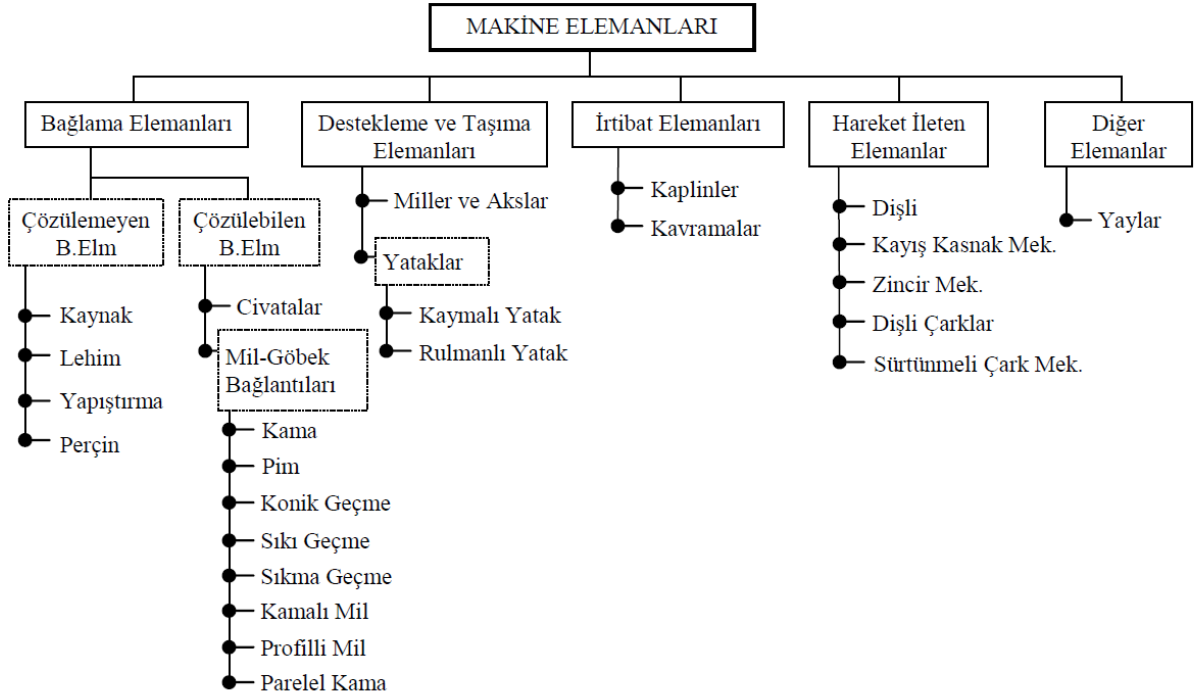


MAKİNE ELEMANLARI I

1. TEMEL KAVRAMLAR

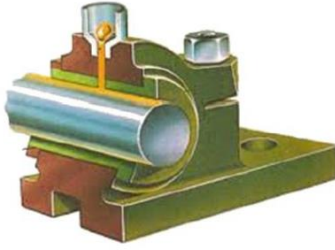
1.1. Giriş

Makine elemanları gerçek hayatta kullanılan daha çok piyasada standart üretimleri bulunan makineler ile ilgili elemanların tasarımı, hesaplaması, seçimi ve konstrüktif (yapısal) çizimleri üzerine inceleme yapar. Bu açıdan temel makine mühendisliği derslerinden sonra (statik, dinamik, teknik resim, malzeme, mukavemet gibi) işlenmesi gereken bir derstir. Çoğunlukla iki ders halinde incelenen konular Şekil 1.1’deki gibi gruplandırılabilir. Bazı makine elemanların resmi ise Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Makine elemanları temel konu başlıkları

MAKİNE ELEMANLARI I – TEMEL KAVRAMLAR



Kaymalı Yatak



Rulmanlı Yatak



Perçin



Kayış-Kasnak



Pim



Kaplin



Kavramalar



Kaplin çeşitleri



Cıvata – Somun



Triger kayış-kasnak tertibatı



Redüktör (Dişli kutusu)



Kavrama



Yay çeşitleri



Rulman çeşitleri



Şekil 1.2. Makine elemanlarından örnekler

1.2. Makine Tasarımı

- a) Tasarım (konstrüksiyon)
- b) İmalat

Tasarım fazları:

- İhtiyaçları tanımlamak
- Problemleri tanımlamak
- Sentezlemek ve analizleri yapmak
- Optimizasyon
- Değerlendirme
- Sunuş

Tasarımda dikkat edilmesi gereken faktörler:

- Mukavemet faktörleri
- Performans
- Güvenlik
- İmalat kolaylığı

1.3. Birim Sistemleri ve Dönüşümler

- **SI: Fransızca: Systéme International d'Unites (Uluslararası Birim Sistemi)**
- FPS (İngiliz) birim sistemi (FPS) (foot-pound-saniye)
- CGS birim sistemi (santimetre-gram-saniye)
- MKS birim sistemi (metre-kilogram-saniye)

Bilim, teknoloji, endüstri ve uluslararası ticaret alanında farklı ölçüm birim sistemlerinin kullanılmasının yarattığı karmaşayı önlemek için bir uluslararası birimler sisteminin oluşturulması, 1960 yılında yapılan 11. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda (CGPM) görüşülmüş ve "SI" olarak ifade edilen "Uluslararası Birimler Sistemi" (Système International d'Unités-SI) kabul edilmiştir. Uluslararası Birimler Sistemi (SI); 7 temel birim ile, bu temel birimler üzerinden türetilmiş birimlerden oluşmaktadır.

Tablo 1.1'de 7 temel büyüklük ve SI ve FPS birim sistemleri için birimleri, Tablo 1.2'de temel büyüklüklerden türetilmiş bazı büyüklükler, birimleri ve dönüşüm şekilleri, Tablo 1.3'te birimlerin büyüklüğünü belirtmede kullanılan ön takılar verilmiştir. Bir boyutun sayısal değeri 0,1 ile 1000 (10^{-1} – 10^3) arasında olmalıdır.

Şekil 1.3'te Yunan sembolleri (tarihi MÖ 9. yüzyıla uzamaktadır) ve okunuşları verilmiştir. Bu semboller günümüzde matematikte, temel bilim ve mühendislik bilimlerinde bilimsel gösterimler olarak oldukça yaygın kullanılır.

Tablo 1.1. Temel büyüklükler ve birimler

SI Birim Sistemi				FPS Birim Sistemi	
Temel büyüklükler		Temel birimler		Temel birimler	
İsim	Sembol	Birim	Sembol	Birim	Sembol
Zaman	t	Saniye	s	Saniye	s
Kütle	m	Kilogram	kg	Pound	lb
Uzunluk	x, r	Metre	m	Foot	ft
Elektrik akımı	I, i	Amper	A	Amper	A
Sıcaklık	T	Kelvin	K	Rankine	°R
Madde miktarı	n	Mol	mol	Mol	mol
Işık şiddeti	I _v	Kandela	cd	Kandela	cd

Tablo 1.2. Türetilmiş büyüklük örnekleri

Türetilmiş büyüklükler	Birim (sembol)	Dönüşüm şekli
Enerji	Joule (J)	$kgm^2/s^2 = Nm$
Kuvvet	Newton (N)	kgm/s^2
Hacim	Litre (L)	$dm^3 = 10^{-3}m^3$
Frekans	Hertz (Hz)	$1/s$
Güç	Watt (W)	kgm^2/s^3
Basınç	Mega Paskal (MPa)	$N/m^2 = kg/ms^2 = kgms^{-2}$
İvme	(a)	m/s^2
Yoğunluk	(γ)	kg/m^3

Tablo 1.3. Birim katları

Katlar	İsimlendirme	Sembol	Örnek
10^{21}	Zetta	Z	
10^{18}	Exa	E	
10^{15}	Peta	P	
10^{12}	Tera	T	Tera Hertz (THz)
10^9	Giga	G	Giga Joule (GJ)
10^6	Mega	M	Mega Paskal (MPa)
10^3	Kilo	k	Kilo Watt (kW)
10^2	Hekto	h	
10	Deka	da	
10^{-1}	Desi	d	
10^{-2}	Santi	c	Santimetre (cm)
10^{-3}	Mili	m	Milimetre (mm)
10^{-6}	Mikro	μ	Mikrometre (μm)
10^{-9}	Nano	n	
10^{-12}	Piko	p	
10^{-15}	Femto	f	
10^{-18}	Atto	a	
10^{-21}	Zepto	z	

A α	alpha	N ν	nu
B β	beta	Ξ ξ	ksi
Γ γ	gamma	O o	omicron
Δ δ	delta	Π π	pi
E ε	epsilon	P ρ	rho
Z ζ	zeta	Σ σς	sigma
H η	eta	T τ	tau
Θ θ	theta	Υ υ	upsilon
I ι	iota	Φ φ	phi
K κ	kappa	X χ	chi
Λ λ	lambda	Ψ ψ	psi
M μ	mu	Ω ω	omega

Şekil 1.3. Yunan sembolleri ve okunuşları

Sıcaklık dönüşümleri:

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$$

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}(^{\circ}C + 32)$$

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273,15$$

Büyüklik çeşitleri:

- **Skaler büyüklük:** Sayı ve birim kullanılarak belirtilebilen büyüklüklere skaler büyüklük denir. Örneğin 2 kg, 20 m gibi büyüklükler skaler büyüklüklerdir.
- **Vektörel büyüklük:** Büyüklüğü, başlangıç noktası, yönü ve doğrultusu olan büyüklüklere vektörel büyüklük denir. Vektörler yönlü büyüklükler oldukları için oklarla gösterilir.
- **Tensörel büyüklük:** Çok boyutlu verinin simgelenebildiği geometrik bir nesnedir. Skaler denilen yönsüz nicel büyüklükler, vektör denilen yönlü büyüklükler ve matris denilen iki boyutlu nesneler birer tensördür. Tensör, tüm bu nesnelerin genelleştirilmiş halidir ve çok boyutlu veri kümeleri için kullanılır. Örneğin esnekliği olan bir cisimde bir noktadaki gerilmeler sistemi tensörel bir büyüklüğü ifade eder. Gerilmeyi meydana getiren kuvvet her zaman yüzeye dik olmaz. Yüzeye belirli bir eğimle gelen bu kuvvet iki bileşene ayrılır. Yüzeye dik gelen bileşen kuvvet normal gerilmeye (σ), yüzey içindeki bileşen kuvvet kayma gerilmesine (τ) neden olur.

1.4. Malzeme Özellikleri

Malzemeler, mühendislik ürün ve sistemlerinin imalinde kullanılan ve mekanik, fiziksel ve kimyasal olarak arzu edilen özelliklere sahip katılardır. Malzemelerin sınıflandırması değişik şekillerde yapılabilir, ancak mühendisler açısından en uygun sınıflandırma: Metaller (mühendislikte kullanılan malzemelerin önemli bir kısmı metaller ve bu metallerin alaşımlarıdır), seramikler, polimerler ve kompozitler şeklindedir.

Demir (Fe): Yoğunluğu (γ) $7,86 \text{ g/cm}^3$ ve atom numarası 26 olan bir elementtir.

Pirinç (“sarı” olarak ta bilinir): Bakır (Cu) + Çinko (Zn)

Lehim: Kalay (Sn) + Kurşun (Pb)

Bronz (“tunç” olarak ta bilinir): Bakır (Cu) + Kalay (Sn)

Çelik: Demir + Karbon alaşıımıdır. İçerisinde %2,14’den az karbon (C), %1 mangan (Mn), %0,5 kadar silisyum (Si) bulunan, kükürt (S) ve fosfor (P) oranı da %0,05’ten az olan demir karbon (Fe+C) alaşıımıdır.

Dökme demir: Demir + Karbon alaşıımıdır. Karbon oranı en az %2,14 ve en çok %6,7 olan demir karbon alaşıımıdır.

Karbonun faydaları:

Sertleşme kabiliyeti, kaynak edilebilme, işlenebilirlik, sıcak ve soğuk şekillendirilebilme (östenitik çelikler yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahip olmalarından ötürü soğuk şekil vermeye uygundur. Metal mutfak lavaboları). Karbon miktarı veya deformasyon hızı arttıkça akma gerilmesi artar. Sıcaklık arttıkça akma gerilmesi düşer.

Kompozitler: Birbirinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür ve malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denilir (taneli, lifli, tabakalı gibi çeşitleri vardır).

Malzeme muayene (test) yöntemleri:

Tahribatsız muayene: Gözle (görsel), penetrant sıvısı, manyetik, partikülleme, ultrason, radyografi, mikroskop, gama ışını, röntgen, ultraviyole gibi.

Tahrifatlı muayene: Kırılma, basma, çekme, eğme, burulma, kesme, çökertme, darbe deneyi gibi.

- **Mekanik özellikler**: Akma dayanımı, çekme dayanımı, sertlik, süneklik, rijitlik, elastisite modülü, kırılma (kopma) direnci, titreşim ve darbelere dayanabilme kabiliyeti gibi.
- **Fiziksel özellikler**: Yoğunluk, ısı genleşme, ısı iletkenliği, ergime noktası, ağırlık, optik ve manyetik özellikler gibi.

1.4.1. Çekme Deneyi ve Gerilim – Gerinim Grafiği

Gerilim-gerinim eğrisi, materyale harici bir kuvvet uygulandığında malzemenin nasıl tepki vereceğini görülmesini sağlar. Gerilim – gerinim (uzama) grafiği, malzeme seçimi ve yapısal hesaplamalar sırasında kullanılır. Çekmeye veya sıkıştırmaya maruz kalan elemanlar için gerilim-gerinim eğrisi (Şekil 1.4); elemanın, uygulamanın yükleme koşullarına dayanıp dayanamayacağını belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Pek çok malzeme, orantı sınırı (σ_0) olarak adlandırılan belirli bir noktaya kadar gerilme ve gerinim arasında orantılı bir ilişki sergiler. Bu gerilim-gerinim ilişkisi **Hooke Yasası** olarak bilinir ve bu bölgede, gerilim-gerinim eğrisinin eğimi E olarak bilinen **Elastisite Modülü** (diğer adıyla Young modülü) olarak adlandırılır. Elastisite modülü büyük malzemelere **rijit (gevrek)**, küçük olanlara ise **esnek (sünek)** malzeme denilir. **Rijitlik modülü** (G) veya kayma modülü, bir malzemenin elastik kayma direncinin bir ölçüsüdür ve kayma gerilmesinin kayma gerilimine oranı olarak tanımlanır. Bir malzemedeki elastisite modülü büyükse o

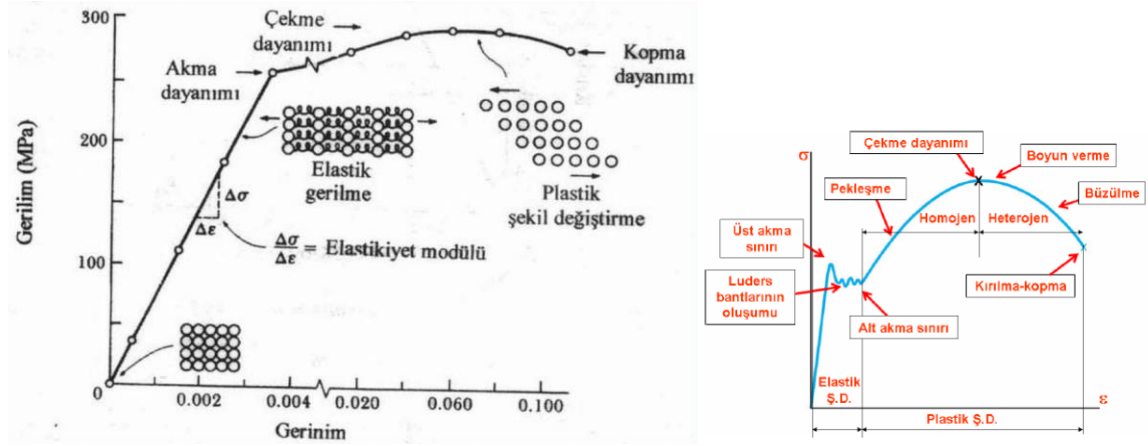
malzeme zor eğilir, rijitlik modülü büyükse o malzeme burkulur. Burkulmaya zorlanan malzemeler kayma gerilmesine neden olan kuvvetler vardır (burulma_torsiyon, burkulma_flanbaj gibi).

$$\text{Rijitlik modülü } (G) = \frac{\text{Kayma gerilmesi}}{\text{Kayma birim uzama}} \text{ (sabit)}$$

Hooke yasasının geçerli olduğu bölgede (doğrusal bölge – elastik bölge) belirli bir gerilme (akma gerilmesi - σ_{ak}) değerine kadar yük kaldırıldığı takdirde numune ilk uzunluğuna tekrar döner.

$$E_{\text{naylon}} = 26 \text{ GPa}, E_{\text{alüminyum}} = 69 \text{ GPa}, E_{\text{çelik}} = 210 \text{ GPa}, E_{\text{volfram}} = 407 \text{ GPa}$$

Bir malzemenin kırılmaya (kopmaya) karşı depoladığı enerji **kırılma tokluğu veya tokluk** olarak adlandırılır. Başka bir ifade ile gerilim-gerinim eğrisi altında kalan alan tokluk değerini verecektir. Tokluğu düşük malzemeler gevrek malzemelerdir. Camın kırılma tokluğu çok düşüktür. Tokluğu yüksek malzemelerin darbe ve ani yükleri sönmüleme kabiliyetleri yüksektir.



Şekil 1.4. Alüminyum alaşımı için gerilim-gerinim eğrisi

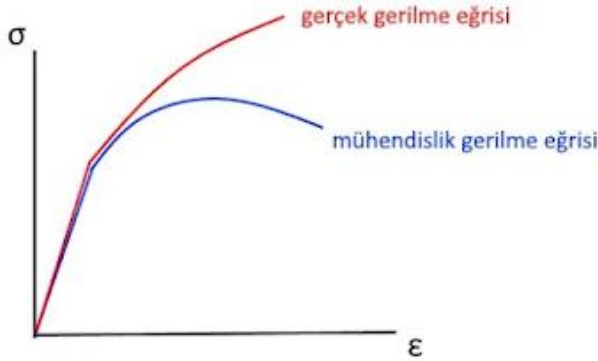
Akma dayanımı (σ_{ak}), gerilmenin gerinimden daha hızlı arttığı noktadır, kalıcı deformasyonların %0,2 değerine eriştiği gerilme sınırı olarak kabul edilir. Bu sınırda malzeme içinde büyük değişiklikler ve kaymalar (akmalar) meydana gelir. Bu nedenle gerilme akma sınırına erişince, deformasyonların devam etmesi için gerilmenin artmasına gerek yoktur. Akma değerine ulaşmış bir deney çubuğunun üzerinde Luders-Hartmann bantları adı verilen, büyüteçle kolaylıkla görülen ve çekme doğrultusuna göre eğimi yaklaşık +45° olan birtakım çizgiler meydana gelir. Bu artık elastik limiti aşılmış deney çubuğunun, çekmeyi ancak molekül yapısında bazı dislokasyonlar yaparak (plastik şekil değiştirme ile) taşıyabildiği ve kendi içinde kayma gerilmeleri doğurduğunu gösterir. Akma sınırı aşıldıktan sonra gerilme değerlerinde hafif düşüşler ve sonra tekrar yükselmeler görülebilir, bu olaya **malzemenin pekleşmesi** denir.

Çekme dayanımı (σ_c), malzemede kopmadan önce meydana gelen en büyük gerilme olarak tarif edilir. Diyagramda bu maksimum nokta aşıldıktan sonra bir düşme görülür, bunun nedeni, deney çubuğunda yanal büzülmelerin artması ve bir yere yığılmasıdır. Bu gerilmeye ulaşıncaya kadar deney numunesinin kesit alanı homojen olarak azalır, ancak bu gerilme değerinden sonra numune bir bölgede yerel olarak büzülmeye başlar ve daha küçük bir gerilme altında kopar (**kopma dayanımı** - σ_k).

Poisson oranı (ν), kuvvet uygulanan elemanda enine kısılmanın boyuna uzamaya oranıdır. Enine birim deformasyonun boyuna birim deformasyona oranını olarak ta tanımlanabilir. Malzemeye bağlı bir katsayıdır (birimsizdir) ve 0 – 0,5 aralığında olması beklenir.

Emniyet katsayısı (S), bir makinenin veya mekanizmanın tasarımda kullanılan mukavemet değerinin (emniyet gerilmesi - σ_{em}) malzemenin dayanabileceği maksimum mukavemete (σ_{max}) oranıdır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere emniyet katsayısı 1’den büyük olmalıdır. 1’den küçük olan emniyet katsayıları ile tasarlanan sistemler dayanıksızdır ve tasarım hatasıdır. Yük taşıyan asansör ile insan taşıyan asansörün emniyet gerilmesi aynı olmamalıdır.

Gerçek ve mühendislik eğrisi: Gerçek eğri mühendislik eğrisinden faydalanılarak çıkartılır (Şekil 1.5). Gerçek eğrinin çıkartılmasında yükler o anki gerçek kesitlere bölünür. Gerçek eğri pekleşme katsayısının (n) bulunmasında kullanılır. Güçlü bir pekleşme olması, malzemenin uzama sınırını bilmemize yardımcı olur. Şekil verme proseslerinde çok önemlidir. Gerçek ve mühendislik gerilmesi ile gerçek ve mühendislik birim uzaması (deformasyon) için kullanılan eşitlikler Eşitlik 1, 2, 3, 4, 5 ve 6’da verilmiştir.



Şekil 1.5. Gerçek ve mühendislik eğrisi

$$\text{Mühendislik gerilmesi } (\sigma_{müh}) = \frac{F}{A_0} \quad \text{Eşitlik 1}$$

$$\text{Mühendislik birim uzaması } (\epsilon_{müh}) = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \rightarrow \epsilon_{müh} + 1 = \frac{L_1}{L_0} \quad \text{Eşitlik 2}$$

$$\text{Gerçek gerilme } (\sigma_g) = \frac{F}{A_1} \quad \text{Eşitlik 3}$$

$$\text{Gerçek birim uzama } (\epsilon_g) = \int_{L_0}^{L_1} \frac{dL}{L} = |\ln L|_{L_0}^{L_1} = \ln L_1 - \ln L_0 = \ln \left(\frac{L_1}{L_0} \right) \quad \text{Eşitlik 4}$$

Hacim sabitliği ilkesinden:

$$L_0 A_0 = L_1 A_1 \rightarrow \frac{L_0 A_0}{L_1} = \frac{L_1 A_1}{L_1} \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$\sigma_g = \frac{F}{\frac{L_0 A_0}{L_1}} = \frac{F}{A_0} \left(\frac{L_1}{L_0} \right) \rightarrow \sigma_g = \sigma_{müh} (1 + \sigma_{müh}) \quad \text{Eşitlik 6}$$

Burada:

F : Numunenin kesit alanına dik yönde uygulanan kuvvet (N)

$\sigma_{müh}$: Mühendislik gerilmesi (N/mm^2)

σ_g : Gerçek gerilme (N/mm^2)

A_0 : Numunenin ilk kesit alanı (mm^2)

A_1 : Kuvvet uygulandıktan sonra numunenin kesit alanı (mm^2)

L_0 : Numunenin ilk boyu (mm)

L_1 : Kuvvet uygulandıktan sonra numunenin boyu (mm)

1.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü, Sürtünme ve Aşınma Davranışları

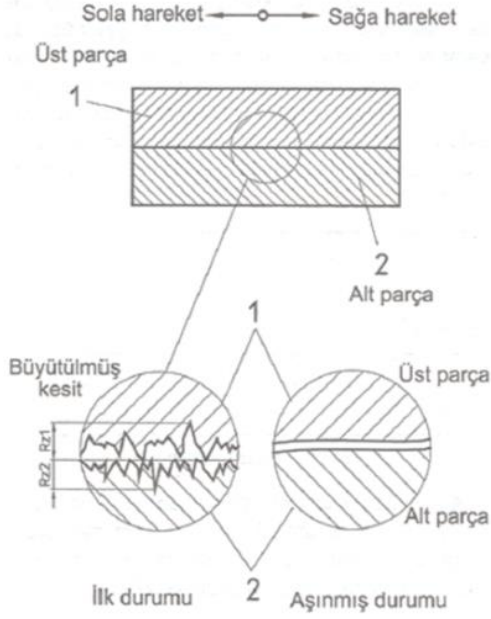
a. Yüzey pürüzlülüğü

Makine parçalarının yapımı için görünüşlerinin çizilmesi, ölçülendirilmesi, boyut ve geometrik toleransların verilmesi yeterli olmaz. İlave olarak parçanın yüzey durumlarının (yüzey pürüzlülüğü veya yüzey dokusu – surface texture) da belirtilmesi gerekir. Bir parçanın verimli bir şekilde çalışabilmesi ve işlevini yerine getirebilmesi için gerekli şartlardan bir tanesi de yüzeylerinin istenilen özelliklere sahip olmasıdır. Çeşitli metotlarla imal edilen bir makine parçası bu işlemler esnasında çeşitli mekanik, fiziksel, ısı ve kimyasal etkilere maruz kalır ve dolayısıyla bu parçanın yüzeyinin özellikleri genellikle iç tarafının özelliklerinden önemli derecede farklılıklar gösterir. Ayrıca birbirleri üzerinde hareket halinde olan makine elemanları temas yüzeylerinde aşınmalara sebep olacaktır.

Bir parçanın mekanik özelliklerini genellikle parçanın iç tarafı (gövdesi) belirlemesine rağmen, imal edilen bir parçanın yüzeyi önemli bazı özellikleri ve nitelikleri doğrudan etkiler:

- Daha sonraki işlemlerde takımlarla ve kalıplarla doğrudan temas ettiğinde veya kullanılacağı yerde sürtünme ve aşınma özelliklerini (Şekil 1.6),
- İmalat işlemi esnasında ve aynı zamanda kullanılacağı yerde yağlayıcının etkinliğini,
- Parçanın görünümünü ve geometrik özelliklerini ve parçanın maruz kalacağı boyama, kaplama, kaynaklama, lehimleme ve birleştirme işlemlerini ve aynı zamanda korozyon direncini,
- Yorulma veya diğer kırılma mekanizmaları vasıtasıyla parçanın zayıflamasına ve daha kısa sürede kırılmasına neden olan yüzey kusurlarından (pürüzlülük, çizikler (oluklar), izler ve ısıdan etkilenmiş bölgeler gibi) dolayı kırılma başlangıcını,

- Temas eden yüzeylerin ısı ve elektrik iletkenliğini (örneğin, kaba yüzeyler ince yüzeylerden daha yüksek ısı ve elektrik direncine sahiptir) etkiler.

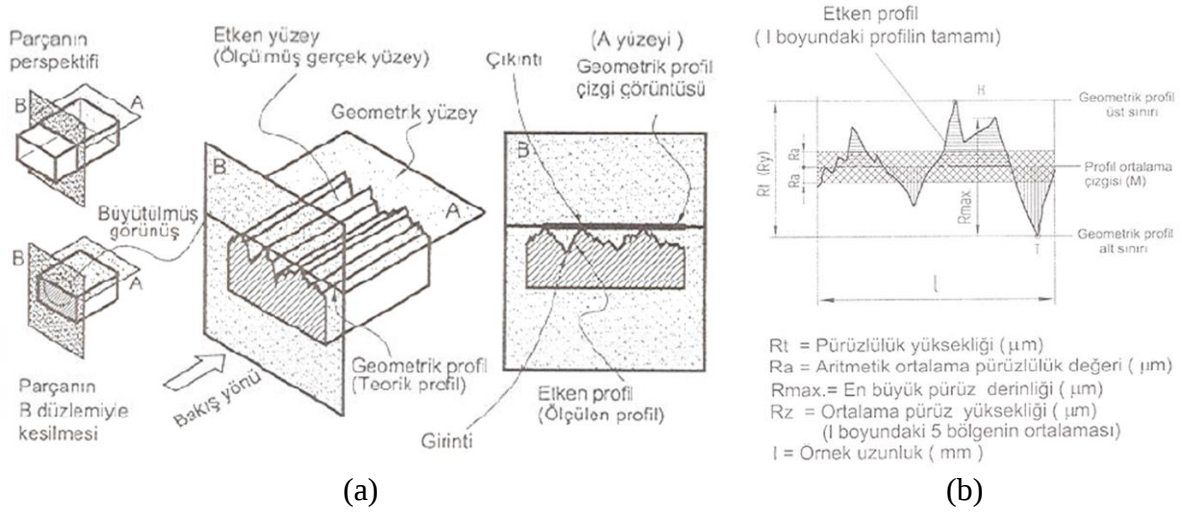


Şekil 1.6. Hareket sonucu yüzeyde oluşan aşınma

Bir parçanın yüzeyinin pürüzlülüğü doğrudan bu parçanın üretim maliyeti, işlevi ve çalışma esnasında maruz kalacağı aşınmayı doğrudan etkiler. Dolayısıyla, bir parçanın hangi tezgâhta yapılacağını, yüzey durumlarının hangi nitelikte olacağını resimler üzerinde sembol, işaret ve kelimelerle bilgi olarak ifade edilmesi gerekir. Aksi takdirde imalat sonrası parçalar uyumlu ve verimli bir şekilde çalışmaz ve uzun ömürlü olmazlar. Oysa gelişen teknolojiden insanların beklentisi verimi yüksek, sessiz ve uzun ömürlü makineler kullanmaktır.

Bir parçanın yüzey pürüzlülüğü, parçanın ilgili bir yüzeyinin dik kesitinin büyütülerek çizilmiş resmi üzerinde incelenir (Şekil 1.7 (a)). Parça yüzeyindeki gerçek profilin büyütülmesi ile meydana gelen temsili bir şekil Şekil 1.7 (b)'de görülmektedir. Parçaların yüzey durumları kullanılan imalat yöntemlerine, imalat yöntemlerindeki işlem değişkenlerine bağlıdır (Şekil 1.8). Ancak, düşük yüzey pürüzlülük değerleri çoğunlukla imalat maliyetlerini artırır.

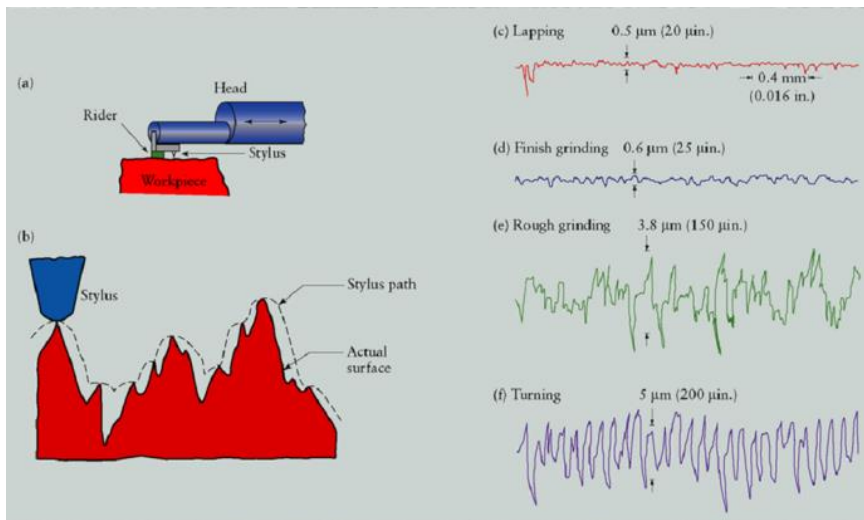
Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde günümüzde yüzey profilometreleri (yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı) kullanılır. Şekil 1.9'daki şematik çizimde bir yüzey üzerinde ölçüm ve çeşitli imalat yöntemleriyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

İMALAT YÖNTEMLERİNE GÖRE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ												
Eski Yüzey İşaretleri	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Pürüzlülük Sınıf Numarası	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
İMALAT YÖNTEMLERİ												
Kum Döküm												
Kokil Döküm												
Basınçlı Döküm												
Kalıpla Bıçimleme												
Akıcı Presler, Kalıptan Çekme												
Derin Çekmeler												
Tornalama												
Eğeleme												
Delme												
Raybalama												
Raspalama												
Frezeleme												
Taşlama												
Honlama												

Şekil 1.8. Üretim yöntemlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 1.9. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

b. Yüzey süreksizliği

- **Makro sapmalar:** Parça tasarımından gelen sapmalar.
- **Dalgalanma:** Yüzeyin kendisinin dalgalı yapıya sahip olması veya işleme esnasında bağlama veya kesme kaynaklı kuvvetlerce deformasyona uğraması
- **Yüzey pürüzlülüğü:** İşleme esnasında kesici takımın sinüzoidal hareket yapması veya kesici takım geometrisinden kaynaklanan sapmalar.
- **Mikro – yüzey pürüzlülüğü:** Atomik ölçeğe yakın süreksizlikler. Profilometre ile yüzeylerin taranmasında iki farklı yüzeyde yüzey pürüzlülüğü aynı çıkabilir, ancak yüzey topografyası farklı olabilir.

c. Sürtünme

Sürtünen yüzeylerde (parça boyutlarına göre alan: A_s) gerçek temas alanı (A_g) çok küçüktür ($A_g \cong A_s/10$). Sürtünme, adhezyon (aşınma), yiv (kademeler), oksitlerin kırılması ve ara yüzeyde istenmeyen aşındırıcıların girmesi ile meydana gelir. Sürtünme kuvvetinin (F_s) uygulanan yüke (N) oranı, sürtünme katsayısını (μ) verir. Sürtünme katsayısının birimi yoktur.

İki tür sürtünme katsayısı vardır. Bunlar:

Statik sürtünme katsayısı (μ_s): Hareketi başlatmak için.

Dinamik sürtünme katsayısı (μ_k): Hareket hızının sabit kalması için.

Sürtünme katsayısı (μ):

Çok iyi yağlamada: 0,03

Kuru ortamda: 0,5 – 0,7

İnsan yürüyüşünde: 0,2 – 0,3

Buz üstünde yürümeye: 0,05 yaklaşık değerlerindedir.

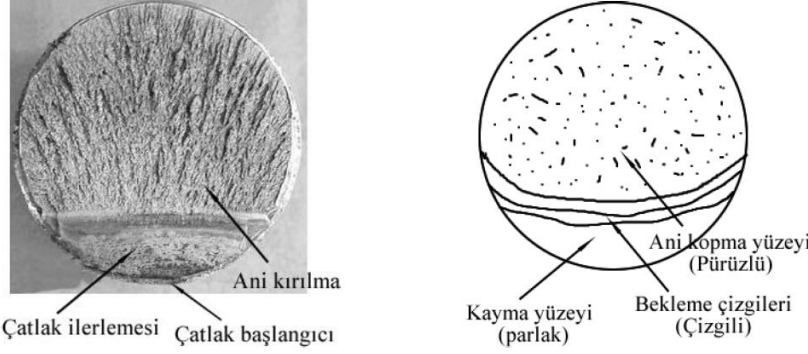
1.4.3. Yorulma ve Sürünme

a. Yorulma:

1998 yılında Almanya’da 101 kişinin yaşamını yitirdiği bir hızlı tren kazası olmuştur. Bu kazanın nedeni tren tekerlek jantının yorularak çatlaması ve sonunda kopması olarak tespit edilmiştir. Bu jant sistemi artık kullanılmamaktadır.

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. Bu durum **metal yorgunluğu** (yorulma) olarak bilinir. Mil ve akslar sürekli titreşen yükler altında çalışmaktadır. Bu nedenle bu olay bu tür

elemanlarda sıkça görülür. Yorulma ile kırılan bir mile ait kopma görüntüsü Şekil 1.10’da gösterilmiştir. Yorulma ile hasar gören elemanlarda hasar şekilleri belirgindir ve diğer deformasyon şekillerine kıyasla hasar nedeni hızla tespit edilebilir. 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.



Şekil 1.10. Yorulma hasarı

Yorulma kırılmasının gerçekleşme aşamaları

1. Çatlak başlaması
2. Çatlak ilerlemesi (radyal çatlaklar oluşur)
3. Ani kırılma

Yorulma Kırılmasına Etki Eden Faktörler

Yorulma dayanımı sınırı olan yorulma limitini sabit tutmak mümkün çünkü bu limit; malzemenin cinsi, malzemeye uygulanan kuvvetin şekli, yüzey kalitesinin durumu, ortam şartları, malzemenin şekli, hacim etkisi, boyut faktörü, korozyon etkisi ve frekansın şiddeti gibi faktörlere bağlıdır.

Malzemenin cinsi ve bileşim etkisi: Genellikle malzemelerin statik çekme dayanımı arttıkça yorulma dayanımı sınırında da artma gözlenir. Alaşım elementleri ve uygun şekilde su verilip gerginlik giderme işlemleri de çeliklerde statik çekme değerini artırdığı gibi sertliklerini ve yorulma limitlerini artırır.

Malzemeye uygulanan kuvvet: Yorulmaya etki eden kuvvetler; eksenel düzlemsel veya burulma zorlaması şeklinde olabilir. Yorulma dayanım sınırı değişik zorlamaların şekline göre de farklılıklar gösterebilir. Aşırı zorlamalarda malzemenin yorulma ömrünü kısaltır.

Yüzey işlemlerinin etkisi: Zorlamalardan sonra çatlaklar kaba yüzeylerde daha çabuk oluşur. Çok iyi yüzey kalitesi olan malzemelerde daha kötü kalitedeki yüzeylere göre çok yüksek yorulma limiti alınabilir. Uygun parlatılmış bir numuneden elde edilen dayanım sınır değeri

ile değişik yüzey pürüzlüklerine sahip malzemelerin dayanım sınır değerleri farklılıklar gösterir.

Hacim etkisi: Değişik zorlamalar altında yorulan malzemelerin dış yüzeylerinde merkezden daha fazla gerginlik oluşur. Bundan dolayı kırılma, malzemenin yüzeyinde oluşan bir çatlaktan başlar. Dış katmandaki çatlağın gelişmesi malzemenin kesitine göre genişleme farklılığı gösterir. Büyük kesitli malzemelerde yorulma zorlamasından sonra kırılmanın daha çabuk geliştiği gözlenebilir.

Korozyon etkisi: Yorulma olaylarında mekanik etkilerin yanında bir de kimyasal olarak korozyon etkileri de eklenebilir. Yorulmadan önce malzemenin korozyona uğraması yorulma dayanımını azaltır. Korozyona uğramış bölgeler çentik etkisi gösterirler ve kırılmayı hızlandırırlar.

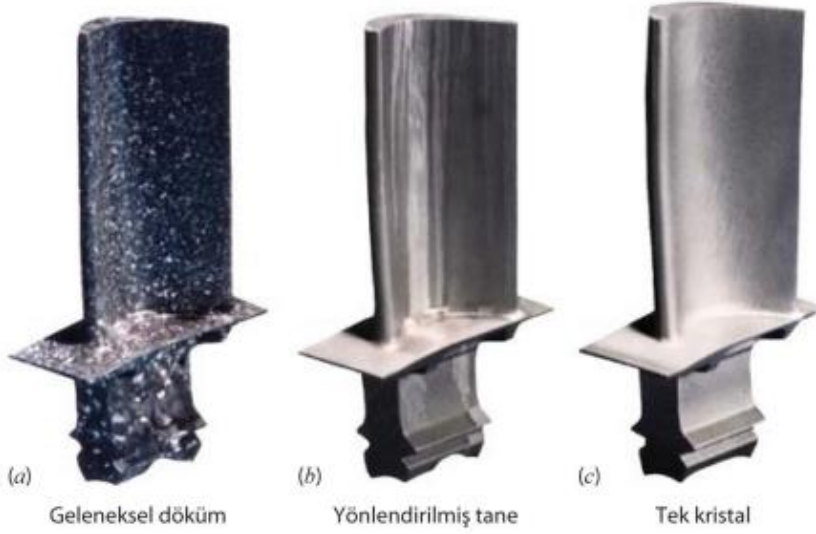
Sıcaklığın etkisi: Düşük sıcaklıklarda yorulma dayanımının arttığı bilinmektedir. Çok özel durumlar dışında sıcaklığın artması yorulma dayanımını azaltmaktadır.

Yukarda belirtilenler dışında yorulma hasarını kolaylaştıran veya doğrudan hasara neden olan başkaca malzeme veya yapı hataları bulunabilir. Hataları yorulma hasarını kolaylaştırıcı etkilerine göre sıralamak mümkün değildir. Malzeme yapı hatalarının değerlendirilmesi, daima yorulma zorlamalarının şekli ve yorulma hasarının oluşumu ile bağıntı kurularak yapılmalıdır.

b. Sürünme:

Sabit bir sıcaklıkta sabit bir gerilim ya da yükleme etkisi altında, malzemede zamanla oluşan kalıcı biçim değişikliğine **sürünme** denir. Metalik malzemelerde atomların sıcaklıkta artan hareketliliği ile kristal kusurlarının sayı ve davranışı artar. Genelde, sürünme % 1/dak.'dan daha düşük deformasyon hızlarında gerçekleşir, daha yüksek hızlar çoğu zaman mekanik işlemlerle (dövme-haddeleme gibi) birlikte olur. Sürünme sonucu malzemenin şeklindeki değişiklikler genelde istenmez ve parçanın kullanım ömrünü kısıtlayıcı faktör olabilir. Örneğin, türbin motorlarında döner rotor üzerindeki kanatlar çalışma sırasında boyuna yavaş olarak büyür ve yuvaya değmeden önce değiştirilmesi gerekir (Şekil 1.11). Sürünme herhangi bir sıcaklıkta meydana gelebilmesine rağmen, yalnız ergime sıcaklığının 0,4'ünü aşan sıcaklıklarda sürünmenin tüm etkileri görülebilir. Yüksek sıcaklıklarda içyapıda ve malzeme özelliklerinde görülen bazı değişimler şunlardır;

- Boş yer yoğunluğu artar.
- Dislokasyonların tırmanması ve çapraz kayması gibi yeni kayma sistemleri ortaya çıkar.
- Tane sınırları şekil değiştirebilir, şekil değişimi giderek kolaylaşır.
- Yapının kararlılığı azalır. Soğuk şekil değiştirmiş malzeme yeniden kristalleşir, çökeltme sertleşmesine uğramış malzeme aşırı yaşlanır.
- Parça yüzeyi ortamla daha kolay reaksiyona girer, korozyon ve tufal sorunu ortaya çıkar.



Şekil 1.11. Türbin kanadı (a) Klasik yöntemle üretilmiş-çok kristalli. (b) Yönelmiş tane yapısında-çok kristalli. (c) Tek kristalli.

1.5. Makine Tasarımında Mukavemet

1.5.1. Mukavemet

Şekil değiştiren cisimler mekaniği olarak tanımlanır. Dış zorlamalar (kuvvet ve/veya moment) altında cismin taşıyıcı özelliklerini bozmadan güvenilir ve ekonomik olarak boyutlandırma Makine Elemanları dersinin amacıdır. Bir elemanın mukavemet değerleri, ilgili elemanın üretildiği malzeme özelliklerine, şekline ve boyutlarına bağlıdır. Emniyetli bir şekilde çalışma için bu mukavemet değerleri dış zorlama değerlerinin üzerinde olması gerekir.

Dış zorlama (yük tipleri)

Statik yükler: Kuvvet karakterleri (kuvveti tanımlayan parametreler: şiddeti, doğrultusu, yönü ve uygulama noktası) değişmez.

Dinamik (değişken) yükler: Kuvvet karakterlerinden biri, bir kaç veya tamamı zamana bağlı olarak değişir.

Şok yükler (ani darbeler): Kuvvet karakterlerinden biri, bir kaç veya tamamının anlık olarak yükselişi ve düşüşü.

Makine elemanları, mukavemet sınırını aşmamak kaydıyla dış yüklere karşı iç kuvvetler ile dengelenmeye çalışırlar. Birim alana düşen bu iç kuvvetler **gerilme** olarak tanımlanır. Makine elemanları dış kuvvet ve/veya momentler altında değişik yön ve şekilde zorlanırlar (çekme/çeki, basma/bası, kesme/makaslama, eğilme, burulma/torsiyon, burkulma/flambaj). Makine elemanlarının bu zorlamalar etkisinde mukavemet hesapları yapılır, dayanma kabiliyetleri ve boyutları belirlenir.

1.5.2. Temel Mukavemet Bağınıtları

a. Statik yüklemelerde basit gerilmeler

Çekme – basma (çeki – bası)

BÖLÜM 1: Makine Tasarımında Mukavemet

1. Giriş: (Mukavemet kavramını hatırlatma)

Mukavemet: Şekil değiştiren cisimler mekaniği olarak tanımlanır.

Dış zorlamalar (kuvvet, moment) altında cismin taşıyıcı özelliklerini bozmadan güvenilir ve ekonomik olarak boyutlandırma Makine Elementleri dersinin amacıdır.

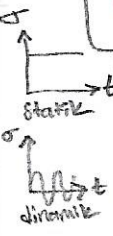
Bir elemanın mukavemet değerleri, ilgili elemanın ürettiği malzeme özelliklerine şekline ve boyutlarına bağlıdır. Emniyetli bir şekilde çalışma için bu mukavemet değerleri dış zorlama değerlerinin üzerinde olması gerekir.

Dış zorlama veya yük tipleri: statik yükler
dinamik yükler (değişken)
şok yükler (ani darbeler)

Makine elementleri, mukavemet sınırını aşmamak kaydıyla dış yüklerle karşı iç kuvvetler ile dengelemeye çalışırlar. Birim alana düşen bu iç kuvvetler gerilme olarak tanımlanır.

Kuvvet karakterleri: (kuvveti tanımlayan parametreler)

statik yükler: Şiddeti, doğrultusu, yönü ve uygulama noktası değişmez.
dinamik yükler: Kuvvet karakterlerinden biri, bir kısmı veya tamamı zamanla bağlı olarak değişir.

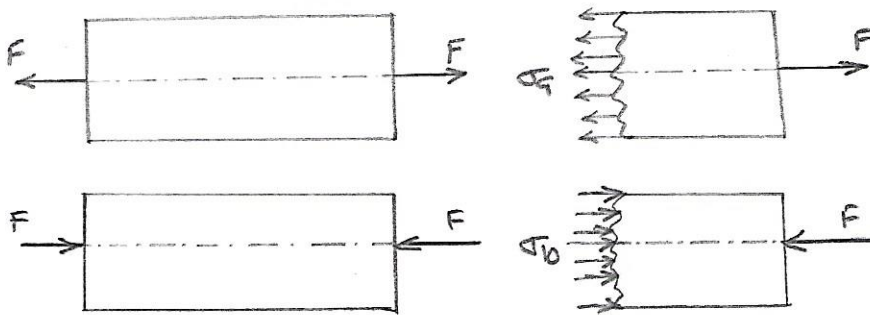


Makine elementleri dış kuvvet veya momentler altında değişik yön ve şekillerde zorlanırlar. (çekme, basma, kesme-makaslama, eğilme, bükülme, burkulma)
Makine elementlerinin bu zorlamalar etkisinde mukavemet hesapları yapılır, dayanım kabiliyetleri ve boyutları belirlenir.

2. Temel Mukavemet Eşitlikleri:

2.1. Statik yüklemelerde Basit Gerilmeler:

a) Çekme-Basma:



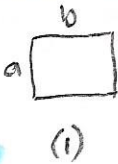
(N/mm²)
Çekme Gerilmesi (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F (N)}{A \text{ (Kesit alanı)}} \quad (m^2, mm^2, cm^2)$$

Basma Gerilmesi (σ_b)

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

Not:



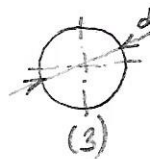
(1)

$$A_1 = a \cdot b$$



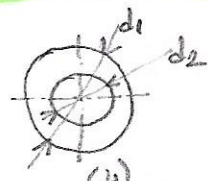
(2)

$$A_2 = \frac{h \cdot s}{2}$$



(3)

$$A_3 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

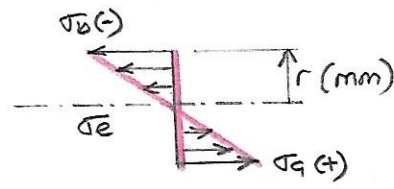


(4)

$$A_4 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$$

Temel geometrik şekillerin alanları

b) Eğilme:

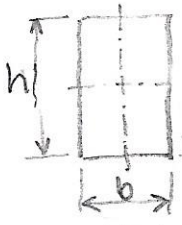


Eğilme momenti (M_e) (Nm, Nmm)

Eğilme gerilmesi (σ_a) = $\frac{M_e}{W_e}$; Kesit eğilme Mukavemet momenti (W_e) = $\frac{I}{r} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$
 (cm³) (cm/mm) (dairesel kesit)

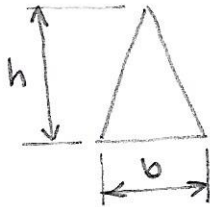
Atalet (Eylensizlik) Momenti (I) = $\frac{\pi d^4}{64}$ (dairesel kesit)
 (mm⁴, cm⁴)

Not: Temel geometrik şekillerin atalet momentleri ve kesit eğilme mukavemet momentleri (W_e)



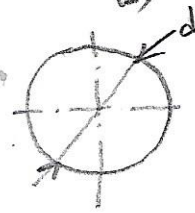
(1) dikdörtgen

$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}$



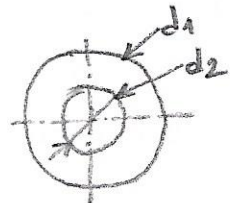
(2)

$I_2 = \frac{b \cdot h^3}{36}$



(3)

$I_3 = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$



(4)

$I_4 = \frac{\pi}{64} (d_1^4 - d_2^4)$

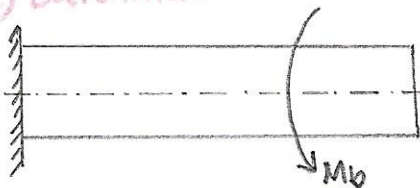
$W_{e1} = \frac{b \cdot h^2}{6}$

$W_{e2} = \frac{b \cdot h^2}{24}$

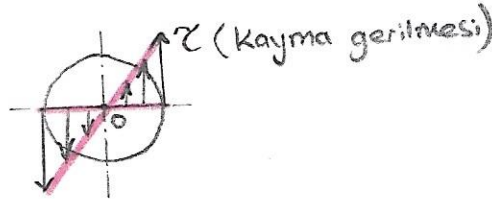
$W_{e3} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$

$W_{e4} = \frac{\pi}{32} (d_1^3 - d_2^3)$

c) Burulma:



Burulma momenti (M_b) (Nm, Nmm)

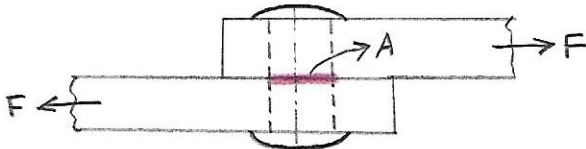


Kayma gerilmesi (τ) = $\frac{M_b}{W_b}$; Kesit burulma Mukavemet Momenti (W_b) = $\frac{I_p}{r} = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
 (dairesel kesit)

Polar Atalet Momenti (I_p) = $\frac{\pi \cdot d^4}{32}$ (dairesel kesit)

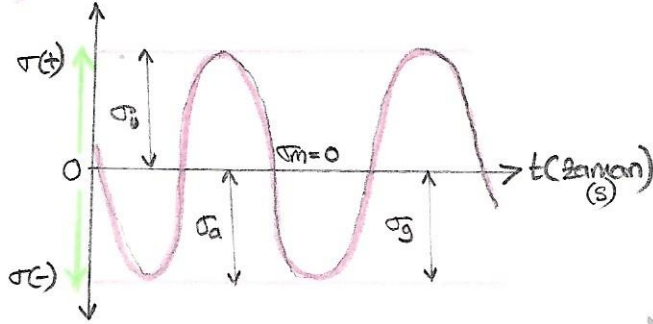
$I_p = \frac{\pi}{32} (d_1^4 - d_2^4)$ (iki boş dairesel kesit - boru)

d) Kesme (Makaslama) :



2.2. Dinamik Yüklemede Basit Gerilmeler

a) Tam değişken yükleme

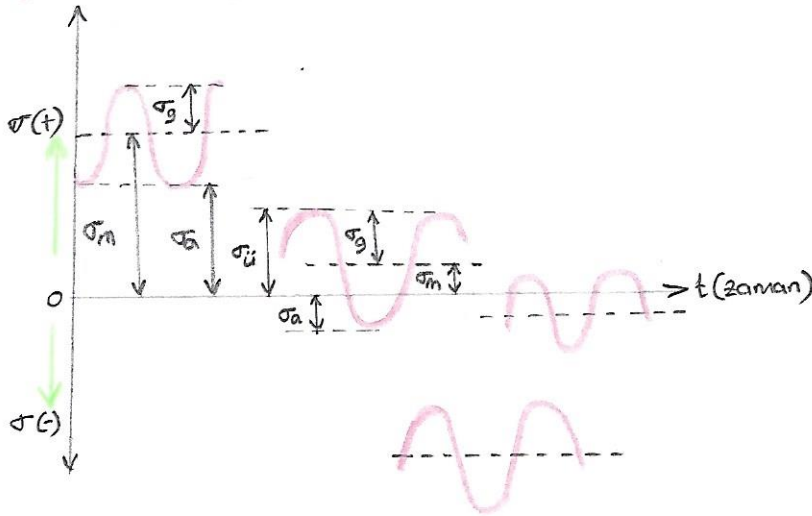


$$\sigma_m = 0, \quad \sigma_g = \sigma_{max}$$

$$\sigma_u = |\sigma_a| = \sigma_g = \sigma_{max}$$

$$\text{Gekme } (\sigma_g) = \frac{F_g}{A} ; \text{ Kesme } (\tau_k) = \frac{F_g}{A} ; \text{ Eğilme } (\sigma_e) = \frac{M_{eg}}{W_e} ; \text{ Burulma } (\tau_b) = \frac{M_{bg}}{W_b}$$

b) Genel değişken yükleme



ortalama gerilme
(merkez gerilme)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_u + \sigma_a}{2}$$

gerilme genişliği

$$\sigma_g = \frac{\sigma_u - \sigma_a}{2}$$

$$\sigma_a = \sigma_m - \sigma_g$$

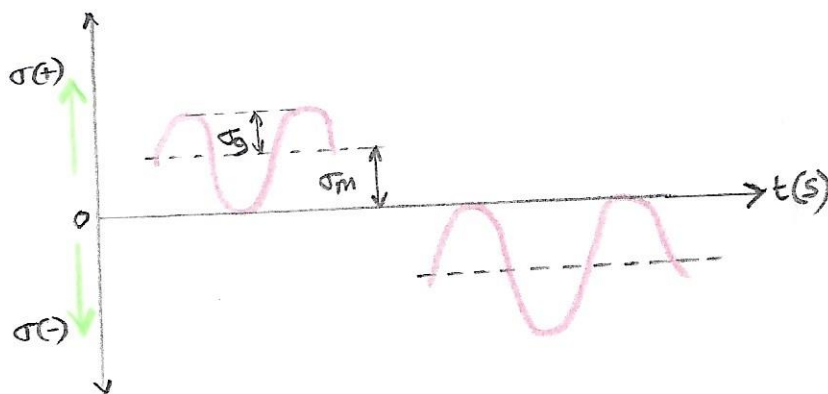
$$\sigma_u = \sigma_m + \sigma_g$$

veya

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

c) Titreşimli yükleme



$$\sigma_a = 0 \text{ veya } \sigma_g = 0$$

$$\sigma_m > 0 \text{ veya } \sigma_m < 0$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_u}{2} \text{ veya } \sigma_m = -\frac{\sigma_a}{2}$$

2.3. Bileşik Gerilmeler

Makine elemanları genellikle farklı gerilmelerle aynı anda zorlanırlar. İki veya üç eksenli gerilme hallerinin söz konusu olduğu bu durumlara bileşik gerilme hali denilir. Sıklıkla karşılaşılan bileşik gerilme halleri: "çekme veya basma + eğilme" ve "eğilme + burulma" şeklindedir.

Makine elemanlarını zorlayan kuvvet ve momentler farklı karakterlerde ve farklı eksenlerde gerilmelere neden olur. Bu gerilmelerin neyin olduğu etkiyi tek başına yapabilecek teorik olarak hesaplanan gerilmeye eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$) veya mukayese gerilmesi denilir.

→ Çekme veya basma + eğilme etkisinde; (Normal gerilmeler)

$$\sigma_{eş} = \sigma_{max} = \sigma_a + \sigma_e = \frac{F}{A} + \frac{M_e}{W_e}$$

$$\sigma_{eş} = \sigma_{min} = \sigma_a - \sigma_e = \frac{F}{A} - \frac{M_e}{W_e}$$

→ Kesme + burulma etkisinde; (Kayma gerilmeleri)

$$\tau_{eş} = \tau_k + \tau_b$$

→ Eğilme + burulma etkisinde; (Normal + kayma gerilmeleri)
"Kırılma hipotezleri" veya "Mukavemet varsayımları" kullanılır.

Kırılma Hipotezleri: Uygulamada 4 adet kırılma hipotezi vardır.

① Maksimum normal gerilme hipotezi:

$$\sigma_{eş} = 0,5 \cdot \sigma + 0,5 \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

asal gerilmeler cinsinden: $\sigma_{eş} = \sigma_{max} = \sigma_1$ (veya σ_3)

② Maksimum şekil değiştirme hipotezi:

$$\sigma_{eş} = 0,35\sigma + 0,65\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

Basit kayma gerilmesi halinde ($\sigma=0$): $\sigma_{eş} = 1,3\tau$

③ Maksimum kayma gerilmesi hipotezi: (Tresca)

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

asal gerilmeler cinsinden: $\sigma_{eş} = \sigma_1 - \sigma_2$

Basit kayma gerilmesi halinde ($\sigma=0$): $\sigma_{eş} = 2\tau$ ($\tau = 0,5\sigma$ kabulü yapılır)

4) Maksimum Şekil Değiştirme Enerjisi Hipotezi : (Von Mises)

$$\sigma_{\text{eş}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\text{asal gerilmeler cinsinden : } \sigma_{\text{eş}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

$$\text{Basit kayma gerilmesi halinde } (\sigma = 0) : \sigma_{\text{eş}} = \sqrt{3\tau}$$

- Kırılgan** { Maksimum normal gerilme hipotezi (1) ve maksimum şekil değiştirme hipotezi (2) pik döküm (kır döküm), çok sert çeliklerde, kaynak bağlantılarında, seramikler gibi sert malzemelerde,
- Sünek** { (Tresca) Maksimum kayma gerilmesi hipotezi (3) sünek malzemelerde, belli ve kesin akma mukavemeti değeri olan malzemelerde,
- Maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezi (Von Mises) (4) sünek malzemelerde, dövme ve haddelene ürünlerinde kullanılır.

Gizelge 1.1. Kırılma hipotezleri ve eşdeğer gerilmeler.

2.4. Emniyet Gerilmesi

İncelenen makine elemanının geometrik yapısını ve mekanik özelliklerini değiştirmeyen en büyük gerilmenin veya sınır değerinin bir ölçüsüdür. Bu makine elemanındaki toplam gerilmelerin bu sınır değerinin altında olması beklenir. Sınır değer bir katsayı (emniyet katsayısı) ile bölünerek emniyet gerilmesi hesaplanır. Kontrol ve boyutlandırma emniyet gerilmesi baz alınarak yapılır.

- σ^* : Sınır normal gerilme ; τ^* : Sınır kayma gerilmesi ;

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma^*}{S} \quad \text{veya} \quad \tau_{\text{em}} = \frac{\tau^*}{S}$$

↳ emniyetli normal gerilme veya emniyetli kayma gerilmesi (kesme)
emniyet faktörü ($S > 1$ olmalıdır)

- σ^* ve τ^* : Malzemeye ait akma veya kopma mukavemeti alınırsa ;

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_{\text{ak}}}{S} \quad \text{veya} \quad \tau_{\text{em}} = \frac{\tau_{\text{ak}}}{S}$$

→ sürekli mukavemet
→ tam değişken zorlamada mukavemet

- Değişken zorlamalarda ($\sigma_s = \sigma_D$) ;

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_D}{S}$$

Genel eş değer zorlamada eşdeğer nominal gerilme (σ_{gd})
→ ortalama gerilme (değişken ve titreşimli yüklerde ortalama gerilme değeri)

$$\sigma_{\text{gd}} = \sigma_m + \frac{\sigma_{\text{ak}}}{S} \cdot \sigma_g \leq \frac{\sigma_{\text{ak}}}{S}$$

$\sigma_D \rightarrow$ darbe gerilmesi (centrikli darbe)

Not: Kırılgan malzemelerde akma gerilmesi kullanılır. ($\sigma_{\text{ak}} \rightarrow \sigma_k$)
($\tau_{\text{ak}} \rightarrow \tau_k$)

Mukavemet ARTIRMA MEKANİZMALARI :

Malzemelerin mekanik özellikleri metalurjik yapılarına bağlıdır. Metalurjik yapı ise kimyasal bileşim ile malzemeye uygulanan mekanik ve ısı işlemleri değiştirilebilir.

Malzemelerin mukavemeti ise en önemli mekanik özellikler. Malzemenin mukavemetini artırmak genellikle kimyasal bileşimi ve metalurjik yapıyı değiştirmekle mümkündür. Malzemelerin mukavemetini artırmak işlemleri genel olarak şöyle sınıflandırılır:

- 1- Alaşım sertleşmesi
- 2- Çökeltme sertleşmesi
- 3- Dispersiyon sertleşmesi
- 4- Soğuk işlem
- 5- Tane boyutunu küçültme
- 6- Deformasyon yapışması
- 7- Martenzitik dönüşüm
- 8- Radyasyonla sertleştirme

→ Tane boyutunu küçültme:
Mukavemetle beraber toklukta artıran bir mekanizmadır.

(6-1)

Metallerin mukavemetinin yükseltilmesi demek, o metali koparmak veya kırmak için daha fazla kuvvet uygulama gereğinin doğması demektir. Dayanım artırılması ile esasen akma gerilmesinin yükseltilmesi amaçlanır. Akma dayanımının yükseltilmesi kayma hareketinin zorlaştırılması demektir.

3. Mukavemet Azaltıcı Faktörler:

Malzemelerin mukavemet sınırları (σ_k , σ_k ve σ_D) çekme ve darbe testleri ile laboratuvar ortamında belirlenir. Numuneler standarttır.

Uygulamada gerçek makine elementlerinin boyutları, geometrileri, yüzey özellikleri, üretim (imalat) yöntemi, ısıtma işlemi ve çevre şartları gibi faktörler mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu faktörlerden Parça büyüklüğü, yüzey ve çentik faktörü en etkilileridir.

a) Parça büyüklüğü etkisi (K_b): 10 mm'den büyük çaplı kesitler için mukavemet değerleri; çap düzeltme katsayısı ile çarpılarak küçültülür.

Gizelge 1.2. Çap düzeltme katsayısı (K_b)

Not: Entepolasyon ile ilgili bilgi ver

b) Yüzey düzensizliği (K_y) ilgili malzeme yüzeyinin mukavemete etkisi vardır. Malzemenin üretim yöntemi de yüzey hakkında bilgi verir.

$$K_y = \frac{\sigma_{pürüzlü}}{\sigma_{pürüzsüz}} \rightarrow \text{pürüzlü malzemenin dayanacağı gerilme}$$
$$\sigma_{pürüzsüz} \rightarrow \text{maksimum dayanacağı gerilme}$$

Gizelge 1.3'de malzeme kopma mukavemeti (σ_k) cinsinden değişik yüzey pürüzlülük değerlerinde K_y değişimini göstermektedir.

Gizelge 1.3. Yüzey düzensizlik katsayısı (K_y)

[Not: Gerilme yığılmasındaki kısaca söz et. Şekil elelenecek]

c) Çentik faktörü (β_k): Gevrek veya sünek malzemeler çentige karşı farklı tepkiler gösterirler. Sünek malzemeler gevrek malzemelere kıyasla çentige karşı daha az hassastırlar.

Uygulamada çentiğin geometrik etkisini (K_t) ve malzemenin çentige karşı tepkisini değerlendiren bir çentik faktörüne (β_k) ihtiyaç duyulur.

$$\beta_k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{g\text{entik}}} \rightarrow \text{çentiksiz malzeme gerilme çentikli mukavemeti}$$
$$\sigma_{g\text{entik}} \rightarrow \text{çentikli malzeme gerilme çentikli mukavemeti}$$

Bu orana göre her zaman $\beta_k > 1$ olacaktır. Ayrıca $1 \leq \beta_k \leq K_t$ ilişkisi vardır.

Tam gevrek ve kırılğan malzemelerde $\beta_k = K_t$ ve çentige duyarlı bir parçada $\beta_k = 1$ olabilir. Malzemenin çentige karşı hassasiyeti q ile gösterilir ve ;

$$\beta_k = 1 + q(K_t - 1) \text{ ilişkisi vardır.}$$

Çelik ve alüminyum malzemeler için çentik hassasiyet katsayısı (q) değerleri Gizelge 1.4'de verilmiştir.

Gizelge 1.4. Çentik hassasiyet katsayısı (q)

Kırılgan malzemelerde gertik varsa yükleme gostidine (statik veya dinamik) bakılmaksızın gerilme yığılması ve dolayısıyla gertik etkisi dikkate alınır.
Sürekli malzemelerde gertik varsa dinamik zorlama varsa gertik etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır.

Tam değişken zorlamada sonsuz ömür için (sürekli mukavemet durumu) sınır mukavemet değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\text{Çekme - basma} : \sigma_{GD}^* = \frac{K_y \cdot K_b}{\beta_k} \cdot \sigma_{GD}$$

$$\text{Eğilme} : \tau_{GD}^* = \frac{K_y \cdot K_b}{\beta_k} \cdot \tau_{GD}$$

$$\text{Burulma ve kesme} : \gamma_{GD}^* = \frac{K_y \cdot K_b}{\beta_k} \cdot \gamma_{GD}$$

Bunlara göre en genel $\tau_{em} = \frac{\sigma_D \cdot K_y \cdot K_b}{\beta_k \cdot S}$ şeklinde yazılabilir.

Dinamik zorlamada eş değer gerilme gerilme üst sınırı bu değerden küçük olacak şekilde kontroller ve boyutlandırmalar yapılmalıdır.

Şizelge 1.5 bazı malzemelerin değişik zorlama durumlarında kopma mukavemeti ile sürekli mukavemet değerleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Şizelge 1.5. Sürekli Mukavemet Sınırları

4. Mukavemet ve Kontrol Hesabı Esasları

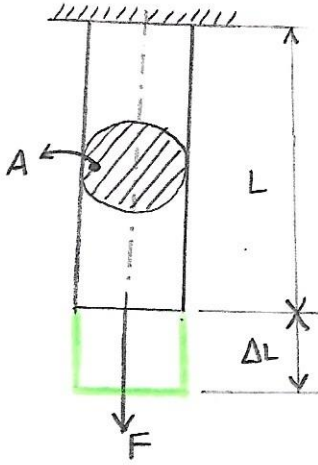
- Makine elemanına etkiyen dış zorlamalar (kuvvet, momentler), bunların şekli (çekme, basma, eğilme ...) büyüklüğü ve değişimi (statik, dinamik, darbe) belirtilir.
- Elemanda oluşan nominal gerilmeler, bileşik gerilme halinde uygun kırılma hipotezi ile eşdeğer gerilmeler hesaplanır.
- İncelenen şartlarda eleman için mukavemet sınırları (statik, dinamik), emniyet gerilmesi ve katsayısı belirlenir.
- En büyük gerilme veya eşdeğer gerilme boyutlandırma ve kontrol amacı ile emniyet gerilmesi ile karşılaştırılır ($\tau_{es} \leq \tau_{em}$)
- Yükleme durumunun dinamik olması halinde mukavemet hesabı için zamana bağlı mukavemeti ve sürekli mukavemet diyagramları çizilir. veya mevcut diyagramlardan yararlanılarak emniyet ve kontrol hesabı yapılır.

5. Deformasyonlar :

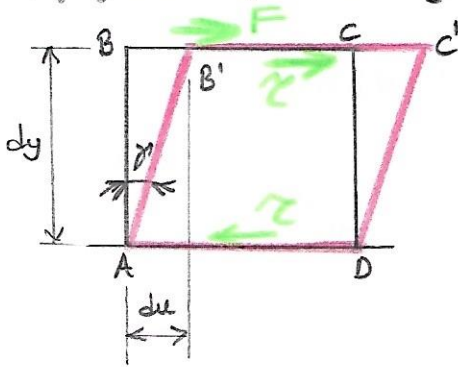
Dış zorlamalar altında bir makine elemanı az veya çok şekil değiştirir. Deformasyona uğrar. Teorik olarak dış zorlamalar altında bir makine elemanında hiç bir şekil değişikliği yoksa (deformasyon yoksa) bu makine elemanına "rijit" değişikliğe uğruyorsa "elastik" olarak adlandırılır.

a) **Gekme - basma durumu :** Gekme deformasyon $\epsilon = E \cdot \epsilon$ ^{Birim şekil değişimi (uzama)}
 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ tanımıyla $\Delta L = \frac{F \cdot L}{A \cdot E}$ ^{Elastisite modülü (N/cm²)} şeklindedir.

Yaylanma katsayısı veya rijitlik katsayısı $(k) = \frac{A \cdot E}{L}$ olarak bulunur.



b) **Kayma (kesme) durumu :** Kayma gerilmesi ile açısal şekil değişimi, açısal şekil değişimi ile geometrik büyüklükler ve kayma modülü arasında aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

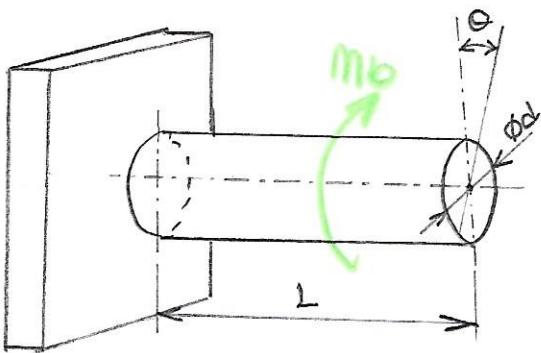


$$\gamma = \gamma' \cdot G, \quad \gamma = \frac{\delta}{L} = \frac{\gamma}{G} \rightarrow \text{Kayma modülü (N/mm}^2\text{)}$$

$\rightarrow$ Deformasyon (mm)
 $\rightarrow$ Kayma açısı

$$\gamma = \frac{F}{A}, \quad \gamma' = \frac{F}{A \cdot G}$$

c) **Burulma durumu :**



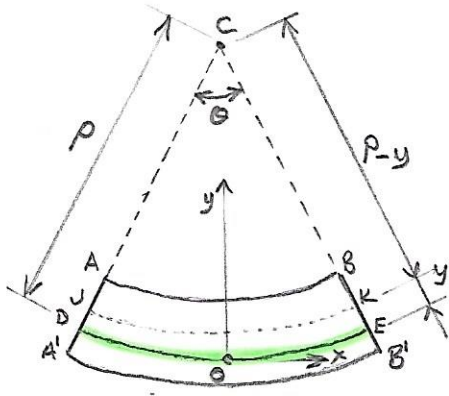
$$\theta = \frac{M_b \cdot L}{G \cdot I_p} \rightarrow \text{Polar atalet momenti (cm}^4, \text{mm}^4\text{)}$$

$\rightarrow$ Açısal deformasyon (radyan)
 $\rightarrow$ Kayma modülü

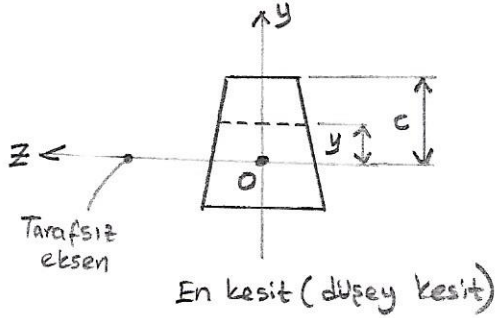
$$k_\theta = \frac{M_b}{\theta} = \frac{G \cdot I_p}{L}$$

$\rightarrow$ Burulma rijitliği

d) Eğilme durumu:



Boyuna düzey kesit



L uzunluğundaki bir kiriş için deformasyondan sonra taraflı yüzey uzunluğu L olarak kalacaktır (Yeşil çizgi) ^{kalm}
JK uzunluğu < L olacaktır.

JK uzunluğu = L° olarak notasyonlarsak;

$$L' = (p-y) \cdot \theta$$

$$\delta = L' - L = (p-y) \cdot \theta - p \cdot \theta = -y \theta$$

X eksenindeki gerilme (σ_x)

$$\sigma_x = \frac{\delta}{L} = -\frac{y\theta}{p\theta} = -\frac{y}{p}$$

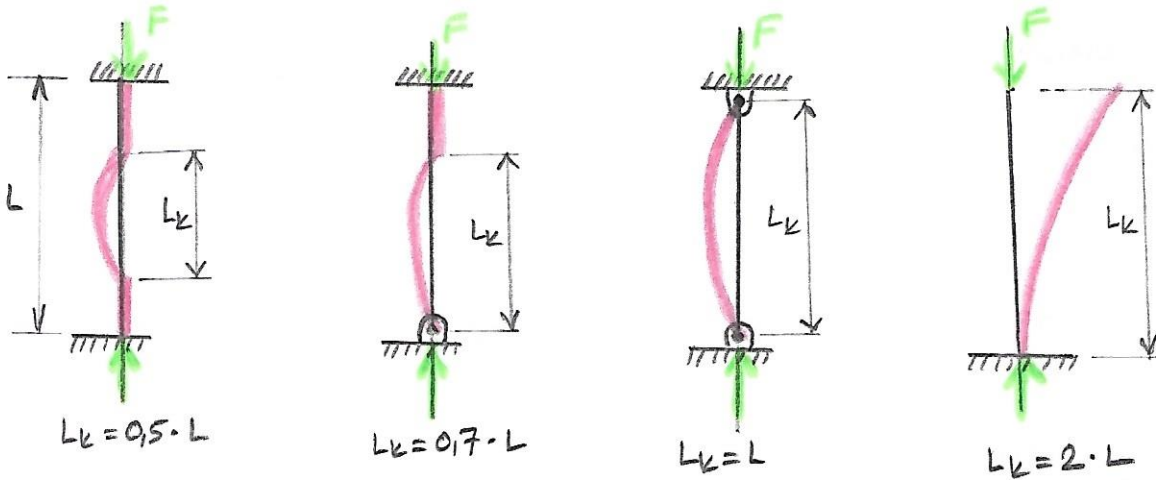
En büyük gerilme (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{c}{p} \Rightarrow p = \frac{c}{\sigma_m}$$

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} \sigma_m$$

e) Burkulma (Flambaj) durumu:

Uzun ince çubuk şeklindeki makine elementleri eksenleri doğrultusunda etkiliyen basma kuvvetleri ile burkulmaya (flambaja) zorlanırlar. Burkulma; çubukların mesnetlenme şekillerine, burkmaya çalışan yük, çubuk malzemesi ve geometrisine bağlı olarak değişir. Şekil 1'de en çok karşılaşılan mesnetlenme biçimi ve oluşan burkulmalar gösterilmiştir.



Çubuk elemanda oluşan burkulma gerilmesi elastik sınırın altında kalırsa çubuğu kararlı duruma getiren burkulma kuvveti (F_{Br}) veya kritik kuvvet

$$F_{Br} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2}$$

malzeme elastiklik yet momenti
çubuk atalet momenti

L_k : burkulma boyu veya serbest-etkili burkulma uzunluğu

Basma zorlaması etkisinde çubuğun (kesitin) atalet yarıçapı (k) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

İncelik (narınlık) derecesi veya katsayısı (λ) = $\frac{Lk}{k}$

Çubuğun burkulma gerilmesi (σ_{Br}) = $\frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$ (Euler formülü)

Euler formülü gerilmelerin elastik sınır altındaki değerlerinde kullanılır. Genellikle akma sınırının yarısına kadar geçerlidir ($\sigma_{ak}/2$). Bu sınır değerden sonra ;

Çubuğun burkulma gerilmesi (σ_{Br}) = $\sigma_{ak} - \frac{\sigma_{ak}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \cdot \lambda^2$ (Johnson formülü)

Bu iki bölgenin kesiştiği noktada her iki formülde geçerlidir ve bu noktadaki narınlık katsayısı (sınır narınlık katsayısı : λ_0)

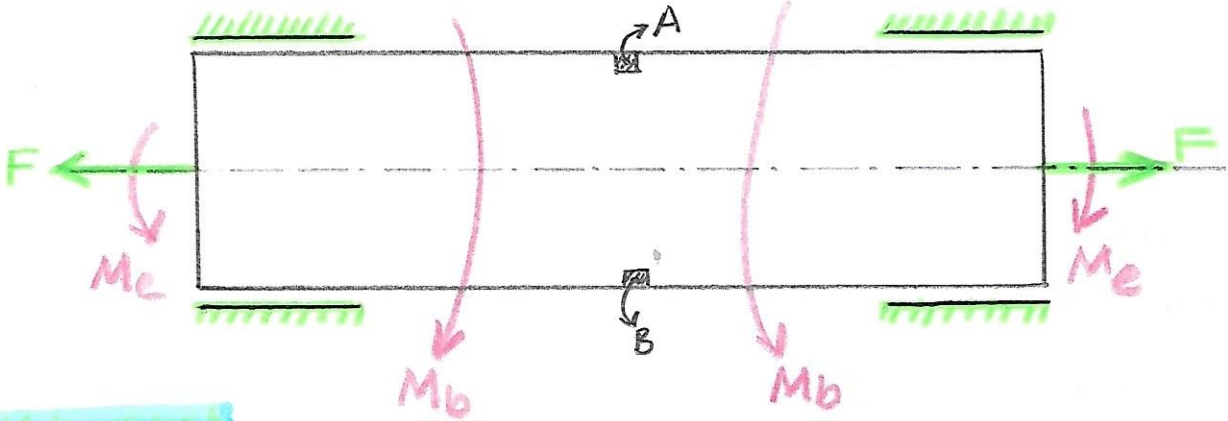
$$\lambda_0 = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot E}{\sigma_{ak}}}$$

Burkulma hesabında izlenecek Yol:

- Çubuk geometrisine bağlı atalet momenti (I) ve atalet yarıçapı (k) bulunur.
 - Mesnetlenme şekline bağlı Lk bulunur ve narınlık katsayısı (λ) hesaplanır
 - Sınır narınlık katsayısı hesaplanır (λ_0)
 - $\lambda > \lambda_0 \rightarrow$ Euler formülü
 - $\lambda < \lambda_0 \rightarrow$ Johnson formülü
- } burkulma gerilmesi hesaplanır.
- Çubuğun taşıyabileceği gerçek "F" yükü uygun "S" emniyet katsayısında $\sigma_b = \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{Br}}{S}$ şartını sağlayacak şekilde belirlenir.
↳ Basma gerilmesi
 - Uygulamada kritik burkulma kuvveti ve uygulanan eksenel kuvvet arasında ; $S = \frac{F_{Br}}{F}$ ilişkisi esas alınır. Emniyet katsayısı için ;
statik zorlamada $\Rightarrow S = 3 - 6$ arası
dinamik zorlamada $\Rightarrow S = 8 - 10$ arası
belirsiz zorlamada $\Rightarrow S = 15 - 22$ arası
değerlerinin seçilmesi tavsiye edilir.

Problem 1: Şekilde 40 mm çapındaki şaft 20 kN eksenel çekme kuvveti ve 450 Nm burulma momentine maruzdur. Ayrıca şaftın her iki ucunda 360 Nm'lik eğilme momenti etki etmektedir. Mil malzemesi için; $\sigma_k = 780 \text{ MPa}$ ve $\tau_{ak} = 600 \text{ MPa}$ değerleri bilinmektedir. (Veya şaft malzemesi verilir, tablolara bakılır.)

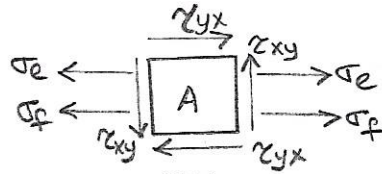
- a) Maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezi (Von Mises) ile emniyet katsayısını bulunuz.
 b) Maksimum kayma gerilmesi hipotezi (Tresca) ile emniyet katsayısını bulunuz.



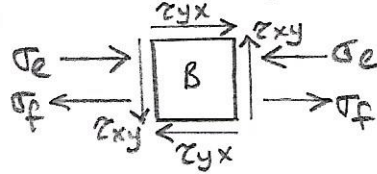
Altı Mukavemet
Tekniği Soru Bankası

Çözüm: F kuvveti etkisinde üst (A) ve alt (B) bölge deki çekme gerilmesi, Mb etkisinde kayma gerilmesi, Me etkisinde eğilme gerilmesi aşağıda gösterilmektedir.

A bölgesindeki gerilmeler:



B bölgesindeki gerilmeler:



Şekil incelendiğinde maksimum normal gerilmelerin en üst elemanda oluştuğu görülmektedir. Tasarım için hesaplamalar bu gerilmeler esas alınarak yapılmalıdır.

$$\sigma_f = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi d^2/4} = \frac{4 \cdot (20000)}{\pi \cdot (40)^2} = 15,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 15,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{M_e}{\pi d^3/32} = \frac{32 \cdot (360) \cdot (1000)}{\pi \cdot 40^3} = 57,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{\pi d^3/16} = \frac{16 \cdot (450) \cdot (1000)}{\pi \cdot (40)^3} = 35,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = \sigma_e + \sigma_f = 57,29 + 15,9 = 73,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = 0$$

Asıl gerilmeler hesaplırsa :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \Rightarrow \frac{73.19 + 0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{73.19 - 0}{2}\right)^2 + (35.8)^2}$$

$$\sigma_1 = 87.78 \text{ MPa} \quad \sigma_2 = -14.595 \text{ MPa}$$

a) Maksimum şekil değiştirme enerjisi kullanılarak eşdeğer gerilme :

$$\sigma_{es} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2} \Rightarrow \sqrt{(87.78)^2 - (87.78)(-14.595) + (-14.595)^2}$$

$$\sigma_{es} = 95.91 \text{ MPa}$$

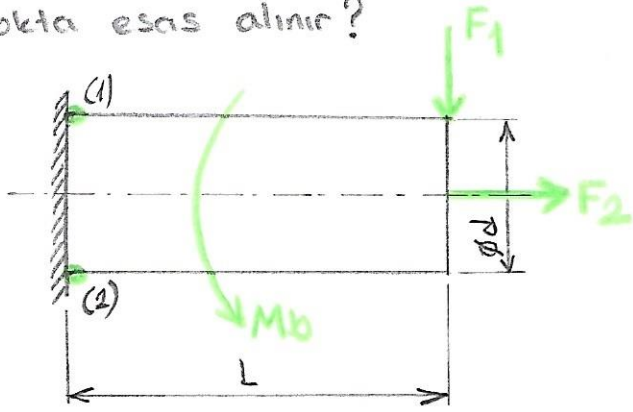
$$\text{Emniyet katsayısı (S)} = \frac{\sigma_{ak}}{\sigma_{es}} \Rightarrow \frac{600}{95.95} = 6.25$$

b) Maksimum kayma gerilmesine göre :

$$\text{Emniyet katsayısı (S)} = \frac{\sigma_{ak}}{2 \cdot \tau_{max}} = \frac{\sigma_{ak}}{\sigma_1 - \sigma_2} \Rightarrow \frac{600}{87.78 - (-14.595)} = 5.86$$

Açıklama: Her iki durumda da eleman emniyetlidir.

Problem 2: Şekildeki yükleme durumunda (1) ve (2) noktalarındaki eşdeğer gerilmeleri bulunuz. Hesap kolaylaştırma amaçlı olursa hangi nokta esas alınır?



Verilenler:

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$F_1 = 700 \text{ N}$$

$$F_2 = 3500 \text{ N}$$

$$M_b = 2500 \text{ N/mm}$$

Not: Mukavemet tekrar sorusudur.

Çözüm:

$$\text{Kesit Alanı (A)} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi (20)^2}{4} = 314,16 \text{ mm}^2$$

$$\text{Eğilme Mukavemet Momenti (We)} = \frac{\pi d^3}{32} \Rightarrow \frac{\pi (20)^3}{32} = 785,4 \text{ mm}^3$$

$$\text{Burulma Mukavemet Momenti (Wb)} = \frac{\pi d^3}{16} \Rightarrow \frac{\pi (20)^3}{16} = 1570,8 \text{ mm}^3 = 2W_e$$

$$\text{Eğilme Momenti (Me)} = F_1 \cdot L \Rightarrow 700 \cdot 100 = 70000 \text{ Nmm}$$

(1) noktadaki gerilmeler:

$$\sigma_a = \frac{F_2}{A} \Rightarrow \frac{3500}{314,16} = 11,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \Rightarrow \frac{70000}{785,4} = 89,13 \text{ N/mm}^2 \text{ (çekme)}$$

$$\tau = \frac{M_b}{W_b} \Rightarrow \frac{2500}{1570,8} = 1,59 \text{ N/mm}^2 \text{ (kesme-kayma)}$$

- Maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezine göre eşdeğer gerilme

$$\sigma_{\text{eş}} = \sqrt{(\sigma_e + \sigma_a)^2 + 3\tau^2} \Rightarrow \sqrt{(89,13 + 11,14)^2 + 3 \cdot (1,59)^2} = 100,3 \text{ N/mm}^2$$

- Maksimum kayma gerilmesi hipotezine göre eşdeğer gerilme

$$\sigma_{\text{eş}} = \sqrt{(\sigma_e + \sigma_a)^2 + 4\tau^2} \Rightarrow \sqrt{(89,13 + 11,14)^2 + 4 \cdot (1,59)^2} = 100,32 \text{ N/mm}^2$$

(2) noktadaki gerilmeler:

$$\sigma_e = - \frac{M_e}{W_e} \Rightarrow - \frac{70000}{785.4} = -89.13 \text{ N/mm}^2 \text{ (basma)}$$

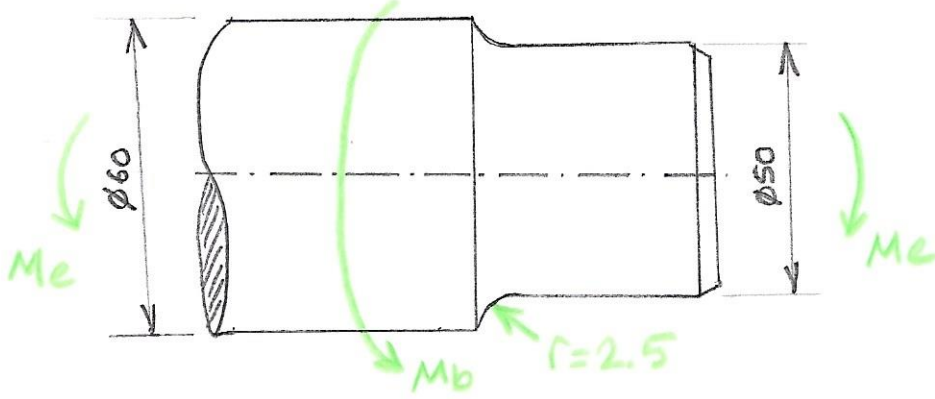
σ_a ve τ gerilmeleri (1) noktası ile aynı olduğundan eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{e\text{ş}2} = \sqrt{(\sigma_e + \sigma_a)^2 + 3\tau^2} \Rightarrow \sqrt{(-89.13 + 11.14)^2 + 3(1.59)^2} = 78.04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{e\text{ş}2} = \sqrt{(\sigma_e + \sigma_a)^2 + 4\tau^2} \Rightarrow \sqrt{(-89.13 + 11.14)^2 + 4(1.59)^2} = 78.05 \text{ N/mm}^2$$

Açıklama: Hesaplamalar ışığında (1) noktasındaki eşdeğer gerilmeler daha yüksek olduğundan tahribat (1) noktada başlayacaktır. Bu nedenle (1) noktasındaki eşdeğer gerilme esas alınmalıdır. Kayma gerilmesinin küçük olması her iki hipotezinde yakın sonuçlar vermesine neden olmaktadır.

Problem 3: Şekilde Fe 50 çelik faturalı mil statik burulma momenti (M_b) 250 Nm ve dinamik eğilme momenti (M_e) 250 Nm etkisindedir. Mil yüzeyi ince talas kaldırılarak işlenmiş olduğuna göre Milli sürekli mukavemet bakımından kontrol ediniz. **Not: Makine elementleri 1 sorusudur.**



Çözüm: Tehlikeli kesit, gentik etkisi nedeni ile faturanın bulunduğu kesit olup hesaplamalar bu kesit dikkate alınarak yapılacaktır.

$$\text{Kesit alanı (A)} = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi (50)^2}{4} = 1964 \text{ mm}^2$$

$$\text{Eğilme mukavemet momenti (W_e)} = \frac{\pi d^3}{32} \Rightarrow \frac{\pi (50)^3}{32} = 12,28 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Burulma mukavemet momenti (W_b)} = \frac{\pi d^3}{16} \Rightarrow \frac{\pi (50)^3}{16} = 24,56 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Statik burulma momenti etkisinde $\bar{\tau}$, dinamik eğilme momenti etkisiyle σ_e oluşur.

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{M}_b}{W_b} \Rightarrow \frac{250 \text{ (Nm)}}{24,56 \text{ (mm}^3\text{)}} = 10,18 \text{ N/mm}^2$$

Not: Üst çizgili notasyonlar statik yükler için kullanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \Rightarrow \frac{250}{12,28} = 20,36 \text{ N/mm}^2$$

Maksimum şekil değiştirme enerjisi hipotezi ile eşdeğer gerilmeler:

$$\text{Statik: } \bar{\sigma}_{es} = \sqrt{(\bar{\sigma}_e)^2 + 3(\bar{\tau})^2} \cong \sqrt{3} \cdot (\bar{\tau}) \Rightarrow 17,65 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_e = 0$$

$$\text{Dinamik: } \sigma_{es} = \sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau^2} \Rightarrow 20,37 \text{ N/mm}^2 \quad \tau = 0$$

$$\text{Ortalama gerilme } (\sigma_m) = \bar{\sigma}_{es} \cong 17,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Üst gerilme } (\sigma_{\bar{u}}) = \bar{\sigma}_{es} + \sigma_{es} \Rightarrow 17,65 + 20,37 = 38,09 \text{ N/mm}^2$$

Sürekli mukavemet diyagramı için α bulunmalıdır.

$$\tan \alpha = \frac{\sigma_{\bar{u}}}{\sigma_m} \Rightarrow \frac{38,09}{17,65} \Rightarrow \tan^{-1} \left(\frac{38,09}{17,65} \right) \Rightarrow \alpha = 65,138 \dots \Rightarrow \alpha = 65,1^\circ$$

Not: Çizimde 65° alınabilir.

Sürekli mukavemet diyagramı için malzemeye ait σ_{Ak} ve σ_{D} değerleri bulunmalıdır.

Soruda verilmediği için ilgili çizelgeye (Çizelge E.1.1) bakılır.

$$\sigma_{Ak} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{D} = 250 \text{ N/mm}^2$$

Çizelge E.1.1. Bazı malzemelere ait kopma ve sürekli mukavemet değerleri

Not: Elde edilen bu değerlerle sürekli mukavemet diyagramı çizilebilir. Ancak bu soruda mukavemet azaltıcı faktörler için bazı bilgiler verilmiş. Bu bilgiler ışığında aşağıdaki işlemlere devam edilir.

• Çap düzeltme katsayısı (k_b) = 0,82 (Çizelge 1.2)

• Yüzey düzensizlik katsayısı (k_y) = 0,91 (Çizelge 1.3)

Gentik hassasiyet
katsayısı (q) için :

$$\frac{D}{d} \Rightarrow \frac{60}{50} = 1,2$$

$$\frac{r}{d} \Rightarrow \frac{2,5}{50} = 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{D}{d} \Rightarrow \frac{60}{50} = 1,2 \\ \frac{r}{d} \Rightarrow \frac{2,5}{50} = 0,05 \end{array} \right\} k_t = 1,96 \text{ (Şekil E.1,2,3)} \\ \text{Teorik gerilme} \\ \text{yığılma faktörü}$$

Çizelge 1.4 kullanılarak ($\sigma_k = 500 \text{ N/mm}^2$ $r = 2,5 \text{ mm}$ interpolasyon yapılır)
 500 N/mm^2

Not: interpolasyon $\frac{\text{ilk değişken} - \text{son değişken}}{\text{ara değişken} - \text{son değişken}} = \frac{\text{ilk değer} - \text{son değer}}{\text{ara değer} - \text{son değer}}$

$$\frac{70-42}{50-42} = \frac{0,83-0,74}{q-0,74} \Rightarrow q \cong 0,78 \text{ olarak bulunur.}$$

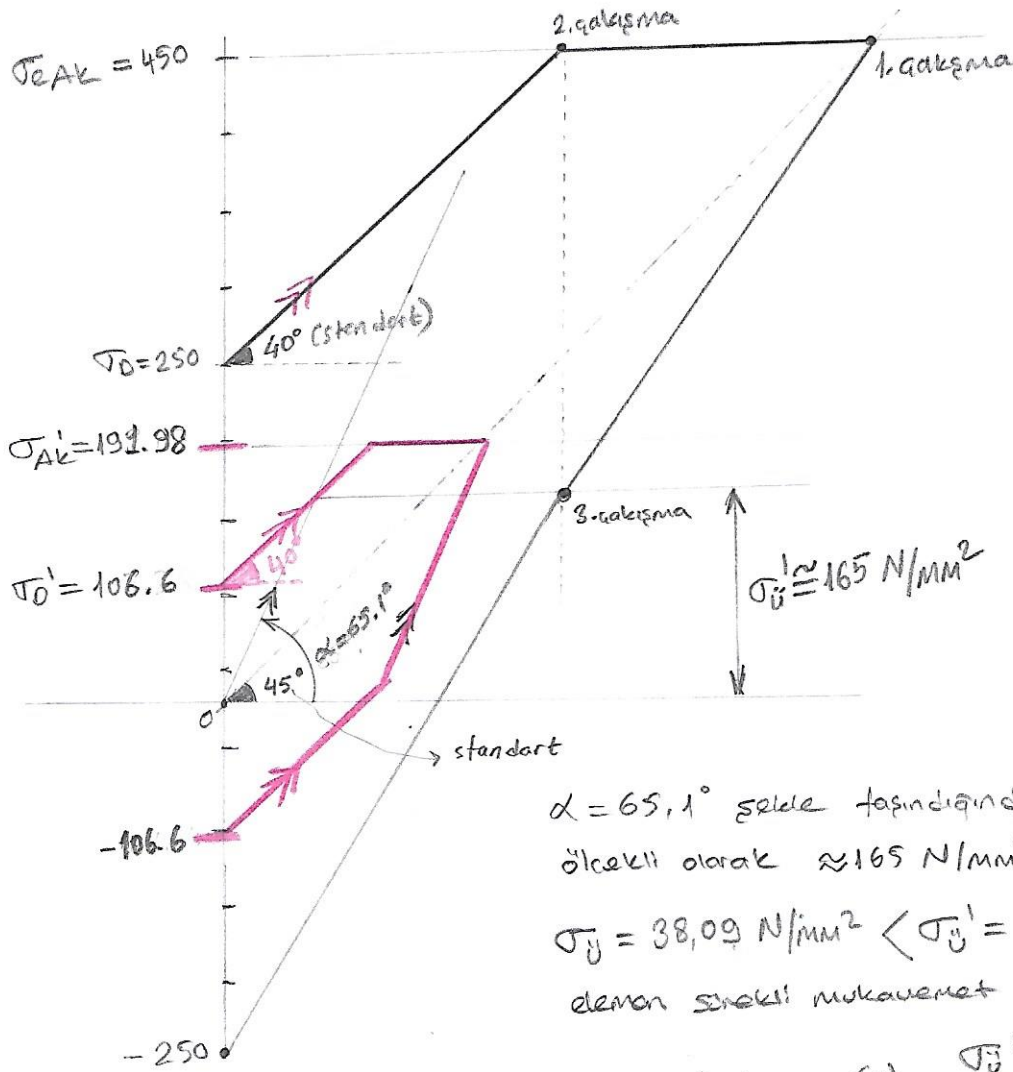
• gentik faktörü (β_k) = $1 + q(k_t - 1) \Rightarrow 1 + 0,78(1,96 - 1) = 1,749$

Bu hesaplamalara göre ;

$$\sigma'_{Ak} = \frac{\sigma_{Ak} \cdot k_b \cdot k_y}{\beta_k} \Rightarrow \frac{450 \cdot 0,82 \cdot 0,91}{1,749} = 191,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_D = \frac{\sigma_D \cdot k_b \cdot k_y}{\beta_k} \Rightarrow \frac{250 \cdot 0,82 \cdot 0,91}{1,749} = 106,6 \text{ N/mm}^2$$

Bu değerlerle yaklaşık sürekli mukavemet diyagramı yeniden dızenlenirse aşağıdaki kırmızı ęizgiler elde edilir.

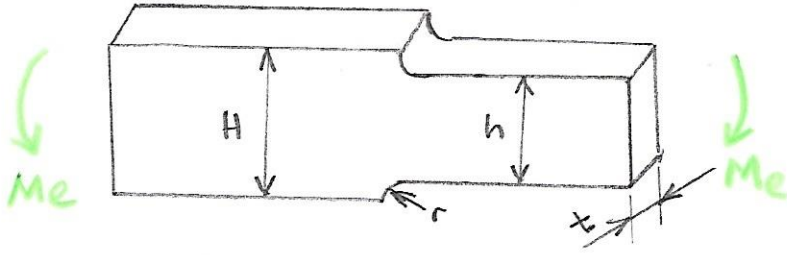


$\alpha = 65,1^\circ$ ęilde taşındığında yeni gerek st gerilme lcekli olarak $\approx 165 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunacaktır.

$\sigma_{\bar{U}} = 38,09 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\bar{U}}' = 165 \text{ N/mm}^2$ olduğundan demen sürekli mukavemet bakımından emniyetlidir.

$$\text{Emniyet katsayısı } (s) = \frac{\sigma_{\bar{U}}'}{\sigma_{\bar{U}}} \Rightarrow \frac{165}{38,09} \approx \underline{\underline{4,3}} \text{ olur.}$$

Problem 4: Şekilde M_e eğilme momentiyle zorlanan makine elemanının statik ve tam değişken zorlama halinde $S=3$ için emniyet gerilmelerini bulunuz.



Verilenler:

Parça malzemesi Fe 70

Yüzey düzensizlik faktörü (k_y) = 0,7

Parça büyüklük faktörü (k_b) = 0,95

Geçit hassasiyet faktörü (q) = 0,5

$H=70$ mm, $h=58$ mm, $r=10$ mm

Çözüm:

- Statik zorlama: Fe 70 malzeme sünek malzemedir, bu nedenle statik mukavemet sınırı olarak akma sınırı alınır.

$$\sigma^* = \sigma_{Ak} = 620 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Gizelge E 1.1})$$

$$\text{Emniyet gerilmesi } (\sigma_{em}) = \frac{\sigma^*}{S} \Rightarrow \frac{620}{3} = 206,6 \text{ N/mm}^2$$

- Tam değişken zorlama: Malzemenin kopma mukavemeti (σ_k) = 700 N/mm²

$$\sigma_{e0} = 0,5 \cdot \sigma_k \Rightarrow 0,5 \cdot 700 = 350 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Gizelge 1.5})$$

$$\text{Teorik yığılma faktörü } (k_t) \text{ için: } \frac{H}{h} \Rightarrow \frac{70}{58} = 1,206 \quad \frac{r}{h} \Rightarrow \frac{10}{58} = 0,1727$$

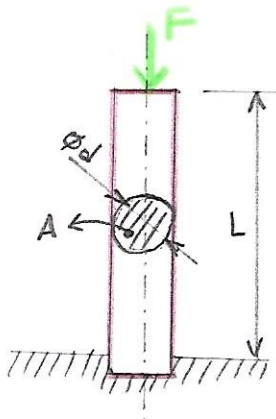
$$k_t = 1,5 \quad (\text{Gizelge E.3})$$

$$\text{Geçit faktörü } (\beta_k) = 1 + q(k_t - 1) \Rightarrow 1 + 0,5(1,5 - 1) = 1,25$$

Mukavemet azaltıcı faktörler hesaba katıldığında emniyet gerilmesi

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{e0} \cdot k_b \cdot k_y}{\beta_k \cdot S} \Rightarrow \frac{350 \cdot 0,95 \cdot 0,77}{1,25 \cdot 3} = 68,27 \text{ N/mm}^2$$

Problem 5: Şekilde verilen silindirik kesite sahip çubuk için düşey doğrultuda etkiyen F kuvveti etkisinde burkulma kontrolü yapınız.



Verilenler:

çubuk malzemesi Fe 50 ($\sigma_{Ak} = 32 \text{ daN/mm}^2$)

Elastisite modülü (E) = $2,1 \times 10^4 \text{ daN/mm}^2$

$d = 80 \text{ mm}$

$F = 10000 \text{ N}$

$L = 3000 \text{ mm}$

Çözüm: Çubuk bir ucu serbest bir ucu ankastre olduğundan kritik burkulma boyu (L_k) = $2 \cdot L \Rightarrow 2 \cdot 3000 = 6000 \text{ mm}$.

$$\text{Atalet momenti (I)} = \frac{\pi d^4}{64} \Rightarrow \frac{\pi (80)^4}{64} = 201,06 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\text{Kesit alanı (A)} = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow \frac{\pi (80)^2}{4} = 5026,55 \text{ mm}^2$$

$$\text{Atalet yarıçapı (k)} = \sqrt{\frac{I}{A}} \Rightarrow \sqrt{\frac{201,06 \times 10^4}{0,502655 \times 10^4}} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Sınır Narinlik katsayısı (\lambda_0)} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{\sigma_{Ak}}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \times 10^4}{32}} = 113,815$$

$$\text{Narinlik katsayısı (\lambda)} = \frac{L_k}{k}$$

$$\lambda = \frac{6000}{20} = 300$$

Fe 50 için $\sigma_{Ak} = 32 \text{ daN/mm}^2$ verilmemiş ise tabla ve çizelgelere bakılır.

$\lambda > \lambda_0$ olduğundan Euler formülü kullanılır.
 $300 > 113,815$

$$\text{Burkulma kuvveti (F_{Br})} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} \Rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^4 \cdot 201,06 \times 10^4}{6000^2}$$

$$F_{Br} = 115755,66 \text{ N}$$

$$\text{Burkulma gerilmesi } (\sigma_{Br}) = \frac{F_{Br}}{A} \Rightarrow \frac{115755,66}{5026,55} = 23,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{veya } \sigma_{Br} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \text{ aynı sonucu verecektir (Euler formülü)}$$

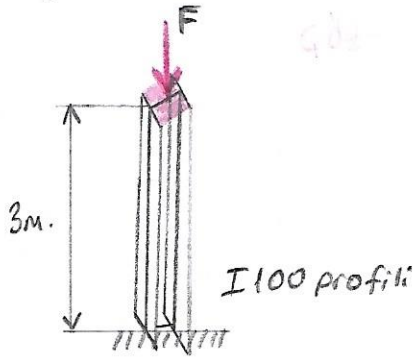
$$\text{Basma gerilmesi } (\sigma_b) = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{10000}{5026,55} = 1,989 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Emniyeti: burkulma gerilmesi } (\sigma_{Brem}) = \frac{\sigma_{Br}}{5} \Rightarrow \frac{23,03}{5} = 4,606 \text{ N/mm}^2$$

↳ statik zorlama 5 alabiliriz

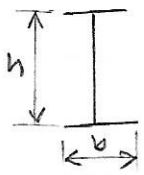
Açıklama: $\sigma_b < \sigma_{Brem}$ olduğundan burkulma açısından emniyetlidir.

Problem 6: 3 metre boyunda I100 st37 profili 5 emniyet katsayısı ile en fazla ne kadar basma yükü uygulanabilir?



Çözüm: I 100 profili için;
tablo ve kataloglardan değerlere bakılır.

Not: Weversitem'e yüklediğim profiller katalogunda sayfa: 11 (sani ile vurgulanmıştır)



En kesit Alanı = $10,6 \text{ cm}^2 = 1060 \text{ mm}^2 = 12,2 \times 10^4 \text{ mm}^2$

Atalet momenti : $I_x = 171 \text{ cm}^4$ $I_y = 12,2 \text{ cm}^4$

Atalet yarıçapı (k) = $1,07 \text{ cm}$ (minimum kullanılacak)

Katalogda ; X-X için I_x } notasyonları kullanılmıştır
Y-Y için I_y

st37 yapı çeligi için ; (EN S235JR olarakta bakılabilir)

MatWeb sitesinden alınan değerler kullanılmıştır.

Tensile strength, Yield : $\sigma_{Ak} = 225 \text{ MPa} = 225 \text{ N/mm}^2$

Modulus of Elasticity : $E = 200 \text{ GPa} = 200 000 \text{ N/mm}^2$

Hesaplamalar:

Güçlük tek taraftan mafsallıdır. Üst kısım serbestir. Bu nedenle;

Bükülme boyu (L_k) = $2 \times L \Rightarrow 2 \times 3 \text{ m} = 6 \text{ m.} = 600 \text{ cm} = 6000 \text{ mm.}$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_k)^2} \Rightarrow \frac{\pi^2 \cdot 200000 (\text{N/mm}^2) \cdot 12,2 \times 10^4 (\text{mm}^4)}{[6000 (\text{mm})]^2} = 6689 \text{ N} = 6,689 \text{ kN}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{F_{kr}}{A} = \frac{6689 (\text{N})}{1060 (\text{mm}^2)} = 6,31 \text{ N/mm}^2$$

$6,31 < 225 \text{ MPa}$
olduğundan Maltiremez. kritik
bükülme yükünü güvenle taşıyabilir.

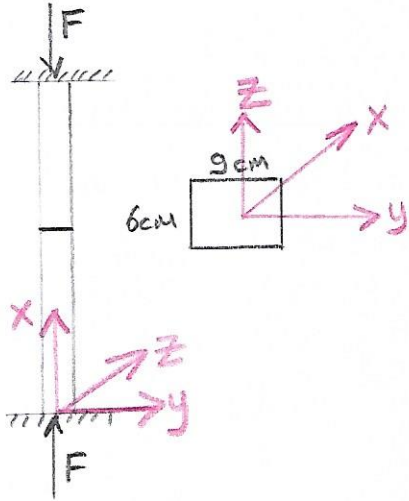
$$F_{max} = \frac{F_{kr}}{S} \Rightarrow \frac{6689 \text{ N}}{5} \Rightarrow F_{max} = 1338 \text{ N (en fazla basma yükü)} \\ \approx 136,44 \text{ kgf}$$

S: emniyet katsayısı
(Bükülme)

Problem 7: Şekilde verilen her iki ucu ankastre St37 malzemeden imal edilmiş kırıgın uzunluğu 4 m'dir. 6 cm x 9 cm kesitindeki bu kırıgı burkulma açısından kontrol ediniz ve kritik yük değerini hesaplayınız.

Verilenler veya ilgili tablo değerleri:

St37 için; $\sigma_{Ak} = 225 \text{ MPa}$, $E = 200 \text{ GPa}$



Gözlem:

Atalet momenti:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{9 \cdot 6^3}{12} = 162 \text{ cm}^4 = 162 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{6 \cdot 9^3}{12} = 364,5 \text{ cm}^4 = 364,5 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Kesit Alanı:

$$A = b \times h = 9 \times 6 = 54 \text{ cm}^2 = 54 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$$

Burkulma Boyu: (iki taraftan ankastre)

$$L_k = 0,5 \times L \Rightarrow 0,5 \times 4 = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$$

Johnson Formülü:

$$\sigma_{Br} = \sigma_{Ak} - \frac{\sigma_{Ak}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \cdot \lambda^2$$

$$\sigma_{Br} = 225 - \frac{225^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 200 \cdot 10^3} \cdot 115,5^2$$

$$\sigma_{Br} = 139,47 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{Br} = \frac{F_{kr}}{A} \Rightarrow F_{kr} = \sigma_{Br} \cdot A$$

$$F_{kr} = 139,47 (\text{N/mm}^2) \cdot 54 \cdot 10^2 (\text{mm}^2)$$

$$\underline{F_{kr} = 753138 \text{ N}}$$

kritik yük değeridir.

Bu değerden sonra malzeme plastik felci değişikliğine uğruşacaktır.

Atalet Yarıçapı (k)

$$k = \sqrt{I/A} \Rightarrow \sqrt{162/54} = 1,732 \text{ cm}$$

Not: Minimum atalet momentini kullanmalıyız
min (I_y ; I_z)

Narinlik katsayısı (λ)

$$\lambda = \frac{L_k}{k} \Rightarrow \frac{200}{1,732} = 115,5$$

Sınır Narinlik katsayısı (λ_0)

$$\lambda_0 = \pi \sqrt{\frac{2 \cdot E}{\sigma_{Ak}}} \Rightarrow \pi \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \cdot 10^3 (\text{MPa})}{225}}$$

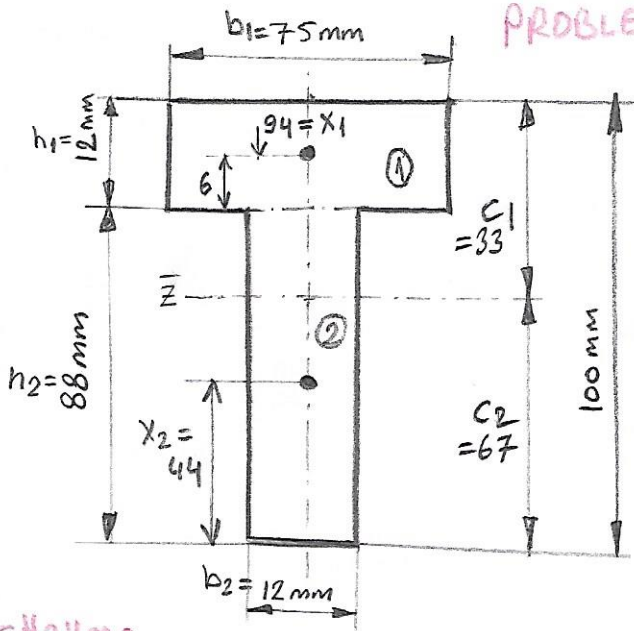
$$\lambda_0 = 132,46$$

$$\lambda < \lambda_0 \Rightarrow 115,5 < 132,46$$

Johnson Formülü kullanılacak

PROBLEM 8:

Şekildeki T kesitli bir kiriş 1600 Nm'lik bir momentin etkisindedir. Kirişin üst kısmında çeki gerilmesi oluşmaktadır. Nötr ekseninin yerini belirleyiniz. Maksimum basma ve çekme gerilmelerini hesaplayınız.



Çözüm:

1. aşama ; atalet momentini bulalım;

$$\sigma_e = \frac{m \cdot c}{I} \quad I_1 = I_1' + A_1 d_1^2$$

$$I_2 = I_2' + A_2 d_2^2$$

$$I_1' = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = \frac{75 \cdot 12^3}{12} = 10800 \text{ mm}^4$$

$$I_2' = \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = \frac{12 \cdot 88^3}{12} = 681472 \text{ mm}^4$$

$$\bar{Z} = \frac{(b_1 \cdot h_1 \cdot X_1) + (b_2 \cdot h_2 \cdot X_2)}{(b_1 \cdot h_1) + (b_2 \cdot h_2)} = \frac{(75 \cdot 12 \cdot 94) + (12 \cdot 88 \cdot 44)}{(75 \cdot 12) + (12 \cdot 88)} = \frac{131064}{1956} = 67 \text{ mm}$$

$$C_2 = 67 \text{ mm}$$

$$C_1 = 33 \text{ mm}$$

$$I_1 = 10800 + (12 \times 75) (33 - 6)^2 = 666900 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = 681472 + (12 \times 88) (67 - 44)^2 = 1240096 \text{ mm}^4$$

$$I = I_1 + I_2 = 1906996 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\max (\text{çekme})} = \frac{m \cdot c}{I} = \frac{1600 (\text{Nm}) \cdot 10^3 \cdot 33 (\text{mm})}{1906996} = 27,68 (\text{MPa})$$

$$\sigma_{\max (\text{basma})} = \frac{1600 (\text{Nm}) \cdot 10^3 \cdot 67 (\text{mm})}{1906996} = -56,21 (\text{MPa})$$

basma olduğundan (-) konulur.