
Kompozit Malzeme Mekaniki



EFİL YAYINEVİ

Kompozit Malzeme Mekanikası

Autar K. Kaw

Çevirenler

Doç. Dr. Buket Okutan Baba • Prof. Dr. Ramazan Karakuzu

KOMPOZİT MALZEME MEKANİĞİ

Genel Yayın Nu.: 201

ISBN: 978-605-4579-63-1

1. Basım Eylül 2014

MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS

© 2006 by Taylor & Francis Group, LLC

Second Edition

EFLATUN Basım Dağıtım Yayıncılık Danışmanlık Yatırım ve Tic. Ltd. Şti.©2014

Efil©2014

Bu kitabın tüm hakları saklıdır. Herhangi bir şekil ya da yöntemle çoğaltılamaz.

Sertifika Nu.: 12131

Kapak Tasarımı: Çetin Acar

Sayfa Tasarımı: Giray Sarıgül

Baskı ve Cilt: Ayrıntı Basım Yayın ve Matbaacılık Hizmetleri San. Tic. Ltd. Şti.

Tel: (+90) 312 394 55 90 Sertifika Nu.: 13987



E FİL YAYINEVİ

EFLATUN Basım Dağıtım Yayıncılık Dan. Yat. ve Tic. Ltd. Şti.

Vedat Dalokay Caddesi, Ulubey Sokak, No: 6/2, GOP,

Çankaya/Ankara, Türkiye

Tel : (+90) 312 442 52 10

GSM : (+90) 541 232 00 96

Faks : (+90) 312 442 52 12

www.efilyayinevi.com

İthaf

Sherrie, Candace, Angelie, Chuni, Sushma, Neha ve Trance'ye

ve

öğretme, sinema ve müzik sevgisi veren

babam Radha Krishen Kaw anısına.

(Zorunlu olarak bu sırada verilmiştir).

Başka bir insana üstün olmakta soyluluk yoktur; gerçek asalet önceki kendine üstün olmakta yatar.

Upanishads

İkinci Baskı için Önsöz

Bu kitabın ilk baskısı 1997 yılında yayınlanmıştır. Kitap ve beraberindeki PROMAL yazılımı hakkında aldığım tepki ve yorumlar için minnettarım. Esasında kitaptaki değişiklikler, derste bu kitabı kullanan ya da kendi kendine çalışan öğrencilerden alınan yorumların bir sonucudur.

Bu baskıya, simetrik ve simetrik olmayan tabakalı kirişler için ayrı bir bölüm eklendi. İçerik akışı korunurken diğer tüm bölümler güncellendi. Her bölümün sonuna anahtar terimler ve özet eklendi. Her bölüme öğrenmeyi pekiştirmek için çoktan seçmeli sorular eklendi. Bunlar, ders kitabı web sitesi olan [http://www.eng.usf.edu/~kaw / Promal / book.html](http://www.eng.usf.edu/~kaw/Promal/book.html). adresinde mevcuttur.

Özellikle Bölüm 1'e kompozit malzemelerin yeni uygulamaları yerleştirildi. Web in her yerde bulunması sebebiyle, ders kitabı Web Sitesine, makaleler, videolar ve web siteleri dip not olarak eklendi. Bölüm 2'de daha fazla örneklere ve türevlere yer verildi. Çeşitli mühendislik bölümlerinde matris cebri artık ayrı bir ders olarak öğretilmediği için matris cebrine ait ek kısım genişletildi. Okuyucu bu konuyla ilgili daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarsa matris cebri üzerine yazılmış olan ücretsiz e-kitabı <http://numericalmethods.eng.usf.edu/> ("matrix algebra" yı tıklayarak) adresinden indirebilir. Bölüm 3'de, dört elastik sabitin bulunmasında faydalanılacak elastisite modelleri için türevler verildi. Bölüm 5'de, ikiden fazla örnek bulunabilir: Bir basınçlı kap ve bir tahrik mili tasarımı gibi.

PROMAL Programı, Bölüm 3'deki elastisite modelleri içerecek şekilde güncellendi. PROMAL ve beraberindeki yazılım, sadece ders kitabı Web sitesindeki ("About the Software" bölümüne bakın) ders kitabının uygun alıcıları için hazırdır. Yazılım ve kullanım kılavuzu sürekli güncellenebilecektir.

Birinci Baskı için Önsöz

Kompozitler, düşük ağırlık, korozyon direnci, yüksek yorulma dayanımı, daha hızlı montaj vb. avantajları sebebiyle günümüz malzemelerinin temel parçası haline gelmiştir. Uçak yapılarından golf sopalarına, elektronik paketlemeden tıbbi cihazlara ve uzay araçlarından ev inşasına kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kompozitler, tüm dünyadaki öğrenciler için merak ve ilgi uyandırmaktadır. Öğrenciler, her geçen gün kompozit malzemelerin ticari pazardaki uygulamalarının ve bu alandaki iş olanaklarının arttığını görmektedir. ABD hükümetinin teknoloji transferi girişimi, gelişmiş kompozit malzemelerin kullanımı için yeni ve büyük ölçekli fırsatlar açmaktadır.

Mühendislik eğitimi veren birçok üniversite, lisans teknik seçmeli ve yüksek lisans düzeyinde kompozit malzemelerle ilgili dersler açmaktadır. Ayrıca birçok uygulama mühendisi, sürekli ve mesleki eğitimlerinin bir parçası olarak çalıştaylara katılmakta ve kompozitlere dair kısa kurslar almaktadır. Bu kitabın amacı, kompozitlerin mekanik davranışını, lisans son sınıf veya lisansüstü düzeyindeki öğrencilere tanıtmaktır. Tek bir kitapta, kompozitlerin mekanik davranışının tüm yönlerini ortaya koymak mümkün değildir. Ayrıca birçok durum, elastisite, kırılma mekaniği, plaklar ve kabuklar teorisi gibi ileri lisansüstü çalışma konuları hakkında bilgi gerektirir. Bu nedenle kitap, kompozitlerin temel mekanik davranışlarını genel olarak gözden geçirmeye yöneliktir. Ancak bu şekilde bir öğrenci, darbe, yorulma, kırılma mekaniği, sürünme, burkulma ve titreşim, vs gibi daha ileri düzey çalışma konuları için gerekli bir temel oluşturacaktır. Bu konuların önemli olduğunu ve ilgilenen öğrencinin bunları takip edeceği iyi yazılmış metinlere sahip olduğunu düşünüyorum.

Bu kitap, kompozitler üzerine yazılmış diğer kitapların takip ettiği bazı geleneksel kuralların dışına çıkar. Örneğin ilk bölümde, kompozitler soru-cevap formatında tanıtılmaktadır. Bu sorular, ilk kompozit dersini aldığım zamanlardaki kendi düşünce sürecim sayesinde ve sonrasında South Florida, Tampa Üniversitesi'ndeki öğrencilerim tarafından geliştirildi. Ayrıca bu kitap, profesyonel bir yazılım paketi içeren alanındaki ilk ders kitabıdır. Buna ek olarak kısa bölümler, yeterli açıklamalar, objektif soru ve

numerik problemler içeren uygulamalar, gerektiğinde kritik yapma, basit bir dil ve birçok örnek gibi başarılı bir lisans kitabında olması gereken formata sahiptir.

Bölüm 1, kompozitlerin günümüz piyasasında neden önemli hale geldiğini içeren temel fikirleri ortaya koyar. Bölüm 1'deki diğer konular, fiber ve matris türlerini, imalat, uygulama, geri dönüşüm ve kompozitlerin mekaniğinde kullanılan temel tanımları içerir. Bölüm 2'de, gerilme, şekil değiştirme, elastik modüller ve şekil değiştirme enerjisi gibi temel konular incelenmeye başlanmıştır. Sonrasında tek bir laminanın, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, laminanın rijitlik ve mukavemeti, sıcaklık ve nem değişikliğine bağlı gerilme-şekil değiştirme cevabı ile ilgili kavramları içeren mekanik davranışlar ortaya konmuştur. Bölüm 3'de, kompozit bileşenlerinin (uzun süreklili fiber ve matris) ayrı ayrı özellikleri kullanılarak bulunan rijitlik, mukavemet, termal ve nem genleşme katsayıları gibi laminanın mekanik özellikleri için denklemler geliştirilmiştir. Bölüm 3'deki uygun yerlerde laminanın mekanik özelliklerinin deneysel karakterizasyonu tanıtılmıştır. Bölüm 4, tek bir lamina makromekaniğinin laminat makromekaniğine genişletildiği Bölüm 2'nin bir uzantısıdır. Laminanın kendi özelliklerine dayalı olarak laminat için gerilme-şekil değiştirme denklemleri geliştirilmiştir. Ayrıca laminatın rijitlik ve mukavemeti ile sıcaklık ve nemin laminattaki artık gerilmeler üzerine etkisinden bahsedilmiştir. Bölüm 5'de, piyasada kullanılan özel laminatlar tanıtılmıştır. Tabakalı kompozitin tasarımı ve hasar analizi için yöntemler geliştirilmiştir. Yorulma, çevresel etkiler ve darbe gibi diğer mekanik tasarım konuları sunulmuştur.

Bölüm 2'den Bölüm 5'e kadar olan kısımların anlaşılmasının desteklenmesine yönelik olarak, kullanıcı dostu yazılım olan PROMAL'a ait ayrı bir bölüme yer verilmiştir. PROMAL kullanan öğrenciler anında pragmatik parametrik çalışmaları yapabilir, hasar teorilerini karşılaştırabilir, tablo ve grafiklerdeki mevcut bilgilere ulaşabilir.

Ülke genelindeki bilgisayar laboratuvarlarının durumu bir öğretim aracı olarak PROMAL kullanımına müsaade eder. Öğrencinin soracağı birçok soru anında cevaplanabilir. PROMAL, ara sonuçları da gösterdiği için bir kara kutu olmanın ötesindedir. Dersin sonunda, öğrencilerin sınıfta tabakalı kompozit yapıları tasarlamalarına imkan sağlayacaktır. Bilgisayar programı, programa çeşitli girdileri vermek ve optimum tasarımı elde etmek için gereken öğrenci ihtiyaçlarına cevap verir.

Bu kitabı ve yazılımı çok ilginç bulacaksınız. Kitap ve yazılım hakkındaki yorum, öneri ve düşüncelerinize açığım. (e-mail: autarkaw@yahoo.com; ve URL: <http://www.eng.usf.edu/~kaw/promal/book.html>)

Teşekkür

İlk 1988 baharında başladığımdan bu yana Güney Florida Üniversitesi'nde kompozit malzemeler üzerine ders alan tüm öğrencilere teşekkür ederim. O zamandan beri, onların soruları ve talepleri dersin içeriğini dinamik olarak değiştirmiştir.

Yetenekli öğrencilerim Steven Jourdenais, Brian, Shanberg, Franc Urso, Gary Willenbring ve Paula Bond'a, PROMAL yazılımının yapılanmasındaki yardımlarından ötürü teşekkür etmek istiyorum. PROMAL 1988 yılından bu yana devam eden bir proje olmuştur.

Bu kitabın benzersiz kapak resminin tasarımını yapan sevgili dostum Suneet Bahl'a teşekkür ederim. Onun katkısı ilham verici olmuştur. J. Ye, J. Meyers, M. Toma, A. Prasad, R. Rodriguez, K. Gangakhedkar, C. Khoe, P. Chalasani ve S. Johnson'a resimlerin çizimi, redaksiyon ve metindeki örneklerin kontrolü için teşekkür ederim. MATHCAD yazılımı kullanarak kitap için çözüm kılavuzunu özenle hazırlayan R. Rodriguez'a özellikle teşekkür ederim.

Metni yazarak özellikle denklemler ve bitmek bilmeyen düzeltme ve değişiklikler döngüsünde bana yardımcı olduğu için Sue Britten'a teşekkür etmek istiyorum. Projenin zamanında bitmesinde onun çabası çok önemlidir. Sadece reklam yayını gönderdikleri için değil, aynı zamanda fotoğraf, video, slayt, tasarım örnekleri vb. göndermek için sarf ettikleri ek çaba için tüm şirketlere teşekkür etmek istiyorum. Bilgileri kitapta kullanılan özel şirketlere, her bir atıf için teşekkür ederim.

2002 sonbaharında Güney Florida Üniversitesi tarafından verilen akademik izin bu projenin tamamlanmasında önemli oldu. Kitaptaki bazı şekiller için gerekli ham veriyi, kendi kitabı olan "İleri Kompozit Malzemelerin Deneysel Karakterizasyonu" kitabından sağlayan Florida Atlantik Üniversitesi Profesörü L. Carlsson'a teşekkür ederim. Bu kitapta çeşitli şekiller için fotoğrafları ve gerilme-şekil değiştirme verisini sağladığı için Dayton Araştırma Enstitüsündeki Dr R. Y. Kim'e teşekkür ederim. Tek yönlü kompozitlerin elastik modüllerinin tespitinde elastisite modellerin geliştirilmesi yönündeki referanslar ve tartışmalar için UDRI'daki Dr G.P. Tandon'a teşekkür etmek istiyorum.

Bu uzun proje süresince verdikleri destek ve cesaret için eşim Sherrie ve iki çocuğumuz Candace ve Angelie’ a teşekkür ederim. Çocuklarım bana iyi bir öğretmenin nasıl olunacağını kendi tarzlarında öğretti. Hedefime ulaşmak için bana fırsat veren ve büyük kişisel fedakârlıkta bulunan aileme teşekkür etmek isterim. Profesyonel kariyerimde bir rol model olan ve tam bir öğretmen olmam için bana çok şey öğreten babama minnettarım.

Taylor & Francis’in üst düzey editörleri Cindy Carelli, Michael Slaughter ve çalışanlarına destek ve teşviklerinden ötürü teşekkür ederim. Üretim süreci boyunca beni güncel tuttukları ve kitabın tasarım, düzen, denklem vb. düzenlemeleri dahil olmak üzere pek çok detayına özel ilgi gösterdikleri için Elizabeth Spangenberger, Helena Redshaw, Jessica Vakili, Naomi Lynch, Jonathan Pennell ve personeline teşekkür etmek istiyorum.

Getting Your Book Published (Sage Yayınları) kitabı yazarlarına, bu çaba içinde yayın mekaniğini ve tüm ilgili taraflar için kazan-kazan durumunun nasıl oluşturulacağını anlamamda yardımcı oldukları için teşekkür etmeliyim. Ders kitabı yazmayı planlayan her eğitimciye bu kitabı tavsiye ederim.

Yazar Hakkında

Autar K. Kaw, Güney Florida Üniversitesi'nde (Tampa) makine mühendisliği profesörüdür. Profesör Kaw, lisans derecesini Makine Mühendisliğinde, 1981 yılında Birla Bilim ve Teknoloji Enstitüsünden (Hindistan) aldı. Yüksek lisans derecesini 1984 yılında ve doktora derecesini 1987 yılında Clemson Üniversitesi (Güney Carolina) Mühendislik Mekaniğinde aldı. 1987 yılında Güney Florida Üniversitesine katıldı. Ayrıca Ford-Escort Traktörlerinde (Hindistan) bakım mühendisi (1982), fakülte öğretim üyeliği (1992) ve Wright Patterson Hava Kuvvetleri Üssünde ziyaretçi bilim adamı (1991) olarak çalıştı.

Profesör Kaw'ın belli başlı bilimsel ilgi alanları, kompozit malzemelerin kırılma mekaniği ve mühendislik eğitimi için öğretim yazılımlarının geliştirilmesi üzerinedir. Araştırmaları Ulusal Bilim Vakfı, Hava Kuvvetleri Bilimsel Araştırma Ofisi, Florida Ulaştırma Bölümü, Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarları, Wright Patterson Hava Kuvvetleri Üssü ve Montgomery Tank Hatları tarafından finanse edilmiştir. Amerika Makina Mühendisleri Derneği (ASME) ve Amerika Mühendislik Eğitimi Derneği (ASEE) üyesidir. 35 den fazla dergi makalesi yazmış, Kompozit Mekaniği ve Sayısal Yöntemler gibi dersler için çeşitli öğretim programları yazılımı geliştirmiştir.

Profesör Kaw, Eğitimi Destekleme ve Geliştirme Konseyi (CASE) ve Carnegie Öğretim Geliştirme Vakfından (CFAT) yılın Florida Profesörü ödülünü (2004), Amerika Mühendislik Eğitimi Derneğinden (ASEE) Archie Higdon Mekanik Eğitimi Ödülünü (2003), Amerika Güneydoğu Mühendislik Eğitim Derneği (ASEE) Üstün Katkı Ödülünü (1996); Florida Öğretim Teşvik Programı Ödülünü (1994 ve 1997), Amerika Mühendislik Eğitimi Derneği (ASEE) Yeni Mekanik Eğitimi Ödülünü (1992) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE) Ralph Teetor Ödülünü (1991) almıştır. Güney Florida Üniversitesinde, Jerome Křivánek Seçkin Öğretmen Ödülü (1999), Üniversite Üstün Lisans Öğretim Ödülü (1990 ve 1996), Fakülte Onur Ödülü (1990) ve Mühendislik Öğretimi Mükemmelliyet Ödülü (1990 ve 1995) verilmiştir.

Yazılım Hakkında

PROMAL' ı nereden indirebilirim?

PROMAL' ı <http://www.eng.usf.edu/~kaw/Promal/book.html> adresinden indirebilirsiniz. Bu bölüm sonrasında kullanım için verilen sınırlamalara ek olarak sadece ders kitabı alıcıları yazılımı indirmek için yetkilidir.

Kitabın Türkiye'deki alıcıları PROMAL'a giriş için ne yapmalıdır?

Kitabın Türkiye'deki alıcılarının PROMAL'a giriş yapabilmeleri için autarkaw@yahoo.com adresine mail atmaları ve sonrasında kendilerinden istenilecek işlem adımlarını yerine getirmeleri gerekir.

PROMAL nedir?

PROMAL, bu kitapla birlikte sunulan profesyonel olarak geliştirilmiş yazılımdır. Yazar, bu yazılımı içeren kitabı tamamlamak için ücretsiz olarak haklarını Taylor & Francis Group' a vermiştir. PROMAL' da beş ana program vardır:

1. *Matris cebri*: Kompozit Malzemelerin Mekaniği dersi süresince en çok kullanılan matematiksel yöntemler lineer cebire dayanmaktadır. Bu özellik, öğrencinin matrisleri çarpmasına, kare matrislerin tersini almasına ve eşzamanlı lineer denklemler sisteminin çözümünü bulmasına imkan verir. Birçok öğrenci, böylesi işlemleri yapmak için MathCAD gibi araçlara ve programlanabilir hesap makinelerine sahiptir. Burada sadece kolaylık sağlamak için bu program kitaba dahil edilmiştir. Bu program, öğrencinin matris işlemleri için uzun zaman harcaması yerine, dersin temeline konsantre olmasını sağlar.
2. *Lamina özellikleri veritabanı*: Bu programda, tek yönlü laminanın özellikleri eklenebilir, silinebilir, güncellenebilir ve kaydedilebilir. Bu özellikler daha sonra tekrar giriş yapılmadan programın diğer bölümlerine yüklenebileceği için oldukça faydalıdır.
3. *Laminanın makromekanik analizi*: Daha önce açıklanan veri tabanına kaydedilen tek yönlü laminanın özellikleri kullanılarak açılı laminaların rijitlik ve esneklik matrislerini, dönüştürülmüş rijitlik ve esneklik matrislerini, dört ana hasar teorisini temel alan mukavemet

oranlarını, ısı ve nem genleşme katsayılarını bulmak mümkündür. Bu sonuçlar daha sonra metin, tablo ve grafiklerle sunulur.

4. *Laminanın mikromekanik analizi*: Fiber ve matrise ait elastik modüller, ısı ve nem genleşme katsayıları ve özgül ağırlıkları kullanılarak tek yönlü bir tabakanın elastik modülleri, ısı ve nem genleşme katsayıları bulunabilir. Yine sonuçlar, metin, tablo ve grafiklerle sunulur.
5. *Laminanın makromekaniği*: Veritabanındaki laminanın özellikleri kullanılarak tabakalı yapıların analizi yapılabilir. Bunlar, hibrid ve simetrik olmayan laminatlar olabilir. Çıktılar, rijitlik ve esneklik matrislerini, global ve lokal şekil değiştirmeleri, mekanik, termal ve nem yüklerine cevaben bulunan mukavemet oranlarını içerir. Bu program dersin sonunda plakalar ve ince basınçlı kaplar gibi tabakalı yapıların tasarımı için kullanılır.

Kimlere PROMAL kullanma izni verilir?

PROMAL, sadece teorik bir eğitim aracı olarak kullanılmak üzere tasarlanmış ve izin verilmiş programdır. Aşağıdakiler tarafından kullanılabilir:

- Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine ders veren üniversite öğretim elemanı
- Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine üniversite seviyesindeki bir derse kayıtlı iken kompozit mekaniği hakkında bilgi almak isteyen üniversite öğrencisi
- Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine üniversite seviyesindeki bir derse kayıtlı iken kompozit mekaniği hakkında bilgi almak isteyen sürekli eğitim öğrencisi
- Üniversite seviyesindeki mukavemet dersini başarıyla geçmiş ve kompozit mekaniğini kendi kendine çalışan öğrenci

Bu dört kategoriden birinde değilseniz, PROMAL yazılımı kullanımına izin verilmez.

Yazılımı kullanmak için lisans sözleşmesi nedir?

Yazılım Lisansı

Lisans Verilmesi: PROMAL, sadece teorik bir eğitim aracı olarak kullanılmak üzere tasarlanmış ve izin verilmiş programdır. Ayrıca PROMAL

yazılımının kullanılması için bu anlaşmada “Sen” tanımı dört kategoriden birine düşmelidir.

1. Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine ders veren üniversite öğretim üyesi
2. Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine üniversite seviyesindeki bir derse kayıtlı iken kompozit mekaniği hakkında bilgi almak isteyen üniversite öğrencisi
3. Kompozit malzemelerin mekaniği üzerine üniversite seviyesindeki bir derse kayıtlı iken kompozit mekaniği hakkında bilgi almak isteyen sürekli eğitim öğrencisi
4. Üniversite seviyesindeki mukavemet dersini başarıyla geçmiş ve kompozit mekaniğini kendi kendine çalışan öğrenci

PROMAL kullanımınız yukarıdaki dört kategoriden birinde değilse PROMAL yazılımı kullanımına veya satın alımına izin verilmez.

Autar K. Kaw ve Taylor & Francis Grup, sadece aşağıdaki şart ve koşullarda PROMAL yazılımını kullanmak için size izin verir ve siz herkese açık ve devredilemez olan bir lisans kabul edersiniz: Bir Bireysel Yazılım Lisansı size verilir ve lisanslı programı kendi kişisel kullanımınız için tek bir kişisel bilgisayarda kullanabilirsiniz.

Telif hakkı: Yazılım Autar K. Kaw a aittir ve Birleşik Devletler telif hakkı yasaları tarafından korunmaktadır. Yedek bir kopya yapılabilir ama tüm bu yedek kopyalar bu anlaşmanın şart ve koşullarına tabidir.

Diğer Kısıtlamalar: Bu sözleşmede açıkça izin verilen haller dışında, Lisanslı Programın izinsiz kopyalarını yapamazsınız, dağıtamazsınız ya da PROMAL yazılımı kaynak kodunu kullanamaz, kopyalayamaz, değiştiremez, tamamen veya kısmen aktaramazsınız. PROMAL yazılımının herhangi bir kopyasını veya değiştirilmiş halini herhangi bir üçüncü tarafa aktarırsanız, lisans otomatik olarak sona erer. Bu tür bir sonlandırmadan başka, yapılan şey adil, medeni, Autar K. Kaw ve Taylor & Francis Grubun işine yarar bir çözüm olmayacaktır.

PROMAL yazılımıyla ilgili (sınırsız olarak yapı, sıra, organizasyon, akış, mantık, kaynak kodu, nesne kodu ve Lisanslı Programın işlemlerinin tüm araç ve formları) tüm hakların (limitsiz telif hakları, patentler ve ticari gizlilik) Autar K. Kaw’ın tek ve özel mülkiyeti olduğunu kabul ediyorsunuz. Bu anlaşmayı kabul ederek PROMAL yazılımının sahibi olmuyor ancak anlaşmanın şartlarına uygun olarak kullanım hakkına sahip oluyorsunuz. PROMAL yazılımını yetkisiz kullanımdan, çoğaltma veya dağıtımdan korumaya

razı oluyorsunuz. Ayrıca PROMAL yazılımının Autar K. Kaw'a ait değerli ticari sırları ve gizli bilgileri içerdiğini kabul ediyorsunuz. Bu Sözleşmede açıkça belirtilenler dışında, makine tarafından okunabilir şekilde olsun veya olmasın, PROMAL yazılımının herhangi bir bileşenini açıklayamazsınız.

Koşul: Bu Lisans Sözleşmesi, bitinceye kadar geçerlidir. Sözleşme aynı zamanda, bu sözleşmede ele alınan koşullarına bağlı olarak veya anlaşmanın şart ve koşullarına uymadığınız takdirde sonlandırılacaktır. Böylesi bir fesih durumunda, PROMAL yazılımını ve bu yazılımın oluşturduğu kopyaları imha etmeyi kabul edersiniz.

Sınırlı Garanti

Bu sınırlı garanti, belirli bir amaç için sınırsız herhangi bir garanti, satılabilirlik veya uygunluk içeren açık ya da kastedilen tüm diğer garantilerin yerine geçmektedir. Lisanslı program, "olduğu gibi" esasına göre lisanslı programı kullanarak bulunan sonuçlar ve performansı garanti etmeksizin sunulmuştur. Sonuçları veya performansı ile ilgili tüm risk ve PROMAL yazılımının gerekli tüm bakım, onarım veya düzeltme maliyeti sizin tarafınızdan üstlenilir.

Hiçbir durumda Autar K. Kaw veya Taylor & Francis Group, PROMAL yazılımı kullanımı veya yetersizliğinden doğan sınırsız kar kaybı, tasarruf kaybı veya diğer olası ya da dolaylı zararlardan ötürü, bu tür zararların olasılığını önceden bildirilmiş dahi olsa size karşı sorumlu olmayacaktır. **PROMAL yazılım sonuçlarını kullanarak herhangi bir gerçek yapı veya bileşenin inşasını, tasarımını ya da analizini yapmayınız.**

Bu sınırlı garanti, size belirli yasal haklar vermektedir. Eyaletten eyalete değişen hukuki işlemler olabilir. Şayet anlaşmanın hükümlerinden herhangi biri yürürlükteki kanun ya da hukuk kurallarına göre geçersiz ise bu kapsamda çıkarılabilir.

Bu sözleşme aramızdaki tüm anlaşmayı temsil eder ve herhangi bir öneri ya da önceki anlaşmaların ve sözlü veya yazılı bu sözleşmenin konusu ile ilgili aramızdaki her tür bağlantının yerine geçer.

Bu anlaşma tamamen Florida eyaletinde yapılmış gibi yönetilecek ve uygulanacaktır.

Bu anlaşmayı okuduğunuzu ve anlaşmadaki hüküm ve koşullara bağlı kalmayı kabul ediyorsunuz.

Yazılım için herhangi bir teknik destek var mı?

Program kullanıcı dostudur ve teknik destek gerekmez. Teknik destek sadece e-posta yoluyla verilir ve kayıtlı kullanıcılar için kitabın satın alındığı günden itibaren 30 gün boyunca ücretsizdir. Teknik destek almadan önce eğitmen ile kontrol edin ve [http://www.eng.usf.edu/~kaw / Promal / book.html](http://www.eng.usf.edu/~kaw/Promal/book.html) adresindeki PROMAL ana sayfasını ve kılavuzunu inceleyin.

Aynı zamanda, bu ana sayfadan düzeltilmiş promal.exe dosyalarını indirebilirsiniz. Gelecek sürümler için sorularınız, yorumlarınız ve önerilerinizi autarkaw@yahoo.com adresine e-posta ile gönderin. PROMAL ın bir sonraki sürümünde geri dönüşlerinizin yer almasına çalışacağım.

Yazılıma kaydımı nasıl yaptırım?

Konu satırındaki “kayıt” kısmından, isim, üniversite / sürekli eğitim üyeliği, posta adresi, e-posta adresi, telefon numarası ve yazılımın kopyasını nasıl elde ettiğiniz yani kitap satın alma, kişisel kopya, site lisansı, sürekli eğitim kursu gibi bilgileri içeren e-postayı autarkaw@yahoo.com adresine göndererek kayıt yaptırın.

VEYA

İsim, üniversite / sürekli eğitim üyeliği, posta adresi, e-posta adresi, telefon numarası ve yazılımın kopyasını nasıl elde ettiğiniz yani kitap satın alma, kişisel kopya, site lisansı, sürekli eğitim kursu gibi bilgileri içeren yazıyı Professor Autar K. Kaw, ENB 118, Mechanical Engineering Department, University of South Florida, Tampa, FL 33620-5350 adresine göndererek kayıt yaptırın.

Programın çalışması için gerekenler nelerdir?

Program genel olarak Microsoft Windows 98 veya sonrası sürümlü, 128 MB belleğin, 50 MB sabit diskin ve Microsoft Mouse'un bulunduğu herhangi bir IBM-PC uyumlu bilgisayarda çalışacaktır.

Ayrıca PROMAL' ın bir kopyasını satın alabilir miyim?

Tek kopya satışı, ders lisansları ve sürekli eğitim kursu fiyatlarına ait en son satın alma bilgileri için kitap Web Sitesini kontrol edin.

İÇİNDEKİLER

İthaf.....	v
İkinci Baskı için Önsöz.....	vii
Birinci Baskı için Önsöz.....	viii
Teşekkür.....	x
Yazar Hakkında.....	xii
Yazılım Hakkında.....	xiii
1. Kompozit Malzemelere Giriş.....	1
Bölümün Amacı.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Sınıflandırma.....	18
1.2.1. Polimer Matris Kompozitler.....	21
1.2.2 Metal Matris Kompozitler.....	44
1.2.3 Seramik Matris Kompozitler.....	49
1.2.4 Karbon-Karbon Kompozitler.....	52
1.3 Fiber Takviyeli Kompozitlerin Geri Dönüşümü.....	55
1.4 Mekanik Terminoloji.....	56
1.5 Özet.....	59
Anahtar Terimler.....	60
Problemler.....	61
Kaynaklar.....	63
Genel Kaynaklar.....	64
Video Kaynaklar.....	65
2. Laminanın Makromekanik Analizi.....	67
Bölümün Amacı.....	67
2.1 Giriş.....	67
2.2 Tanımlar.....	71
2.2.1 Gerilme.....	71
2.2.2 Şekil Değiştirme.....	74
2.2.3 Elastik Modüller (Elastik Sabitler).....	81

2.2.4 Şekil Değişirme Enerjisi.....	83
2.3 Farklı Malzeme Türleri için Hooke Kanunu.....	84
2.3.1 Anizotropik Malzeme.....	87
2.3.2 Monoklinik Malzeme.....	88
2.3.3 Ortotropik Malzeme (Ortogonal Anizotropi)/Özel Ortotropik.....	90
2.3.4 Transvörlü (Enine) İzotropik Malzeme.....	92
2.3.5. İzotropik Malzeme.....	94
2.4 İki Boyutlu Tek Yönlü Lamina İçin Hooke Kanunu.....	105
2.4.1 Düzlem Gerilme Kabulü.....	105
2.4.2 Üç Boyutlu Hooke Kanunun İki Boyuta İndirgenmesi.....	106
2.4.3 Lamina Mühendislik Sabitleri ile Rijitlik ve Esneklik Matrisleri İlişkisi.....	107
2.5 İki Boyutlu Açılı Lamina için Hooke Kanunu.....	114
2.6 Açılı Laminanın Mühendislik Sabitleri.....	126
2.7 Açılı Bir Lamina için Rijitlik ve Esneklik Matrislerinin İnvaryant Formu.....	136
2.8 Açılı Lamina için Mukavemet Hasar Teorileri.....	141
2.8.1 Maksimum Gerilme Hasar Teorisi.....	143
2.8.2 Mukavemet Oranı.....	147
2.8.3 Hasar Zarfları.....	148
2.8.4 Maksimum Şekil Değişirme Hasar Teorisi.....	150
2.8.5 Tsai-Hill Hasar Teorisi.....	153
2.8.6 Tsai-Wu Hasar teorisi.....	157
2.8.7 Hasar Teorilerinin Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	161
2.9 Laminadaki Higrotermal Gerilme ve Şekil Değişirmeler.....	163
2.9.1 Tek Yönlü Lamina için Higrotermal Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılıkları.....	166
2.9.2 Açılı Lamina için Higrotermal Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılıkları.....	167
2.10 Özet.....	170
Anahtar Terimler.....	170
Problemler.....	171
Kaynaklar.....	177
Ek A: Matris Cebri.....	179

Anahtar Terimler	199
Ek B: Gerilme ve Şekil Değişirme Dönüşümleri	200
B.1 Gerilme Dönüşümü	200
B.2 Şekil Değişirme Dönüşümü	202
Anahtar Terimler	206
3 Laminanın Mikromekanik Analizi	207
Bölümün Amacı	207
3.1 Giriş	207
3.2 Hacim ve Kütle Oranları, Yoğunluk ve Boşluk Miktarı	208
3.2.1 Hacim Oranları	209
3.2.2 Kütle Oranları	209
3.2.3 Yoğunluk	211
3.2.4 Boşluk miktarı	215
3.3 Dört Elastik Modülün Bulunması	219
3.3.1 Mukavemet Yaklaşımı	220
3.3.1.1 Boylamasına Elastisite Modülü (Young Modülü)	222
3.3.1.2 Enine Elastisite Modülü	225
3.3.1.3 Major Poisson Oranı	231
3.3.1.4 Düzlem Kayma Modülü	233
3.3.2 Yarı-Ampirik Modeller	236
3.3.2.1 Boylamasına Elastisite Modülü	238
3.3.2.2 Enine Elastisite Modülü	238
3.3.2.3 Major Poisson Oranı	241
3.3.2.4 Düzlem Kayma Modülü	241
3.3.3 Elastisite Yaklaşımı	243
3.3.3.1 Boylamasına Elastisite Modülü	245
3.3.3.2 Major Poisson Oranı	253
3.3.3.3 Enine Elastisite Modülü	255
3.3.3.4 Eksenel Kayma Modülü	260
3.3.4 Enine İzotropik Fiberlere Sahip Laminanın Elastik Modülleri	271
3.4 Tek Yönlü Laminanın Kopma Mukavemetleri	274
3.4.1 Boylamasına Çekme Mukavemeti	274
3.4.2 Boylamasına Basma Mukavemeti	280

3.4.3 Enine Çekme Mukavemeti.....	288
3.4.4 Enine Basma Mukavemeti.....	293
3.4.5 Düzlem Kayma Mukavemeti.....	295
3.5 Termal Genleşme Katsayıları.....	300
3.5.1 Boylamasına Termal Genleşme Katsayısı.....	300
3.5.2 Enine Termal Genleşme Katsayısı.....	302
3.6 Nem Genleşme Katsayıları.....	307
3.7 Özet.....	311
Anahtar Terimler.....	311
Problemler.....	312
Kaynaklar.....	316
4. Laminatların Makromekanik Analizi.....	319
Bölümün Amacı.....	319
4.1 Giriş.....	319
4.2 Laminat Kodlama.....	320
4.3 Laminat için Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılıkları.....	322
4.3.1 Tek Boyutlu İzotropik Kiriş için Gerilme-Şekil Değişirme Bağlılıkları.....	322
4.3.2 Şekil Değişirme-Yer Değişirme Eşitlikleri.....	324
4.3.3 Bir Laminattaki Gerilme ve Şekil Değişirme.....	328
4.3.4 Orta Düzlemdeki Şekil Değişirmeler-Eğriliklerle Alakalı Kuvvet ve Moment Bileşenleri.....	329
4.4 Bir Laminatın Düzlem ve Eğilme Modülü.....	343
4.4.1 Bir Laminatın Düzlem Mühendislik Sabitleri.....	344
4.4.2 Bir Laminatın Eğilme Mühendislik Sabitleri.....	347
4.5 Laminatdaki Higrotermal Etkiler.....	353
4.5.1 Higrotermal Gerilme ve Şekil Değişirmeler.....	353
4.5.2 Laminatların Isı ve Nem Genleşme Katsayıları.....	362
4.5.3 Laminatların Çarpılması.....	365
4.6 Özet.....	367
Anahtar Terimler.....	367
Problemler.....	367
Kaynaklar.....	371

5. Laminatların Hasar, Analiz ve Tasarımı.....	373
Bölümün Amacı.....	373
5.1 Giriş.....	373
5.2 Laminatların Özel Durumları	374
5.2.1 Simetrik Laminatlar	374
5.2.2 Çapraz Tabakalı Laminatlar.....	375
5.2.3 Açılı Tabakalı Laminatlar	376
5.2.4 Ters Simetrik (Antisimetrik) Laminatlar.....	376
5.2.5 Dengelenmiş Laminat.....	377
5.2.6 Yarı-İzotropik Laminatlar	378
5.3 Laminat için Hasar Kriteri.....	384
5.4 Tabakalı Kompozitin Tasarımı	398
5.5 Diğer Mekanik Tasarım Sorunları.....	424
5.5.1 Sandviç Kompozitler	424
5.5.2 Uzun Vadeli Çevresel Etkiler	425
5.5.3 Tabakalar Arası Gerilmeler	426
5.5.4 Darbe Dayanımı	428
5.5.5 Kırılma Dayanımı	428
5.5.6 Yorulma Dayanımı.....	429
5.6 Özet.....	431
Anahtar Terimler	431
Problemler	432
Kaynaklar.....	435
6. Kirişlerin Eğilmesi.....	437
Bölümün Amacı.....	437
6.1 Giriş.....	437
6.2 Simetrik Kirişler	439
6.3 Simetrik Olmayan Kirişler.....	450
6.4 Özet.....	461
Anahtar Terimler	461
Problemler	462
Kaynaklar.....	462
Dizin	437

1

Kompozit Malzemelere Giriş

Bölümün Amacı

- Kompoziti tanımlamak, monolitik (tek fazlı) malzemelere kıyasla avantaj ve dezavantajlarını sıralamak ve bir kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri tartışmak.
- Kompozitleri sınıflandırmak, yaygın kullanıma sahip fiber ve matrisleri, kompozitlerin üretim yöntemlerini, mekanik özelliklerini ve uygulamalarını tanıtmak.
- Kompozitlerin geri dönüşümünü tartışmak.
- Kompozit malzeme mekaniği çalışmalarında kullanılan terminolojiyi tanıtmak.

1.1 Giriş

Artık insanlara kerpiç yapımları için saman verme; gitmeleri ve kendi samanlarını toplamaları için müsaade et.

Exodus 5:7

İsraillilerin kilden yapılmış ve saman ile takviye edilmiş kerpiçleri kompozit uygulamalarının ilk örneklerindedir. Bu iki bileşen (kil ve saman) tek tek bir işlev görmezken, bir arada kullanıldıklarında bir fonksiyonu yerine getirirler. Kimileri samanın kilin çatlamasını engellemek için kimileri ise kuru kildeki keskin çatlakların ilerlemesini önlediği için kullanıldığını düşünür.

Literatürde, kompozitlerin kullanıldığı çok sayıda tarihi örnek bulunmaktadır. M.Ö.1500 lü yıllarda Mısırlıların evlerinde kullandığı bambu ile takviye edilmiş çamur duvarlar, yapıştırılmış tabakalı tahtalar ve dövme kılıçlardaki tabakalı metaller (1800'lerde) örnek olarak verilebilir. 20.yüzyılda modern kompozitler, reçinelerin cam fiberle takviye edildiği 1930'larda kullanılmaya başlanmıştır. Bot ve uçaklar genelde fiberglas olarak adlan-

dırılan cam kompozitlerden oluşturulmuştur. 1970 lerden itibaren karbon, boron ve aramid* gibi yeni fiberlerin ve metallere, seramiklerden yapılan matrislerin kullanıldığı yeni kompozit sistemlerin gelişimine bağlı olarak kompozit uygulamaları artmıştır.

Bu bölümde kompozit malzemeler genel olarak gözden geçirilmiştir. Bölümdeki soru-cevap tarzı, bu geniş konunun temel kavramlarını öğrenmek için uygun bir yoldur. Her bölümde sorular giderek daha da özelleşmiş ve teknik hale gelmiştir.

Kompozit nedir?

Kompozit, makroskopik düzeyde bir araya getirilmiş ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşmuş yapı malzemesidir. Bileşenlerden birisi takviye fazı, diğeri ise matris olarak adlandırılır. Takviye fazın malzemesi fiber, parçacık veya pul formunda olabilir. Matris fazın malzemeleri genellikle sürekli. Kompozit sistemlere örnek olarak çelikte takviye edilmiş beton ve grafit vb. gibi fiberlerle takviye edilmiş epoksi verilebilir.

Doğal olarak bulunan kompozitlere birkaç örnek veriniz.

Lignin matrisin selüloz fiberlerle takviye edildiği tahta ve kalsiyum ile fosfat iyonlarından oluşan kemik-tuz plakalarının yumuşak kolajeni desteklediği kemikler örnek olarak verilebilir.

İleri kompozit nedir?

İleri kompozitler, havacılık endüstrisinde kullanılan kompozit malzemelerdir. Bu tür kompozitler, epoksi ve alüminyum gibi bir matris malzeme içinde yer alan küçük çaplı yüksek performanslı takviyelerden ibarettir. Grafit/epoksi, Kevlar®†/epoksi ve boron/alüminyum gibi kompozitler örnek olarak verilebilir. Bu malzemeler, günümüzde ticari sektörlerde de uygulama alanı bulmaktadır.

Bir kompoziti elde etmek için iki veya daha fazla malzemeyi bir araya getirmek, çelik ve alüminyum gibi geleneksel monolitik metallere kullanmaktan daha zordur. O halde kompozit kullanmanın metallere göre avantajları nelerdir?

Monolitik metallere ve bunların alaşımları, günümüz ileri teknoloji taleplerini her zaman karşılayamaz. Ancak birkaç malzemenin bir arada kul-

* Aramidler, karbon, hidrojen, oksijen ve nitrojenin aromatik bileşenleridir.

† Kevlar, E.I. duPont deNemours and Company, Inc., Wilmington, DE. tescilli ticari markasıdır.

lanılmasıyla performans gereksinimleri karşılanabilir. Örneğin bir uyduda kullanılan kafes ve platformların, uzayda -256°F (-160°C)- 200°F (93.3°C) sıcaklık aralığında boyutsal olarak kararlı olması gerekir. Bu tarz uygulamalarda, termal genleşme katsayındaki* limitler düşüktür ve $\pm 1 \times 10^{-7} \text{in./in./}^{\circ}\text{F}$ ($\pm 1.8 \times 10^{-7} \text{m/m/}^{\circ}\text{C}$) seviyelerindedir. Monolitik malzemeler bu ihtiyacı karşılayamazken, grafit/epoksi gibi kompozitler bu amaç için kullanılabilir.

Birçok durum için kompozitlerin kullanımı daha etkin bir yoldur. Örneğin rekabetin yüksek olduğu havayolu pazarında, rijitliği† ve mukavemeti‡ düşürmeden uçak toplam kütesini azaltma yolları sürekli aranır. Çözüm ancak geleneksel metal alaşımların kompozitlerle yer değiştirmesiyle mümkündür. Kompozit malzeme maliyetleri yüksek bile olsa montajda kullanılan parça sayısındaki azalma ve yakıt maliyetlerindeki düşme, onları daha karlı yapar. Ticari bir uçak kütesinin 1 lb (0.453 kg) azaltılması, yılda 360 galon (1360 litre) kadar yakıt tasarrufu sağlar¹. Bir ticari uçağın yakıt masrafının, toplam çalışma maliyetinin % 25'i olduğu düşünülürse bu oranın ne kadar önemli olduğu anlaşılır².

Kompozitler, geleneksel malzemelere kıyasla daha başka avantajlar da sunar. Yüksek mukavemet, rijitlik, yorulma[§], darbe dayanımı[¶], ısı iletkenlik^{**}, korozyon direnci^{††} vs. bu avantajlar arasındadır.

Kompozitin mekanik avantajı nasıl ölçülür?

Örneğin eksenel P yüküne maruz prizmatik bir çubuktaki eksenel uzama u ,

$$u = \frac{PL}{AE} \quad (1.1)$$

* Termal genleşme katsayısı, birim sıcaklık değişiminde maddenin birim boyundaki uzunluk değişimidir. Birimler, in./in./ $^{\circ}\text{F}$ ve m/m/ $^{\circ}\text{C}$. Çelik için değeri, $6.5 \times 10^{-6} \text{in./in./}^{\circ}\text{F}$ ($11.7 \times 10^{-6} \text{m/m/}^{\circ}\text{C}$).

† Rijitlik, bir malzemenin şekil değiştirmeye gösterdiği direnç olarak tanımlanır.

‡ Mukavemet, bir malzemenin hasara uğradığı andaki gerilme olarak tanımlanır.

§ Yorulma direnci, plaka titreşimi, bir uçağın iniş ve kalkışlarında vb olduğu gibi tekrarlı yüklemeler nedeniyle mukavemet ve rijitlik gibi mekanik özelliklerin düşmesine karşı gösterilen dirençtir.

¶ Darbe dayanımı, kuşun bir uçağa çarpması, bir çekicinin araba üzerine düşmesi gibi darbe yüklerine, artık mukavemetteki azalmaya ve hasara karşı gösterilen dirençtir.

** Isıl iletkenlik, bir malzemenin, alana dik yöndeki sıcaklık gradyanı bir olduğunda, birim zamanda, birim alanından geçen ısı akış oranıdır.

†† Korozyon direnci, çürüme, aşınma, galvanik vs gibi bozulmalara karşı gösterilen dirençtir.

L: Çubuk boyu

E: Çubuk malzemesine ait elastisite modülü (Young modülü)

A: Kesit alanı

Çubuk kütlesi M ile gösterilirse

$$M = \rho AL \quad (1.2)$$

ρ : Çubuk malzemesi yoğunluğu

$$M = \frac{PL^2}{u} \frac{1}{E/\rho} \quad (1.3)$$

Formülden görülebileceği gibi belirli bir yük altında, belirli bir çökme için en hafif kiriş, en yüksek E/ρ değerine sahip kiriştir.

Mekanik avantajı ölçmek için *özümlü modül* adı verilen (E/ρ) değeri hesaplanır. Burada E , malzeme elastisite modülü* ve ρ ise malzeme yoğunludur†. Diğer parametre, *özümlü mukavemet* olarak adlandırılır ve malzeme mukavemeti (σ_{ult}) nin, malzeme yoğunluğu (ρ) na oranı olarak tanımlanır.

$$\text{Özümlü modül} = \frac{E}{\rho},$$

$$\text{Özümlü mukavemet} = \frac{\sigma_{ult}}{\rho}.$$

Kompozit malzemelerde bu iki oran yüksektir. Örneğin tek yönlü bir grafit/epoksi kompozitin‡ mukavemeti çelikle aynı olabilir ama özümlü mukavemeti çeliğinkinden üç kat fazladır. Bu tasarımcı için ne anlama gelir? Sabit aksenal yükü taşımak için dizayn edilmiş bir çubuk ele alalım. Çelik çubuk ve grafit/epoksi çubuk kesit alanları eşit olduğunda, grafit/epoksi çubukun kütlesi, çeliğinkinin üçte biri olacaktır. Kütledeki bu azalma, malzeme ve enerji maliyetlerinin azalması anlamına gelir. Şekil 1.1, farklı zaman dilimlerinde kullanılan geleneksel malzemeler ve kompozitlerin özümlü mukavemet değerlerini gösterir³. Şekil 1.1'deki özümlü mukavemet biriminin inç olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü özümlü mukavemet ve özümlü modül, aynı

* Elastisite modülü (Elastik bir malzemenin Young modülü), gerilme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimidir.

† Yoğunluk, birim hacimdeki madde kütlesidir.

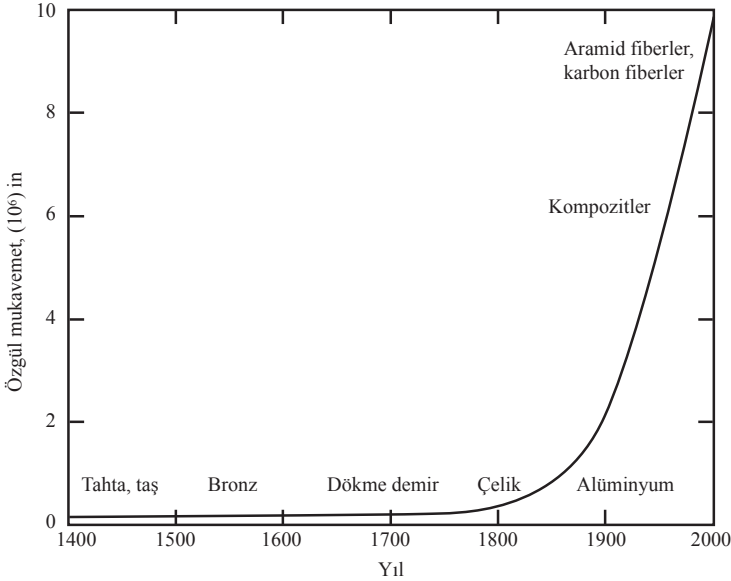
‡ Tek yönlü bir kompozit, matrisi takviye eden fiberlerin aynı yönde yönlendirildiği bir kompozit tabaka ya da çubuktur.

zamanda aşağıdaki gibi

$$\text{Özgül modül} = \frac{E}{\rho g},$$

$$\text{Özgül mukavemet} = \frac{\sigma_{ult}}{\rho g}.$$

de tanımlanabilir. Burada g , yer çekim ivmesidir ($32,2 \text{ ft/s}^2$ veya $9,81 \text{ m/s}^2$).



ŞEKİL 1.1 Farklı zaman dilimlerinde kullanılan geleneksel malzemeler ve kompozitlerin özgül mukavemet değerleri (Kaynak: Eager, T.W., Whither advanced materials? Adv. Mater. Processes, ASM International, June 1991, 25-29.)

Tablo 1.1’de bazı tipik kompozit fiberlerin, tek yönlü kompozit*, çapraz tabakalı† ve yarı-izotropik‡ tabakalı kompozitler ile monolitik metallerin özgül modül ve özgül mukavemet değerleri verilmiştir.

İlk bakışta, grafit, aramid ve cam gibi fiberlere ait özgül modüllerin, çelik ve alüminyum gibi metallerin özgül modüllerinden birkaç kat fazla oldu-

* Tek yönlü bir laminat, tüm fiberleri aynı doğrultuda yönlendirilmiş laminattır.

† Çapraz-tabakalı bir laminat, birbirlerine göre dik açılarda yönlendirilmiş tek yönlü tabakaları içeren bir laminattır.

‡ Yarı-izotropik laminat, elastik özelliklerin tüm yönlerde aynı olduğu izotropik malzemeye benzer şekilde davranır.

ğu görülür. Bu durum, kompozitlerin mekanik avantajları hakkında yanlış bir izlenim verir ancak kompozitler sadece fiberlerden değil fiber ve matris birleşiminden oluşur. Genelde matrisler, fiberlerden daha düşük modül ve mukavemete sahiptir. O halde, tek yönlü kompozit ile metallerin özgül modül ve mukavemet parametrelerinin karşılaştırılması doğru mudur? İki sebepten dolayı cevap hayırdır. Birincisi, tek yönlü kompozit yapılar sadece tek eksenli çekme veya saf eğilme gibi basit yükleri taşımak için kabul edilebilir. Yükleme ve rijitliğin kompleks olması halinde açılı tabakaları içeren kompozitler gerekli olacaktır. İkinci olarak Tablo 1.1’de verilen tek yönlü kompozitlere ait mukavemet ve elastisite modülleri fiber doğrultusundaki değerlerdir. Fibere dik doğrultudaki mukavemet ve elastisite modülleri çok düşüktür.

TABLO 1.1 Çeşitli fiber, kompozit ve metallere ait özgül modül ve özgül mukavemet değerleri

Malzeme Birim	Özgül ağırlık*	Young modülü (Msi)	Maksimum mukavemet (ksi)	Özgül modül (Msi-in³/lb)	Özgül mukavemet (ksi-in³/lb)
<i>Birim Sistemi: USCS</i>					
Grafit fiber	1.8	33.35	299.8	512.9	4610
Aramid fiber	1.4	17.98	200.0	355.5	3959
Cam fiber	2.5	12.33	224.8	136.5	2489
Tek yönlü grafit/epoksi	1.6	26.25	217.6	454.1	3764
Tek yönlü cam/epoksi	1.8	5.598	154.0	86.09	2368
Çapraz tabakalı grafit/epoksi	1.6	13.92	54.10	240.8	935.9
Çapraz tabakalı cam/epoksi	1.8	3.420	12.80	52.59	196.8
Yarı-izotropik grafit/epoksi	1.6	10.10	40.10	174.7	693.7
Yarı izotropik cam/epoksi	1.8	2.750	10.60	42.29	163.0
Çelik	7.8	30.00	94.00	106.5	333.6
Alüminyum	2.6	10.00	40.00	106.5	425.8

* Bir maddenin özgül ağırlığı, madde yoğunluğunun su yoğunluğuna oranıdır.