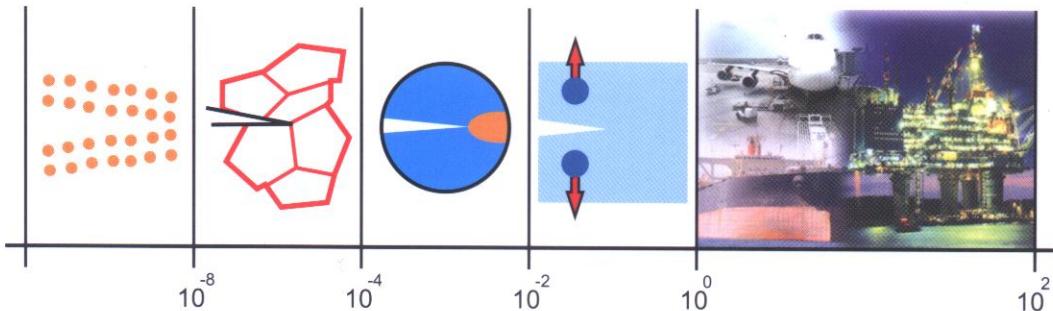


# KIRILMA MEKANIĞI

Prof. Dr. Paşa Yayla



Çağlayan Kitabevi

Beyoğlu - İSTANBUL

# KIRILMA MEKANIĞI

**Prof. Dr. Paşa Yayla**  
Kocaeli Üniversitesi  
Makina Mühendisliği Bölümü



## Çağlayan Kitabevi

Galatasaray, İstiklal Cad. 166 Tokatlıyan İş Hanı  
K.1 / 7 - 8 - 9 34435 Beyoğlu - İstanbul  
Tel: 0212 245 44 33 pbx Faks: 0212 249 17 94  
[info@caglayan.com](mailto:info@caglayan.com) [www.caglayan.com](http://www.caglayan.com)

Birinci Baskı  
2007

ISBN: 978-975-436-070-7

© Prof. Dr. Paşa Yayla

© Türk Ceza Kanunu ve 5846 sayılı FSE Kanunu gereği her hakkı mahfuzdur.  
Bu kitap veya bir kısmı Çağlayan Kitabevinin müsaadesi alınmaksızın tab ve  
kopya edilemez.

Basıldığı Yer:  
ÇAĞLAYAN BASIMEVİ  
Cağaloğlu, Çatalçeşme Sok. No: 26/3-4 İSTANBUL

## Önsöz

Mühendislik sistemlerinin projelendirilmesinde, imalatında veya kullanımında çalışan mühendisler zaman zaman dizayn ettikleri, ürettikleri veya kullandıkları sistemlerin kırıldıklarına ve bu şekilde hasara uğradıklarına tanık olabilirler. Bu durumda ilgililer hasarın neden ve nasıl olduğunu incelemeli ve bir hasar meydana geldiğinde olayı bir hasar analizi uzmanı gibi anlamalı, bunu görevlerinin bir parçası olarak kabul etmelidir. Ayrıca tüm mühendisler hasarlardan kaçınacak şekilde önlemler almalıdır. Hasarların nedenlerini anlamayan kişiler aynı hasarı tekrar edebilirler.

Mühendislik yapılarını çatlak ve çatlak benzeri oluşumlarından arındırmak mümkün değildir. Öte yandan enerji ve malzeme tasarrufu konusunda artan talepler de bu yapıların daha düşük emniyet katsayıları ile çalışmasını dikte etmektedir. Böylece yapıların çatlakları tolere etme özellikleri ve bunun doğru bir şekilde sayısal olarak ortaya konabilmesi artan bir şekilde önem kazanmaktadır.

1920'li yillardan itibaren kırılma mekaniği konusunda sürdürülen çalışmalar sayesinde kırılma olayının anlaşılmasında önemli aşamalar kaydedilmiştir. Ancak bir taraftan konunun analitik olarak ele alınması esnasında katı cisimler mekanığının karşısına zorluklar devam ederken diğer taraftan da gelişen malzeme biliminin ortaya koyduğu yeni problemler dolayısı ile Kırılma Mekanığı daha uzun yıllar gelişmesini südürecekeltir.

Bu kitapta önce kırılma mekanığının temel prensipleri ve bir bilim dalı olarak ortaya çıkışındaki önemli evreler anlatılmıştır. Gerilme analizinin prensipleri kullanılarak çatlak ucunda meydana gelen gerilme-genleme şiddetleri hakkında bilgi verilmiştir. Malzemenin kırılmaya karşı direncinin ne olduğu ve nelerden etkilenip nasıl belirlenebileceği anlatılmıştır. Kırılma olayını makroskopik ve mikroskopik mertebede ele alarak malzemenin neden ve nasıl kırıldığı incelenmiştir.

Bu ders kapsamında ele alınan konular öğrencilere veya uygulamacılara;

- Hasarların oluşmasının engellenmesi ve oluşan hasarların analizi konusunda bilgi verilecektir.
- Makina parçalarının veya yapılarının daha emniyetli ve ekonomik olarak tasarıımı, imalatı ve işletimi konularında yardımcı olacaktır.
- Çatlak ve çatlak benzeri hataların mühendislik yapılarının performansına etkisi açıklanacaktır.
- Mühendislik yapılarında hasara karşı toleransı sağlamak üzere uygun malzeme seçimi konusu aktarılacaktır.
- Kırılma mekanığının prensipleri kullanılarak mühendislik yapılarında kritik çatlak uzunlukları ve yorulma çatlak ilerleme hızları belirlenecektir.
- Mühendislikte sıkça karşılaşılan kırılma ve yorulma problemleri anlaşılmış olunacak, kırılmaya ve yorulmaya karşı dirençli yapıların nasıl tasarlanacağı aktarılacaktır.

Bu kitabın şekillenmesinde kritiklerinden yararlandığım Sn Prof.Dr. Öktem VARDAR'a (İşık Üniv.), Sn Prof.Dr. Ahmet TUPUZ'a (Yıldız Teknik Üniv.) ve Sn. Prof.Dr. İbrahim BAKIRTAŞ'a (İTÜ) teşekkür ederim. Kitabın içeriği, Kocaeli Üniversitesi'nde verilen lisansüstü derslerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Kitabın şekillenmesine katkı sağlayan Arş. Gör. İlbeyi KILAVUZ'a ve öğrencilerime de teşekkür ederim.

Eğitim ve uygulamanın içinde olan taraflara *Kırılma Mekanığı*'nın temel prensiplerini ve uygulama alanlarını aktaran bu çalışmanın yararlı olmasını dilerken muhtemel eksiklik ve aksaklılıkların olabileceğiinin de beyan edilmesi gereklidir.

Kitabı yayınları arasına almayı kabul eden ve basımını titizlikle gerçekleştiren Çağlayan Kitabevi sahibi Sn Tunçay ÇAĞLAYAN'a ve basımda emeği geçen Sn Fahri VURAL'a teşekkür ederim.

Prof.Dr. Paşa YAYLA  
Altunizade - İstanbul

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	viii
(SI) İLE (INÇ) BİRİM SİSTEMLERİ ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER .....	ix
<b>BÖLÜM 1. KIRILMA MEKANIĞI VE GENEL KAVRAMLAR .....</b>	1
1.1 GİRİŞ .....	1
1.2 YÜKLEME TÜRLERİ .....	6
1.3. KIRILMA MEKANIĞI .....	7
1.3.1. Kirılma Mekaniğinin Önemi .....	8
1.3.2. Kirılma Mekaniğinin Tarihsel Gelişimi .....	10
1.3.3. Malzemenin Teorik Mukavemet Değeri .....	19
1.4. GERİLME YİĞİLMASI .....	24
1.5. MİKRO ÇATLAKLAR VE GRIFFITH MODELİ .....	28
1.6. KIRILMA MEKANIĞI VE TAHRİBATSIZ MUAYENE İLİŞKİSİ .....	30
1.7. SONUÇ .....	31
<b>BÖLÜM 2. LİNEER ELASTİK KIRILMA MEKANIĞI .....</b>	35
2.1. ENERJİ DENGESİ YAKLAŞIMI .....	35
2.2. GERİLME ŞİDDETİ YAKLAŞIMI .....	41
2.3. ÇATLAK İLERLEME DOĞRULTUSU .....	50
2.3.1. Maksimum Asal Gerilme Metodu ( $\sigma_{\theta,\max}$ ) .....	50
2.3.2. Minimum Zorlanma Enerjisi Yoğunluk Faktörü metodu ( $S_{\min}$ ) .....	51
2.3.3. Maksimum Enerji Saliverme Oranı Metodu ( $G_{\max}$ ) .....	52
2.4. (G) İLE (K) ARASINDAKİ İLİŞKİ .....	52
2.5. KIRILMANDAN ÖNCE SİZDIR .....	55
2.6. KARIŞIK MODLU KIRILMA .....	58
2.7. ÇATLAK DALLANMASI .....	61
2.8. KIRILMA KONTROLU .....	63
2.9. SONUÇ .....	64
<b>BÖLÜM 3. ELASTO-PLASTİK KIRILMA MEKANIĞI .....</b>	66
3.1. ÇATLAK UCU PLASTİK BÖLGE .....	67
3.2. ÇATLAK UCU PLASTİK BÖLGENİN HESAPLANMASI .....	70

## İÇİNDEKİLER

---

3.3. KALINLIK ETKİSİ, DÜZLEM GERİLME - DÜZLEM GENLEME .....	74
3.4. HASAR DEĞERLENDİRME DİYAGRAMLARI .....	80
 <b>BÖLÜM 4. KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ .....</b>	 82
4.1. DÜZLEM GENLEME KIRILMA TOKLUĞU ( $K_{IC}$ ) .....	84
4.1.1. Numune Boyutları .....	87
4.1.2. $K_{IC}$ Test Prosedürü .....	89
4.1.3. Kuvvet-Deplasman Diyagramlarının Analizi ve $K_{IC}$ 'nin Hesaplanması... .....	91
4.2. ELASTO - PLASTİK KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ .....	93
4.2.1. (CTOD) Metodu.....	93
4.2.2. J - İntegrali .....	93
4.2.3. R - Eğrileri .....	96
4.3. STATİK KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ .....	96
4.3.1 Standart $J_{IC}$ T Testi.....	96
4.3.2 Üç Nokta Eğme Deneyi .....	98
4.3.3. Kompakt Çekme Deneyi (Compact Tension-CT).....	99
4.3.4. Çift Ankastre Kiriş Test Tekniği.....	100
4.3.5. Indentasyon Yöntemi ile Kırılma Tokluğunun Tespiti .....	102
4.4. DİNAMİK KIRILMA MEKANIĞI .....	103
4.4.1 Dinamik Enerji Dengesi.....	108
4.4.2. Çentik Darbe Deneyi.....	109
4.4.3. Enstrumente Edilmiş Charpy Darbe Deneyi .....	113
4.4.4. Çatlak Durdurma Testi (Crack Arrest Test).....	115
4.5. K'NIN BELİRLENMESİNDE DENEYSEL YÖNTEMLER.....	116
4.6. KIRILMA TOKLUĞUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER.....	117
4.7. KIRILMA TOKLUĞUNUN BELİRLENMESİNDE MASTAR EĞRİ YAKLAŞIMI .....	122
 <b>BÖLÜM 5. ÇATLAK İLERLEME MEKANİZMALARI.....</b>	 124
5.1. GİRİŞ .....	124
5.2. İNCELEME TEKNİKLERİ .....	126
5.3. MAKROSKOBİK İNCELEME .....	127
5.4. MİKROSKOBİK İNCELEME .....	129

## İÇİNDEKİLER

---

5.4.1. Transmisyon Elektron Mikroskopu (TEM).....	129
5.4.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) .....	129
<b>5.5. KIRILMA TÜRLERİ.....</b>	<b>130</b>
5.5.1. Sünek Kırılma .....	130
5.5.2. Gevrek Kırılma.....	135
5.5.2.1. Taneler Arası Kırılma .....	137
5.5.2.2. Taneler İçi Kırılma.....	139
5.5.3. Yorulma Sonucu Çatlak Oluşumu.....	139
<b>BÖLÜM 6 YORULMA.....</b>	<b>147</b>
6.1. YORULMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR .....	147
6.2. YORULMA KIRILMASINI KOLAYLAŞTIRAN ETKENLER .....	154
6.3. KIRILMA MEKANIĞİNİN YORULMA KIRILMASINA UYGULANIŞI.....	155
6.4. ÇEVRESEL ETKİLER VE GERİLMELİ KOROZYON .....	162
6.5. YORULMAYA GÖRE TASARIM .....	164
6.6. SÜRÜNME.....	165
6.6.1. Sürünme Eğrisi.....	165
6.6.2. Sürünme Testleri .....	167
<b>BÖLÜM 7. METAL DIŞI MALZEMELERDE KIRILMA.....</b>	<b>169</b>
7.1. POLİMERLERDE KIRILMA .....	169
7.1.1. Polimerlerde Çentik Darbeye Kırılma Mekanığı Yaklaşımı.....	172
7.2. ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....	179
7.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Kırılma .....	181
7.3. SERAMİKLER VE SERAMİK KOMPOZİTLER.....	187
7.4. BETON .....	188
<b>PROBLEMLER.....</b>	<b>191</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>206</b>
<b>EK - A FARKLI GEOMETRİLER İÇİN “K” GERİLME ŞİDDETİ FAKTÖRLERİ....</b>	<b>211</b>
<b>EK - B FARKLI GEOMETRİLER İÇİN “Y” ŞEKİL FAKTÖRLERİ.....</b>	<b>213</b>
<b>EK - C BAZI MALZEMELERİN KIRILMA ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>217</b>

# Çağlayan Kitabevi

F E N Y A Y I N L A R I

## MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Prof. Dr. Paşa Yayla

### Cisimlerin Mukavemeti

(Teori ve Çözümlü Problemler)

Prof. Dr. Paşa Yayla, Yrd.Doç.Dr. Şenol Şahin, Yrd.Doç.Dr. Murat Makaracı

### Cisimlerin Mukavemeti Problemleri

Prof. Dr. Atilla Bozaci

### Makina Elemanları Cilt 1

### Makina Elemanları Cilt 2

### Makina Elemanlarının Projelendirilmesi

Prof. Dr. Nimet Özdaş, Prof. Dr. Mustafa Gediktaş

### Teknik Resim

Prof. Dr. Mustafa Gediktaş, Dr. Vedat Temiz, Mehmet Palabıyık, Zeynep Parlar

### Makina Elemanları Problemleri

Prof. Dr. Mustafa Gediktaş

### Makina Elemanları - Bağlama Elemanları

Prof. Dr. Aksel Öztürk, Prof. Dr. Abdurahman Kılıç

### Çözümlü Problemlerle Termodinamik

Prof. Dr. Aksel Öztürk, Prof. Dr. Abdurahman Kılıç, Prof. Dr. Hasbi Yavuz

### Termodinamik ve Isı Geçişi Tabloları

Prof. Dr. Aksel Öztürk, Prof. Dr. Hasbi Yavuz

### Uygulamalarla Isı Geçişi: Tanıtım ve İşinim

Prof. Dr. Hasan Özoklav

### Dinamik - Cilt 1 : Kinematik

### Çözümlü Kinematik Problemleri

Prof. Suavi Eyice

### Isı Ekonomisi - Cilt 1

Prof. Dr. İlhami Karayalçın

### Endüstri Mühendisliği El Kitabı - Cilt 1

### Endüstri Mühendisliği El Kitabı - Cilt 2

Prof. Dr. Levon Çapan

### Metallere Plastik Şekil Verme

Prof. Dr. Ateş Özge

### Buhar Kazanları

Prof. Dr. Kirkor Yalçın

### Hacimsal ve Santrifüp Pompalar

Prof. Dr. Birgül Karataş

### Araştırma Teknikleri

Prof. Dr. Hilmi Demiray

### Mukavemet - Katı Cisimlerin Mekanigine Giriş

### Mukavemet - Çözülmüş Örneklerle

Dr. Güngör Başer

### Kalite Kontrolu

Mak. Müh. Atilla Andaç

### ISO 9001 Yorumu ve Uygulama Örnekleri

Selim R. Suntur

### Soğuk Tekniği Atlası

### Besinleri Soğukta Saklama Teknolojisi

ISBN 978-975-436-070-7



9 789754 360707

[www.caglayan.com](http://www.caglayan.com)