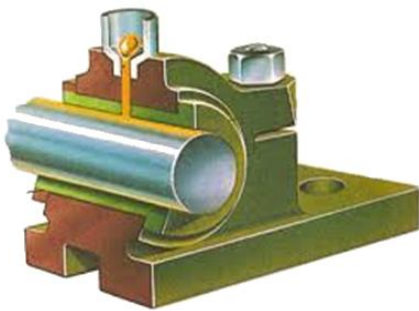
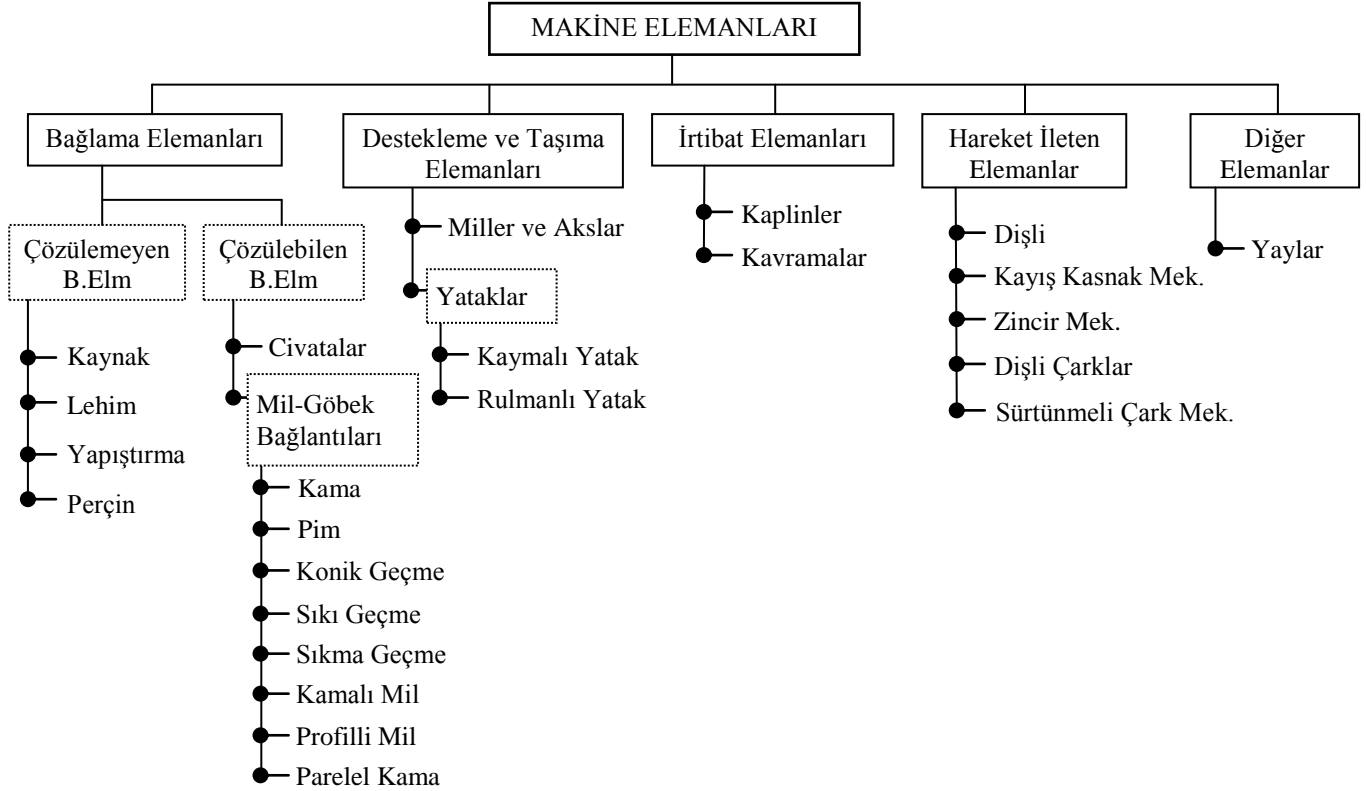


## MAKİNE ELEMANLARI - (1.Hafta)

### 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



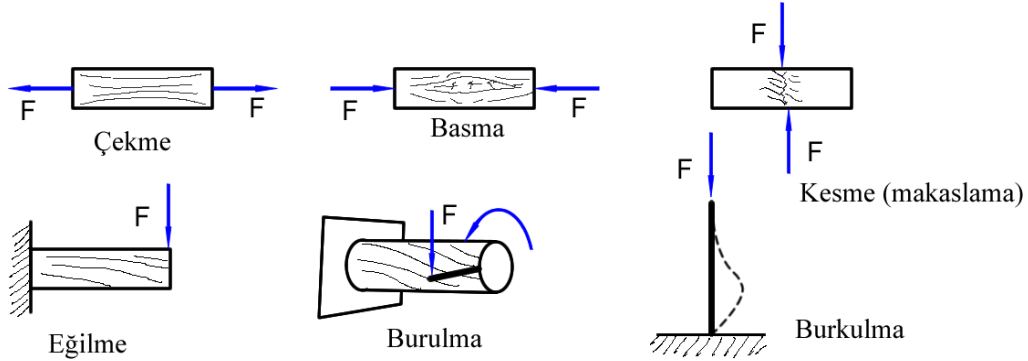
Kavramalar

## 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.

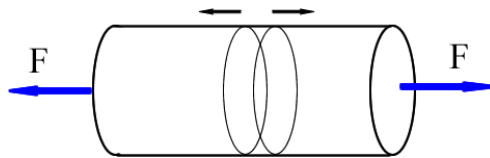


## Gerilme Türleri

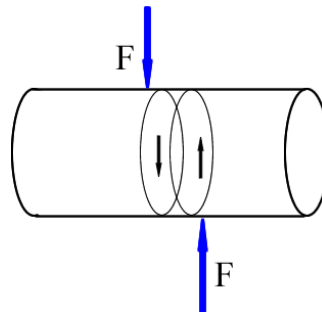
Dış kuvvetlerin ve momentlerin etkisi altındaki elemanın herhangi bir kesitinde, tepki olarak iç kuvvetler meydana gelir. Birim alana gelen iç kuvvetlere gerilme adı verilir. Gerilme malzemenin içinde bulunan zorlanmayı gösteren bir büyüklüktür. Gerilme kuvvetin, alana bölünmesi ile bulunur ve buna göre 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 ( $\sigma$ ):** Parça çekme, basma, eğilme gibi yüklenme durumlarına maruz kaldığında ortaya çıkar. Parça üzerindeki kesit düzlemleri birbirinden uzaklaşmaya yada yaklaşmaya çalışır.

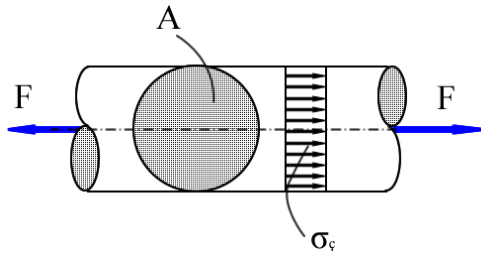


- Kayma Gerilmesi ( $\tau$ ):** Parça, kesmeye, burulmaya maruz kaldığında ortaya çıkar. Parça üzerindeki kesit yüzeyleri birbirini üzerinde kaymaya çalışır.



**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.

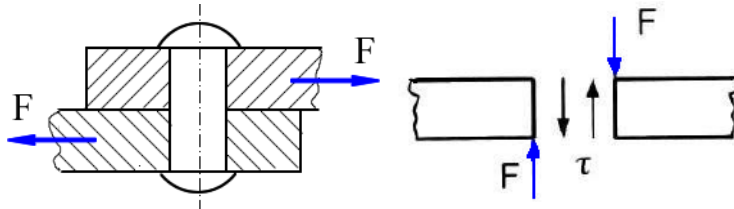
- Çekme ( $\sigma_c$ ) yada Basma ( $\sigma_b$ ) Gerilmesi:** Bir malzemeyi iki ucundan çektiğimizde yada sıkıştırdığımızda içerisinde normal gerilme oluşur. Çekme varsa Çekme Gerilmesi ( $\sigma_c$ ) olarak, basma varsa Basma Gerilmesi ( $\sigma_b$ ) olarak adlandırılır.



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

\*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan  $\sigma_{\text{max}}$  Emniyet gerilmesi ( $\sigma_{\text{em}}$ ) ile karşılaştırılır.

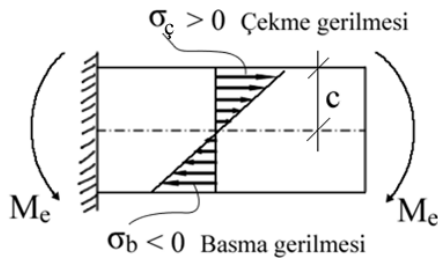
- b) **Kesme Gerilmesi ( $\tau_k$ ):** Bir parça kuvvet tarafından kesmeye maruz kalıyorsa, kesme yüzeyinde Kayma Gerilmesi meydana gelir.



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

\*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan  $\tau_{\text{max}}$  Emniyet gerilmesi ( $\tau_{\text{em}}$ ) ile karşılaştırılır.

- c) **Eğilme Gerilmesi ( $\sigma_e$ ):** 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.



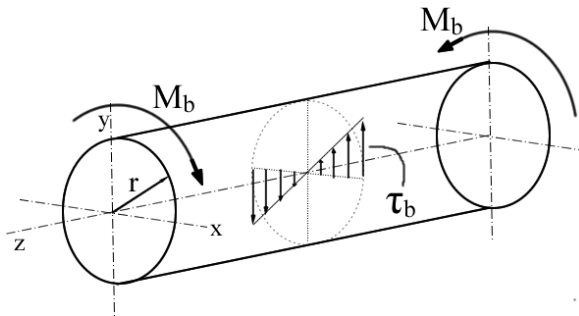
$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{M_e}{\frac{I_x}{c}}$$

$M_e$  : Eğilme momenti [Nm]

$W_e$  : Eğilme direnç momenti (hesabı aşağıda).

\*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan  $\sigma_{\text{max}}$  Emniyet gerilmesi ( $\sigma_{\text{em}}$ ) ile karşılaştırılır.

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



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

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

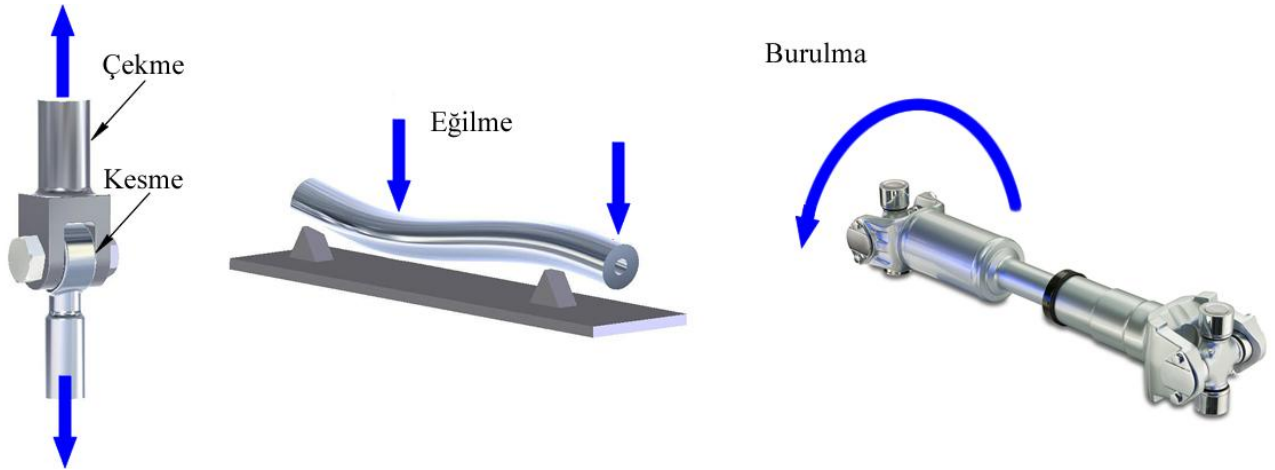
$M_b$ : Burulma momenti [Nm]

$W_b$ : Burulma direnç momenti (hesabı aşağıda)

P: Motor gücü (kW)

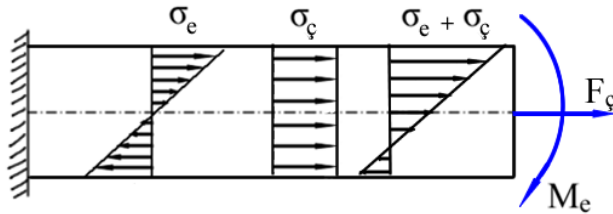
n: Motor devri (d/d)

\*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan  $\tau_{\text{max}}$  Emniyet gerilmesi ( $\tau_{\text{em}}$ ) 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 ( $\sigma_B$ ,  $\tau_B$ ) bulunur. Örneğin bir parça hem çekmeye, hemde eğilmeye maruz kalıyorsa iki tane farklı Normal gerilme meydana gelir.



Eğilme ve Çekme birarada var ise;

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

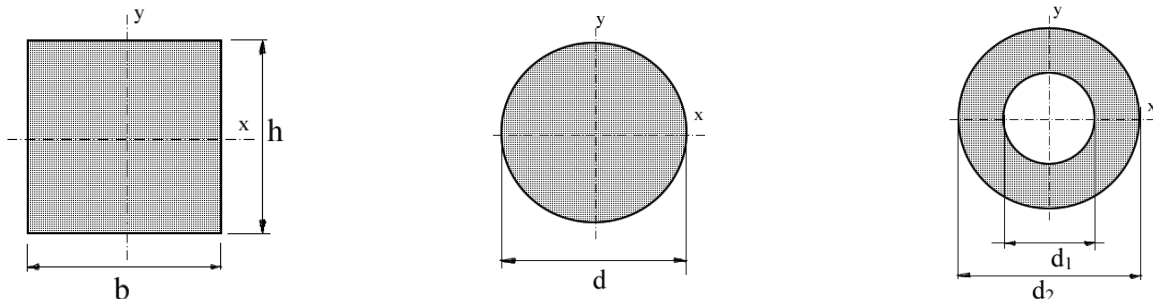
\*Tasarımlarda parça üzerindeki en büyük gerilme olan  $\sigma_{\max}$  yada  $\tau_{\max}$  Emniyet gerilmesi ( $\sigma_{em}, \tau_{em}$ ) ile karşılaştırılır.

- 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.



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

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

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

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

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

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

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

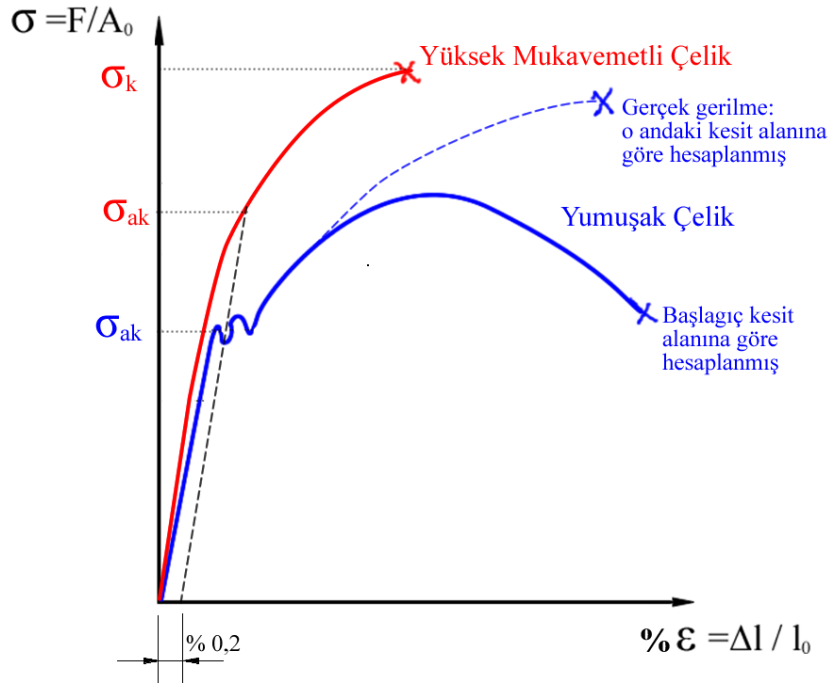
$$W_e = \frac{\pi}{32} \left( \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right)$$

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

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

### 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 ( $\sigma_{mak}$ ):** 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.

$$\sigma_{eş} \leq \sigma_{em}$$

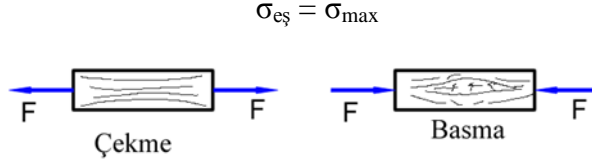
**Emniyet Gerilmesi ( $\sigma_{em}$ ):** Bir malzemenin mekanik özelliklerine, şekline, boyutlarına bağlı olarak deneysel belirlenmiş en yüksek gerilme sınırıdır. Emniyet gerilmesi içinde işletme koşulları da eklenmelidir (Yük taşıyan asansör ile, İnsan taşıyan asansörün emniyet gerilmesi aynı olmaz).

## 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.



- 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.

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

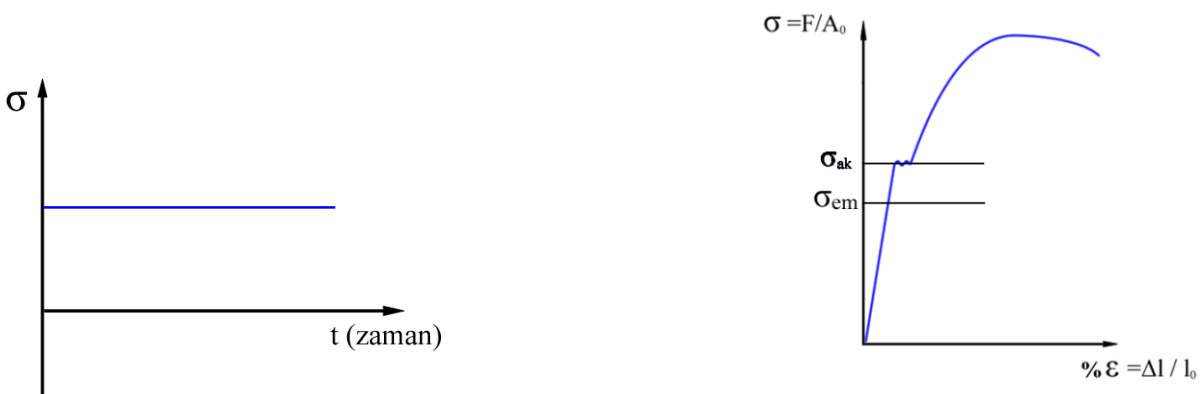
## Emniyet Gerilmesinin Belirlenmesi ( $\sigma_{em}$ )

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 kısılması herşeyden önce titreşimin Ortalamasına ve Genliğine bağlıdır. Bunun dışında Malzemenin Büyüklüğü, Yüzey Pürüzlülüğü,



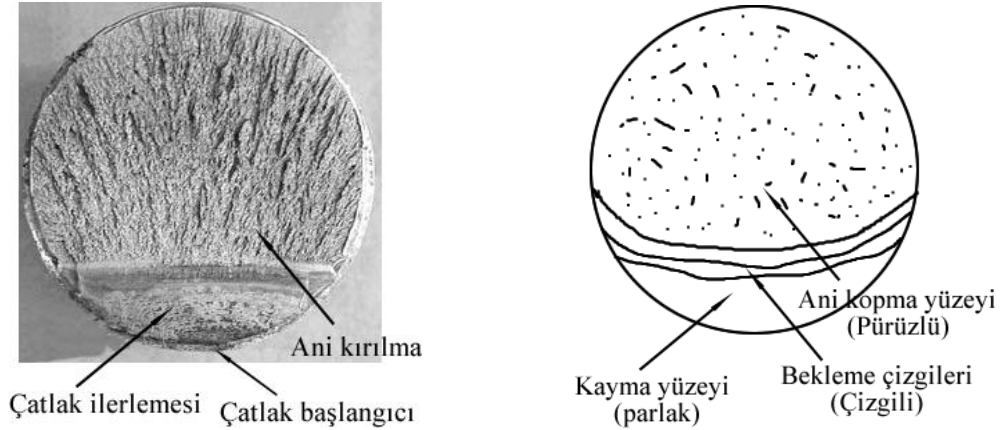
üzerindeki şekillerin Çentik Etkisi ömrünü kısaltan kısaltan unsurlardır. Bütün bu konular “Yorulma ve Sürekli Mukavemet Diyagramları” başlığı altında aşağıda ele alınacaktır.

## Yorulma Kavramı ve Sürekli Mukavemet Diyagramları

### Yorulma Kavramı

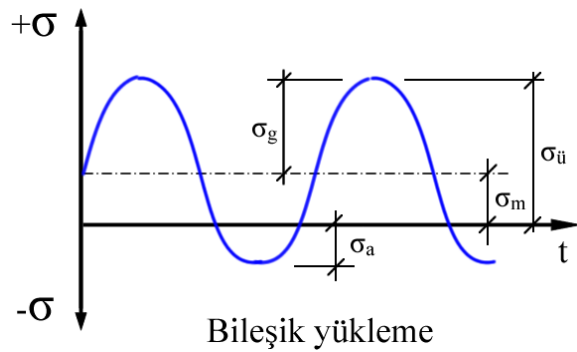
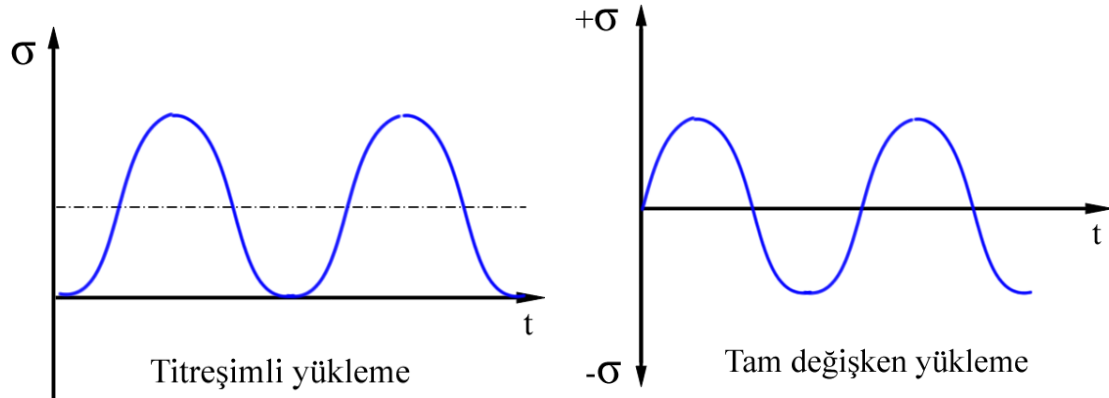
Parça sürekli olarak değişen dinamik yüklere maruz kalıyorsa, zaman içerisinde malzeme içerisinde gözle görülemeyen kılcal çatlaklar meydana gelir. Yüknün tekrar sayısı ve genliği arttıkça bu çatlaklar büyümeye ve ilerlemeye başlar ve hiç beklenmedik bir anda çok küçük küçük kuvvetler altında bile parça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

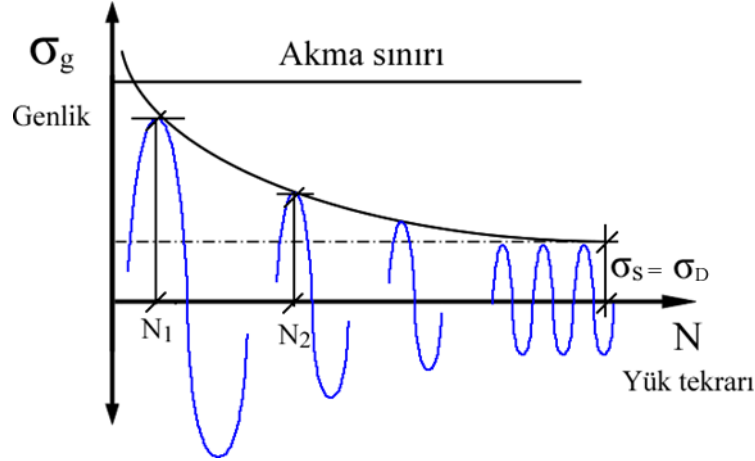
Değişken yükler altında elemanın ömrü yük tekrar sayısı ile ölçülür. Yüknün genliği ve ortalama gerilmesi ne kadar büyük ise ömrü de o kadar kısa olur.



- $\sigma_{\bar{u}}$  : Üst gerilme
- $\sigma_a$  : Alt gerilme
- $\sigma_m$  : Ortalama gerilme
- $\sigma_g$  : Gerilmenin genliği

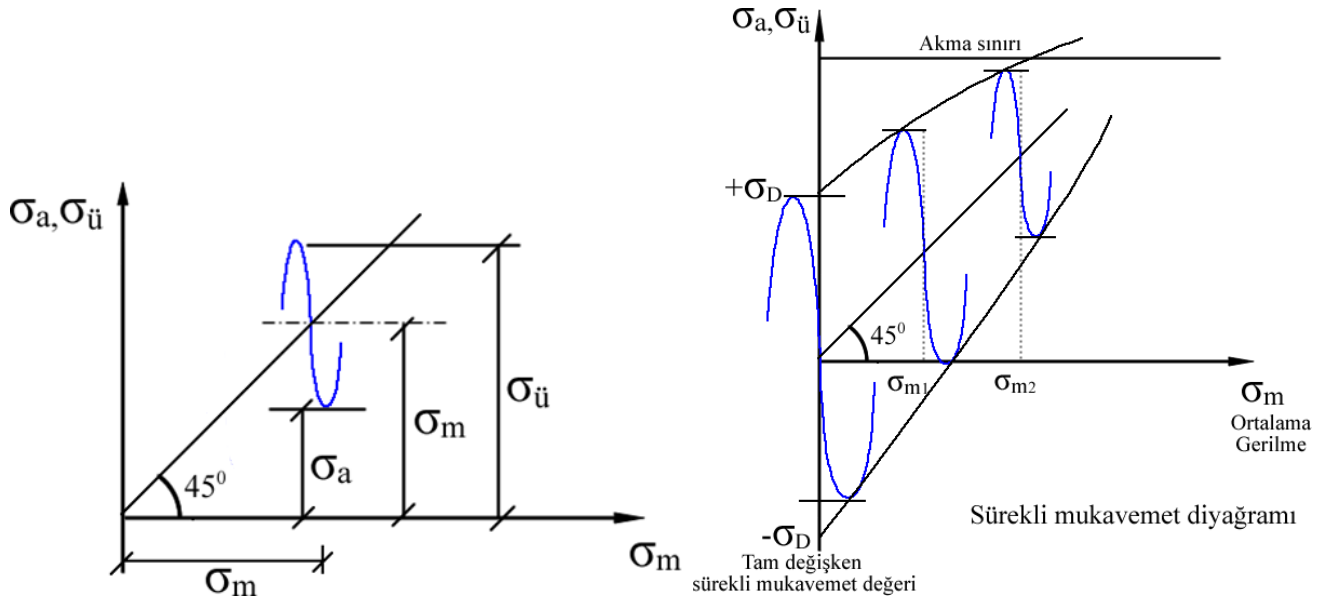
### Sürekli Mukavemet Diyağramının Çizilmesi

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 ( $\sigma_s$ ) ile gösterilmiştir. Çeliklerde  $10^7$  yük tekrarı, alüminyum gibi hafif metallerde  $10^8$  yük tekrarı dayanım sürekli mukavemet olarak kabul edilir.

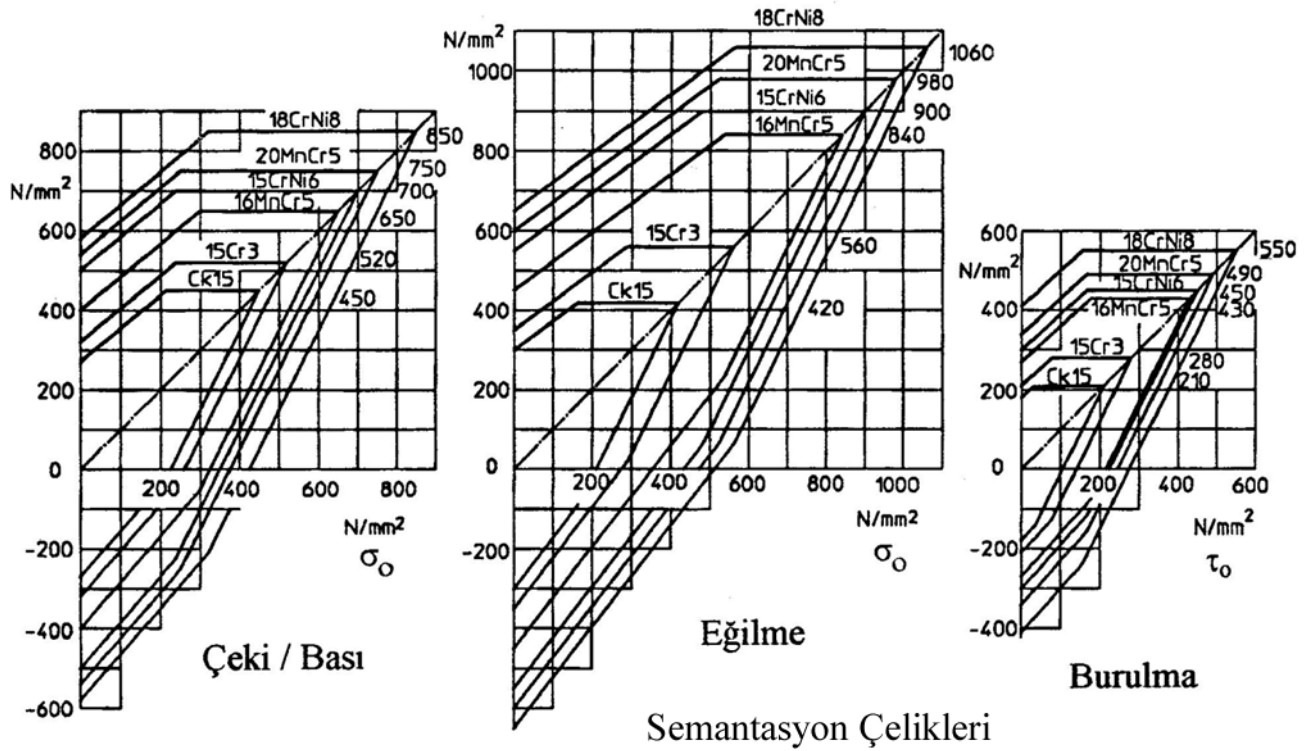
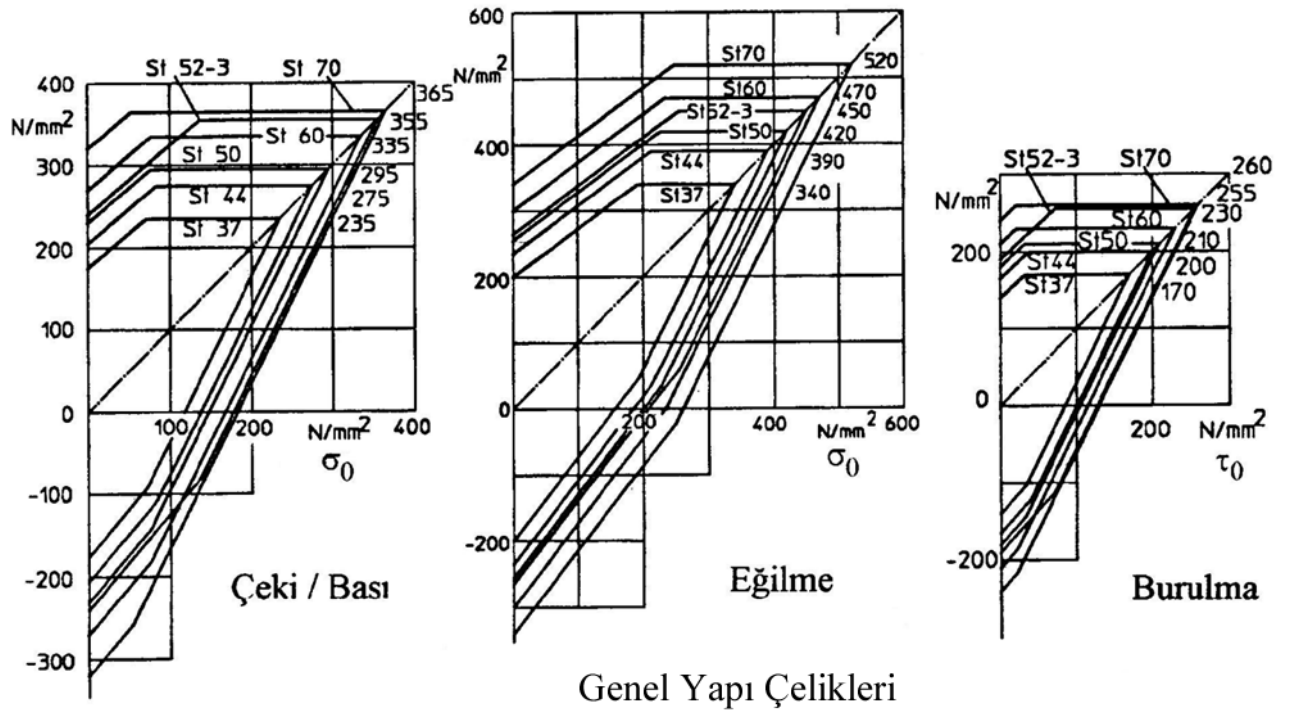
Bu grafikte ortalama gerilme ( $\sigma_m$ ) sıfır alındı. Değişik  $\sigma_m$  değerleri ile sürekli mukavemet gerilmesi değerleri bir diyağramda toplanırsa, malzemenin dinamik yükleme için Sürekli Mukavemet Diyağramı elde edilmiş olur. Bu diyağramda Ortalama Gerilme ( $\sigma_m$ ) sıfır iken titreşimin sonsuz ömrü verecek genliğine Tam Değişken Sürekli Mukavemet Değeri ( $\sigma_D$ ) 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 ( $\sigma_D$ ) bulacak deneyler yapılır (ki buna Tam değişken sürekli mukavemet değeri denir). Ve birde malzemenin akma gerilmesi ( $\sigma_{AK}$ ) deneyle bulunur. Buna göre sürekli mukavemet diyağramı çizilir.







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

Bu amaçla sürekli mukavemet diyagramının çiziminde kullanılan Akma Gerilmesi ( $\sigma_{AK}$ ) ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi ( $\sigma_D$ ) aşağıdaki verilen formüllerdeki üç etken (Parça büyüklüğü, Yüzey düzgünlüğü, Çentik etkisi) gözönüne alınarak küçültülür ve diyagram ona göre revize edilir. Bu etkenlerle küçültülen yeni gerilmeler Şekil Akma Gerilmesi ( $\sigma_{\text{şAK}}$ ) ve Şekil Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi olarak ( $\sigma_{\text{şD}}$ ) adlandırılır.

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

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

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

**$\sigma_{\text{şD}}$** : 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)

$\beta_k$ : 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.

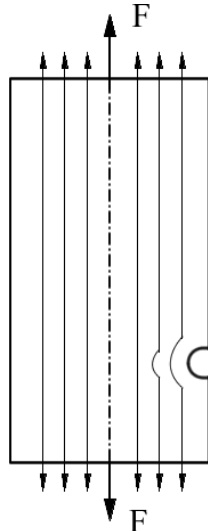
Çap (d) (mm)	10	15	20	30	40	60	120
$b_0$	1,00	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75

- 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).

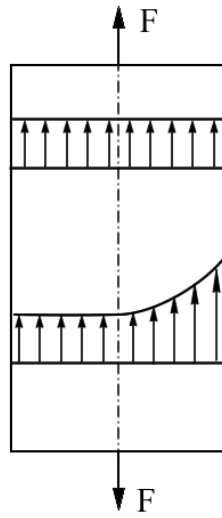
Tablo 3. Yüzey Düzgünlük Katsayısı ( $b_1$ ) Tablosu.

Çekme Kopma gerilmesi $\sigma_{\text{çk}}$ (N/mm <sup>2</sup> ) 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 ( $\beta_k$ )**: Elemanlar üzerindeki geometrik süreksizlikler (delik, kanal, fatura vs) gerilme yığılmasına yol açar. Buda malzemenin mukavemetini azaltır. Bu etkinin hesaba katılması için Çentik Katsayısı ( $\beta_k$ ) kullanılır.



Kuvvet çizgileri



Gerilme dağılımı

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

$\beta_k$ : Çentik Katsayısı

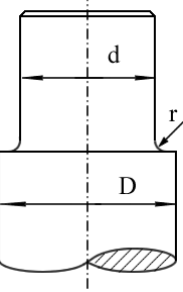
$q$ : Çentik Hassasiyeti Katsayısı (Tablo 4 kullanılır)

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

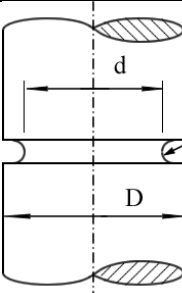
Tablo 4. Çentik Hassiyeti Katsayısı (q)

	$r$ (Çentik etkisi oluşturan köşenin yarıçapı)		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$\sigma_k$ (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, $\sigma_k$		0,40	0,55	0,64	0,70	0,75	0,77	0,80	0,83	

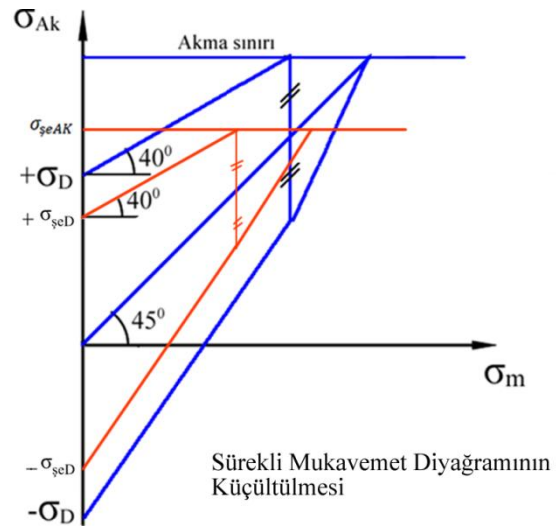
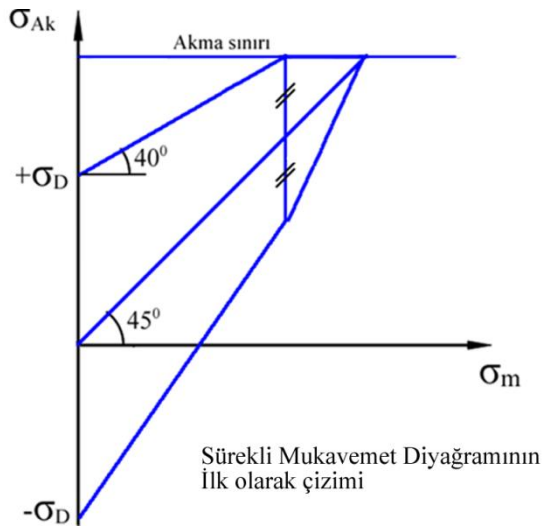
Tablo 5. Faturalı Millerde Çekme, Eğilme ve Burulma için Teorik Gerilme Yığılması Katsayısı ( $K_t$ )

	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.

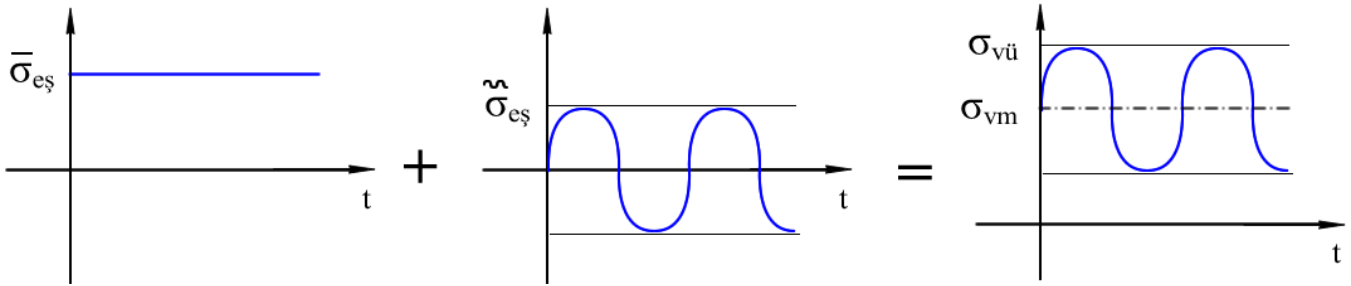
- Statik Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

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

- 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 ( $\sigma_v$ ) 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 ( $\sigma_{vm}$ ) diyeceğiz.



Üst Mukayese Gerilmesi:

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

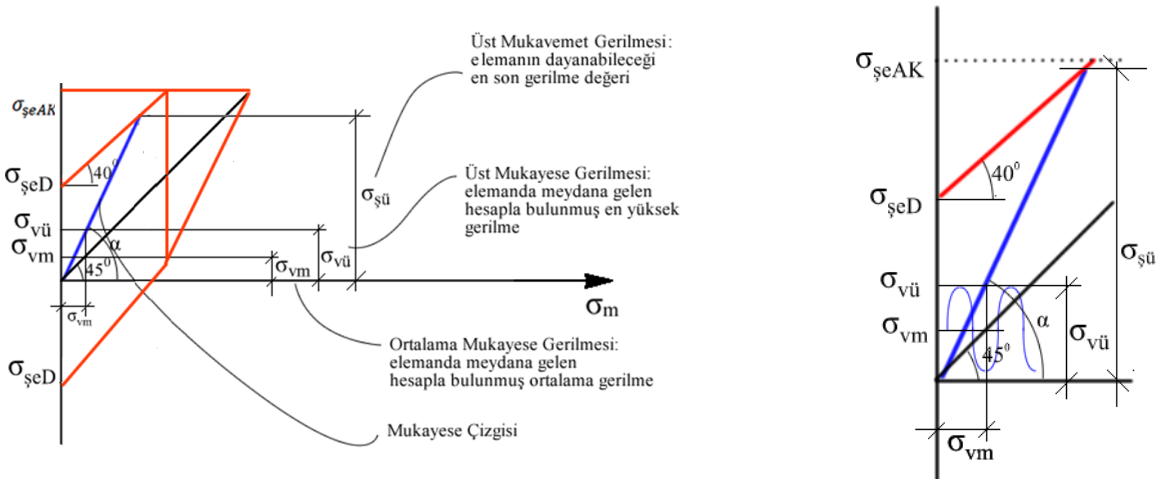
Ortalama Mukayese Gerilmesi:

$$\sigma_{vm} = \bar{\sigma}_{eş}$$

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.

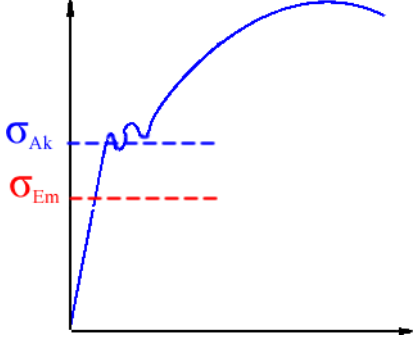
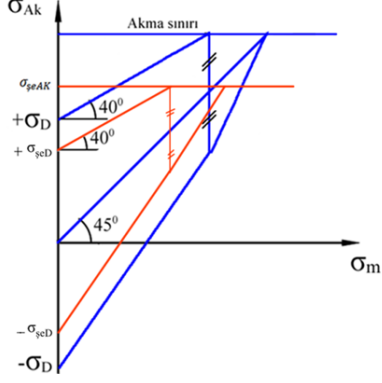


**Elemanın Emniyet Katsayısını hesapla:** Mukavemet azaltıcı etkenlerde göz önüne alındıktan sonra, parçamızda meydana gelen Ortalama Mukayese Gerilmesi ( $\sigma_{vm}$ ) ve Üst Mukayese Gerilmesinin ( $\sigma_{vü}$ ) grafiğın sınırları içinde (kırmızı çizgi) kalmalıdır. Parçamız bu bölgede çalıştığı 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	 <p>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.</p>			 <p>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.</p>
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.	

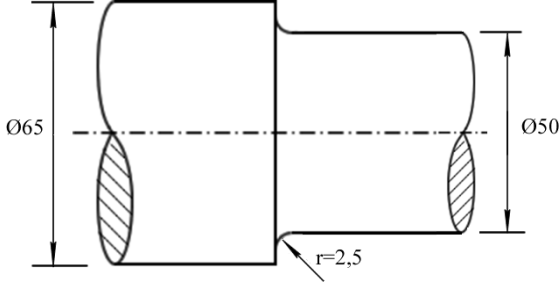


## MAKİNE ELEMANLARI - (2.Hafta)

### SÜREKLİ MUKAVEMET DİYAĞRAMLARI PROBLEMLERİ

#### ÖRNEK 1

Şekildeki gibi Fe50 malzemeden yapılmış faturalı mil ince talaş alınarak işlenmiştir. Aşağıdaki zorlanma durumuna göre sürekli mukavemet açısından emniyet durumunu inceleyiniz.



Zorlanma durumu:

- Statik olarak  $\bar{F}_\zeta = 10000$  N luk çeki yükü
- Statik ve dinamik bir arada  $\widetilde{M}_b = 300 \pm 100$  Nm lik burulma momenti
- $\widetilde{M}_e = 300$  Nm lik değişken eğilme momenti etkimemektedir.

#### Çözüm:

Çözümü adımlar halinde uygulayalım.

- Tehlikeli kesiti tesbit et:** Burada tehlikeli kesit bellidir. Faturanın (çap değişiminin olduğu yer) olduğu yer hem küçük çap olması hemde kavşak noktası olması nedeniyle gerilmenin en çok birikeceği yerdir ve tehlikeli kesit burasıdır. Kırılacak olursa buradan kırılır. Tehlikeli olabilecek kesit bir kaçtane olsaydı herbiri için hesapları ayrı ayrı yapacaktık.
- Tehlikeli kesitlere gelen kuvvet ve momentleri hesapla:** Burada tehlikeli kesit bellidir. Buraya gelen kuvvet ve momentler soruda hazır olarak verilmiştir. Dolayısı ile bu madde için herhangi bir işlem yapmamıza gerek yoktur.
- Tehlikeli kesitlerde oluşan basit gerilmeleri hesapla, bunlardan hangisi kiritik zorlanma tipidir tespit et:** Sürekli mukavemet diyağramını hangi kesite göre çizeceğimizi tespit etmek için tehlikeli kesitte en büyük etkiyi yapan Çekme, Eğilme, Burulma gerilmelerinden hangisi olduğunu tespit etmeliyiz. Bunun için tehlikeli kesitte oluşan Basit Gerilmeleri statik ve dinamik ayrımı yaparak belirleyelim.

En yüksek etkiyi yapan gerilmeyi bulalım.

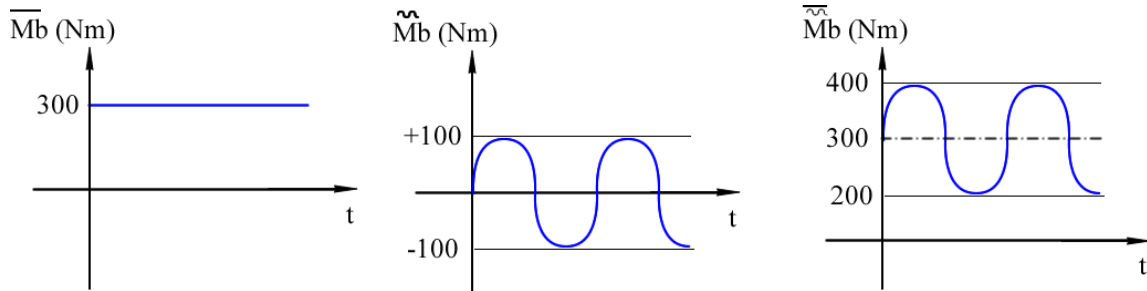
- $\bar{F}_\zeta = 10000$  N luk yük statik çekme gerilmesi oluşturur.

$$\bar{\sigma}_\zeta = \frac{\bar{F}_\zeta}{A} = \frac{10000 \text{ N}}{\frac{\pi 50^2}{4} \text{ mm}^2} = 5,09 \text{ N/mm}^2 (\text{MPa})$$

- $\widetilde{M}_e = 300$  Nm dinamik eğilme momenti, dinamik eğilme gerilmesi oluşturur.

$$\bar{\sigma}_e = \frac{\widetilde{M}_e}{W_e} = \frac{300 \cdot 10^3 \text{ N}}{\frac{\pi 50^3}{32} \text{ mm}^2} = 24,44 \text{ N/mm}^2$$

- $\widetilde{M}_b = 300 \pm 100$  Nm lik burulma momenti içinde hem statik hemde dinamik zorlanma vardır. Grafik olarak gösterirsek;



Buna göre statik ve dinamik burulma gerilmelerini ayrı ayrı hesaplayalım.

- Statik Burulma Gerilmesi:

$$\bar{\tau}_b = \frac{\bar{M}_b}{W_b} = \frac{300 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{\frac{\pi 50^3}{16} \text{ mm}^2} = 12,22 \text{ N/mm}^2$$

- Dinamik Burulma Gerilmesi:

$$\tilde{\tau}_b = \frac{\tilde{M}_b}{W_b} = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{\frac{\pi 50^3}{16} \text{ mm}^2} = 4,07 \text{ N/mm}^2$$

Buna göre en yüksek gerilmeyi oluşturan zorlanma türü Eğilmedir. Böylece sürekli mukavemet diyagramını Eğilmeye göre çizmeliyiz.

4. **Eşdeğer Gerilmeleri hesapla:** Buraya kadar parça üzerindeki kuvvetleri-momentleri (soruda hazır verildi) ve bunların oluşturduğu Basit Gerilmeleri tespit ettik. Basit gerilmelerin bir kaç tanesi bir parça üzerinde aynı anda bulunursa hepsinin yerine geçen Eşdeğer Gerilmeyi bulup, hesaplamaları ona göre yapmalıyız. Bu amaçla 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.

Daha önceki maddede en kritik gerilmenin hangisi olduğunu bulmak için Çekme, Eğilme ve Burulma basit gerilmelerini hesaplamıştık. Sürekli mukavemet diyagramları Çekme, Eğilme, Burulmadan birisi için çizilir.

Parçamızda ise çok farklı yüklemeler olabilir. Bunların hepsinin etkisini Eşdeğer Gerilme kavramı ile (Kırılma hipotezleri kullanılarak) tek bir gerilmeye düşürmüş oluyoruz. Daha önceden bulduğumuz Basit Gerilme değerleri şu şekilde idi.

$$\bar{\sigma}_c = 5,09 \text{ N/mm}^2, \bar{\sigma}_e = 24,44 \text{ N/mm}^2, \bar{\tau}_b = 12,22 \text{ N/mm}^2, \tilde{\tau}_b = 4,07 \text{ N/mm}^2$$

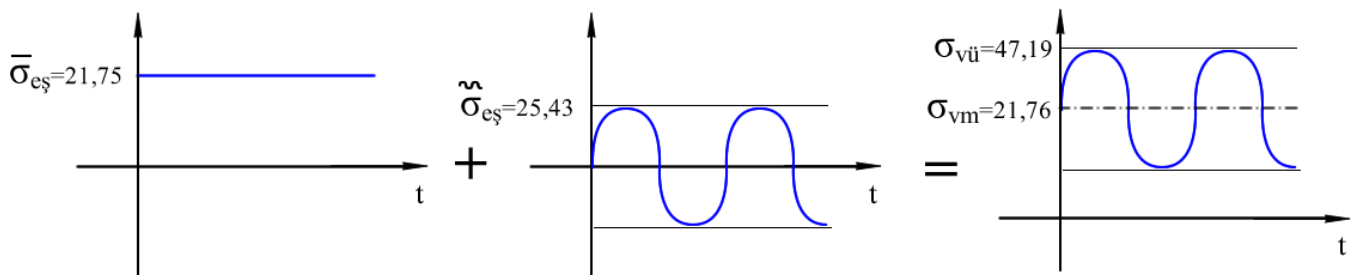
- Statik Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

$$\bar{\sigma}_{es} = \sqrt{(\bar{\sigma}_c + \bar{\sigma}_e)^2 + 3 \bar{\tau}_b^2} = \sqrt{(5,09 + 0)^2 + 3 (12,22)^2} = 21,76 \text{ N/mm}^2$$

- Dinamik Eşdeğer Gerilmeyi hesaplayalım.

$$\tilde{\sigma}_{es} = \sqrt{(\tilde{\sigma}_c + \tilde{\sigma}_e)^2 + 3 \tilde{\tau}_b^2} = \sqrt{(0 + 24,44)^2 + 3 (4,07)^2} = 25,43 \text{ N/mm}^2$$

5. **Mukayese Gerilmelerini hesapla:** Burada statik ve dinamik olmak üzere iki tane eşdeğer gerilme çıktı. Bu iki gerilmeyi diyagramda kullanamayız. Diyagram için Mukayese Gerilmesine ( $\sigma_v$ ) ihtiyaç vardır. Statik ve dinamik grafikler birleştirildiği zaman grafiğin çıktığı en üst noktaya Üst Mukayese Gerilmesi ( $\sigma_{vü}$ ) diyeceğiz. Grafiğin ortalama değerine ise Ortalama Mukayese Gerilmesi ( $\sigma_{vm}$ ) diyeceğiz.



Üst Mukayese Gerilmesi:

$$\sigma_{vü} = \bar{\sigma}_{es} + \tilde{\sigma}_{es} = 21,76 + 25,43 = 47,19 \text{ N/mm}^2$$

Ortalama Mukayese Gerilmesi:

$$\sigma_{vm} = \bar{\sigma}_{es} = 21,76 \text{ N/mm}^2$$

Bu iki değer kullanılarak diyagram üzerinde mukayese çizgisi çizilebilir. Mukayese çizgisinin yatayla yaptığı açı Tan  $\alpha$  olacaktır. Bunu tespit edelim.

$$\tan \alpha = \frac{\sigma_{vü}}{\sigma_{vm}} = \frac{47,19}{21,76} = 2,168 \Rightarrow \alpha = 65,24^\circ$$

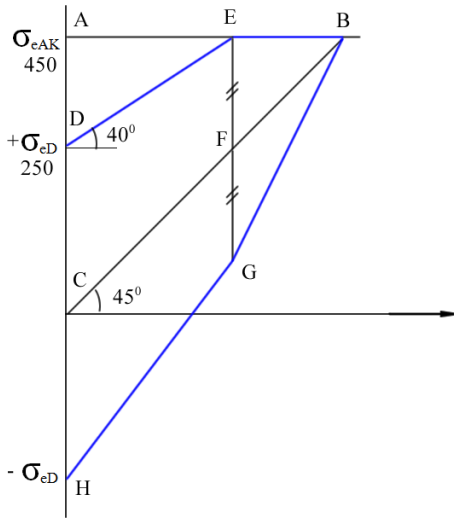
Bu açı kullanılarak mukayese çizgisi Sürekli Mukavemet Diyagramı üzerinde çizilir ve emniyet durumu ondan sonra okunur..

6. **Sürekli Mukavemet Diyağramını yaklaşık çiz (1. Diyağram):** Buraya kadar malzeme üzerinde oluşan gerilmeleri bulduk. Dinamik gerilmeler bulunması durumunda tasarımın emniyetli olup olmadığını ancak sürekli mukavemet diyağramları ile tesbit edebiliriz. Eğer malzemenin ilgili zorlanma türü için hazır sürekli mukavemet diyağramı varsa onu kullanabiliriz. Fakat hazır diyağram yoksa o zaman bu diyağramı kendimiz yaklaşık olarak çizmeliyiz. Bunun için hangi zorlanma türü kiritik ise ona ait Akma Gerilmesi ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesini bilmemiz yeterlidir.

Tablo 1’den St50 için Eğilme için Akma gerilmesini ( $\sigma_{AK}$ ) ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesini ( $\sigma_D$ ) okuyalım.

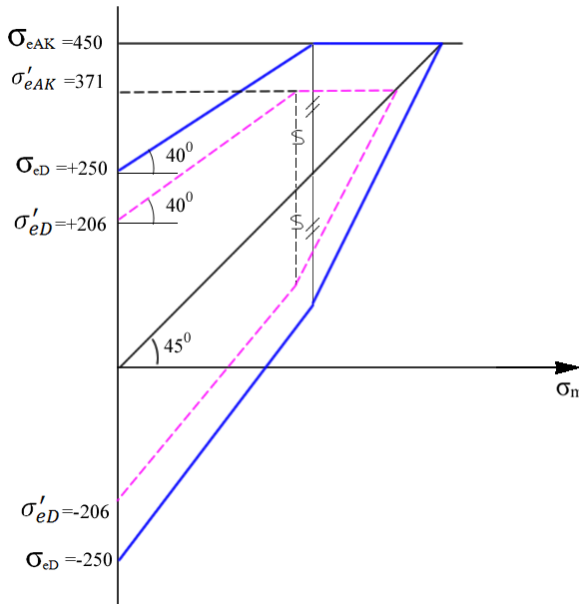
St50 için  $\sigma_{eAK} = 450 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma_{eD} = 250 \text{ N/mm}^2$

Bu iki değeri kullanarak mukavemet azaltıcı etkileri göz önüne almadan grafiği çizelim.



- $\sigma_{eAK} = 450 \text{ N/mm}^2$  (MPa) işaretlenir ve akma yatay çizgisi çizilir (AB).
- Ortalama gerilmeleri gösteren  $45^\circ$  lik eğik çizgi çizilir (BC)
- $\sigma_{eD} = 250 \text{ N/mm}^2$  lik Eğilme Tam Değişken Gerilmesi pozitif (D) ve negatif (H) olmak üzere işaretlenir. Pozitif değerden  $40^\circ$  derece açı ile eğik çizgi çizilir (DE).
- E noktasından dikey olarak inilen çizgi (EF) ortalama gerilme çizgisinden sonra bir o kadar daha aşağıya doğru çizilir (FG).
- Daha sonra bu noktadan B ve H noktalarına diğer çizgiler çizilir.

7. **Sürekli Mukavemet Diyağramını,  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı) katsayısını kullanarak küçült (2.Diyağram):** Sürekli mukavemet diyağramını Çap düzeltme katsayısını ( $b_0$ ) kullanarak bir kademe daha küçültelim.  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı): Tablo 2 kullanılarak interpolasyonla (aradeğeri bulmak için orantı ile)  $b_0 = 0,825$  değeri alınır.



$$\sigma'_{eAK} = b_0 \cdot \sigma_{AK} = 0,825 \times 450 = 371 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{eD} = b_0 \cdot \sigma_D = 0,825 \times 250 = 206 \text{ N/mm}^2$$

8. **Sürekli Mukavemet Diyağramını,  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı),  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı),  $\beta_k$  (Çentik katsayısı) katsayılarını kullanarak küçült (3.Diyağram):** Küçültülmüş yeni grafiği çizebilmek için  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı=Parça büyüklüğü etkisi),  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı),  $\beta_k$  (Çentik katsayısı) değerleri hesaplanıp Eğilme için Şekil Eğilme Akma Gerilmesi ( $\sigma_{seAK}$ ) ve Şekil Eğilme Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi ( $\sigma_{seD}$ ) değerleri hesaplanır. Bu değerler bulunduktan sonra grafik yeniden çizilir.

$$\sigma_{\text{seAK}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_{AK} \quad \sigma_{\text{seD}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_D$$

- a)  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı): Tablo 2 kullanılarak interpolasyonla (aradeğeri bulmak için orantı kullanımı)  $b_0 = 0,825$  değeri alınır.
- b)  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı): Bu katsayı Tablo 3'den alınır. Tablo 3 kullanabilmek için ise  $\sigma_{\text{çk}}$  (çekme kopma gerilmesi) gerekir. Bu değerde Tablo 1'den okunur. Tablo 1'den St50 çelik için  $\sigma_{\text{çk}} = 500 \text{ N/mm}^2$  alınır. Bu değer ve soruda verilen "ince talaş alınarak işleme" bilgisi kullanılarak Tablo 3'den  $b_1 = 0,91$  alınır.
- c)  $\beta_k$  (Çentik katsayısı): Bu değeri hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılır.

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

Bu formüldeki  $K_t$  (Teorik Gerilme Yığılması) katsayısı Tablo 5 ve 6'nın birinden okunur. Buna göre bu tabloları kullanmak için  $r/d = 2,5/50 = 0,05$  ve  $D/d = 65/50 = 1,3$  değerleri kullanılarak interpolasyonla ara değeri okuyarak  $K_t = 1,89$  bulunur.

Aynı formüldeki  $q$  (Çentik Hassasiyeti) Katsayısı için Tablo 4 kullanılır. Bu tablo için  $\sigma_{\text{çk}} = 500 \text{ N/mm}^2$  ve  $r = 2,5 \text{ mm}$  değerleri kullanılarak interpolasyonla  $q = 0,765$  değeri bulunur. Bulunan katsayılar formüle yerine yazılırsa, Çentik Katsayısı

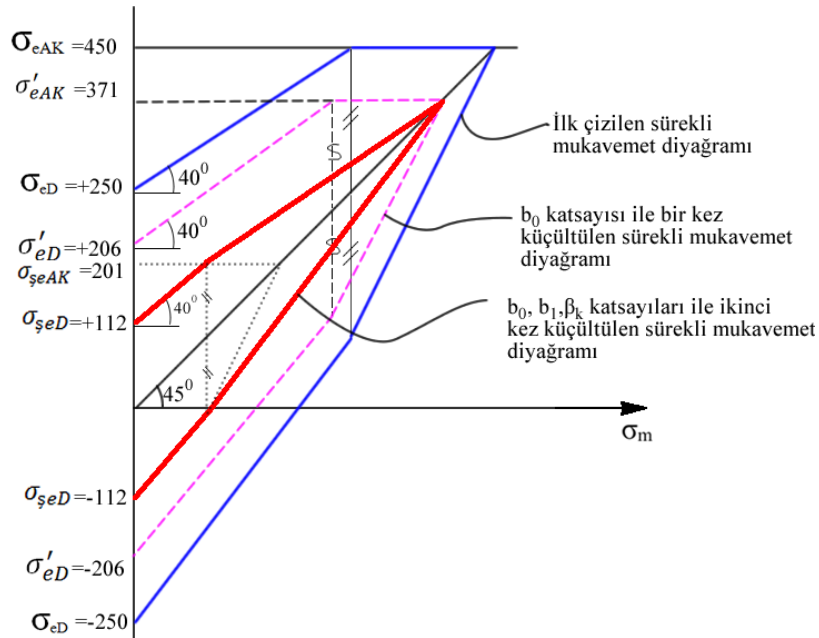
$$\beta_k = q (K_t - 1) + 1 = 0,765 (1,89 - 1) + 1 = 1,68 \text{ bulunur.}$$

Bulunan bu katsayılar Akma Gerilmesi ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmelerini küçültmek için kullandığımız formüllerde yerine yazılırsa;

$$\sigma_{\text{seAK}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_{AK} = \frac{0,825 \cdot 0,91}{1,68} 450 = 201 \text{ N/mm}^2$$

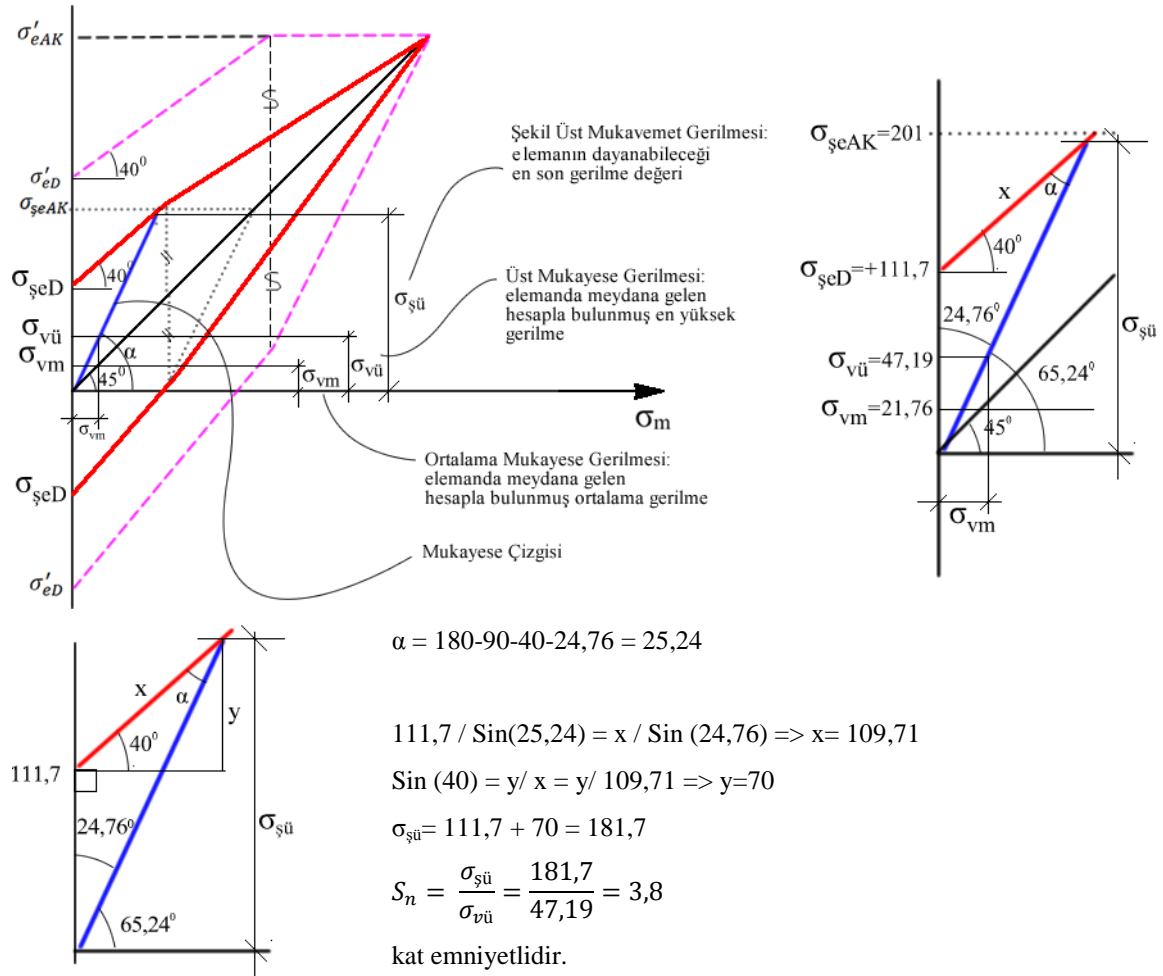
$$\sigma_{\text{seD}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_D = \frac{0,825 \cdot 0,91}{1,68} 250 = 112 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$\sigma_{\text{seAK}}$  ve  $\sigma_{\text{seD}}$  değerlerini kullanarak Şekil Eğilme Sürekli Mukavemet Diyagramını (iki kez küçültülmüş diyagram) çizelim. Üçüncü kez çizilen bu diyagramda önceki çizimlerden farklı olarak diyagramın ucundaki okun ucu 2. Diyagramın ucuna bağlanır.



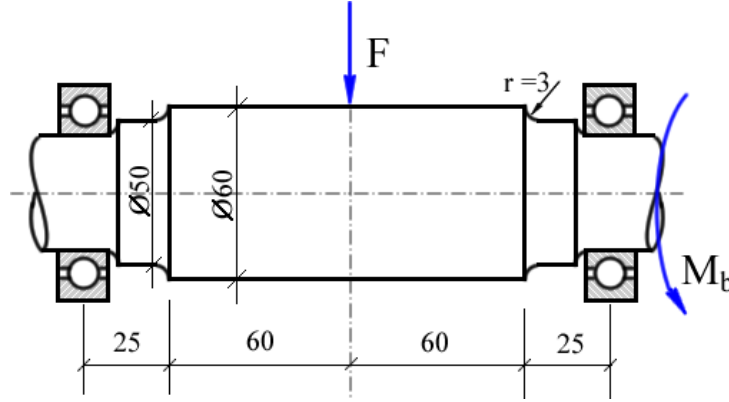
9. **Elemanın Emniyet Katsayısını hesapla:** Mukavemet azaltıcı etkenlerde göz önüne alındıktan sonra, parçamızda meydana gelen Ortalama Mukayese Gerilmesi ( $\sigma_{vm}$ ) ve Üst Mukayese Gerilmesinin ( $\sigma_{vü}$ ) grafiğın sınırları içinde (kırmızı çizgi) kalmalıdır. Parçamız bu bölgede çalıştığı 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 ( $\sigma_{\text{şü}}$ ) denir. Malzemenin çıkabileceği en son sınır ( $\sigma_{\text{şü}}$ ) ile malzemede oluşan en büyük gerilmenin ( $\sigma_{vü}$ ) oranı sürekli mukavemet için Emniyet Katsayısını ( $S_n$ ) verir.

Diyağramda geometrik değerler kullanılarak ( $\sigma_{\text{şü}}$ ) değerini, yani mavi çizginin kırmızı çizgiyi kestiği noktayı bulalım



**ÖRNEK 2**

Aşağıda şekli verilen kasnak milinin ortasına  $F=8000$  N luk kuvvet etki etmektedir. Mili döndürmek için motordan gelen moment  $M_b=75000$  Nmm dir. Mil malzemesi St42 (Fe42) olup, tornada işlendikten sonra taşlanacaktır. Buna göre milin emniyetini sürekli mukavemet açısından kontrol ediniz.

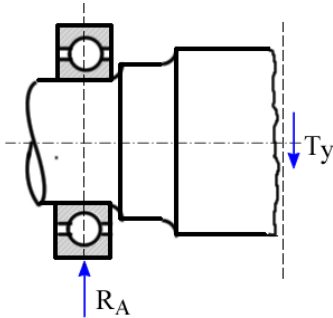
**Çözüm:**

Çözümü maddeler halinde açıklayalım.

- Tehlikeli Kesitleri Tespit Et:** Malzeme üzerinde bir çok tehlikeli kesit bulunabilir. Eğer problemin başında tehlikeli kesit açık olarak görülebiliyorsa direk hesaplamaları oraya göre yapabiliriz. Şayet tehlikeli kesit/kesitler tam belli değilse her biri için ayrı hesap yapmamız gerekir. İşlemlerin sonunda hangisinin daha tehlikeli olduğu Güvenlik Katsayısından ( $S_n$ ) anlaşılacaktır. Burada 25 mm lik kısımda çap değişiminin olduğu yer ile (buraya I bölge diyelim) milin tam orta noktası (buraya II bölge diyelim) tehlikeli olarak görülmektedir. Hangisinin daha tehlikeli olduğu ilk bakışta anlaşılarmamaktadır (yani kırılma ilk olarak nereden başlar).
- Tehlikeli Kesitlere Gelen Kuvvet ve Momentleri Hesapla:** Parçanın tehlikeli kesitlerinde oluşan gerilmeleri bulabilmemiz için oralara gelen kuvvet ve momentleri bilmeliyiz.

Burada ortadaki  $F$  kuvveti parçayı hem Kesmeye çalışacaktır hemde Eğmeye çalışacaktır.  $M_b$  burulma momenti ise sadece Burmaya çalışacaktır. Dolayısı ile parçada üç tane Basit Gerilme olacaktır. Bunlar Kesme, Eğilme ve Burulmadır.

- Kesme kuvveti ( $T_y$ ):** Kesme kuvveti için A ve B yataklarına gelen Tepki (reaksiyon) kuvvetlerini bulalım. Daha sonra mili herhangi bir noktadan kestiğimizde dıştaki kuvveti dengeleyecek içteki kesme kuvveti aynı büyüklükte ve zıt yönlü olacaktır. Hesaplamasını statikdeki denge şartlarını kullanarak şu şekilde bulabiliriz.



Statik hesapları kullanarak önce  $R_A$  ve  $R_B$  yi bulalım.

$$\sum \rightarrow F_x = 0 \Rightarrow x \text{ yönünde kuvvet yoktur.}$$

$$\sum \uparrow F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 8000 \text{ N} = 0 \Rightarrow R_A + R_B = 8000 \text{ N}$$

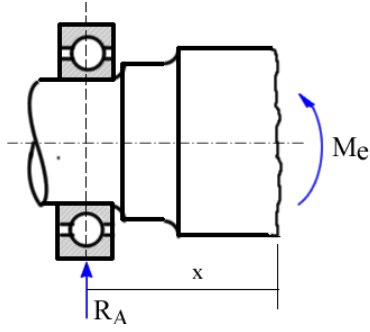
$$\sum \curvearrowright M_A = 0 \Rightarrow F \cdot 85 - R_B \cdot 170 = 0 \Rightarrow R_B = 8000 \text{ N. } 85 \text{ mm} / 170 \text{ mm} = 4000 \text{ N}$$

olur.  $R_B$  yi bir önceki denklemde yerine yazarsak  $R_A = 4000 \text{ N}$  buluruz.

Mil boyunca kesmeye çalışan Kesme kuvveti  $R_A$  yada  $R_B$  ile aynı olup  $T_y = 4000$  N olur. Kesme kuvvetini aşağıda diyağramla gösterirsek milin yarısından itibaren  $\pm$  zıt yönlü olur.

- Eğilme momenti ( $M_e$ ):** Mili herhangi bir noktadan kesersek kestiğimiz taraftaki eğilme momenti, o tarafta kalan kuvvetlerin mesafeye bağlı olarak oluşturdukları moment olmuş olur. Uçtan itibaren belli uzaklıklar için hesabı şu şekilde olacaktır.





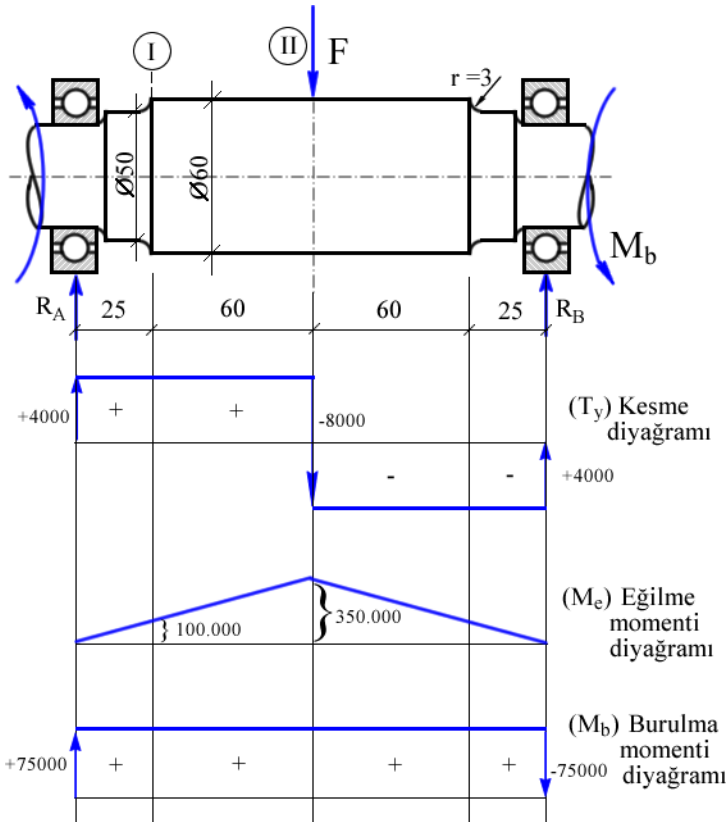
$M_e - R_A \cdot x = 0 \Rightarrow M_e = R_A \cdot x$  olur. Buna göre  
 $x = 0$  mm için  $M_e = 4000 \text{ N} \cdot 0 \text{ mm} = 0 \text{ Nmm}$

I-Kesiti	II-Kesiti
$x = 25 \text{ mm}$ için $M_e = 4000 \text{ N} \cdot 25 \text{ mm} = 100.000 \text{ Nmm}$ olur.	$x = 85 \text{ mm}$ için $M_e = 4000 \text{ N} \cdot 85 \text{ mm} = 340.000 \text{ Nmm}$

Dikey eksenin sağ tarafında da aynı değerler çıkar fakat yönleri farklıdır. Diyagramı aşağıda gösterilmiştir.

- c) **Burulma momenti ( $M_b$ ):** Burulmam momenti kesit üzerinde her yerde aynı etkiye sahiptir. Sonuçta milin bir ucundan tahrik edildiğine göre diğer uca kadar aynı burulma momentine sahiptir. Eğer milin üzerinde moment uygulayan yada çeken elemanlar (motor, kasnak, dişli gibi) olsaydı bir uçtan başlayıp bunları sırayla yönlerine göre toplayıp çıkararak burulma momentlerini bulacaktık.

Etki eden Burulma momenti mil üzerinde bir tane olduğu için mil boyunca her kesite aynı etkiyi yapar. Diyagramda düz bir çizgi oluşturur ve değeri  $M_b = 75000 \text{ Nmm}$  olur.



3. **Tehlikeli Kesitlerde Oluşan Basit Gerilmeleri Hesapla:** Basit gerilmeleri hesaplarken aynı zamanda Statik yada Dinamik olup olmadıklarını tespit etmeliyiz. Çünkü bir parçanın ömrünün kılalması statik ve dinamik kuvvetlerin etkileri farklıdır. Dinamik kuvvetler  $\pm$  şeklinde etki edip, ortalaması sıfır olsada parçanın ömrünün kılalması önemli bir etkiye sahiptir. Sürekli mukavemet diyagramları da zaten temelde gerilmelerin ortalama değeri ile genişliğini dikkate alarak işlem yapmaktadır. Bir sonraki aşamada Eşdeğer gerilmeleri statik ve dinamik olarak ayrı ayrı hesaplayacağımızdan orada kullanacağımız basit gerilmeleride statik ve dinamik olarak ayrı hesaplayacağız.

- a) **Kesme Gerilmesi ( $\tau_k$ ):** Parçada kesmeyi oluşturan kuvvetler arasında mesafe ( $T_y$  ile  $R_A$  kuvvetleri) açıldığı zaman bu iki kuvvetin etkisi kesmeden daha çok eğilme şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Kesmeyi hesapladığında da zaten çok düşük çıkacaktır. Eşdeğer gerilmeleri hesaplarken kullandığımız Şekil Değiştirme Enerjisi Hipotezi formülünde de ( $\sigma_e$ ,  $\sigma_s$ ,  $\tau_b$ ) değerleri kullandığımız için kesmeyi eşdeğer gerilmenin yanında ihmal edeceğiz.

I-Kesiti	II-Kesiti
$\bar{\tau}_k = \frac{\bar{T}_y}{A} = \frac{4000 \text{ N}}{\frac{\pi 50^2}{4}} = 2,03 \text{ N/mm}^2$	$\bar{\tau}_k = \frac{\bar{T}_y}{A} = \frac{4000 \text{ N}}{\frac{\pi 60^2}{4}} = 1,414 \text{ N/mm}^2$

- b) **Eğilme Gerilmesi** ( $\sigma_e$ ): Milin ortasından uygulanan kuvvet her ne kadar statik olarak uygulansa da, milin dönmesi nedeniyle oluşan gerilme dinamik olmaktadır. Kuvvet uygulanan üst nokta eğilme nedeniyle básiya uğrar, alt nokta ise çekiye maruz kalır. Dolayısı ile yukarıda ve aşağıda zıt işaretli negatif ve pozitif gerilmeler meydana gelir. Mil dönme durumunda olduğu için üstteki nokta aşağıya inecektir, aşağıdaki nokta ise yukarı çıkacaktır. Böylelikle milin üzerindeki her nokta sürekli olarak değişen bir gerilmeye maruz kalacaktır. Milin üzerindeki kuvvet statik olsada ona bağlı olarak belli bir nokta için Eğilme Momenti ve oluşan gerilmeler dinamiktir. Her iki kesit için Eğilme gerilmesini hesaplayalım.

I-Kesiti	II-Kesiti
$\bar{\sigma}_e = \frac{\bar{M}_e}{W_e} = \frac{\bar{M}_e}{\frac{I_x}{r}} = \frac{\bar{M}_e}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{\bar{M}_e}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{100.000 \text{ Nmm}}{\frac{\pi 50^3}{32} \text{ mm}^3} = 8,149 \text{ N/mm}^2$	$\bar{\sigma}_e = \frac{340.000}{\frac{\pi 60^3}{32}} = 16,034 \text{ N/mm}^2$

- c) **Burulma Gerilmesi** ( $\tau_b$ ): Motordan gelen döndürme momenti (burulma momenti) hep sabit olarak uygulandığından, milin her noktasında oluşan Burulma momenti statik olarak etki edecektir. Dolayısıyla oluşan Burulma gerilmesi de statik olacaktır.

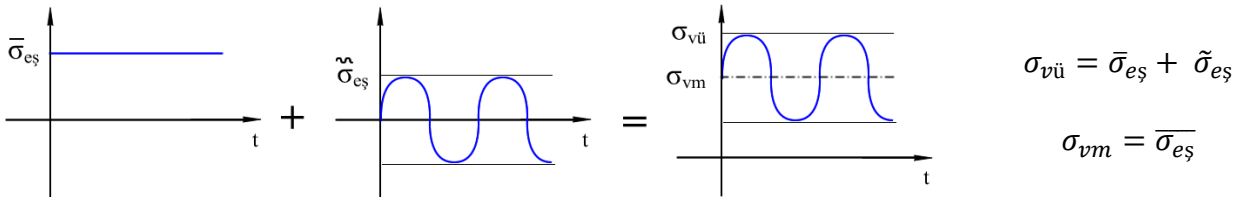
I-Kesiti	II-Kesiti
$\bar{\tau}_b = \frac{\bar{M}_b}{W_b} = \frac{\bar{M}_b}{\frac{I_p}{r}} = \frac{\bar{M}_b}{\frac{I_x + I_y}{r}} = \frac{\bar{M}_b}{\frac{2(\frac{\pi d^4}{64})}{d/2}} = \frac{\bar{M}_b}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{75.000 \text{ Nmm}}{\frac{\pi 50^3}{16} \text{ mm}^3} = 3,056 \text{ N/mm}^2$	$\bar{\tau}_b = \frac{75.000}{\frac{\pi 60^3}{16}} = 1,77 \text{ N/mm}^2$

Gerilmeler incelendiğinde en büyük değerler Eğilme için ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile ileriki aşamalarda kullanmak üzere Kritik Zorlanma türünü Eğilme olarak alacağız.

4. **Eşdeğer Gerilmeleri Hesapla:** Şekil Değiştirme Enerjisi Hipotezi (Von-Mises) kullanılarak mevcut basit gerilmelerin yerine geçecek Eşdeğer gerilmeleri hesaplamalıyız. Statik ve dinamik gerilmelerin etkileri farklı olduğundan, Eşdeğer gerilmeleride buna göre ayrı ayrı hesaplamalıyız. Kritik olan her iki kesit için, hem statik hem dinamik olarak hesaplayalım.

I-Kesiti	II-Kesiti
$\bar{\sigma}_{e\bar{s}} = \sqrt{(\bar{\sigma}_\sigma + \bar{\sigma}_e)^2 + 3(\bar{\tau}_b)^2} = \sqrt{(0 + 0)^2 + 3(3,056)^2} = 5,287 \text{ N/mm}^2$	$\bar{\sigma}_{e\bar{s}} = \sqrt{(\bar{\sigma}_\sigma + \bar{\sigma}_e)^2 + 3(\bar{\tau}_b)^2} = \sqrt{(0 + 0)^2 + 3(1,77)^2} = 3,06 \text{ N/mm}^2$
$\tilde{\sigma}_{e\bar{s}} = \sqrt{(\tilde{\sigma}_\sigma + \tilde{\sigma}_e)^2 + 3(\tilde{\tau}_b)^2} = \sqrt{(0 + 8,149)^2 + 3(0)^2} = 8,149 \text{ N/mm}^2$	$\tilde{\sigma}_{e\bar{s}} = \sqrt{(\tilde{\sigma}_\sigma + \tilde{\sigma}_e)^2 + 3(\tilde{\tau}_b)^2} = \sqrt{(0 + 16,034)^2 + 3(0)^2} = 16,034 \text{ N/mm}^2$

5. **Mukayese Gerilmelerini Hesapla:** Sürekli mukavemet diyagramlarının kullanılabilmesi için eşdeğer gerilme olarak gerilmelerin çıktığı en büyük değer (Üst mukayese gerilmesi- $\sigma_{v\bar{u}}$ ), ortalama gerilmenin (Ortalama Mukayese Gerilmesi- $\sigma_{vm}$ ) ve bunların oluşturduğu grafik üzerinde çizilen açılı çizginin (Mukayese Çizgisi-Tan $\alpha$ ) bilinmesi gerekir. Statik eşdeğer gerilme, ortalama mukayese gerilmesini oluşturur. Statik eşdeğer gerilme ile dinamik eşdeğer gerilmenin toplamı da, üst mukayese gerilmesini oluşturur. Grafiksel olarak bunların durumu aşağıdaki şekilde olacaktır. Ayrıca her iki kesit içinde mukayese gerilmelerini hesaplayalım.



I-Kesiti	II-Kesiti
<p>Üst mukayese gerilmesi</p> $\sigma_{v\bar{u}} = \bar{\sigma}_{e\bar{s}} + \tilde{\sigma}_{e\bar{s}} = 5,287 + 8,149 = 13,44 \text{ N/mm}^2$ <p>Ortalama mukayese gerilmesi</p> $\sigma_{vm} = \bar{\sigma}_{e\bar{s}} = 5,287 \text{ N/mm}^2$	<p>Üst mukayese gerilmesi</p> $\sigma_{v\bar{u}} = \bar{\sigma}_{e\bar{s}} + \tilde{\sigma}_{e\bar{s}} = 3,06 + 16,034 = 19,094 \text{ N/mm}^2$ <p>Ortalama mukayese gerilmesi</p> $\sigma_{vm} = \bar{\sigma}_{e\bar{s}} = 3,06 \text{ N/mm}^2$

$\tan \alpha = \frac{\sigma_{vü}}{\sigma_{vm}} = \frac{13,44}{5,287} = 2,54 \Rightarrow \alpha = 68,5^\circ$	$\tan \alpha = \frac{\sigma_{vü}}{\sigma_{vm}} = \frac{19,094}{3,06} = 6,239 \Rightarrow \alpha = 80,89^\circ$
--	--

6. **Sürekli Mukavemet Diyağramını yaklaşık çiz (1. Diyağram):** Malzemedeki kritik bölgeleri ve bu kritik bölgelerde oluşan en büyük gerilmeleri ve ortalama gerilmeleri (mukayese gerilmeleri) bulduk. Fakat bu gerilmelerin ne kadar emniyetli olduğunu görebilmemiz için statikte olduğu gibi basitçe Akma gerilmesi yada Emniyet gerilmesi ile karşılaştırma yapamayız. Dinamik gerilmelerin bulunduğu parçalarda parçanın ne kadar emniyetli olduğunu sürekli mukavemet diyağramları bize verir.

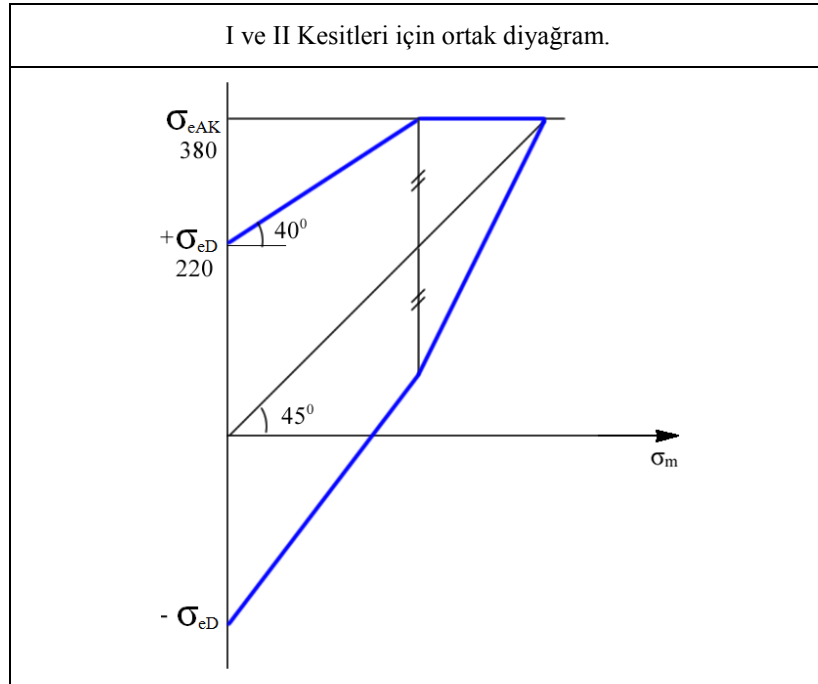
İstenen malzeme için elimizde hazır olarak daha önceden çizilmiş sürekli mukavemet diyağramı yoksa yaklaşık olarak bu diyağramı kendimiz çizmeliyiz. Bunun için malzemenin a) Kritik zorlanma türünü (Çekme, Eğilme, Burulma), b) Bu zorlanma için laboratuvar hesaplanmış Akma gerilmesini ( $\sigma_{AK}$ ), c) Bu zorlanma türü ile laboratuvar sürekli mukavemet deneyleri yapılmış ve tam değişken yükleme ( $\pm$  yönlü) maruz bırakılırken sonsuz ömrü sağlayan gerilme genliğinin ne olduğunun bilinmesi gerekir. Yani “tam değişken sürekli mukavemet gerilmesi ( $\sigma_D$ )” nin bilinmesi gerekir. Bu değerleri istenen malzeme ve zorlanma türüne bağlı olarak Tablo1’den okuyabiliriz.

Tablo1’den Fe 42 Malzeme ve kritik Eğilme zorlanması için (bkz: Madde 3)

$$\sigma_{eAK} = 380 \text{ N/mm}^2$$

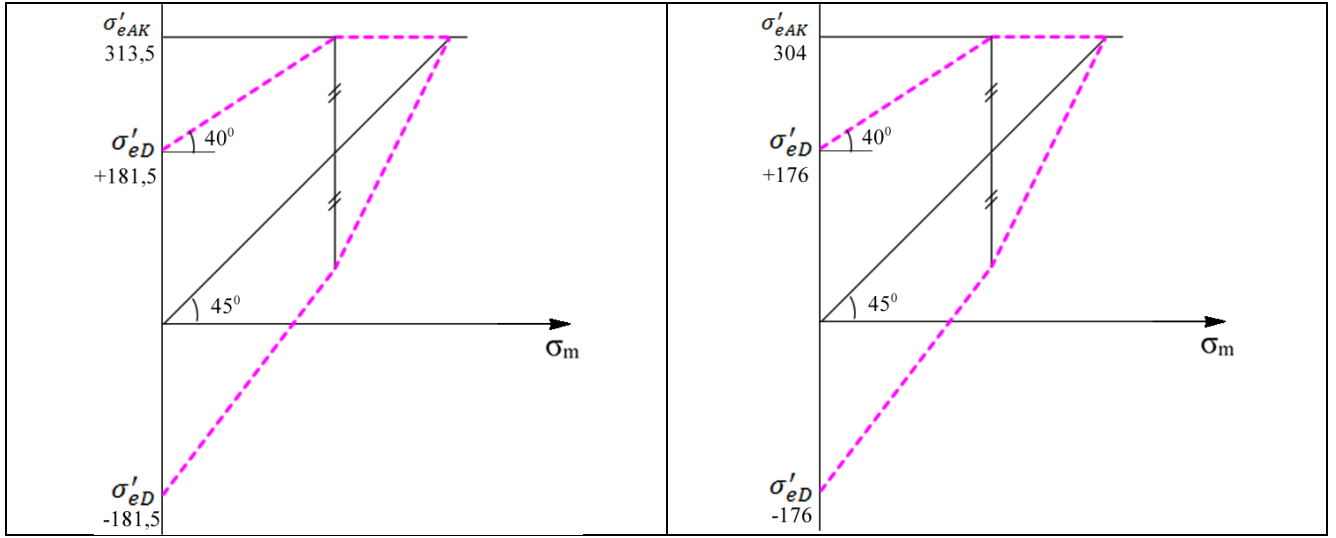
$$\sigma_{eD} = 220 \text{ N/mm}^2$$

Bu değerler kullanılarak çizilen 1. Diyağram sadece malzemeyle ilgili bir diyağram olduğu için her iki kritik kesit için tek bir diyağram çıkacaktır.



7. **Sürekli Mukavemet Diyağramını,  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı) katsayısını kullanarak küçült (2.Diyağram):** Sürekli mukavemet diyağramını Çap düzeltme katsayısı ( $b_0$ ) kullanarak bir kademe daha küçütelim.  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı) Tablo 2 kullanılarak bulunur. Tabloda direk değerler yok ise interpolasyon alınarak (orantı kurularak) ara değerler alınır. Kritik kesitlerin çapları farklı olduğundan burada karşımıza iki tane diyağram çıkacaktır.

I-Kesiti	II-Kesiti
<p>Çap 50 mm için Tablo 2’den <math>b_0 = 0,825</math> alınır</p> <p><math>\sigma'_{eAK} = b_0 \cdot \sigma_{AK} = 0,825 \times 380 = 313,5 \text{ N/mm}^2</math></p> <p><math>\sigma'_{eD} = b_0 \cdot \sigma_D = 0,825 \times 220 = 181,5 \text{ N/mm}^2</math></p>	<p>Çap 60 mm için Tablo 2’den <math>b_0 = 0,80</math> alınır</p> <p><math>\sigma'_{eAK} = b_0 \cdot \sigma_{AK} = 0,80 \times 380 = 304 \text{ N/mm}^2</math></p> <p><math>\sigma'_{eD} = b_0 \cdot \sigma_D = 0,80 \times 220 = 176 \text{ N/mm}^2</math></p>



8. **Sürekli Mukavemet Diyağramını,  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı),  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı),  $\beta_k$  (Çentik katsayısı) katsayılarını kullanarak küçült (3.Diyağram):** Küçültülmüş yeni grafiği çizebilmek için  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı=Parça büyüklüğü etkisi),  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı),  $\beta_k$  (Çentik katsayısı) değerleri hesaplanıp Eğilme için Şekil Eğilme Akma Gerilmesi ( $\sigma_{\text{seAK}}$ ) ve Şekil Eğilme Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmesi ( $\sigma_{\text{seD}}$ ) değerleri hesaplanır. Bu değerler bulunduktan sonra grafik yeniden çizilir.

$$\sigma_{\text{seAK}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_{AK} \quad \sigma_{\text{seD}} = \frac{b_0 \cdot b_1}{\beta_k} \sigma_D$$

- a)  $b_0$  (Çap düzeltme katsayısı): Tablo 2 kullanılarak interpolasyonla (aradeğeri bulmak için orantı kullanımı)  $b_0$  değerleri kesitlere bağlı olarak şu şekilde alınır.

I-Kesiti (d= 50 mm)	II-Kesiti (D=60 mm)
$b_0 = 0,825$ interpolasyonla alınır.	$b_0 = 0,80$ okunur.

- b)  $b_1$  (Yüzey düzgünlük katsayısı): Bu katsayı Tablo 3'den alınır. Tablo 3 kullanabilmek için ise  $\sigma_{\text{çk}}$  (çekme kopma gerilmesi) gerekir. Bu değer de Tablo 1'den okunur. Tablo 1'den St 42 (Fe 42) çelik için  $\sigma_{\text{çk}} = 420 \text{ N/mm}^2$  alınır. Bu değer ve soruda verilen "taşlanarak işleme" bilgisi kullanılarak  $b_1$  katsayısını interpolasyonla bulalım.

$\sigma_{\text{çk}}$	400	420	500
Taşlanmış	0,960	$b_1=?$	0,950

$$\frac{(0,950 - 0,960)}{(500 - 400)} = \frac{(b_1 - 0,960)}{(420 - 400)} \Rightarrow b_1 = 0,958$$

Buradan **her iki kesit için  $b_1=0,958$**  bulunur. Bu değer malzemeye ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Çapa bağlı olmadığı için her iki kesit için de geçerlidir.

- c)  $\beta_k$  (Çentik katsayısı): Bu değeri hesaplayabilmek için aşağıdaki formül kullanılır. Bu formülde  $q$  ve  $K_t$  değerlerinin tablolardan okunabilmesi için  $r=3\text{mm}$ ,  $d= 50 \text{ mm}$ ,  $D= 60 \text{ mm}$  değerlerini kullanacağız. Fakat bu değerler sadece I kesit için geçerlidir. II kesitte çentik oluşturacak bir köşe yoktur. Bu nedenle buranın  $\beta_k = 1$  alınır. Değerlerimizi sadece I kesiti için bulalım.

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

Formüldeki  $q$  (Çentik Hassasiyeti) Katsayısı için Tablo 4 kullanılır. Bu tablo için  $\sigma_{\text{çk}} = 420 \text{ N/mm}^2$  ve  $r=3 \text{ mm}$  değerleri kullanılarak **her iki kesit için  $q$  çentik hassasiyeti katsayısını  $q=0,76$**  olarak okunur.

Bu formüldeki  $K_t$  (Teorik Gerilme Yığılması) katsayısı Tablo 5'den okunur. Milin çentik şekli Tablo 5'deki şekille aynıdır. Buna göre bu tabloyu kullanmak için  $r/d=3/50=0,06$  ve  $D/d=60/50=1,2$  değerleri kullanılarak interpolasyonla arada bir değer olan  $K_t$  yi hesaplayalım. Tablo 5'i kullanabilmek için kritik zorlanma türünü bilmeliyiz. Problemimizde kritik zorlanma eğilmedir (Bkz. Madde 3).

Tablo 5'in bir bölümünü gösteren aşağıdaki tabloda aradığımız değer  $K_t$  değeridir. Bu değeri bulabilmek için A ve B değerlerini önce iki tane interpolasyonla bulmalıyız. Daha sonra A ve B arasında interpolasyon yaparak  $K_t$  değerini bulmalıyız.

r/d	0,05	0,06	0,10
D/d			
1,1	1,88		1,58
1,2	A=1,89	K <sub>t</sub> =1,83	B=1,59
1,5	1,92		1,62

$$A \text{ İnterpolasyonu: } \frac{(1,92-1,88)}{(1,5-1,1)} = \frac{(A-1,88)}{(1,2-1,1)} \Rightarrow A = 1,89$$

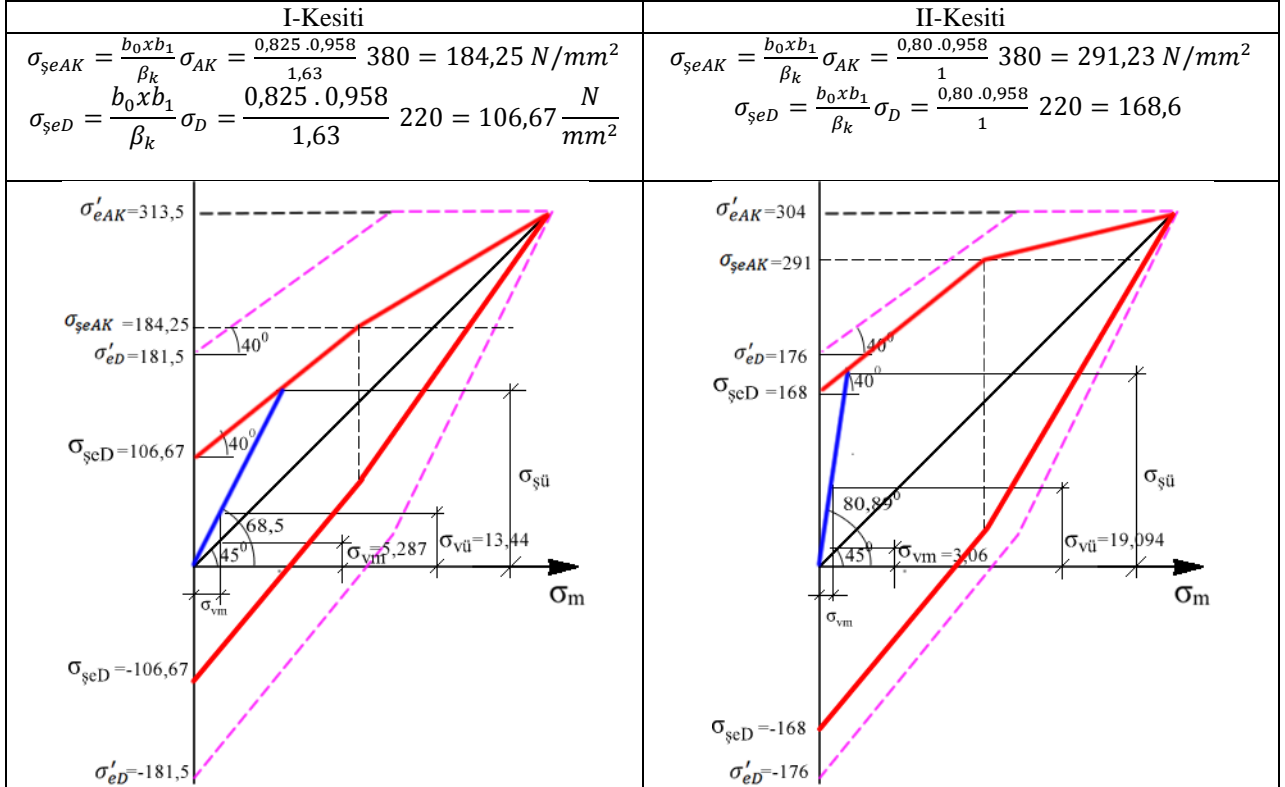
$$B \text{ İnterpolasyonu: } \frac{(1,62-1,58)}{(1,5-1,1)} = \frac{(B-1,58)}{(1,2-1,1)} \Rightarrow B = 1,59$$

$$K_t \text{ İnterpolasyonu: } \frac{(1,89-1,59)}{(0,05-0,10)} = \frac{(K_t-1,59)}{(0,06-0,10)} \Rightarrow K_t = 1,83$$

Buradan Çentik katsayısı **I-Kesit** için  $\beta_k = q (K_t - 1) + 1 = 0,76 (1,83 - 1) + 1 = 1,63$  bulunur

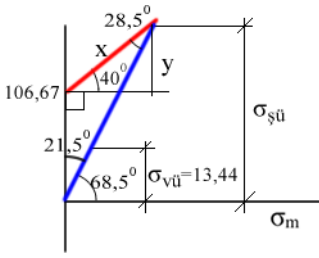
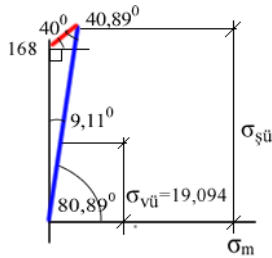
**II-Kesit** üzerinde çentik bulunmadığı için  $\beta_k = 1$  alınır.

Bulunan bu katsayılar Akma Gerilmesi ve Tam Değişken Sürekli Mukavemet Gerilmelerini küçültmek için kullandığımız formüllerde yerine yazılırsa, I ve II kesitler için değerler şu şekilde olacaktır. Buna bağlı olarak yeni diyağramlar aşağıdaki şekilde oluşacaktır.



9. **Kesitlerin Emniyet Katsayısını hesapla:** Mukavemet azaltıcı etkenlerde göz önüne alındıktan sonra, meydana gelen Ortalama Mukayese Gerilmesi ( $\sigma_{vm}$ ) 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 Diyağramını (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 en büyük gerilmenin ( $\sigma_{vü}$ ) oranı sürekli mukavemet için Emniyet Katsayını ( $S_n$ ) verir.

Diyağramda geometrik değerler kullanılarak ( $\sigma_{şü}$ ) değerini, yani mavi çizginin kırmızı çizgiyi kestiği noktayı bulalım

I-Kesiti	II-Kesiti
 $\frac{106,67}{\sin 28,5} = \frac{x}{\sin 21,5}$ $x=81,93$ $\sin 40 = \frac{y}{81,93}$ $y=52,66$ $\sigma_{\text{şü}} = 106,67 + 52,66 = 159,33$ $S_n = \frac{\sigma_{\text{şü}}}{\sigma_{\text{vü}}} = \frac{159,33}{13,44}$ $= 11,85$ <p>Kat emniyetlidir.</p>	 $\frac{168}{\sin 40,89} = \frac{x}{\sin 9,11}$ $x=40,63$ $\sin 40 = \frac{y}{40,63}$ $y=26,12$ $\sigma_{\text{şü}} = 168 + 26,12 = 194,12$ $S_n = \frac{\sigma_{\text{şü}}}{\sigma_{\text{vü}}} = \frac{194,12}{19,094}$ $= 10,166$ <p>Kat emniyetlidir.</p>

Buradan görüleceği üzere emniyet katsayısı daha düşük olan II-Kesittir. Yani mil kırılma sınırında olsaydı ilk olarak orta bölgeden kırılacaktı.