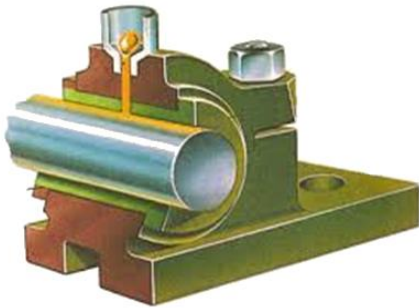
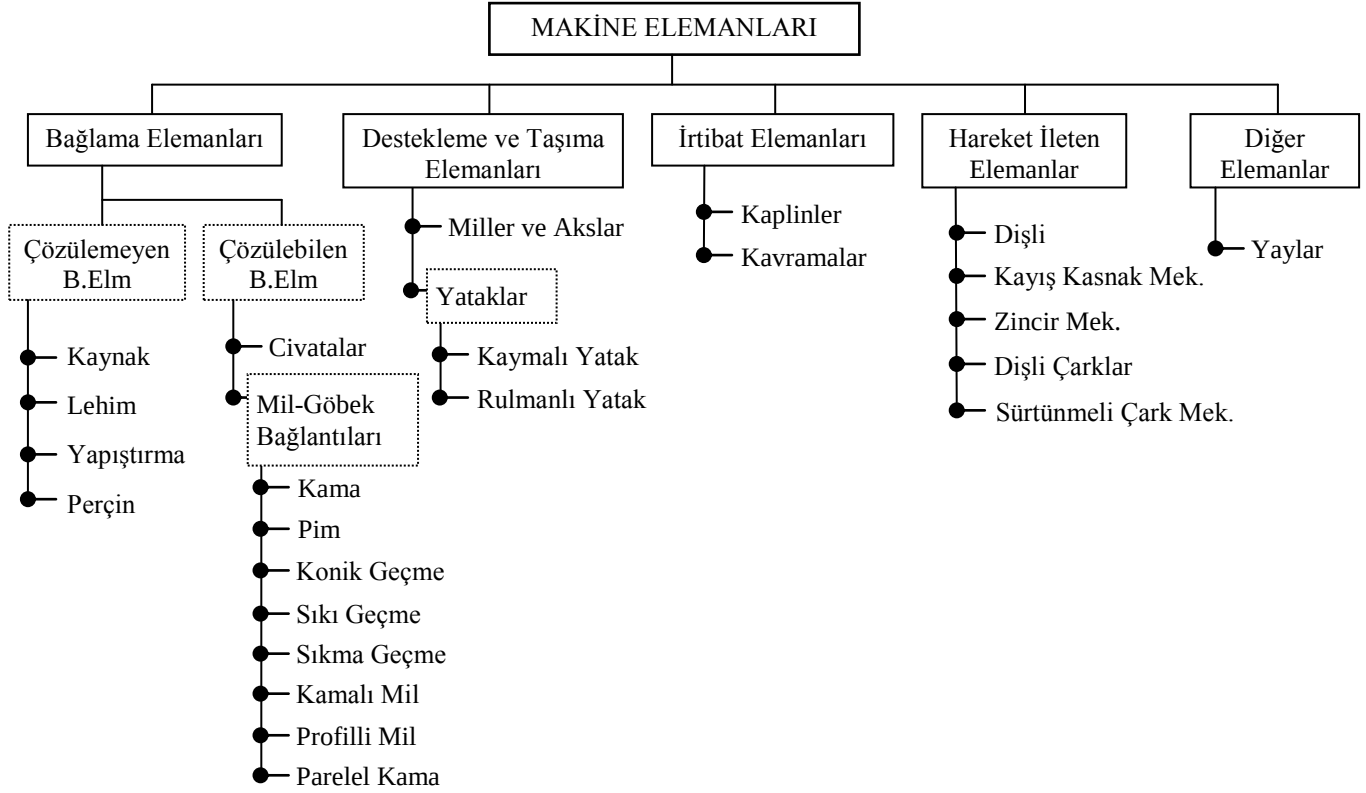


MAKİNE ELEMANLARI - (1.Hafta)

TEMEL KAVRAMLAR

Makine Elemanları

Makine elemanları gerçek hayatta kullanılan daha çok piyasada standart üretimleri bulunan makineler ile ilgili elemanların tasarımı, hesaplaması, seçimi ve konstrüktif çizimleri üzerine inceleme yapar. Bu açıdan temel makine mühendisliği derslerinden sonra (statik, dinamik, mukavemet vs) işlenmesi gereken bir derstir. Çoğunlukla iki ders halinde incelenen konular aşağıdaki gibi gruplandırılabilir. Bazı elemanların resmi ise şekilde verilmiştir.



Kaymalı Yatak



Rulmanlı Yatak



Perçin



Kayış-Kasnak



Pim



Kaplin



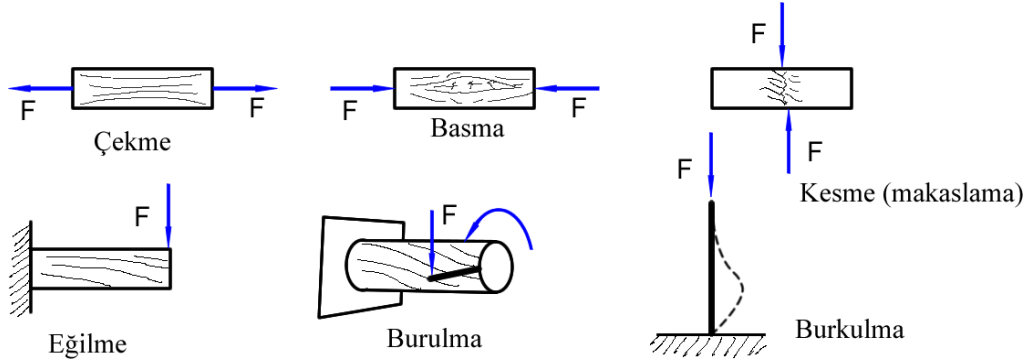
Kavramalar

Yük ve Zorlanma Tipleri

Yük Tipleri: Bir makine elemanının karşılaşılabileceği yük tipi 3 çeşittir.

- Statik yükler
- Dinamik (değişken) yükler
- Yük şoku

Zorlanma Tipleri: Bir makina elemanı 6 tip değişik zorlanma türüne veya bunların bir yada birkaçına birden maruz kalabilir. Zorlanma tipleri şunlardır.

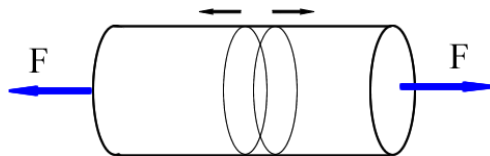


Gerilme Türleri

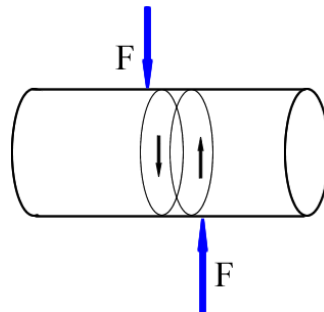
Dış kuvvetlerin ve momentlerin etkisi altındaki elemanın herhangi bir kesitinde, tepki olarak iç kuvvetler meydana gelir. Birim alana gelen iç kuvvetlere gerilme adı verilir. Gerilme malzemenin içinde bulunan zorlanmayı gösteren bir büyüklüktür. Gerilme kuvvetin, alana bölünmesi ile bulunur ve buna göre birimi ($N/m^2 = \text{Pascal}$) dır. Yani basınç birimi ile aynıdır. Basınç katı malzemenin dışında oluşan bir zorlanma iken, gerilme ise malzemenin içinde oluşmaktadır.

I. Temel Gerilmeler: Temelde gerilmeler iki farklı tiptedir. Bunlar “Normal Gerilme” ve “Kayma Gerilmesi” dir. Malzeme içindeki moleküllerin hareketleri ve zorlanma şekillerine göre bu şekilde ayrılmıştır.

- Normal Gerilme (σ):** Parça çekme, basma, eğilme gibi yüklenme durumlarına maruz kaldığında ortaya çıkar. Parça üzerindeki kesit düzlemleri birbirinden uzaklaşmaya yada yaklaşmaya çalışır.

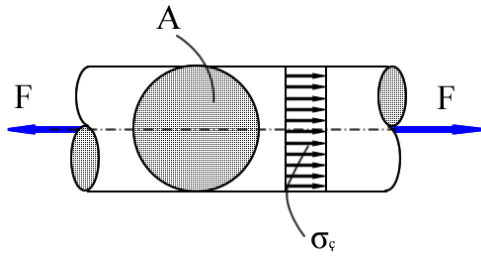


- Kayma Gerilmesi (τ):** Parça, kesmeye, burulmaya maruz kaldığında ortaya çıkar. Parça üzerindeki kesit yüzeyleri birbirini üzerinde kaymaya çalışır.



II. Basit Gerilmeler: Elemanın kesitinde çekme, basma, eğilme, burulma, kesme hallerinden yalnız biri varsa basit gerilme hali söz konusudur. Yüklenme durumlarına bağlı olarak malzeme içinde Normal yada Kayma temel gerilmelerinden yalnız biri meydana gelecektir. Hesaplamaları da aşağıdaki şekildedir.

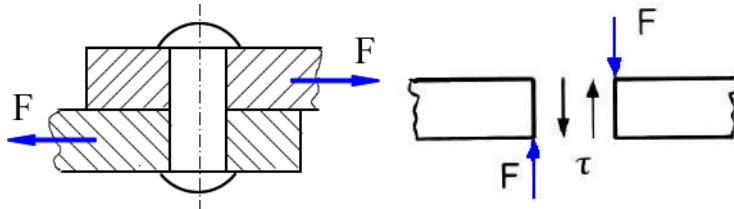
- Çekme (σ_c) yada Basma (σ_b) Gerilmesi:** Bir malzemeyi iki ucundan çektiğimizde yada sıkıştırdığımızda içerisinde normal gerilme oluşur. Çekme varsa Çekme Gerilmesi (σ_c) olarak, basma varsa Basma Gerilmesi (σ_b) olarak adlandırılır.



$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{F}{A} \quad \sigma_b = -\frac{F}{A}$$

*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan σ_{max} Emniyet gerilmesi (σ_{em}) ile karşılaştırılır.

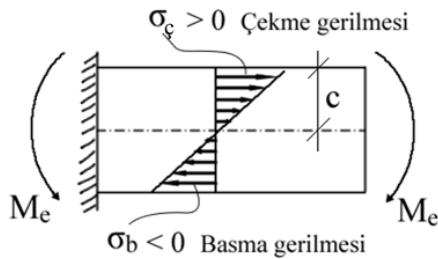
- b) Kesme Gerilmesi (τ_k): Bir parça kuvvet tarafından kesmeye maruz kalıyorsa, kesme yüzeyinde Kayma Gerilmesi meydana gelir.



$$\tau_k = \frac{F}{A}$$

*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan τ_{max} Emniyet gerilmesi (τ_{em}) ile karşılaştırılır.

- c) Eğilme Gerilmesi (σ_e): Parça eğilme momentine maruz kalıyorsa Eğilme gerilmesi olarak adlandırılan Normal Gerilme oluşur. Normal gerilmenin tipi ise şekilde gösterilen parça için üst kısımlarda çekme şeklinde, alt kısımda ise basma şeklinde olacaktır.



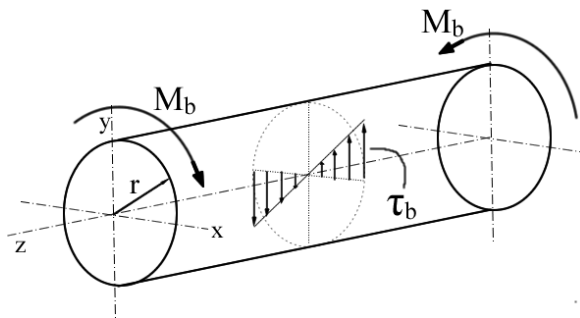
$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{M_e}{\frac{I_x}{c}}$$

M_e : Eğilme momenti [Nm]

W_e : Eğilme direnç momenti (hesabı aşağıda).

*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan σ_{max} Emniyet gerilmesi (σ_{em}) ile karşılaştırılır.

- d) Burulma Gerilmesi (σ_b): Bir mil döndürmeye zorlanırken, malzeme içerisinde Kayma Gerilmeleri meydana gelir. Hesaplaması aşağıdaki şekildedir.



$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{\frac{I_b}{r}}$$

$$M_b = 9550 \frac{P}{n}$$

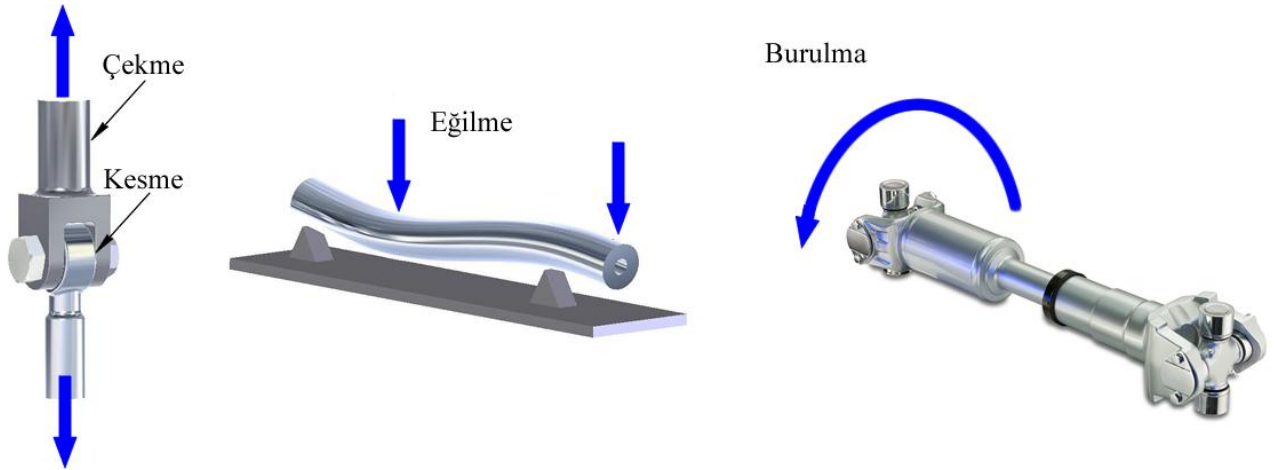
M_b : Burulma momenti [Nm]

W_b : Burulma direnç momenti (hesabı aşağıda)

P: Motor gücü (kW)

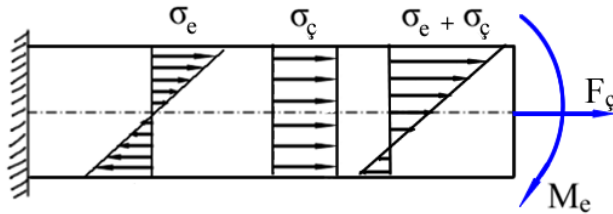
n: Motor devri (d/d)

*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan τ_{max} Emniyet gerilmesi (τ_{em}) ile karşılaştırılır.



III. Bileşik Gerilmeler: Elemanın kesitinde yukarıda sayılan Basit Gerilme hallerinden bir kaçını bir arada ise Bileşik Gerilme durumu ortaya çıkar. Bileşik gerilmelerde iki şekilde değerlendirilebilir.

- a) **Aynı Tipte Birden Fazla Normal yada Kayma Gerilmesi Birlikte Bulunuyorsa:** Parça üzerinde Normal gerilmelerden bir kaçını bir arada ise, yada Kayma gerilmesinden bir kaçını bir arada olursa bu durumda bu gerilmeler aynı tip olduğu için direk toplanır ve bileşik gerilme (σ_B , τ_B) bulunur. Örneğin bir parça hem çekmeye, hemde eğilmeye maruz kalıyorsa iki tane farklı Normal gerilme meydana gelir.



Eğilme ve Çekme birarada var ise;

$$\sigma_B = \sigma_e + \sigma_\phi$$

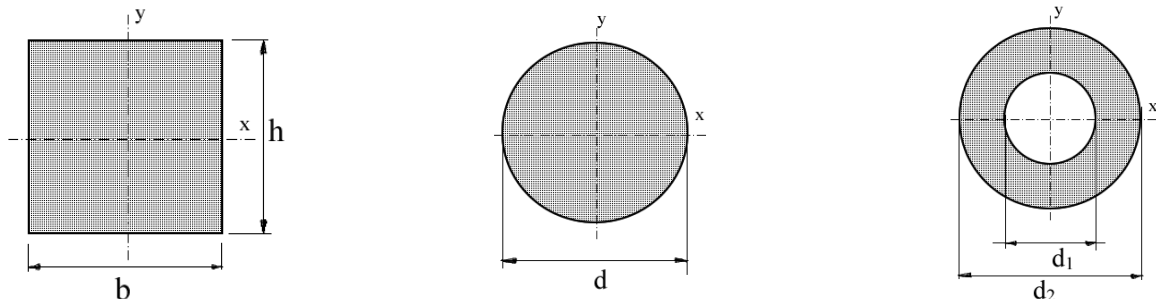
*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan σ_{max} yada τ_{max} Emniyet gerilmesi (σ_{em}, τ_{em}) ile karşılaştırılır.

- b) **Farklı Tiplerdeki Normal ve Kayma Gerilmeleri Birlikte Bulunuyorsa (Eşdeğer Gerilme):** Parça üzerinde hem Normal gerilme hemde Kayma gerilmesi birlikte oluşuyorsa bu iki gerilme değeri cebirsel ifadelerle toplanıp tek bir gerilme değerine toplanamaz. Bu nedenle parça üzerindeki farklı gerilmeleri tek bir gerilmeye indirgeyebilmek için hipotezler geliştirilmiştir. Bu hipotezlerden elde edilen sonuçlar kesin sonuçlar olmayıp belli bir doğrulukla, mevcut gerilmelerin yerini tutabilecek geliştirilmiş formüllerdir. Dolayısı ile mevcut gerilmelerin yerini direk olarak tutmadığı için Bileşik Gerilme ifadesi yerine Eşdeğer Gerilme ifadesinin kullanılması doğrudur. Eşdeğer gerilmeleri bize veren Kırılma Hipotezleri detaylı bir konu olduğu için aşağıda başka bir başlık altında incelenmiştir. Tasarımlarımızı yaparken bulunan Eşdeğer gerilmeler daima Emniyet Gerilmesinden aşağıda alınmalıdır.

$$\sigma_{eş} \leq \sigma_{em}$$

Atalet Momenti (I_x, I_y) ve Polar Atalet Momenti (I_p) ve Direnç Momentleri (W_e, W_b)

Yukarıdaki formüllerde parçanın kesit şeklinin oluşan gerilmeye etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Aynı ağırlığa ve aynı boya sahip parçaların kesitleri farklı ise bunların taşıyacağı yüklerde kesit şekli önemli bir rol oynar. Örneğin aynı ağırlıkta ve aynı boyda olmak üzere daire, kare ve I profili şeklindeki kesitlerden, I profili eğilme durumunda çok daha fazla yük taşır. Bu nedenle parçanın kesitinin şeklini temsil eden atalet momentleri ne kadar büyük olursa, parça içerisinde oluşan gerilmeler de o kadar küçük olacaktır.



$$I_x = \frac{b h^3}{12}$$

$$W_e = \frac{I_x}{\frac{h}{2}} = \frac{b h^3}{6}$$

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$W_e = \frac{I_x}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$I_p = I_x + I_y = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$W_b = \frac{I_p}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$I_x = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

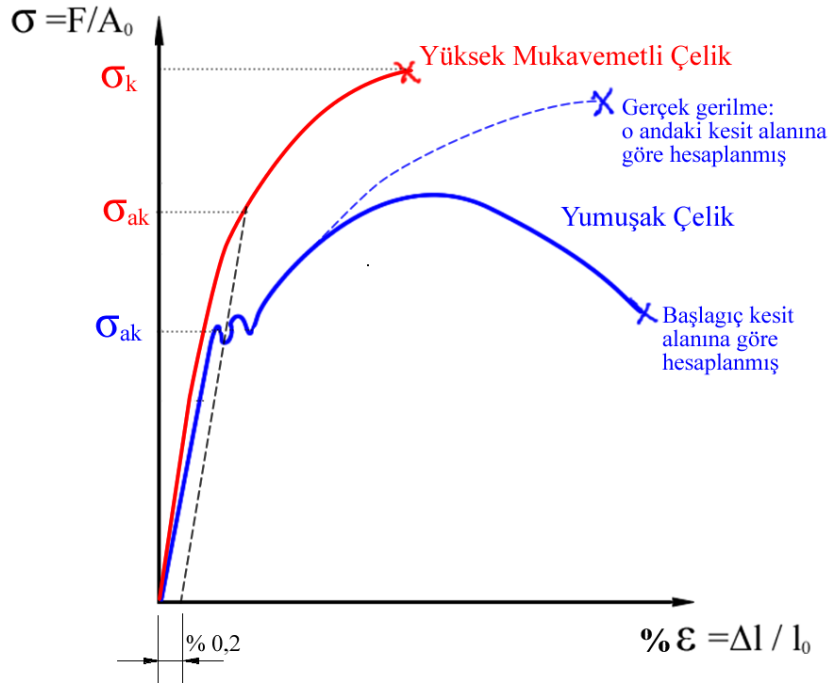
$$W_e = \frac{\pi}{32} \left(\frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right)$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4)$$

$$W_b = \frac{\pi}{16} \left(\frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right)$$

Çekme Deneyi, Akma ve Kopma Gerilmeleri

Metal malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için deney numuneleri üzerinde çekme deneyi yapılır. Yumuşak bir çelik malzeme gittikçe artan bir kuvvet uygulanırsa, malzemenin boyu kuvvetle doğru orantılı olarak lineer bir şekilde artar. Bunu grafikte görebiliriz. Belli bir yüke ulaştığı zaman grafik düzensiz davranış gösterir. Bu noktaya Akma Noktası denir. Yük artırmaya devam edilirse bir müddet sonra kopma gerçekleşir. Yüksek mukavemetli sert çeliklerde bu olay görülemez. Bu çeliklerde akma noktasını bulmak için şu işlem yapılır. grafiğin lineer gözüktüğü ilk kısma paralel olacak şekilde %0,2 boy uzama miktarının ilerisinden başlanarak bir çizgi çizilir.



Tasarım Kriteri Olarak Kullanılacak Gerilmeler

Maksimum Gerilme (σ_{mak}): Bir elemanın üzerinde, dış kuvvetlerin meydana getirdiği, hesaplamayla tespit edilen en büyük gerilmeye denir. Yukarıda bahsedilen basit gerilmelerin (malzeme üzerinde tek bir zorlanma varsa) ve bileşik gerilmelerden aynı tip olanların oluşturduğu en yüksek gerilme Maksimum gerilme olarak adlandırılır. Tasarımlarda bu gerilmenin emniyet gerilmesinden düşük yada eşit olması gerekir.

$$\sigma_{mak} \leq \sigma_{em}$$

Eşdeğer Gerilme ($\sigma_{eş}$): Bir elemanın üzerine çok değişik farklı yönlerde oluşan gerilmelerin yapacağı etkiyi tek başına yaptığı varsayılan teorik olarak hesaplanan gerilmeye denir. Kırılma hipotezleri ile bulunur. Eşdeğer gerilme daima emniyet gerilmesinden daha küçük yada eşit olmalıdır.

$$\sigma_{eş} \leq \sigma_{em}$$

Emniyet Gerilmesi (σ_{em}): Bir malzemenin mekanik özelliklerine, şekline, boyutlarına bağlı olarak deneysel belirlenmiş en yüksek gerilme sınırıdır. Emniyet gerilmesi içinde işletme koşulları da eklenmelidir (Yük taşıyan asansör ile, İnsan taşıyan asansörün emniyet gerilmesi aynı olmaz).

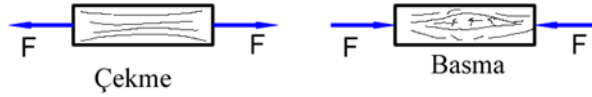
Eşdeğer Gerilmenin Belirlenmesi ($\sigma_{eş}$)

Eşdeğer gerilmeyi bulmak için Kırılma Hipotezleri kullanılır. Cisim üzerinde bulunan birçok farklı türdeki ve büyüklükteki gerilmenin hepsinin yerine geçecek tek bir gerilme bulunması bu hipotezler vasıtasıyla bulunur.

Kırılma Hipotezleri

- 1) **Maksimum Normal Gerilme Hipotezi:** Eğer eleman sadece çekme yada basmaya maruz kalıyorsa bu hipotez kullanılabilir. Çekme ve basma durumunda eleman üzerinde sadece normal gerilme meydana gelir. Malzemede oluşan maksimum normal gerilme eşdeğer gerilme olarak alınabilir.

$$\sigma_{eş} = \sigma_{max}$$



- 2) **Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi:** İki farklı şekilde değerlendirilebilir.

- a) Eğer eleman Kesmeye yada Eğilmeye maruz kalıyorsa aşağıdaki formül kullanılır.

$$\sigma_{eş} = 2 \tau_{max} = | \sigma_{max} - \sigma_{min} |$$

- b) Eğer eleman Çekme Eğilmeye ve Burulmaya birlikte maruz kalıyorsa aşağıdaki formül kullanılır.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \tau^2} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_e)^2 + 4 \tau_b^2}$$

- 3) **Maksimum Şekil Değiştirme Enerjisi Hipotezi:** Eleman üzerinde Çekme Eğilme ve Burulma birlikte var ise bu hipotez kullanılabilir. Hepsinin aynı anda bulunması zorunlu değildir. Genellikle tercih edilen bu hipotezdir. Soru çözümlerinde de bu hipotez kullanılacaktır.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2} = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_e)^2 + 3 \tau_b^2}$$

Emniyet Gerilmesinin Belirlenmesi (σ_{em})

Malzeme içerisinde hesaplamayla oluşan Eşdeğer gerilmenin çıkabileceği en yüksek Emniyet Gerilmesinin hesabı statik ve dinamik durumda farklıdır.

a) Yükleme Statik İse

Malzemeye çekme deneyi uygulanır. Akma sınırından daha düşük bir değer Emniyet Gerilmesi olarak alınır. Mevcut birçok gerilmenin yerine geçen Eşdeğer Gerilmelerde Emniyet gerilmesinden düşük olmalıdır.

$$\sigma_{eş} \leq \sigma_{em} < \sigma_{ak}$$



b) Yükleme Dinamik İse

Dinamik yükler altında Emniyet Gerilmesini belirlemek statikte olduğu gibi basit değildir. Malzemenin ömrünün kısalması herşeyden önce titreşimin Ortalamasına ve Genliğine bağlıdır. Bunun dışında Malzemenin Büyüklüğü, Yüzey Pürüzlülüğü,

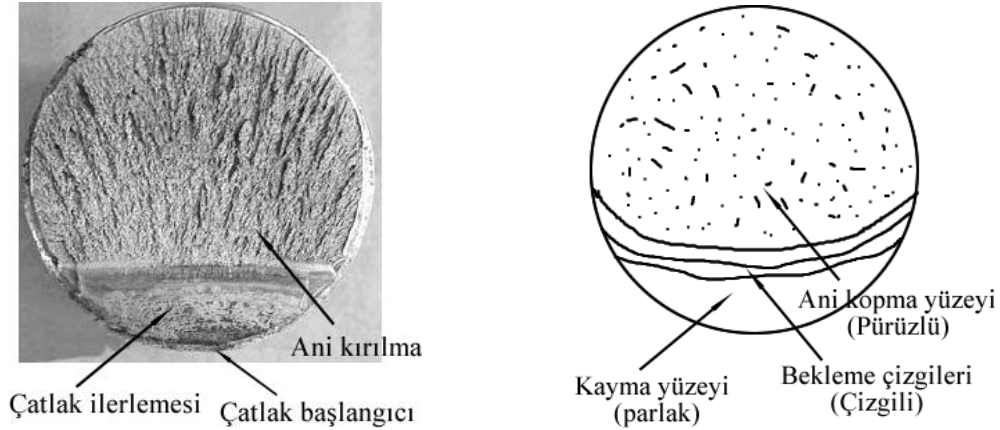
üzerindeki şekillerin Çentik Etkisi ömrünü kısaltan kısaltan unsurlardır. Bütün bu konular “Yorulma ve Sürekli Mukavemet Diyagramları” başlığı altında aşağıda ele alınacaktır.

Yorulma Kavramı ve Sürekli Mukavemet Diyagramları

Yorulma Kavramı

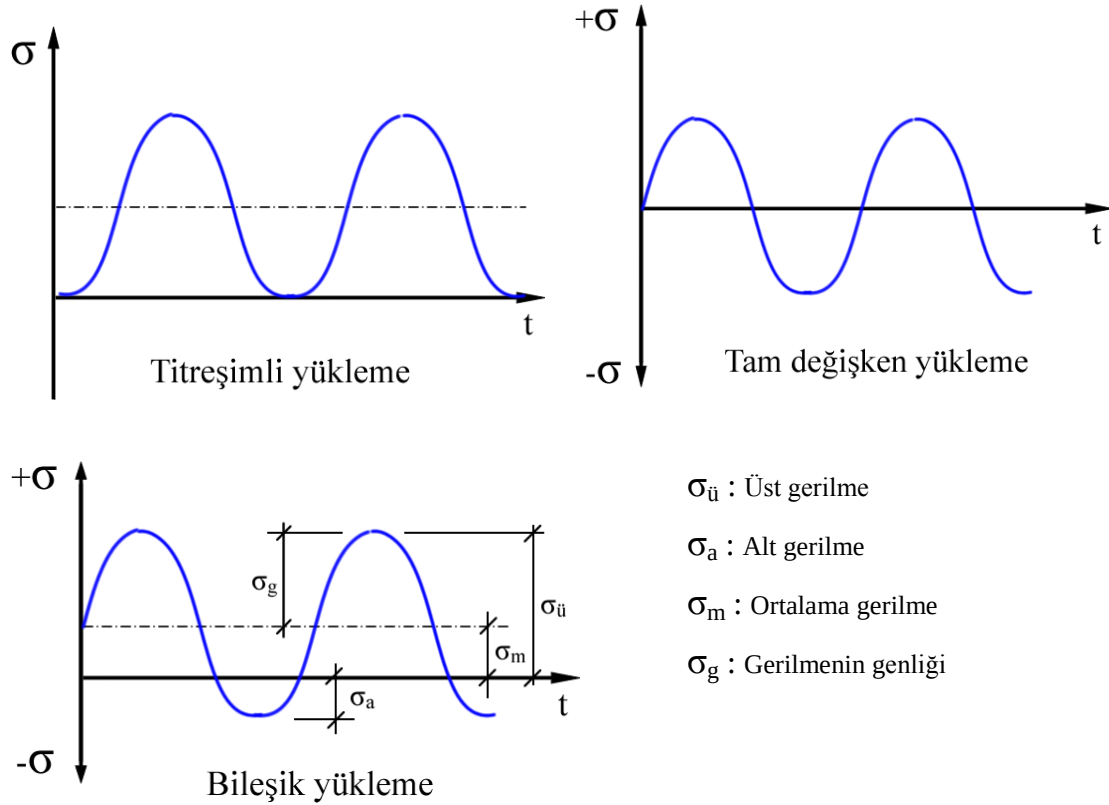
Parça sürekli olarak değişen dinamik yüklere maruz kalıyorsa, zaman içerisinde malzeme içerisinde gözle görülemeyen kılcal çatlaklar meydana gelir. Yükün tekrar sayısı ve genliği arttıkça bu çatlaklar büyümeye ve ilerlemeye başlar ve hiç beklenmedik bir anda çok küçük küçük kuvvetler altında bile parça kırılır.

Mil ve akslar sürekli titreşen yükler altında çalışmaktadır. Bu nedenle bu olay bu tür elemanlarda sıkça görülür. Bu durum metal yorgunluğu olarak bilinir.



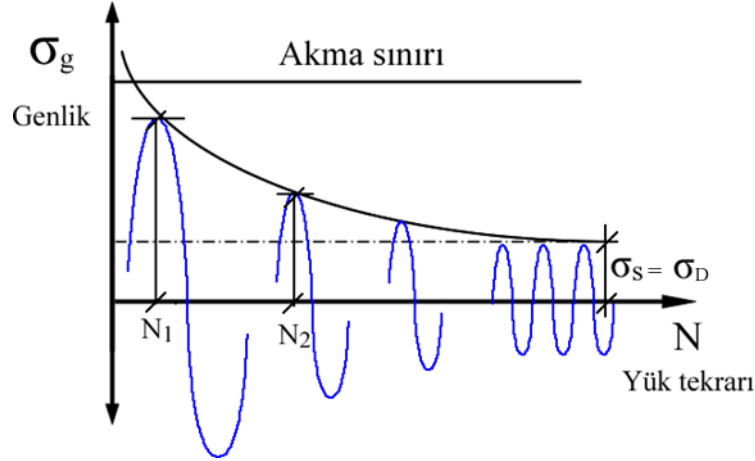
Elemana gelen gerilmelerin zamana bağlı olarak büyüklük, yön veya doğrultularının değişmesi durumunda boyutlandırma Dinamik mukavemet değerlerine göre yapılır.

Değişken yükler altında elemanın ömrü yük tekrar sayısı ile ölçülür. Yükün genliği ve ortalama gerilmesi ne kadar büyük ise ömrü de o kadar kısa olur.



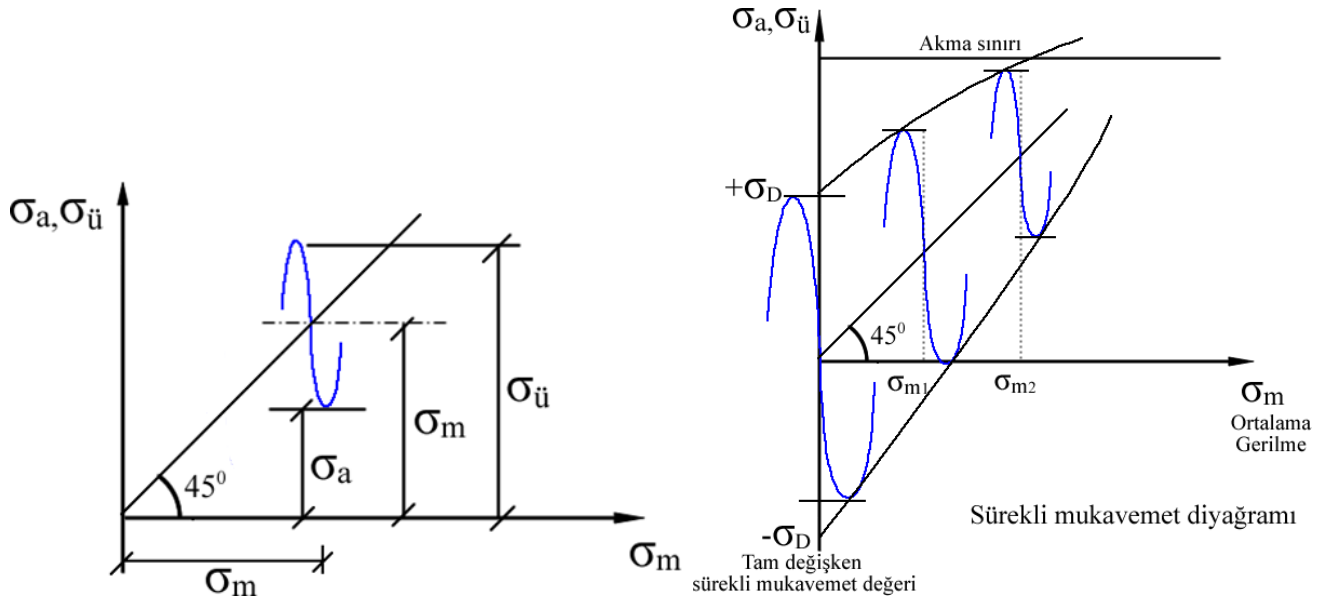
Sürekli Mukavemet Diyağramının Çizilmesi

Bir elemanın ortalama gerilmesi sabit tutulup değişik genliklerde kırılana kadar dinamik yüklemeye tabi tutulursa, her farklı genlik için dayandığı yük tekrarı sayısının farklı olduğu görülür. Bu yüklemeler grafik olarak gösterilirse aşağıdaki gibi olur.

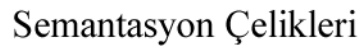


Bu diyağramdan çıkarılacak en önemli sonuç şudur: Belli bir ortalama gerilme için, malzemenin sürekli olarak dayanabileceği bir genlik mevcuttur. Bu grafikte sürekli mukavemet bölgesi (σ_s) ile gösterilmiştir. Çeliklerde 10^7 yük tekrarı, alüminyum gibi hafif metallerde 10^8 yük tekrarı dayanım sürekli mukavemet olarak kabul edilir.

Bu grafikte ortalama gerilme (σ_m) sıfır alındı. Değişik σ_m değerleri ile sürekli mukavemet gerilmesi değerleri bir diyağramda toplanırsa, malzemenin dinamik yükleme için Sürekli Mukavemet Diyağramı elde edilmiş olur. Bu diyağramda Ortalama Gerilme (σ_m) sıfır iken titreşimin sonsuz ömrü verecek genliğine Tam Değişken Sürekli Mukavemet Değeri (σ_D) denir.



Dikkat edilirse bir parçanın Sürekli Mukavemet Diyağramını oluşturmak için yüzlerce parça üzerinde deney yapmak gerekir. Örneğin ortalama gerilme sıfır alınırsa sürekli mukavemeti sağlayacak en düşük genlik için onlarca deney, daha sonra ortalama gerilme değiştirilecek yine bu durum için sürekli mukavemeti sağlayacak onlarca deney şeklinde yüzlerce deneye ihtiyaç olur. Bu nedenle gerçek diyağramlar yerine daha az deneyle çizilebilecek Yaklaşık diyağramlar kullanılır. Bunun için ortalama gerilme sıfır iken ($\sigma_m=0$) sürekli mukavemeti sağlayacak en düşük genliği (σ_D) bulacak deneyler yapılır (ki buna Tam değişken sürekli mukavemet değeri denir). Ve birde malzemenin akma gerilmesi (σ_{AK}) deneyle bulunur. Buna göre sürekli mukavemet diyağramı çizilir.



Sürekli Mukavemet Diyağramında, Mukavemet Azaltıcı Etkenlerin Gözönüne Alınması: Sürekli mukavemet diyağramları yüzeyleri parlatılmış standart deney çubukları kullanılarak elde edilir. Gerçek makine elemanlarının boyut ve yüzey özellikleri farklı olduğundan, sürekli mukavemet diyağramları mukavemet azaltıcı etkenler göz önüne alınarak kullanılmalıdır.

Bu amaçla sürekli mukavemet diyagramının çiziminde kullanılan Akma Gerilmesi (σ_{AK}) ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi (σ_D) aşağıdaki verilen formüllerdeki üç etken (Parça büyüklüğü, Yüzey düzgünlüğü, Çentik etkisi) göz önüne alınarak küçültülür ve diyagram ona göre revize edilir. Bu etkenlerle küçültülen yeni gerilmeler Şekil Akma Gerilmesi (σ_{sAK}) ve Şekil Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi olarak (σ_{sD}) adlandırılır.

$\sigma_{\text{şAK}}$: Şekil Akma Gerilmesi

$$\sigma_{\text{şAK}} = \frac{b_0 x b_1}{\beta_k} \sigma_{AK}$$

$$\sigma_{\text{şD}} = \frac{b_0 x b_1}{\beta_k} \sigma_D$$

$\sigma_{\text{şD}}$: Şekil Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi (ortalama gerilme sıfırdır, etkenler katılarak şekil küçültülmüştür)

b_0 : Çap Düzeltme Katsayısı (Tablo 2 kullanılır)

b_1 : Yüzey Düzgünlük Katsayısı (Tablo 3 kullanılır)

β_k : Çentik Katsayısı (Formülden hesaplanır)

- a) **Çap Düzeltme Katsayısı (b_0)** (Parça büyüklüğü etkisi): Parçanın boyutları büyüdükçe düzgün olmayan bir gerilme dağılımı söz konusu olacağından, elemanın sürekli mukavemeti azalır. Bu durum Çap Düzeltme Katsayısı (b_0) ile göz önüne alınır (Tablo 2).

Tablo 2. Çap Düzeltme Katsayısı (b_0) Tablosu.

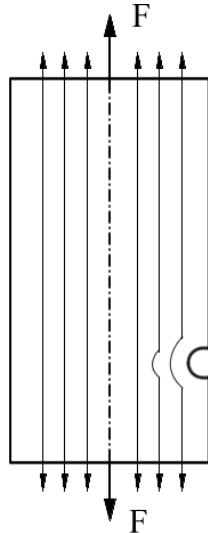
Çap (d) (mm)	10	15	20	30	40	60	120
b_0	1,00	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

- b) **Yüzey Düzgünlük Katsayısı (b_1)**: Yüzey pürüzlülüğü arttıkça elemanın taşıyabileceği gerilme genliği azalır. Bu etken Yüzey Düzgünlük Katsayısı (b_1) ile giderilir (Tablo 3).

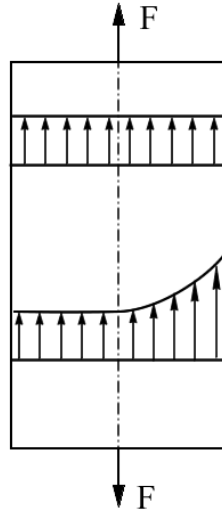
Tablo 3. Yüzey Düzgünlük Katsayısı (b_1) Tablosu.

Çekme Kopma gerilmesi $\sigma_{\text{çk}}$ (N/mm ²) Yüzey Pürüzlülüğü	300	400	500	600	700	800	1000
Çok ince parlatılmış	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Parlatılmış	1,0	0,99	0,985	0,98	0,975	0,972	0,97
Taşlanmış	0,97	0,96	0,95	0,94	0,935	0,937	0,93
İnce Talaş Alınmış	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,885	0,88
Kaba Talaş Alınmış	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,78
Tufallı	0,80	0,76	0,67	0,61	0,56	0,51	0,43

- c) **Çentik Katsayısı (β_k)**: Elemanlar üzerindeki geometrik süreksizlikler (delik, kanal, fatura vs) gerilme yığılmasına yol açar. Buda malzemenin mukavemetini azaltır. Bu etkinin hesaba katılması için Çentik Katsayısı (β_k) kullanılır.



Kuvvet çizgileri



Gerilme dağılımı

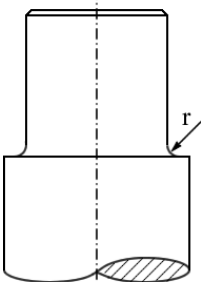
$$\beta_k = q (K_t - 1) + 1$$

β_k : Çentik Katsayısı

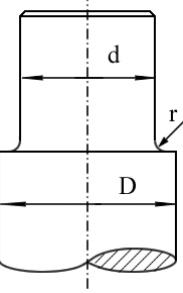
q : Çentik Hassasiyeti Katsayısı (Tablo 4 kullanılır)

K_t : Teorik Gerilme Yığılması Katsayısı (Tablo 5,6 dan biri kullanılır)

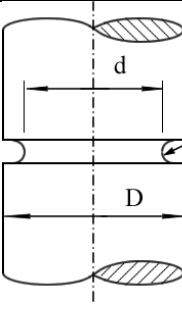
Tablo 4. Çentik Hassiyeti Katsayısı (q)

	r (Çentik etkisi oluşturan köşenin yarıçapı)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	σ_k (Kopma Dayanımı, MPa)	1400	0,88	0,91	0,92	0,94	0,95	0,955	0,96	0,96
		1050	0,80	0,85	0,88	0,90	0,91	0,915	0,92	0,92
		700	0,67	0,76	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86
		420	0,56	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78
Alüminyum Alaşımları, σ_k		0,40	0,55	0,64	0,70	0,75	0,77	0,80	0,83	

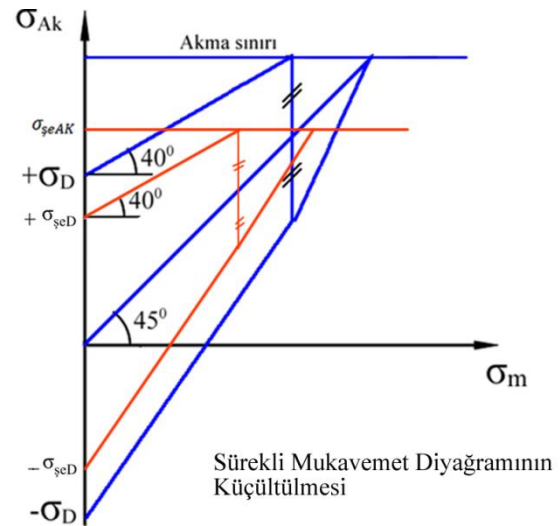
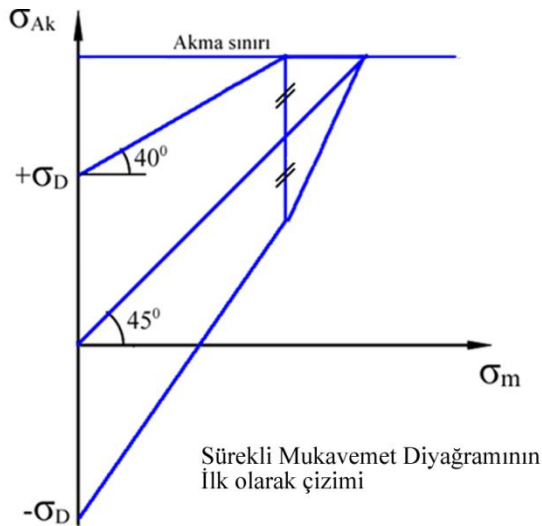
Tablo 5. Faturalı Millerde Çekme, Eğilme ve Burulma için Teorik Gerilme Yığılması Katsayısı (K_t)

	ÇEKME							EĞİLME							BURULMA									
	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30			
	D/d	1,01	1,36	1,24	1,17	1,15	1,14	1,13	D/d	1,01	1,54	1,36	1,26	1,20	1,16	1,14	D/d	1,01	1,26	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08
		1,02	1,48	1,34	1,26	1,22	1,20	1,19		1,02	1,64	1,44	1,33	1,27	1,22	1,19		1,20	1,56	1,34	1,23	1,18	1,14	1,12
		1,05	1,70	1,46	1,37	1,32	1,27	1,25		1,05	1,78	1,53	1,42	1,34	1,28	1,25		1,33	1,68	1,41	1,29	1,23	1,19	1,15
		1,1	1,87	1,56	1,44	1,37	1,32	1,29		1,1	1,88	1,58	1,46	1,38	1,31	1,27		1,75	1,75	1,46	1,34	1,27	1,22	1,18
		1,2	2,12	1,69	1,53	1,44	1,38	1,34		1,5	1,96	1,62	1,48	1,39	1,34	1,28								
		2	2,55	2,00	1,78	1,64	1,54	1,49		2	2,16	1,74	1,55	1,43	1,36	1,30								
								6	2,42	1,88	1,64	1,48	1,38	1,33										

Tablo 6. Çevresel kanallı millerde Çekme, eğilme, burulma için Teorik Gerilme Yığılması Katsayısı (K_t)

	ÇEKME							EĞİLME							BURULMA									
	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	r/d	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30			
	D/d	1,02	1,84	1,59	1,48	1,41	1,34	1,30	D/d	1,01	1,58	1,40	1,32	1,27	1,23	1,20	D/d	1,01	1,28	1,20	1,16	1,14	1,13	1,13
	1,05	2,21	1,81	1,67	1,53	1,46	1,40	1,02	1,78	1,53	1,42	1,34	1,28	1,25	1,02	1,38	1,27	1,22	1,18	1,16	1,15			
	1,15	2,72	1,94	1,86	1,71	1,60	1,53	1,05	2,05	1,70	1,55	1,46	1,38	1,33	1,05	1,53	1,35	1,27	1,23	1,20	1,18			
	1,50	-	2,34	2,00	1,80	1,68	1,58	1,1	2,24	1,82	1,61	1,50	1,42	1,36	1,1	1,65	1,42	1,32	1,27	1,23	1,20			
								1,5	2,5	1,95	1,73	1,58	1,48	1,41	1,5	1,78	1,49	1,36	1,30	1,25	1,22			
								2	2,55	1,97	1,74	1,59	1,49	1,42	2	1,80	1,50	1,37	1,31	1,26	1,23			

Bu mukavemet azaltıcı etkileride göz önüne alırsak ilk çizdiğimiz Sürekli Mukavemet Diyagramı bir kez daha küçülmüş olacaktır ve emniyet olarak daha güvenli hale gelecektir.



Sür.Muk. Diyağramının Parçanın Mukavemet Hesabında Kullanımı

Eşdeğer Gerilmeyi hesapla: Buraya kadar parçanın dayanabileceği sınırları gösteren sürekli mukavemet diyağramını çizdik. Şimdi parça üzerinde bulunan birçok gerilmenin etkisini tek bir gerilme ile gösteren ve teorik olarak hesaplanan (parça üzerinde gerçekte böyle bir gerilme yoktur) Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

Eşdeğer gerilmeler Statik ve Dinamik olarak birbirinden bağımsız olarak hesaplanır. Statik eşdeğer gerilmeleri düz bir grafik çizer, dinamik eşdeğer gerilmeleri ise titreşimli bir grafik çizer. Bir sonraki adımda bu iki gerilme yada grafik bir araya getirilip Üst Mukayese ve Ortalama Mukayese gerilmeleri bulunur.

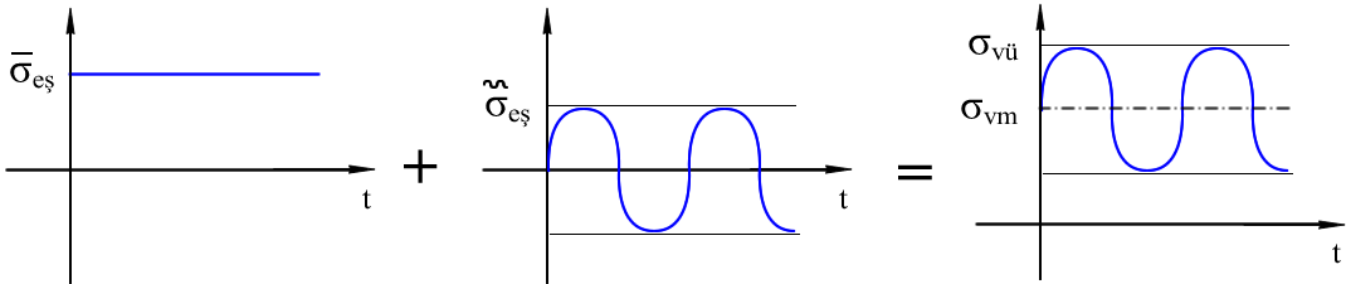
- Statik Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

$$\bar{\sigma}_{eş} = \sqrt{(\bar{\sigma}_c + \bar{\sigma}_e)^2 + 3 \bar{\tau}_b^2}$$

- Dinamik Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

$$\widetilde{\sigma}_{eş} = \sqrt{(\widetilde{\sigma}_c + \widetilde{\sigma}_e)^2 + 3 \widetilde{\tau}_b^2}$$

Mukayese Gerilmelerini hesapla: Burada statik ve dinamik olmak üzere iki tane eşdeğer gerilme vardır. Bu iki gerilmeyi tek bir gerilmeye düşürmeliyiz. Bu amaçla Mukayese Gerilmesi (σ_v) kavramını kullanacağız. Statik ve dinamik grafikler birleştirildiği zaman grafiğin çıktığı en üst noktaya Üst Mukayese Gerilmesi ($\sigma_{vü}$) diyeceğiz. Grafiğin ortalama değerine ise Ortalama Mukayese Gerilmesi (σ_{vm}) diyeceğiz.



Üst Mukayese Gerilmesi:

$$\sigma_{vü} = \bar{\sigma}_{eş} + \widetilde{\sigma}_{eş}$$

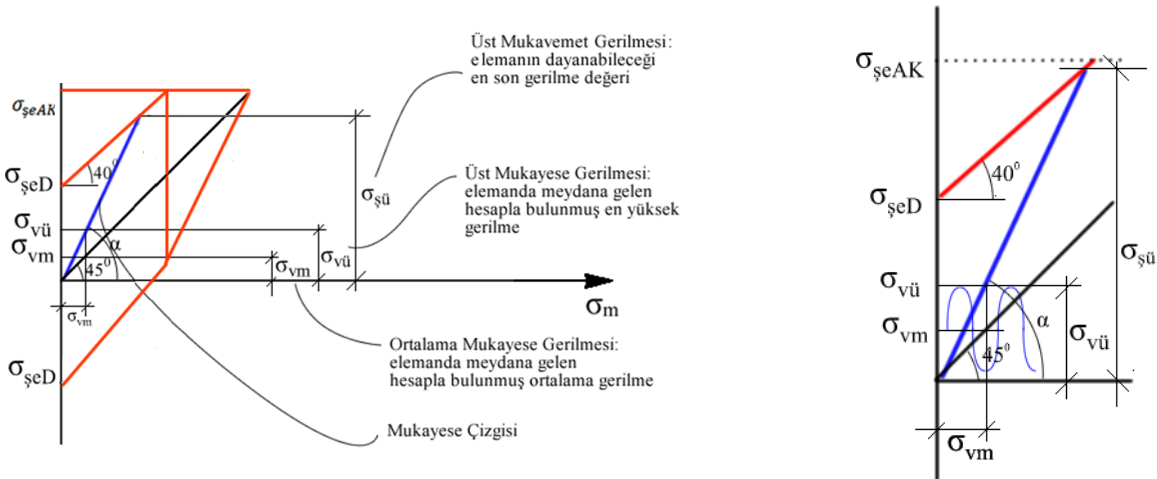
Ortalama Mukayese Gerilmesi:

$$\sigma_{vm} = \bar{\sigma}_{eş}$$

Bu iki değer kullanılarak diyağram üzerinde mukayese çizgisini çizelim. Diyağramdan anlaşılacağı gibi bunlar bize $\tan \alpha$ yı verir.

$$\tan \alpha = \frac{\sigma_{vü}}{\sigma_{vm}} \Rightarrow \alpha \text{ açısı bulunur}$$

Bu açı kullanılarak mukayese çizgisi çizilir.

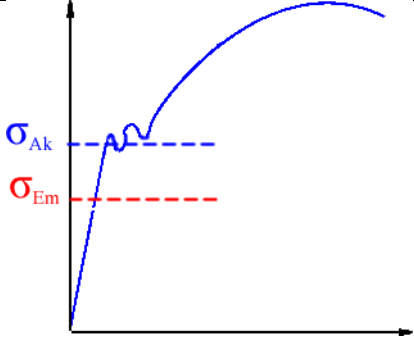
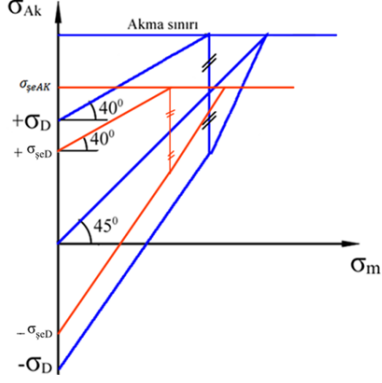


Elemanın Emniyet Katsayısını hesapla: Mukavemet azaltıcı etkenlerde göz önüne alındıktan sonra, parçamızda meydana gelen Ortalama Mukayese Gerilmesi (σ_{vm}) ve Üst Mukayese Gerilmesinin ($\sigma_{vü}$) grafiğın sınırları içinde (kırmızı çizgi) kalmalıdır. Parçamız bu bölgede çalıştığı sürece güvenli demektir. Ne kadar güvenli olduğunu Mukayese Çizgisi (mavi çizgi) belirler. Bu çizginin Sürekli Mukavemet Diyagramını (kırmızı çizgi) kestiği nokta gerilmelerin çıkabileceği üst sınırı gösterir. Bu noktaya Şekil Üst Mukavemet Değeri ($\sigma_{şü}$) denir. Malzemenin çıkabileceği en son sınır ($\sigma_{şü}$) ile malzemede oluşan üst gerilmenin ($\sigma_{vü}$) oranı sürekli mukavemet için Emniyet Katsayını (S_n) verir.

$$S_n = \frac{\sigma_{şü}}{\sigma_{vü}}$$

Özet

Statik ve Dinamik yükleme durumlarında bir malzemenin yükü taşıyıp taşımayacağına karar vermek için aşağıdaki sistematığı kullanabiliriz.

	Statik Yükleme Durumu			Dinamik Yükleme Durumu
Kullanılacak Grafik ve Emniyet sınırının belirlenmesi	 Statik yüklemelerde malzemede oluşan gerilme değeri Akma gerilmesi altında alınan Emniyet gerilmesi ile karşılaştırılır. Emniyet gerilmesi işe, duruma göre değişir. Malzeme içinde oluşan hangi gerilme Emniyet gerilmesi ile karşılaştırılır. Onun için aşağıdaki maddeye bakınız.			 Dinamik yüklemelerde kırılma her zaman olacağı için belli bir zaman emniyeti sağlayacak gerilmenin ortalama ve genlik değişimine bakarak karar verilir. Bu değerler sürekli mukavemet diyagramı içerisinde ise malzeme emniyetli kabul edilir.
Malzemede oluşan karşılaştırmada kullanılacak gerilmenin hesaplanması.	Tek basit yük varsa	Aynı tip bir çok yük varsa	Farklı Tiplerde birçok gerilme varsa	Malzeme üzerindeki statik yüklerden statik basit gerilmeler, Dinamik yüklerden dinamik basit gerilmeler hesaplanır. Daha sonra statik gerilmeler Von mises kriteri ile bir araya getirilir ve Statik Eşdeğer gerilme bulunur. Aynı şekilde Dinamik gerilmelerde bir araya getirilir Dinamik Eşdeğer gerilme bulunur. Bulunan bu gerilmeler grafik olarak bir araya getirilerek Üst mukayese ve ortalama mukayese gerilmeleri hesaplanır. Bu değerler Sürekli mukavemet diyagramında yerine konur. Grafiğın sınırları içerisinde ise malzeme emniyetli demektir.
	En büyük gerilme Emniyetle karşılaştırılır.	Aynı tip gerilmeler toplanıp çıkarılarak Maksimum Bileşke gerilmesi karşılaştırmada kullanılır.	Von Mises formülüne bu gerilmeler yazılır ve bir Eşdeğer gerilme bulunur. Bu değer Emniyet gerilmesi ile karşılaştırılır.	