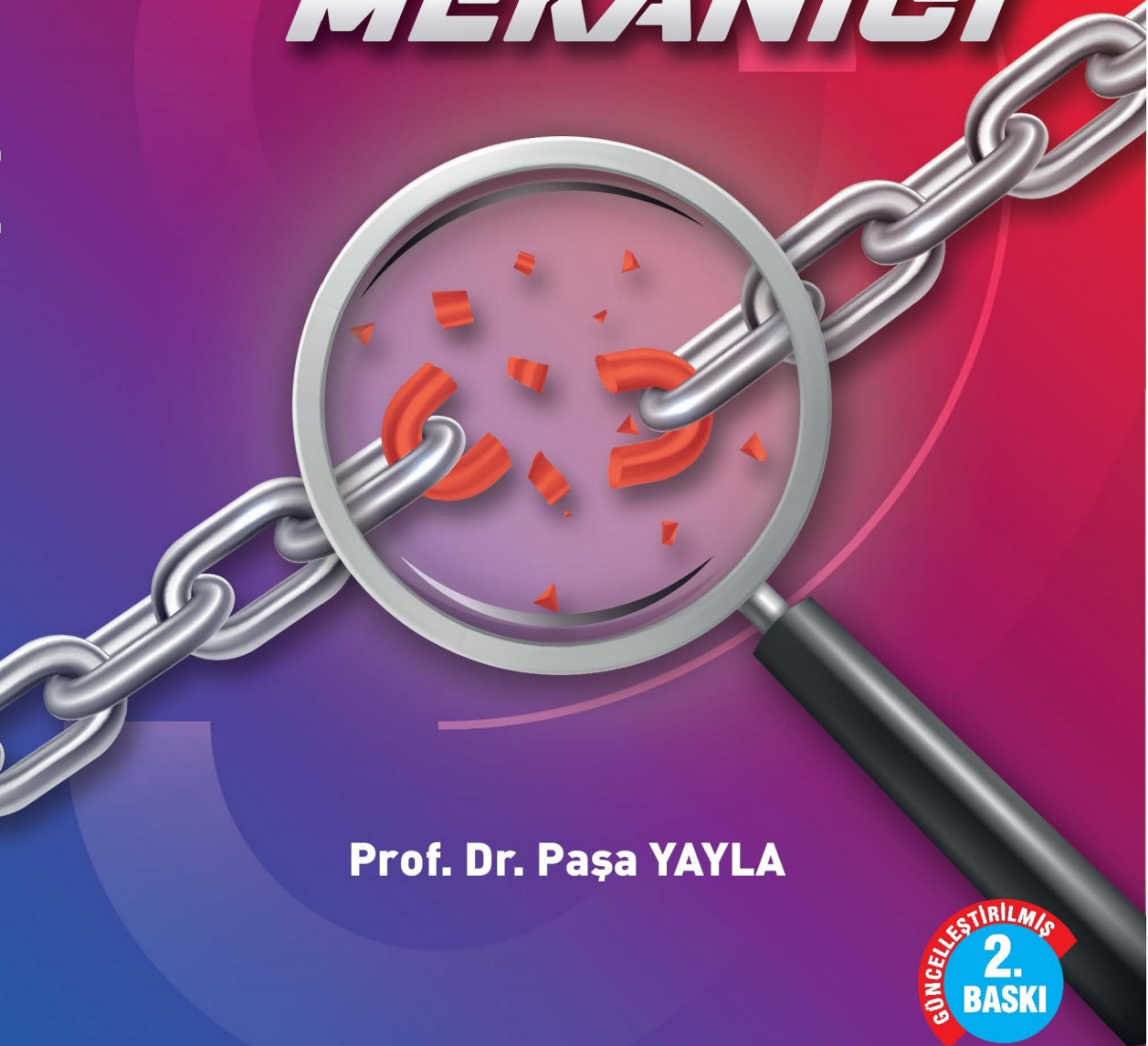




BİRSEN YAYINEVİ

KIRILMA MEKANİĞİ



Prof. Dr. Paşa YAYLA



KIRILMA MEKANİĞİ

2. BASKI

Prof. Dr. Paşa YAYLA
Marmara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

BİRSEN YAYINEVİ

İSTANBUL 2019

© Bu kitabın her hakkı saklıdır ve yayın hakları “**BİRSEN BASIM, YAYIN, DAĞITIM TİC. ve SANAYİ LİMİTED ŞİRKETİ’ne**” aittir. Bu kitabın tamamı veya herhangi bir bölümü yayınevinin yazılı izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. **TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka bir teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarlarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz.**

Aksi davranışta bulunanlar 5846 sayılı yasanın 7.6.1995 tarihli değiştirilen 4110 No.lu kanunda belirtilen maddelerce Yazarın ve Yayınevinin maddi ve manevi zararını kabul etmiş olurlar. Bu konunun mercii makam’ı T.C. İstanbul Mahkemeleri’dir.

Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır. Okuyucularımızın bandrolü olmayan kitaplar hakkında yayınevimize bilgi vermesini ve bandrolsüz yayınları satın almasını diliyoruz.

Basıldığı Yer ve Tarih	: İstanbul - 2019
Kod No	: Y. 0029
ISBN	: 978-975-511-694-5
Sertifika No	: 17341
Kitabın Adı	: Kırılma Mekaniği
Kitabın Yazarı	: Prof. Dr. Paşa YAYLA
Yayımcının Adı	: Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
Yayımcının Adresi	: Cağaloğlu Yokuşu Evren Çarşısı No: 17/9 Cağaloğlu – İstanbul Tel: (0212) 527 85 78 – 522 08 29 Faks: (0212) 527 08 95 email: info@birsenyayinevi.com http: www.birsenyayinevi.com
Basımcı	: Lord Matbaacılık ve Kağıtçılık Alpaslan Arıbuğa
Basımcının Adresi	: Davutpaşa Cad. Davutpaşa Emintaş Sitesi 103/430 Topkapı - İstanbul
Matbaacı Sertifika No	: 22858

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 almalıdırlar. Hasarların nedenlerini anlamayan kişiler aynı hasarı tekrar edebilirler.

Daha büyük, daha iddialı ve daha karmaşık ürünlerin tasarımları her zaman bir hasar riski barındırmaktadır. Bu risk, artan mühendislik becerileri ile birlikte zaman içinde azalmakla birlikte günümüzde hasarların oluşması devam etmektedir. Bunun nedeni hala teknolojik olarak üstesinden gelinmesi gereken mühendislik problemlerinin var olması, yeni mühendislik malzemelerinin geliştirilmesi, ürün kullanım koşullarının farklılaşması, ürünün hatalı kullanımı şeklinde sıralanabilir.

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 yıllardan itibaren kırılma mekaniği konusunda sürdürülen çalışmalar sayesinde kırılma olayının anlaşılmasında önemli aşamalar kaydedilmiştir. Ancak bir taraftan konunun analitik olarak ele alınması esnasında katı cisimler mekaniğindeki karşılaşılan zorluklar devam ederken diğer taraftan da gelişen malzeme biliminin ortaya koyduğu yeni problemler dolayısı ile Kırılma Mekaniği daha uzun yıllar gelişmesini sürdürecektir.

Bu kitapta önce kırılma mekaniğinin temel prensipleri ve bir bilim dalı olarak ortaya çıkmasındaki 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 makroskobik ve mikroskobik mertebede ele alarak malzemenin neden ve nasıl kırıldığı incelenmiştir.

Bu kitap 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 tasarımı, 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 mekaniğinin 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 meslektaşlarıma ve öğrencilerime teşekkür ederim. Kitabın içeriği, Kocaeli Üniversitesi ve Marmara Üniversitesi'nde verdiğim lisans ve lisansüstü derslerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Kitabın elinizdeki bu ikinci baskıda, birinci baskının aslına büyük ölçüde bağlı kalınmakla birlikte bazı çözümlü problemler dahil edilmiş ve bazı konular da genişletilmiştir.

Eđitim ve uygulamanın içinde olan taraflara *Kırılma Mekaniği*'nin temel prensiplerini ve uygulama alanlarını aktaran bu çalışmanın lisans ve lisansüstü eğitime devam eden öğrencilere, akademisyenlere ve araştırmacılara ilaveten endüstride çalışan uygulamacılara da yararlı olmasını dilerken muhtemel eksiklik ve aksaklıkların olabileceğinin de beyan edilmesi gerekir.

Kitabı yayınları arasına almayı kabul eden ve basımını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Birsen Yayınevi yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Prof.Dr. Paşa YAYLA
İstanbul

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii
Sİ (METRİK) İLE İNÇ (İNGİLİZ) BİRİM SİSTEMLERİ ARASINDAKİ DÖNÜŞÜMLER.....	ix
BÖLÜM 1. KIRILMA MEKANİĞİ VE GENEL KAVRAMLAR.....	1
1.1 GİRİŞ	1
1.2 YÜKLEME TÜRLERİ	6
1.3. KIRILMA MEKANİĞİ	8
1.3.1. Kırılma Mekanizmasının Önemi	9
1.3.2. Kırılma Mekanizmasının Tarihsel Gelişimi	11
1.3.3. Malzemenin Teorik Mukavemet Değeri	20
1.4. GERİLME YIĞILMASI.....	25
1.5. MİKRO ÇATLAKLAR VE GRIFFITH TEORİSİ	29
1.6. KIRILMA MEKANİĞİ VE TAHRİBATSIZ MUAYENE İLİŞKİSİ.....	31
1.7. SONUÇ	32
BÖLÜM 2. LİNEER ELASTİK KIRILMA MEKANİĞİ.....	37
2.1. ENERJİ DENGESİ YAKLAŞIMI.....	37
2.2. GERİLME ŞİDDETİ YAKLAŞIMI.....	43
2.3. ÇATLAK İLERLEME DOĞRULTUSU.....	53
2.3.1. Maksimum Asal Gerilme Metodu ($\sigma_{\theta, \max}$)	53
2.3.2. Minimum Zorlanma Enerjisi Yoğunluk Faktörü metodu ($S_{\min}$).....	54
2.3.3. Maksimum Enerji Salıverme Oranı Metodu ($G_{\max}$)	55
2.4. (G) İLE (K) ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	55
2.5. KIRILMADAN ÖNCE SIZDIR	58
2.6. KARIŞIK MODLU KIRILMA.....	61
2.7. ÇATLAK DALLANMASI.....	64
2.8. KIRILMA KONTROLÜ.....	66
2.9. SONUÇ	67
BÖLÜM 3. ELASTO-PLASTİK KIRILMA MEKANİĞİ.....	69
3.1. ÇATLAK UCU PLASTİK BÖLGE	70
3.2. ÇATLAK UCU PLASTİK BÖLGE ŞEKLİNİN HESAPLANMASI.....	74

3.3. KALINLIK ETKİSİ, DÜZLEM GERİLME - DÜZLEM GENLEME	79
3.4. HASAR DEĞERLENDİRME DİYAGRAMLARI	85

BÖLÜM 4. KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ 87

4.1. DÜZLEM GENLEME KIRILMA TOKLUĞU (K_{IC}).....	89
4.1.1. Numune Boyutları	92
4.1.2. K_{IC} Test Prosedürü	94
4.1.3. Kuvvet-Deplasman Diyagramlarının Analizi ve K_{IC} 'nin Hesaplanması..	97
4.2. ELASTO - PLASTİK KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ.....	99
4.2.1. (CTOD) Metodu	99
4.2.2. J - İntegrali	99
4.2.3. R - Eğrileri.....	102
4.3. STATİK KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ.....	102
4.3.1 Standart J_{IC} Testi	102
4.3.2 Üç Nokta Eğme Deneyi.....	104
4.3.3. Kompakt Çekme Deneyi	105
4.3.4. Çift Ankastre Kiriş Test Tekniği.....	106
4.3.5. Indentasyon Yöntemi ile Kırılma Tokluğunun Tespiti	108
4.4. DİNAMİK KIRILMA MEKANİZMASI.....	109
4.4.1 Dinamik Enerji Dengesi	114
4.4.2. Çentik Darbe Deneyi	115
4.4.3. Enstrümente Edilmiş Charpy Darbe Deneyi	119
4.4.4. Çatlak Durdurma Testi	121
4.5. K'NİN BELİRLENMESİNDE DENEYSEL YÖNTEMLER.....	122
4.6. KIRILMA TOKLUĞUNA ETKİ EDEN PARAMETRELER.....	123
4.7. KIRILMA TOKLUĞUNUN BELİRLENMESİNDE MASTAR EĞRİ YAKLAŞIMI.....	128

BÖLÜM 5. ÇATLAK İLERLEME MEKANİZMALARI 131

5.1. GİRİŞ	131
5.2. İNCELEME TEKNİKLERİ	133
5.3. MAKROSKOPİK İNCELEME.....	134
5.4. MİKROSKOPİK İNCELEME	136

5.4.1. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM).....	136
5.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	136
5.5. KIRILMA TÜRLERİ.....	137
5.5.1. Sünek Kırılma.....	137
5.5.2. Gevrek Kırılma.....	142
5.5.2.1. Taneler Arası Kırılma.....	144
5.5.2.2. Taneler İçi Kırılma.....	146
5.5.3. Yorulma Sonucu Çatlak Oluşumu.....	146
BÖLÜM 6 YORULMA.....	155
6.1. YORULMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	155
6.2. YORULMA KIRILMASINI KOLAYLAŞTIRAN ETKENLER.....	163
6.3. KIRILMA MEKANİZMASI YORULMA KIRILMASINA UYGULANIŞI.....	163
6.4. ÇEVRESEL ETKİLER VE GERİLMELİ KOROZYON.....	170
6.5. YORULMAYA GÖRE TASARIM.....	173
6.6. GERİLME ESASLI YORULMA ANALİZİ.....	174
6.7. SÜRÜNME.....	176
6.7.1. Sürünme Eğrisi.....	176
6.7.2. Sürünme Testleri.....	178
BÖLÜM 7. METAL DIŞI MALZEMELERDE KIRILMA.....	181
7.1. POLİMERLERDE KIRILMA.....	181
7.2. ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERDE KIRILMA.....	191
7.3. SERAMİKLER VE SERAMİK KOMPOZİTLERDE KIRILMA.....	199
7.4. BETONDA KIRILMA.....	201
PROBLEMLER.....	203
KAYNAKLAR.....	227
EK - A FARKLI GEOMETRİLER İÇİN “K” GERİLME ŞİDDETİ FAKTÖRLERİ....	231
EK - B FARKLI GEOMETRİLER İÇİN “Y” ŞEKİL FAKTÖRLERİ.....	233
EK - C BAZI MALZEMELERİN KIRILMA ÖZELLİKLERİ.....	237
İNDEKS	247



Prof. Dr. Paşa YAYLA

1984 Yılında İ.T.Ü Makine Fakültesinden Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1986 Yılında aynı üniversiteden Makina Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 1991 yılında Londra Üniversitesi, Imperial College of Science, Technology and Medicine'dan Kırılma Mekaniği alanında yaptığı çalışmaları ile Doktora derecesini aldı. Doktora çalışmasında geliştirilen ve bugün plastik boru endüstrisinde S4 (Small-Scale-Steady-State) olarak bilinen hızlı çatlak ilerlemesi test yöntemi bir uluslararası bir standart olarak kullanılmaktadır (ISO 13477).

Profesör Yayla, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde uzun bir süre çalışmış olup 2014 yılında itibaren de çalışmaları Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde sürdürmektedir. Kendisi Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün kuruluş aşamasında Enstitü Müdür Yardımcılığı, Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Makina Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalı Başkanlığı idari görevlerinde de bulunmuştur. Profesör Yayla'nın ulusal ve uluslararası birçok yayını, 4 adet ulusal ve 1 adet uluslararası patenti, 5 adet basılmış özgün kitabı ve 2 adet de tercüme kitabı bulunmakta olup çalışmalarını bilhassa plastik ve plastik esaslı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri konusunda yoğunlaştırmaktadır.

Kod No: Y. 0029

BİRSEN BASIM YAYIN

DAĞITIM TİCARET ve SANAYİ LİMİTED ŞİRKETİ

Yazışma Adresi

Cağaloğlu Yokuşu Evren Çarşısı No: 17/7
34112 Cağaloğlu/İstanbul

Tel: (0212) 527 85 78 - 522 08 29 - 513 75 88

Fax: (0212) 527 08 95

info@birsenyayinevi.com

Online Satış: www.birsenyayinevi.com

Toptan Satış: www.teknikkitapdeposu.com

Online alışveriş için:



ISBN: 978-975-511-694-5



9 789755 116945