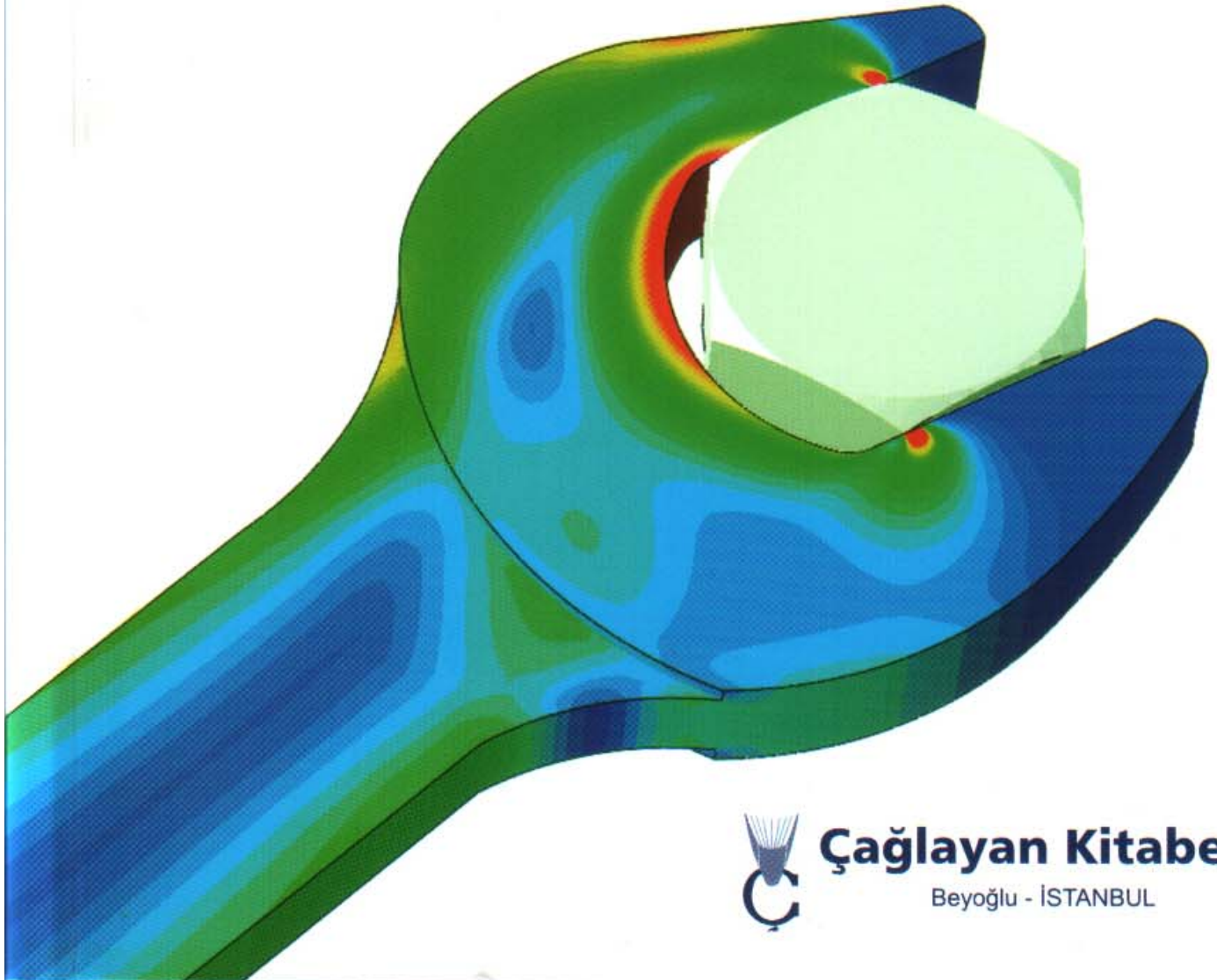


Cisimlerin Mukavemeti

(Teori ve Çözümlü Problemler)

Prof. Dr. Paşa Yayla



Çağlayan Kitabevi

Beyoğlu - İSTANBUL

Cisimlerin Mukavemeti

(Teori ve Çözümlü Problemler)

Prof. Dr. Paşa Yayla

Kocaeli Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü



Çağlayan Kitabevi

Galatasaray, İstiklal Cad. 76 Tokatlıyan İş Hanı
K:1 / 7 - 8 - 9 34435 Beyoğlu - İstanbul
Telefon: 0212 245 44 33 Fax: 0212 249 17 94
info@caglayan.com | www.caglayan.com

Üçüncü Baskı
2010

ISBN: 978-975-436-076-9

© Prof. Dr. Paşa Yayla

© Türk Ceza Kanunu ve 5846 sayılı F.S.E. Kanunu gereği her hakkı mahfuzdur.
Bu kitap veya bir kısmı Çağlayan Kitabevi ve Yazarın müsaadesi alınmaksızın
tab ve kopya edilemez.

Baskı ve Cilt:
Ada Ofset Matbaacılık Tic. Ltd. Şti.
Litros Yolu, 2nci Mat. Sitesi E Blok 1nci Kat No: ZE 2
Topkapı - İstanbul

ÖNSÖZ

Katıların mekaniği kendi içinde *Katı Cisimlerin Mekaniği* (veya kısaca *Mekanik*) ve *Şekil Değiştiren Cisimlerin Mekaniği* (veya kısaca *Mukavemet*) olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Bunlardan mekaniğin konusu, yük altında şekil değiştirmeyen cisimlerin statik ve dinamik davranışlarını incelemektir. Mukavemetin konusu ise daha ziyade iç kuvvetler ve bunun sonucu cisimde oluşan şekil değişimini inceler. Bu anlamda en önemli iki konu (i) cismin verilen bir yükü emniyetli bir şekilde taşıyıp taşıyamayacağını ve (ii) yük altında oluşan şekil değişiminin öngörülen değerler içinde olup olmadığını kontrol edilmesidir. Bu yüzden herhangi bir mühendislik tasarımında sistemin mukavemet yönünden analizi mühendislik faaliyetlerinin özünü teşkil eder.

Mühendislik problemlerinin çözümünde en belirgin amaç önce problemin matematiksel modelinin doğru olarak kurulmasıdır. Zaman zaman bu matematiksel modeli kurmak çözümünden daha zordur. Bu yüzden konunun daha iyi anlaşılması için modelin ve bu modelle ilgili formülasyonun da anlaşılması önemli olmaktadır. Ancak mühendislik eğitiminde kabul gören yaklaşımlardan biri de teorinin pratik endüstriyel uygulamalarla desteklenmesidir. Bu anlamda bu çalışmada mümkün olduğunca her konunun esasını teşkil eden bağıntılar çıkarılmış sonra da uygulamadan örnekler verilerek konunun daha iyi anlaşılabilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada teori ile çözümlü problemler arasında bir denge oluşturularak elde edilen ilgili bağıntıların nasıl elde edildikleri, nerelerde ve nasıl kullanıldıkları ortaya konmaya çalışılmıştır. SI birim sisteminin kullanıldığı bu çalışmada kullanılan notasyonlar yaygın olarak kullanımı kabul görenler arasından seçilmiştir. Her bölümün sonunda o bölümle ilgili belirli sayıda problemlere yer verilerek öğrencinin konu üzerinde daha fazla uygulama çözmesi amaçlanmıştır.

Düzeltilmiş ve birtakım ilaveler yapılmış kitabın bu ikinci baskısında kitabın orijinali büyük ölçüde korunmuştur. Kitaptaki her bir bölümün sonunda *Çözülecek Problemler* başlığı altında verilen soruların çözümleri, tarafımda hazırlanıp Çağlayan Kitabevi tarafından basılan *Cisimlerin Mukavemeti Problemleri* başlıklı kitapta bir araya getirilmiştir.

Bu çalışmanın şekillenmesine maddi-manevi desteğinden dolayı ADİLE YEŞİM'e; varlıkları ile renk katan ASLI MELTEM'e; DEMET ve DENİZ'e; katkı sağlayan tüm dost ve meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Kitabı yayınları arasına alan Çağlayan Kitabevi sahibi Sayın Tuncay ÇAĞLAYAN'a, basımda her türlü titizliği gösteren Çağlayan Basımevi Müdürü Sayın Fahri VURAL'a teşekkür ederim.

Kitabın kapak tasarımında katkılarından dolayı A-Ztech Ltd.'den Sn Ali ÖGE'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmanın tüm öğrencilere ve uygulamacılara yararlı olması dileğiyle.

Paşa YAYLA
Altunizade - İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xi
SI (METRİK) İLE İNÇ (US) BİRİM SİSTEMLERİ ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER.....	xii
1. GİRİŞ ve GENEL KONULAR.....	1
1.1. BOYUT ANALİZİ.....	1
1.2. MUKAVEMETİN TANIMI VE KAPSAMI	3
1.2.1. Katılaştırma veya Dondurma Prensibi.....	6
1.2.2. Ayırma Prensibi.....	6
1.2.3. Yer Değişiminin Boyutlar Yanında İhmal edilmesi Prensibi	7
1.3. GERİLME ve GERİLME TÜRLERİ.....	7
1.3.1. Normal Gerilme	8
1.3.2. Kayma Gerilmesi	9
1.3.3. Eksenel Yük Altında Oluşan Gerilmeler	10
1.4. GERİLME GENLEME BAĞINTILARI	11
1.4.1. Gerilme Genleme Diyagramı	12
1.4.2. Emniyet Katsayısı	15
1.4.3. Normal Kuvvet Diyagramı	18
1.5. PERÇİN VEYA CIVATA BAĞLANTILARINDA MUKAVEMET HESAPLAMALARI.....	23
1.5.1. Cıvata Veya Perçin Gruplarının Ağırlık Merkezi.....	25
1.5.2. Eksantrik Yüklemeye Maruz Perçin veya Cıvata Grupları	25
1.6. İNCE CİDARLI BASINÇLI KAPLAR	28
1.6.1. İnce Cidarlı Küre	28
1.6.2. İnce Cidarlı Silindir:	29
1.6.2.1. Çevresel Gerilme	29
1.6.2.2. Eksenel Gerilme:	29
1.7. DÖNEN İNCE CİDARLI HALKADA VEYA SİLİNDİRDE OLUŞAN GERİLMELER	31
1.8. GERİLME YIĞILMASI	32
1.8.1. Eliptik Süreksizliklerde Gerilme Yığılması.....	33
1.8.2. Gerilme Yığılmasında Plastik Şekil Değişimi	35
1.9. YANAL GERİNME VE POISSON KATSAYISI.....	36
1.10. GENELLEŞTİRİLMİŞ HOOKE KANUNU	36
1.11. ELASTİK SABİTELER ARASINDAKİ BAĞINTI.....	38
1.11.1. G, E ve ν Büyüklükleri Arasındaki İlişki	38
1.11.2. K, E ve ν Büyüklükleri Arasındaki İlişki	39
1.12. ÜNİFORM OLAN VE ÜNİFORM OLMAYAN YÜKLEME HALLERİ	41
1.13. ÇEKME VE BASMADA HİPERSTATİK PROBLEMLER.....	44
1.14. SICAKLIK GERİLMELERİ.....	51
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER.....	56

2. KİRİŞLERDE KESME KUVVETİ VE EĞİLME MOMENTİ	79
2.1. KİRİŞ ÇEŞİTLERİ.....	79
2.2. EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ DİYAGRAMLARI	81
2.3. EĞİLME MOMENTİ İLE KESME KUVVETİ ARASINDAKİ BAĞINTI	83
2.4. EĞİLME MOMENTİ VE KESME KUVVETİ DİYAGRAMLARININ ELDE EDİLMESİ	86
2.4.1. Tekil Yüklü ve Basit Mesnetli Bir Kirişin Kesme ve Eğilme Momenti Diyagramları.....	86
2.4.2. Kirişe Birden Fazla Tekil Kuvvetin Tesir Etmesi	87
2.4.3. Kiriş Üzerinde Üniform Yayılı Yük	89
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	100
3. KİRİŞLERDE EĞİLME GERİLMELERİ	103
3.1 EĞİLME SONUCU OLUŞAN NORMAL GERİLMELER.....	103
3.2. ATALET MOMENTLERİ.....	108
3.2.1. Eksene Göre Atalet Momenti	108
3.2.2. Çarpım Atalet Momenti.....	111
3.2.3. Polar Atalet Momenti	111
3.2.4. Atalet Yarıçapı.....	112
3.2.5. Paralel Eksenler Teoremi.....	112
3.3. EĞİK EĞİLME	117
3.3.1. Kayma Merkezi	121
3.4. EĞİLMEDE GERİLME YIĞILMASI.....	124
3.5. EĞİLMEDE OLUŞAN KAYMA GERİLMELERİNİN HESABI	124
3.6. I- KESİTLİ PROFİLLERDE EĞME GERİLMESİ	135
3.7. KİRİŞLERDE MUKAVEMET ARTIRMA YÖNTEMLERİ.....	137
3.8. BİLEŞİK GERİLME HALİ	138
3.9. EĞRİ EKSENLİ ÇUBUKLARIN EĞİLMESİ	143
3.9.1. Yaygın Kullanılan Bazı Kesitler İçin Bağlıntılar.....	146
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	148
4. KİRİŞLERİN EĞİLMESİ - ŞEKİL DEĞİŞİMLERİ	167
4.1. ELASTİK EĞRİNİN DENKLEMİ	168
4.2. EĞİM VE SEHİMİN İKİ KATLI İNTEGRAL METODU İLE BULUNMASI.....	169
4.3. EĞİM VE SEHİM HESAPLARINDA SÜPERPOZİSYON METODU	180
4.4. HİPERSTATİK KİRİŞLERDE EĞİM VE SEHİM DENKLEMLERİ.....	182
4.5. EĞİM VE SEHİMİN TESBİTİNDE MOMENT-ALAN METODU.....	187
4.6. EĞİM VE SEHİMİN TESBİTİNDE TEKİLLİK FONKSİYONUNUN KULLANIMI.....	189
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	195
5. BURULMA	197
5.1. DAİRESEL KESİTLİ MİLLERİN BURULMASI	198
5.2. İÇİ BOŞ DAİRESEL KESİTLERİN BURULMASI	205

5.3. BURULMADA HİPERSTATİK PROBLEMLER	211
5.4. UNİFORM OLMAYAN (FATURALI) MİLLERİN BURULMASI	214
5.5. DİKDÖRTGEN KESİTLİ ELEMANLARIN BURULMASI.....	217
5.6. İNCE CİDARLI KAPALI (TÜBİLER) KESİTLERİN BURULMASI	219
5.6.1. İki Bölmeli Tübiler Kesitlerde Burulma.....	225
5.6.2. Çok Bölmeli Kesitlerde Burulma	226
5.7. PROFİL KESİTLERİN BURULMASI.....	229
5.8 DAİRE KESİTLİ MİLLERDE GERİLME YIĞILMASI.....	231
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	232
6. GERİLME-GENLEME DÖNÜŞÜMÜ ve BİLEŞİK GERİLMELER	243
6.1. İKİ EKSENLİ GERİLME HALİ.....	244
6.2. ASAL GERİLMELER VE MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ	248
6.3. GERİLME DÖNÜŞÜMÜNDE MOHR DAİRESİ	251
6.4. ASAL GERİLMELER CİNSİNDEN MAKSİMUM KAYMA GERİLMESİ.....	253
6.5. ÜÇ EKSENLİ GERİLME HALİ.....	256
6.5.1. Üç Eksenli Gerilmede Bazı Özel Haller.....	258
6.5.2. Üç Eksenli Gerilmede Uygulamaları.....	260
6.6. GENLEME DÖNÜŞÜMÜ.....	264
6.7. HASAR TEORİLERİ.....	270
6.7.1. Maksimum Normal Gerilme Teorisi.....	271
6.7.2. Maksimum Kayma Gerilme Teorisi	271
6.7.3. Maksimum Kayma Genleme Enerjisi Teorisi.....	272
6.7.4. Hasar Teorilerinin Kıyaslanması	273
6.8. EĞİLME VE BURULMANIN BİRLİKTE ETKİMESİ.....	279
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	285
7. ENERJİ METODLARI	295
7.1. GİRİŞ	295
7.2. DIŞ ENERJİ	295
7.3. ELASTİK ENERJİ.....	296
7.4. DIŞ VE İÇ ENERJİNİN EŞİTLİĞİ	298
7.5. FARKLI YÜKLEME DURUMLARINDA ELASTİK ENERJİ	300
7.5.1. Normal Gerilmede Elastik Enerji	300
7.5.1.1. Eksenel Yüklemede Elastik Enerji	300
7.5.1.2. Eğilmede Elastik Enerji.....	301
7.5.2. Kayma Gerilmesinde Elastik enerji	302
7.5.2.1. Kirişlerde Kesme Kuvveti Altında etkisinde Oluşan Elastik Enerji.....	302
7.5.2.2. Burulmada Elastik Enerji	303
7.5.3. Bileşik Yüklemede Elastik Enerji.....	304
7.6. CASTİGLİANO TEOREMLERİ.....	304
7.6.1. Birinci Castigliano Teoremi	304

7.6.2. İkinci Castigliano Teoremi	310
7.7. HELİSEL YAYLAR	314
7.8. ÇARPMA SONUCU OLUŞAN MAKSİMUM GERİLMENİN HESABI.....	318
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	327
8. KOLONLARIN KARARSIZLIĞI VE BURKULMASI.....	333
8.1. İNCE KOLONLAR İÇİN EULER BURKULMA TEORİSİ.....	334
8.2. DİĞER YÜKLEME KOŞULLARI.....	336
8.3. KOLONLARIN HASARI	340
8.4. OPTİMUM KOLONLAR	342
8.5. EĞRİ EKSENLİ KOLONLAR	343
8.6. İNCE KOLONLARDA EKSANTRİK YÜKLEME	345
8.7. SİMETRİK OLMAYAN KOLONLARIN BURKULMASI	349
8.8. TASARIM İÇİN AMPİRİK BAĞINTILAR.....	353
ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER	354
9. KAYNAKLI BAĞLANTILAR	359
9.1. ALIN KAYNAĞINDA MUKAVEMET HESABI	360
9.2. KÖŞE KAYNAĞINDA MUKAVEMET HESABI	361
9.3. BURULMAYA MARUZ KAYNAK BAĞLANTISI.....	364
9.4. EKSANTRİK YÜKLENEN KAYNAK BAĞLANTILARI.....	364
9.5. KAYNAK BAĞLANTILARINDA GERİLME YIĞILMASI.....	367
10. EKSENEL SİMETRİK ELEMANLARDA GERİLME.....	369
10.1. GİRİŞ	369
10.2. KALIN CİDARLI BASINÇLI KAPLAR	371
10.3. BASINÇLI KAPLARDA EKSENEL GERİLME VE GENLEMELER.....	375
10.4. BİLEŞİK (KOMPOUND) SİLİNDİRLER	376
10.5. DÖNEN SİLİNDİR VE DİSKLER.....	380
10.6. DÖNEN BASINÇLI SİLİNDİRLER.....	384
EK A. BAZI MALZEMELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	385
EK B. BAZI GEOMETRİLER İÇİN TEORİK GERİLME YIĞILMA KATSAYILARI... ..	386
EK C. BAZI KESİTLERİN AĞIRLIK MERKEZLERİ VE AĞIRLIK MERKEZİNDEN	394
GEÇEN EKSENE GÖRE ATALET MOMENTLERİ.....	394
EK D. BAZI KİRİŞLERİN KESME KUVVETİ- EĞİLME MOMENTİ DİYAGRAMLARI,	395
EĞİM VE SEHİMLERİ.....	395
EK E. YAPISAL PROFİLLERİN ÖZELLİKLERİ	401
KAYNAKLAR.....	405

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A	: Alan	L	: Uzunluk
D	: Çap	M	: Moment
L	: Uzunluk	N	: Güç
e	: Eksantrisite	P	: Basınç
E	: Elastik modülü	x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
G	: Kayma modülü	g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Yükseklik	$M_{eğ}$: Eğilme Momenti
I	: Tarafsız eksene göre atalet momenti	M_b	: Burulma Momenti
I_p	: Polar atalet momenti	W	: Mukavemet Momenti
F	: Kuvvet		

τ	: (tau) : Kayma gerilmesi	λ	: (lamda) : Uzama oranı
σ	: (sigma) : Normal gerilme	β	: (beta) : Açık, oran
γ	: (gamma): Kayma gerilmesi	α	: (alfa) : Açık
ε	: (epsilon): Birim uzama	θ	: (teta) : Açık
ν	: (nü) : Poisson oranı	ϕ	: (fi) : Açık
ρ	: (ro) : Yoğunluk	μ	: (mü)
ω	: (omega) : Açık hız	ψ	: (psi)
δ	: (delta) : Uzama	η	: (eta)
π	: (pi) : Pi sayısı	ξ	: (ksi)

Desimal Ön Ekler

<u>çarpım faktörü</u>	<u>ön ek</u>	<u>sembol</u>
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10	deka	da
10^{-1}	desi	d
10^{-2}	santi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p

SI (METRİK) İLE İNÇ (US) BİRİM SİSTEMLERİ ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER

<i>BİRİM</i>	<i>İNÇ (US)</i>	<i>SI Karşılığı</i>
Kütle	pound (lb)	0.4536 kg
Uzunluk	inç (in)	25.4 mm
	foot (ft)	30.48 cm
Yoğunluk	lb/in ³	27.68 x 10 ³ kg/m ³
	lb/ ft ³	16.02 kg/m ³
Kuvvet	lb (kuvvet)	4.448 N
	kip (10 ³ lb).....	4.448 kN
Basınç veya gerilme .	lb/ in ² (psi).....	6.895 kN/m ²
	ksi (10 ³ psi).....	6.895 MN/m ²
Moment	lb in.....	0.1130 Nm
	lb ft	1.356 Nm
Güç	ft lb/s.....	1.356 W
	hp (550 ft lb/s).....	745.7 W
Sıcaklık.....	°F	0.5556 °C