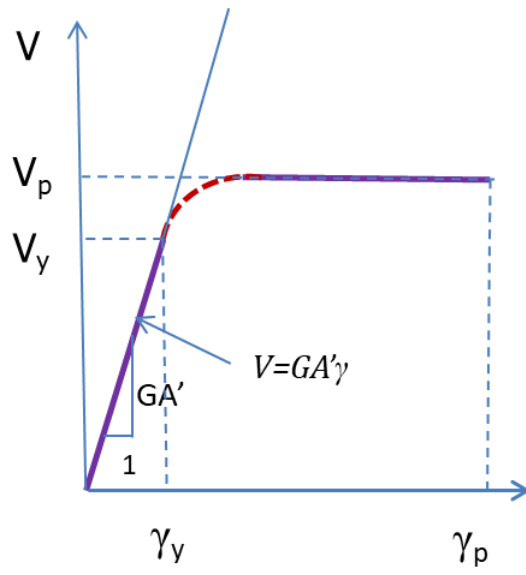
## 2.6 SÜNEKLİK (DUCTILITY), DAYANIM(STRENGTH), RİJİTLİK(STIFFNESS)

Bir yapının maruz kaldığı yükleri karşılama kapasitesi, dayanım, rijitlik ve süneklik kavramları ile açıklanır. Süneklik, yapıda oluşacak plastik deformasyonlarla tüketilen histerik enerji kabiliyetini tanımlar.

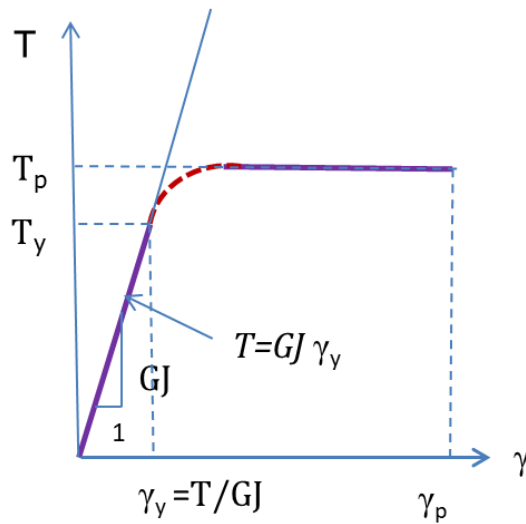
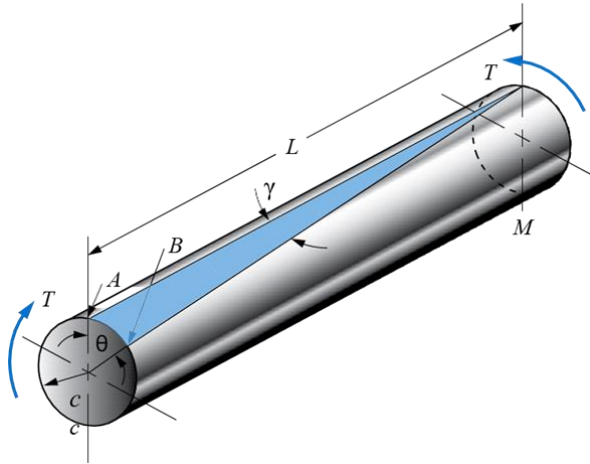
Çelik bir yapıda süneklik, malzeme kalitesi, yapı geometrisi, eleman kesit ve birleşim özellikleri gibi pek çok faktöre bağlıdır. Birleşim özellikleri açısından ise, perçinli, kaynaklı ve bulonlu birleşim araçları gibi birleşim aracı çeşitlerine bağlı olarak, birleşim şekilleri ve bunların yapım ve malzeme kalitesi, çelik bir yapının sünekliğini etkileyen temel faktörlerdir. Yapı mühendisliğinde süneklik tipleri aşağıda gibi sınıflandırılmaktadır. Bunlar, malzeme(deformasyon) sünekliği, kesit(eğrilik) sünekliği, eleman(dönme) sünekliği, yapı(deplasman) sünekliği ve enerji sünekliğidir.







Kesme Kuvveti Kayma Şekil deęiřtirmesi

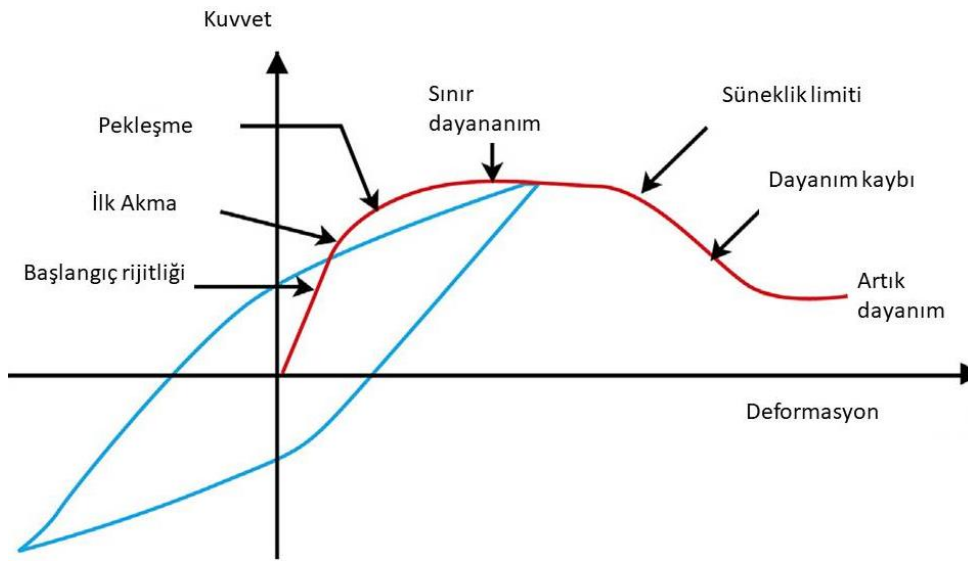


Burulma momenti burulma Şekil deęiřtirmesi

Şekil 2.10 Kesit tesiri-Şekil değiştirme İlişkisi

Burada;  $M_p$  kesitin eğilme momenti tasama gücünü,  $\chi_p$  ise buna karşı gelen birim dönmeyi ifade eder.  $M = F_y W_e$ ,  $F_y$  = Akma dayanımı,  $W_e$  =Elastik mukavemet momenti,  $\chi_y$ ,  $\epsilon_y$  akma şekil değiştirmesine karşı gelen eğrilik, E=Elastisite Modülü

Çelik yapıların tasarımında çok farklı kesit geometrilerine sahip çelik yapı elemanları kullanılmaktadır. Dolayısıyla, farklı kesit ve malzeme özelliklerine sahip her bir elemanda kesit tesiri-şekil değiştirme ilişkileri farklı olmaktadır. Bu durum, sonuçta, yapının enerji sünekliğini etkilemektedir. Çünkü, enerji sünekliği, yapı sünekliği yani deplasman sünekliği (P-d) ile eleman sünekliği, yani dönme sünekliğinin (M- $\theta$ ) toplamı olarak ifade edilmektedir. Eleman düktilitesi ise kesit düktilitesi yani eğrilik sünekliği (M- $\chi$ ) ile malzeme sünekliği yani deformasyon sünekliği (F- $\epsilon$ ) toplamı olarak ifade edilmektedir



Şekil 2.11 Sınır dayanım

Bir çelik yapı elemanının sünekliğini etkileyen temel faktörler, eleman kesit tipi, üretim biçimi, yerel burkulma tipi, çelik malzeme özellikleri, geometrik ve mekanik kusurlar, yükleme tipi, eleman davranış tipi (çekme çubuğu, basınç çubuğu, kiriş ve kolon gibi), çoklu burulma modu etkileşimi, moment diyagramı değişimi. Ayrıca, sismik etki süresince aksel kuvvet ve momentlerdeki büyük değişimler, aksel kuvvetin bulunup bulunmaması, düğüm noktalarının etkisi, döşeme ile etkileşim, deprem tipi ( yakın ve uzak alan depremleri vb.) plastik mafsalların şekillerinin değişimleri de sünekliği etkileyen diğer faktörlerdir.

Bir yapı, deprem etkisine maruz kaldığı zaman, depremin yapıya uygulamış olduğu enerji ve yapının bu enerjiye karşı enerjisi, yapının deprem etkisi altında davranışını belirler. Diğer bir ifadeyle, depremin binaya uyguladığı enerji ile yapının kinetik enerjisi, geri dönen elastik şekil değiştirme enerjisi, viskoz sönüm enerjisi ve geri dönmeyen (tüketilen) histerik enerji arasındaki denge, yapının deprem etkisi altında davranışını belirler. Eğer, yapının sönüm enerjisi, depremin yapıya kazandırmış olduğu enerjiden büyükse, bu enerji sönümle dengelenir. Sönüm enerjisinin, depremin uygulamış olduğu enerjiden küçük olması halinde ise, sönüm enerjisi ile depremin uygulamış olduğu enerji arasındaki fark, histerik enerji ile dengelenir. Bu fark yapının sünekliğini tanımlar. Bu nedenle süneklik, plastik deformasyonlar sayesinde tüketilen enerjiyi ifade eder ve yapının deprem etkisine karşı koyabilme kabiliyetinin belirlenmesinde, yani, performansının değerlendirilmesinde rijitlik ve dayanım ile birlikte kullanılan üç temel kavramdan biridir. Depreme



dayanıklı yapı tasarımında, yapının plastik deformasyonlarla harcanan histerik enerji kabiliyetinin yüksek olması, yani, yapının sünekliğinin yüksek olması beklenirken, bu arada dayanım ve rijitliğin azalması istenmez. Fakat yapının plastik davranışı, oluşan plastik deformasyondan sonra yeniden dağıtılan kesit tesirlerine bağlı olduğu için tahmin edilen göçme yüküne erişmek plastikleşen kesitlerdeki plastik mafsalların konumu ile alakalı olmaktadır. Bu nedenle, plastik mafsalın davranışı ve konumu süneklik miktarını ve dayanımı etkilemektedir. Halbuki plastik analizde istenen, dayanımda azalma olmaksızın büyük dönmelerin olabilmesidir. Fakat elemanlarda gevrek kırılma, yerel burkulma ve eğilmeli-burulmalı instabilite gibi nedenlerle büyük plastik dönmelere ulaşamaz. Bu nedenle yapı tasarımında, kesitler, plastik dönme kabiliyetine göre sınıflandırılmaktadır.

Bir çelik yapı elemanının sünekliğini etkileyen temel faktörler şunlardır:

Eleman kesit tipi,

Üretim biçimi,

Yerel burkulma tipi,

Çelik malzeme özellikleri,

Geometrik ve mekanik kusurlar,

Yükleme tipi,

Eleman davranış tipi (çekme çubuğu, basınç çubuğu, kiriş ve kolon gibi),

Çoklu burulma modu etkileşimi,

Moment diyagramı değişimi,

Sismik etki süresince aksenal kuvvet ve momentlerdeki büyük değişimler,

aksenal kuvvetin bulunup bulunmaması,

Düğüm noktalarının etkisi,

Döşeme ile etkileşim,

Deprem tipi ( yakın ve uzak alan depremleri vb.)

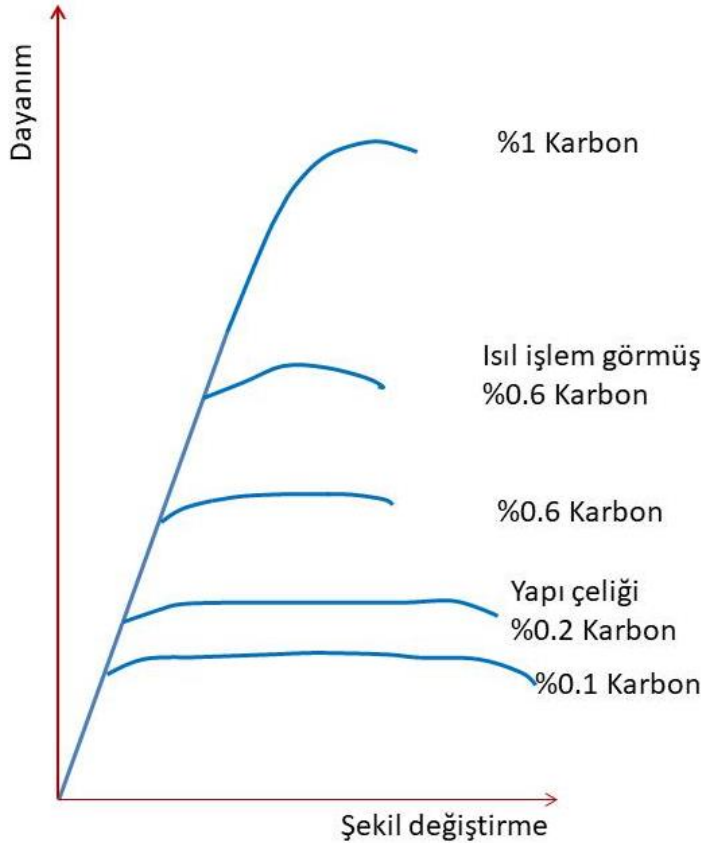
Plastik mafsalların şekillerinin değişimleri.

Bu nedenle, yapı elemanlarının malzeme ve kesit özellikleri ile yapı geometrisi ve ağırlık yükleri deprem etkisinde yapı davranışını etkileyen faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında iki süneklik limit tipi tanımlanmaktadır. Bunlar, yapının hali hazırdaki mevcut sünekliği ile yapıya gelen deprem etkisinin öngördüğü gerekli sünekliktir. Mevcut süneklik, yapı davranışı ve yapı elemanlarında oluşan plastikleşmelerden dolayı dayanım ve

rijitlikteki düşüş, ağırlık yükleri, kesit tipi, malzeme özellikleri ile uyum göz önüne alınarak çıkarılır. Gerekli süneklik ise, deprem etkisi ve bunu etkileyen yer hareketi tipi, genliği, zemin etkisi, yer hareketi periyodu ile yapı doğal periyodu değişimi ve deprem tekrar sayısı göz önüne alınarak çıkarılır. Mevcut süneklik ile gerekli sünekliğin karşılaştırılması, yapının performansının değerlendirilmesinde büyük önem taşır. Çünkü süneklik kavramı, konvansiyonel yükler altında dizayn edilen bir yapının sınır kapasitesini tahmin etmemizi ve böylece şiddetli depremlerde yapıda bazı kontrollü hasarların üretilmesine izin vererek tasarımcıya, sismik tasarım kuvvetlerini azaltma imkanını sağlar.

## 2.7. ÇELİKTE KARBON ORANI DAYANIM İLİŞKİSİ



Şekil 2.12 Karbon oranı-dayanım ilişkisi

## 2.8. EŞDEĞER KARBON ORANI(CE)

Yapı çeliğinin kaynaklanabilme özelliği eşdeğer karbon oranına bağlı olarak değişir.

$$CE = C + (Cu + Ni)15 + (Cr + Mo + V)5 + (Mn + Si)6 \leq 0.5$$

Burada, Karbon (C), Bakır (Cu), Vanadyum (V), Nikel (Ni), Molibden (Mo), Krom (Cr), Manganez (Mn), Silicon (Si) çelik malzemenin içinde bulunan elementlerin yüzde olarak birim hacim ağırlık içindeki oransal değerlerini ifade eder.

Örnek:

$$C=0.25\%, Cr=0.15\%, Cu=0.25\%, Mn= 0.45\%, Mo=0.12\%, Ni=0.30\%, V=0.12\%, Si= 0.20\%$$

$$CE = 0.25\% + (0.25\% + 0.30\%)15 + (0.15\% + 0.12\% + 0.12\%)5 + (0.45\% + 0.20\%)6$$

$$CE = 0.47\% \leq 6$$

0.47% < 0.5% olduğu için çelik malzeme kaynaklanabilir bir malzemedir.

## 2.9 HİDROJEN GEVREKLİĞİ

Kaynak yapılırken, ısıdan etkilenen bölgelerin içine hidrojenin girmesi, kırılma riskini artırır. Kaynak sırasında oluşan erimiş metalin çevredeki hidrojeni absorbe etme eğilimi büyük olmasına rağmen, bu soğutmanın çoğu normal soğutma sırasında terk edilir. Bununla birlikte, eğer soğutma çok hızlı olursa, hidrojen gazı kaçmak için yeterli zamana sahip değildir ve mikro çatlakların oluşma riskiyle çelik içinde yüksek bir basınçta sıkışır. Bu sorunu azaltmak için düşük hidrojen elektrotları geliştirilmiştir. Ön ısıtma ile birleştirildiğinde, genellikle hidrojen gevrekleşmesini ortadan kaldırırlar. Bununla birlikte, hidrojenin en yaygın olarak su olan diğer kaynaklardan kaynaklanabileceği kabul edilmelidir. Bu nedenle, düşük hidrojen elektrotları kuru bir ortamda saklanmalıdır. Ön ısıtma aynı zamanda kaynak yapılmadan önce ana metalin yüzeyindeki nemi buharlaştırmak için de kullanışlıdır.

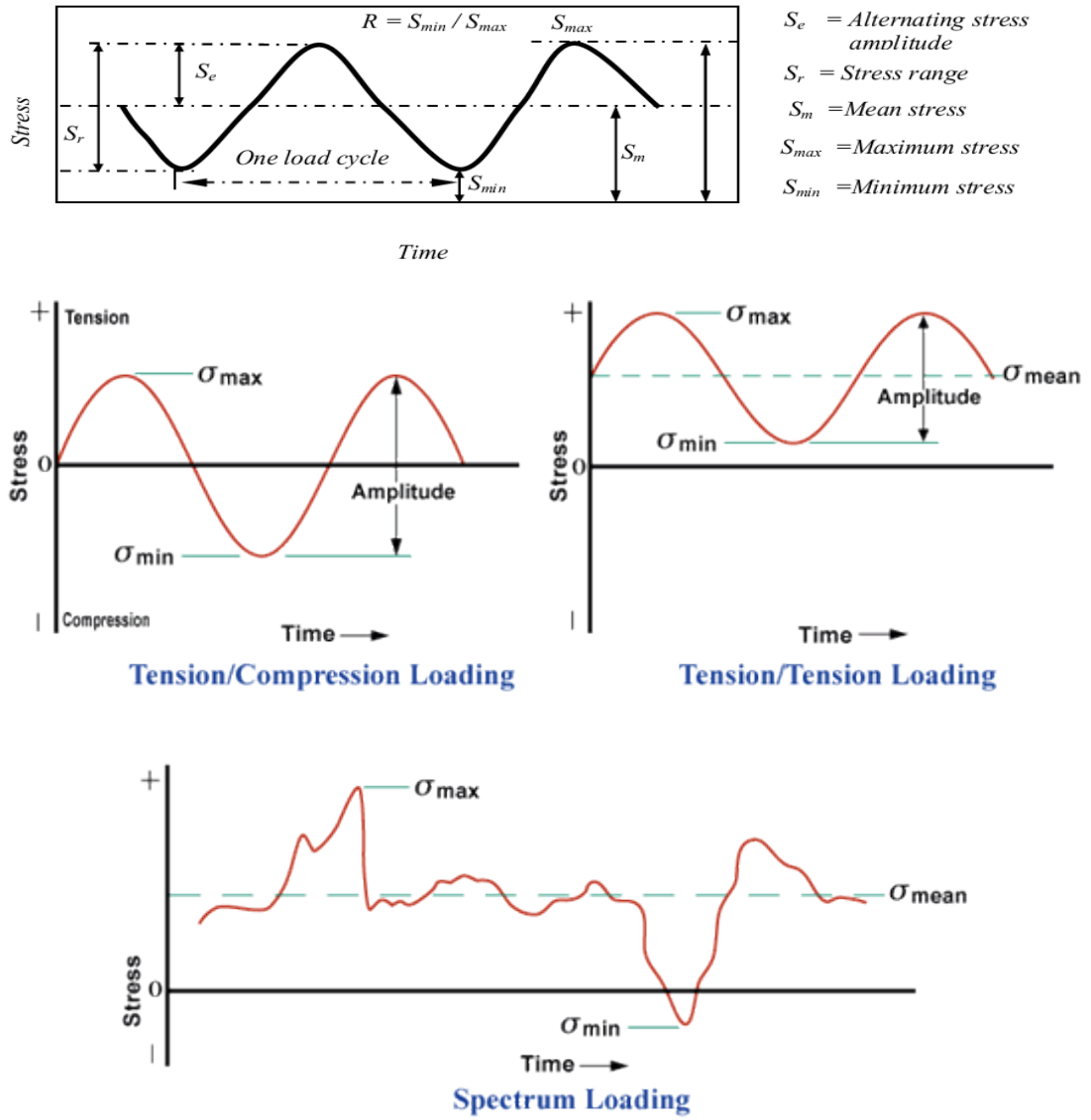
## 2.10 SERTLİK (HARDNESS)

Sertlik malzemenin yüzeydeki kalıcı deformasyona olan direncidir. Bir yük uygulandığında kalıcı olarak deforme (bükülmüş, kırık veya şekil değişikliği) direnme yeteneğini veren bir malzeme özelliğidir. Malzemenin bir yüzeyinin sertliği, malzemenin yüzeyine etki eden iç atomik kuvvetlerin doğrudan bir sonucudur. Sertlik, bir malzemenin temel bir özelliği değildir. Sertlik ölçümleri, malzemelerin kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertlik testleri hızlı ve kolaydır. Bu nedenle sertlik testleri tahribatsız testler olarak kabul edilir. Bir maddenin sertliğini belirlemek için kullanılan çok çeşitli yöntemler vardır. Aşağıda en yaygın yöntemlerden birkaçı verilmiştir.

**Mohs Sertlik Testi**, bir malzeme yüzeyinin bilinen veya tanımlanmış bir sertlik maddesi ile çizilip çizilmediğini gözlemlemeyi içerir. **Brinell Sertlik Testi**, günümüzde mühendislik malzemeleri üzerinde yaygın olarak kullanılan sertlik test yöntemlerinin en eskileri Brinell sertlik testidir. Brinell testi, metalların sertliğini belirlemek için sıklıkla kullanılır. Brinell testi, Rockwell veya Vickers testlerine göre, bu malzemelerin tanecik yapısından daha az etkilenen oldukça geniş bir alan üzerinde bir ölçüm sağlar. **Rockwell Sertlik Testi** aynı zamanda belirli bir yükü uygulamak için bir makine kullanır ve daha sonra ortaya çıkan izlenimin derinliğini ölçer. Rockwell Yüzey Sertliği Test Cihazı, ince malzemeleri, hafif karbonlanmış çelik yüzeyleri veya normal test koşullarında bükülecek veya ezilebilecek parçaları test etmek için kullanılır. Diğer sertlik testleri ise şunlardır; **Vickers Knoop mikro-sertliği testleri, Skleroskop ve Rebound sertlik testleri, Durometer sertlik testi, Barcol sertlik testi.**

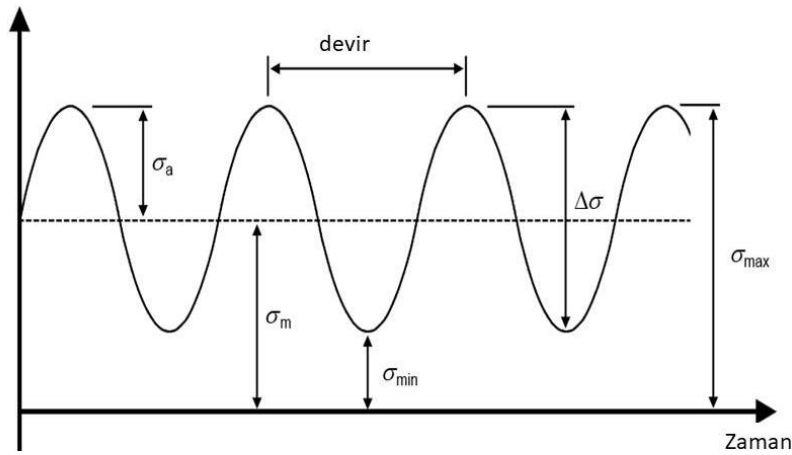
## 2.11 YORULMA(FATIGUE)

Eğer bir çelik yapı elemanı veya birleşimi tekrarlı olarak değişen yükler etkisinde kalırsa eleman veya birleşimin akma sınırı gerilmesini çok altında olmasına rağmen belirli yük tekrarından sonra yük taşıma kapasitesini kaybedebilir. Bazı mekanik veya metalürjik süreksizlik noktalarında bir çatlak başlayabilir ve bu çatlak malzeme içinde ardışık gerilme tekrarlarıyla birlikte yayılarak elemanın yük taşıma kapasitesini tamamen kaybetmesine neden olur. Bu olaya yorulma adı verilir. (TÇY 2016 - EK 2)



Şekil 2.13 yorulma çatlak başlatabilecek bazı yüklenme tipleri

Gerilme



Şekil 2.14 Yorulmada Değişik Parametreler

 $\sigma_m$ =Ortalama gerilme

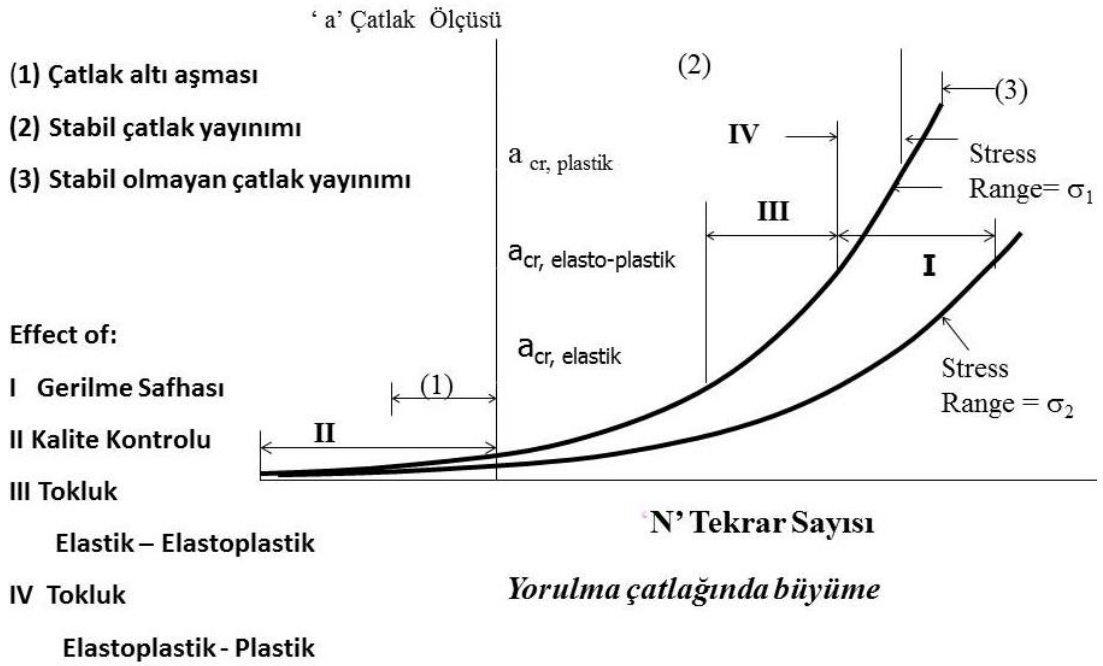
Tekrarlı gerilme aralığı,  $\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

Tekrarlı gerilme genliği,  $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$

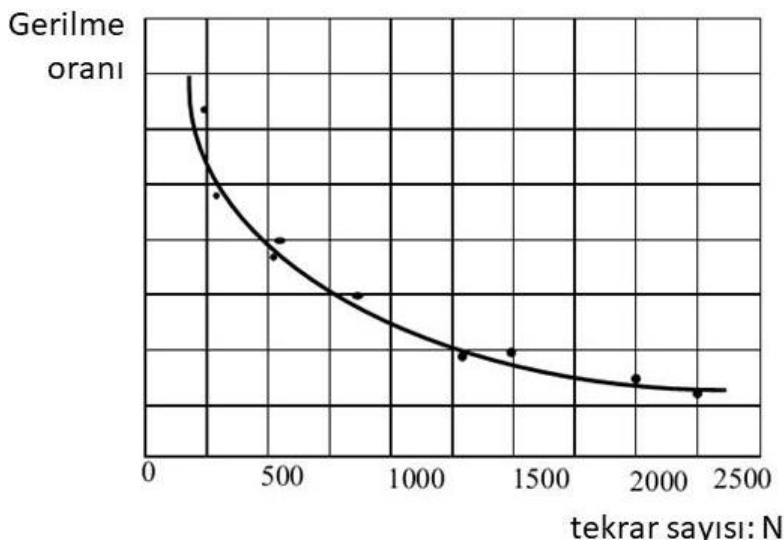
Ortalama gerilme,  $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$

Gerilme oranı,  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$

$\sigma_{\max}$ =Max. Gerilme,  $\sigma_{\min}$ =Min. Gerilme,  $\Delta\sigma$ =Gerilme alanı



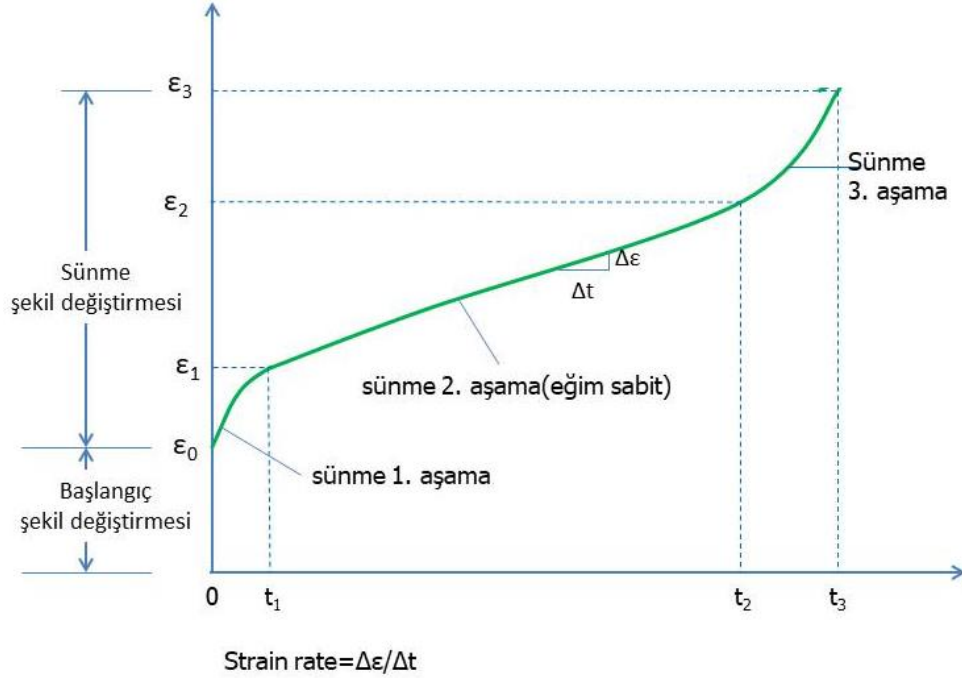
Şekil 2.15 Yorulmada çatlakın büyümesi



Şekil 2.16 Şematik S-N(Wohler Eğrisi)

## 2.12 SÜNME(CREEP)

Sünme, malzemenin sabit bir yük altında zamana bağlı bir deformasyondur. Çoğu zaman yüksek sıcaklıkta ortaya çıkar, ancak bazı malzemeler oda sıcaklığında da süner. Sünme ile meydana gelen deformasyonlar sınır değerleri aşmamalıdır. Özellikle plastik deformasyonlar oluşmaya başlarsa bu süreç kırılma ile sonlanacaktır. Uygulamada, sünme, genellikle değişen yükleme ve sıcaklık koşullarından etkilenir ve olası stres-sıcaklık-zaman kombinasyonlarının sayısı sonsuzdur. Çoğu malzeme sünmeye maruz kalsa da, sünme mekanizmaları genellikle metaller, plastikler, lastikler, betonlar arasında farklıdır. Şekil 2.17 görüldüğü gibi, sünme, genellikle üç aşamada gerçekleşir. İlk aşamada, gerilme nispeten hızlı bir oranda gerçekleşir, ancak oran, ikinci aşamada yaklaşık olarak sabit hale gelene kadar kademeli olarak azalır. Bu sabit sünme hızı, test sırasında en yavaş sünme oranı olduğu için minimum sünme oranı veya sabit-durum sünme oranı olarak adlandırılır. Üçüncü aşamada, gerilim oluşana kadar gerilme oranı artar.



Şekil 2.17 Tipik Sünme Davranışı

### 2.13 TOKLUK (TOUGHNESS)

Bir metalin plastik olarak deforme olması ve kırılmadan önceki işlemde enerjinin emilmesi yeteneği tokluk olarak adlandırılır. Bu tanımın vurgusu, kırılmadan önce enerjiyi emme kabiliyetine yerleştirilmelidir. Sünekliğin, bir şeyin kırılmadan önce plastik olarak ne kadar deforme olduğunu bir ölçüsü olduğunu hatırlayın, ama bir malzemenin sünek olması zor olduğu için sert değildir. Dayanıklılığın anahtarı güç ve sünekliğin iyi bir kombinasyonudur. Yüksek mukavemete ve yüksek sünekliğe sahip bir malzeme, düşük mukavemet ve yüksek sünekliğe sahip bir malzemeden daha fazla tokluğa sahip olacaktır. Bu nedenle, sertliği ölçmenin bir yolu, gerilme testi eğrisinin altındaki alanı bir gerilme testinden hesaplamaktır. Bu değer basitçe "malzeme sertliği" olarak adlandırılır ve hacim başına enerji birimine sahiptir. Malzeme sertliği, malzemenin yavaş bir şekilde enerji emilimine eşittir. Bir malzemenin tokluğu üzerinde derin bir etkisi olan çeşitli değişkenler vardır. Bu değişkenler: Şekil değiştirme oranı (strain rate= $\Delta\epsilon/\Delta t$ ), sıcaklık, çentik etkisidir.

#### **Darbe Tokluğu (Impact Toughness):**

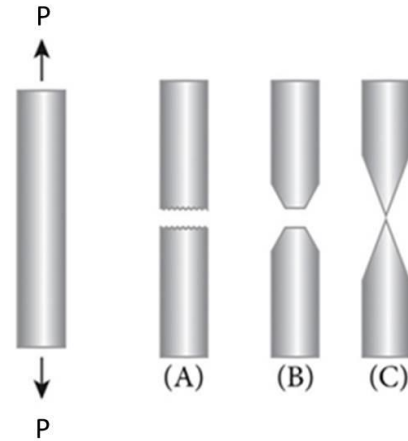
Darbe tokluğu, bir malzemenin dinamik yük altında kırılmaya karşı direncidir. Bir malzemenin dayanıklılığını ve gücünü hesaba katan karmaşık bir özelliktir. S.I. birimlerinde darbe mukavemeti, m<sup>2</sup> başına Mega Newton olarak (MN / m<sup>2</sup>) ifade edilir.

**Kırılma tokluğu(Fracture Toughness):**

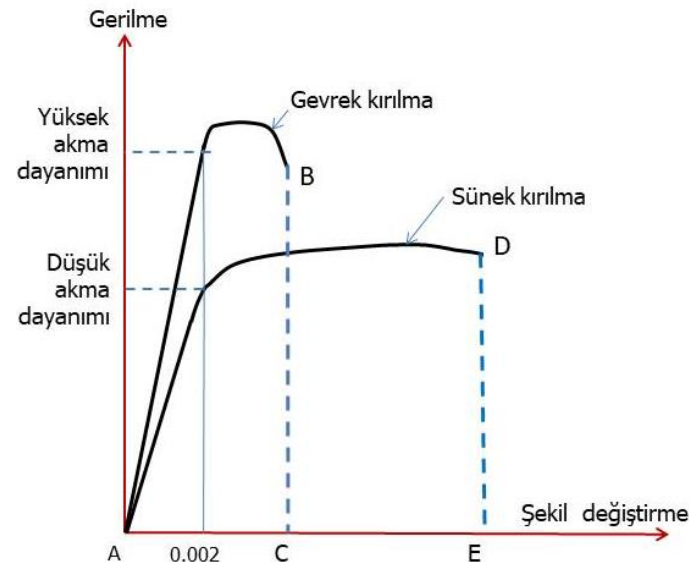
Kırılma tokluğu, önceden var olan bir kusurun yayılması için gerekli olan gerilme miktarının bir göstergesidir. Bir malzeme / bileşenin işlenmesi, üretimi veya hizmetinde kusurların ortaya çıkması tamamen önlenemediği için çok önemli bir malzeme özelliğidir.

**Çentik-Tokluğu(Notch-Toughness):**

Çentik tokluğu, bir malzemenin bir kusurun varlığında enerjiyi emmesi için sahip olduğu yeteneğidir. Daha önce de belirtildiği gibi, bir çentik veya çatlak gibi bir kusurun varlığında, bir malzeme muhtemelen daha düşük bir sertlik derecesi sergileyecektir. Bir malzemede bir kusur olduğunda, kusur sonucunda yükleme kaynaklı üç eksenli gerilme durumu ortaya çıkar. Malzemede çatlak ucunun yakınındaki bölgede akma gerilmesi aşıldığında plastik şekil değiştirmeler gelişir. Bununla birlikte, plastik deformasyon miktarı, malzemeyi saran elastik kısım tarafından sınırlandırılmaktadır.

**Sünek(ductile) kırılma:**

Şekil 2.18 Kırılma türleri: A= Gevrek kırılma B=Sünek kırılma C=Tam sünek kırılma



Şekil 2.19 Gevrek ve sünek kırılma

**2.14 ÇELİĞİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ**

Çelik homojen ve izotrop bir malzemedir. Mekanik özellikleri herhangi doğrultu boyunca değişmez. Çeliğin elastiklik modülü diğer malzemelere oranla çok yüksektir. Dolayısıyla mukavemeti yüksek

olduğundan yapıda kullanılan çelik hacmi küçülür: Çelik yapılar göreceli olarak hafiftir. Burkulmasız durumda çeliğin çekme mukavemeti, basınç mukavemetine eşittir. Sünek bir malzemedir. Büyük şekil değiştirme yapabilir, plastik hesaba uygundur, deprem yükleri ve zemin oturmalarını karşılamak açısından uygun değer çözümler sunar. Çelik taşıyıcı elemanlar, büyük ölçüde atölyelerde hazırlanır. Şantiyede yalnız montaj işleri yapılır. Bu bakımdan inşa süresi kısadır, ayrıca hava koşullarından neredeyse bağımsızdır. Çelik yapılarda takviye ve taşıyıcı elemanların değiştirilmesi nispeten kolaydır. Çelik yapılar sökülüp yeniden kullanılabilir. Montaj tamamlandığı anda tam yükte çalışırlar, beklemek gerekmemektedir. Uygun planlama ile az iskele kullanarak inşaat yapmak mümkündür.

## 2.15 ÇELİĞİN SAKINCALI ÖZELLİKLERİ

Yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte, yüksek sıcaklık derecelerinde mukavemetinde hızlı bir düşüş olur. Ayrıca ısıyı iyi iletmediğinden mukavemet düşüşü hızlı gerçekleşir. 6000C' dan sonra kullanılamaz hale gelir. Yangına karşı tedbirler alınması gereklidir. (Yüzeyi iletken olmayan bir elemanla kaplanırsa veya yanmaz boyalarla boyanırsa dayanıklılığı artar, vb.) . Paslanmaya karşı dayanıksızdır. Sürekli bakım gerektirir. Boyama, betona gömme, korozyona dayanıklı özel alaşımlı çelik kullanma, vb. alınacak tedbirlerdendir. Asit, baz ve tuza karşı dayanıksızdır. Ses ve ısıyı iyi iletir, dolayısıyla yalıtım gerektirebilir.

Çelik yüksek mukavemetli bir malzeme olduğundan seçilen kesitler narindir. Burkulma yerel burkulma gibi olası stabilite problemleri hesaplar sırasında dikkate alınır. Ayrıca narinliğin derecesine bağlı olarak elemanların basınç taşıma gücü çekmeye oranla bir miktar daha küçüktür. Yukarıda anılan tüm sakıncalı özelliklere karşı alınan tedbirler maliyeti artırır.

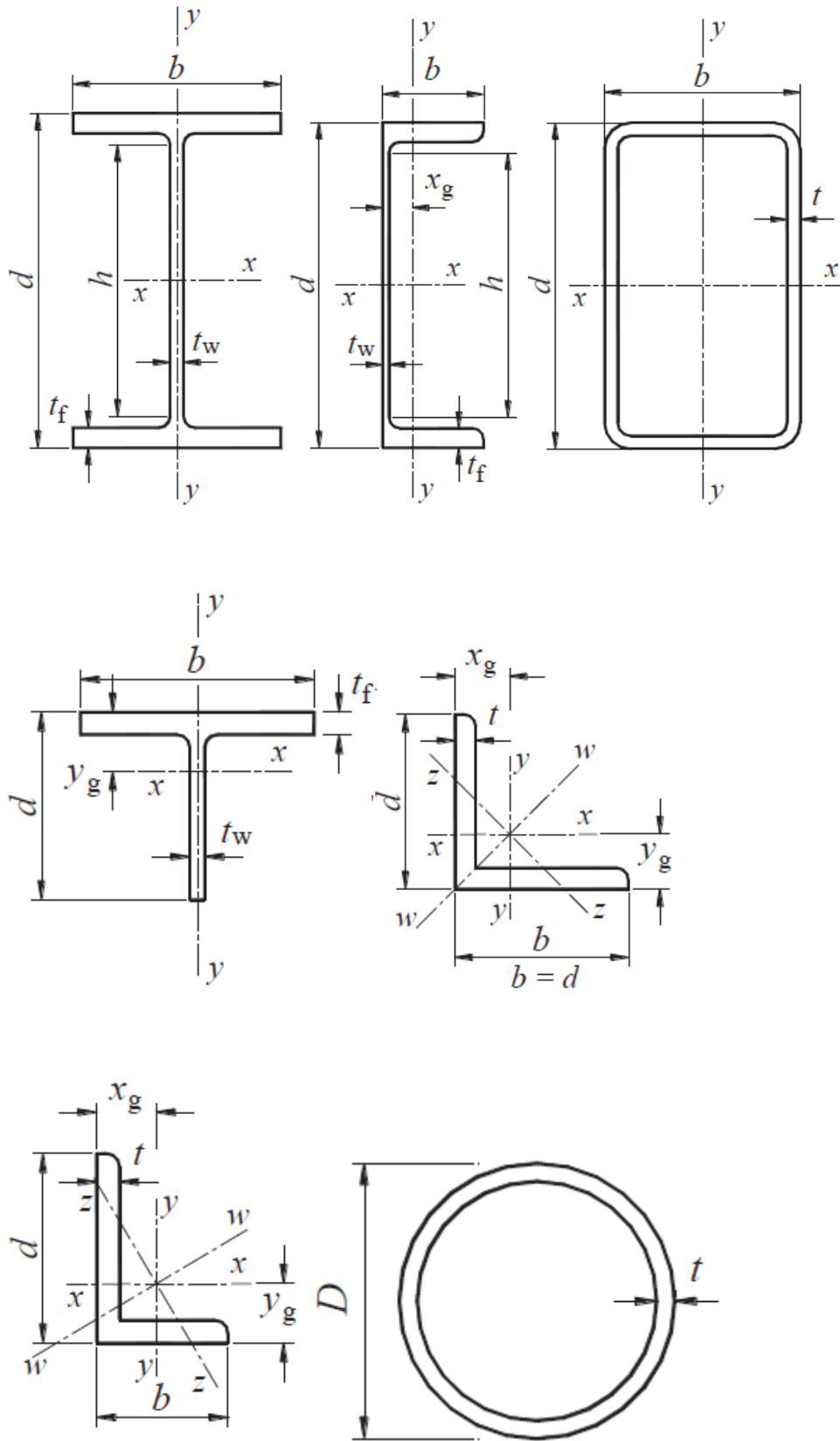


## 2.16 STANDART ÇELİK ÜRÜNLER



Şekil 2.16 Standart Çelik Ürünler

## 2.17 ÇELİK PROFİLLERDE BOYUTLAR



Şekil 2.17 Standart Çelik Ürünlerde boyutlar