

МЕЃУНАРОДЕН УНИВЕРЗИТЕТ ВИЗИОН
UNIVERSITETI NDËRKOMBËTAR VIZION



INTERNATIONAL VISION UNIVERSITY
ULUSLARARASI VIZYON ÜNİVERSİTESİ

KOMPOZİT MALZEMELER

Prof. Dr. Ayşe ARICI

Kuzey Makedonya – Gostivar, 2025

Kompozit Malzemeler

Yazar:

Prof. Dr. Ayşe ARICI

Denetleyenler:

Prof.Dr. Ender SARIFAKIOĞLU– Çankırı Karatekin Üniversitesi –
İnşaat Mühendisliği Fakültesi – İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı -
Öğretim Üyesi Assoc. Prof. Dr. Pınar USTA- Isparta Uygulamalı
Bilimler Üniversitesi- Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Yapı
Anabilim Dalı Başkanı – Öğretim Üyesi

Yayımcı:

Uluslararası Vizyon Üniversitesi Gostivar, Kuzey Makedonya

Editör:

Prof. Dr. Fadil HOCA

Lektör:

Ergün KABALAK

Bilgisayar Tasarımı:

Mr. Sci. Yekin Abaz

Yayın yılı: 2025

Tiraj: 500

Basımevi: Print Factory DOOEL Skopje

Copyright: © 2025, Uluslararası Vizyon Üniversitesi, Gostivar Kuzey
Makedonya.

Telif hakları yayımcıya aittir, izinsiz hiçbir bölümü yayınlanamaz
çoğaltılamaz

ÖNSÖZ

Bu eseri sizlere takdim etmekten büyük bir onur duyuyorum. İnşaat mühendisliği alanında, özellikle kompozit malzemelere odaklanan Türkçe kaynak eksikliğinden hareketle hazırlanan bu kitap, **Uluslararası Vizyon Üniversitesi'nin Türkçe eğitim misyonu ve Türkçe'yi uluslararası ölçekte güçlü bir bilim ve akademi dili haline getirme vizyonu** doğrultusunda kaleme alınmıştır. Bu eser, yalnızca nitelikli teknik bilgi sunmakla kalmayıp, aynı zamanda Türkçe'nin mühendislik literatüründeki yerini güçlendiren, araştırma ile uygulamayı bütünleştiren, güvenilir ve sürdürülebilir bir başvuru kaynağı oluşturma amacı taşımaktadır.

Bilim, insan aklının evrendeki düzeni anlama çabası; mühendislik ise o düzeni insan yaşamının hizmetine sunma sanatıdır. Gerçek mühendislik, yalnızca yapılar inşa etmekle değil, doğanın dengesine saygılı sistemler kurmakla tanımlanır. Bu bağlamda, mühendisliğin en somut ifadesi olan **malzeme bilimi**, artık yalnızca fiziksel mukavemetin değil; aynı zamanda sürdürülebilirliğin, dijital zekânın ve etik bilincin temsilcisidir.

“**Kompozit Malzemeler**” başlığı altında hazırlanan bu kitap, yalnızca yeni bir malzeme grubunu tanıtmak amacıyla değil; inşaat mühendisliğinde düşünme biçimini dönüştürmek hedefiyle kaleme alınmıştır. Çünkü kompozitler, artık lif ve reçinenin rastlantısal birleşimiyle oluşan yapılar değil; insan, doğa ve teknoloji arasındaki hassas dengenin mühendislikteki ifadesidir. Her lif doğanın kuvvetini, her matris insan zekâsının düzenini, her bağlayıcı ise mühendislik sorumluluğunun sınırlarını temsil eder.

Bu eserin temel amacı, mühendislik eğitiminde uzun süredir eksikliği hissedilen üç temel değeri yeniden bütünleştirmektir: **bilimsel düşünme, çevresel farkındalık ve dijital zekâ**. Günümüz mühendisliği artık yalnızca dayanıklı yapılar üretmekle değil, bu yapıların **enerji tüketimi, karbon ayak izi, geri dönüşüm kapasitesi ve dijital izlenebilirliği** ile

değerlendirilir hale gelmiştir. Artık mesele “malzeme ne kadar güçlüdür?” sorusunun ötesindedir; çağın asıl sorusu, “Bu malzeme çevreyle ne kadar uyumlu, ekonomik olarak ne kadar verimli ve teknolojik olarak ne kadar akıllıdır?” olmuştur.

Bu kitap, klasik mühendislik yaklaşımlarının ötesine geçerek **sürdürülebilirlik, yaşam döngüsü maliyeti, geri dönüşüm, yeşil enerji entegrasyonu ve yapay zekâ destekli tasarım** konularını bütüncül bir mühendislik perspektifinde sunmaktadır. Her bölüm, teoriyi uygulamayla, laboratuvar deneylerini algoritmik analizlerle, malzeme fiziğini mühendislik ekonomisiyle bütünleştirir. Böylece kitap, hem öğrenciler hem de uygulayıcı mühendisler için disiplinler arası bir mühendislik paradigması oluşturur.

Eser, öğrenciyi yalnızca bilgiyle değil, **sorgulama gücüyle** donatmayı hedefler. Her satırı, mühendislik bilgisinin ötesinde, bir **bilimsel bilinç** geliştirme amacını taşır. Klasik mühendislik anlayışı dayanıklılığı uzun ömür, rijitlik ve yük taşıma kapasitesiyle ölçerken, çağdaş bilim gerçek dayanıklılığın yalnızca fiziksel değil, çevresel bir kavram olduğunu ortaya koymuştur. Bir yapı doğaya zarar veriyorsa, teknik olarak başarılı olsa bile etik açıdan sürdürülebilir değildir. Bu nedenle kitapta “dayanıklılık” kavramı yeniden tanımlanmıştır: artık bu kavram yalnızca mukavemeti değil, **enerji verimliliğini, karbon nötrlüğünü ve etik sorumluluğu** da kapsamaktadır.

Kitabın hazırlanış sürecinde, Türkiye’nin ve dünyanın önde gelen üniversitelerinde okutulan ders materyalleri, bilimsel yayınlar ve saha çalışmaları titizlikle incelenmiştir. İçerik, Avrupa ve ABD’deki mühendislik fakültelerinin akademik birikimiyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; böylece **yerel bilgi birikimiyle evrensel bilimsel standartlar** bir araya getirilmiştir. Kitapta kullanılan formüller yalnızca matematiksel araçlar değil, bir düşünce biçiminin mühendislik diline dönüşmüş ifadeleridir. Her tablo bir araştırma sürecinin özünü, her grafik bir deneysel sonucun kanıtını temsil eder.

Her bölüm sonunda yer alan **araştırma bazlı proje ödevleri**, öğrencilerin yalnızca bilgiyi aktarmasını değil, üretmesini ve sorgulamasını hedefler. Bu yaklaşım sayesinde eser, klasik ders kitaplarının ötesinde; düşünen, analiz eden ve araştıran mühendislik bilincinin rehberi olma niteliğini taşımaktadır.

Kitabın temeli, yıllar boyunca yürütülen çok sayıda akademik araştırma, laboratuvar deneyi ve saha uygulamasının sentezine dayanmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeyde pek çok akademisyenin, araştırmacının ve öğrencinin katkılarıyla gelişen kompozit malzeme bilimi, bugün mühendisliğin en stratejik alanlarından biri haline gelmiştir. **Yapay zekâ destekli analizler, karbon negatif reçineler, biyopolimer sistemler ve dijital ikiz uygulamaları**, artık inşaat mühendisliğinde geleceğin standartlarını belirlemektedir.

Bu eser, işte bu dönüşümün bir belgesi ve aynı zamanda bir davetidir — bilim insanlarını, mühendisleri ve öğrencileri, yeni nesil malzeme biliminin yenilikçi vizyonuna katılmaya çağırılmaktadır. Her bölümü sahadan gelen gerçek verilere, her satırı bilimsel gözleme dayanmaktadır. Bu nedenle bu kitap, bir sonuç değil, **devam eden bir araştırmanın başlangıcı** olarak görülmelidir.

Türkçe dilinde hazırlanmış bu kapsamlı akademik çalışma, Uluslararası Vizyon Üniversitesi'nin Türkçe eğitim misyonu çerçevesinde, bilimi evrensel, dili yerel kılan bir anlayışla geliştirilmiştir. “**Kompozit Malzemeler**” kitabının; inşaat mühendisliği, malzeme bilimi ve mimarlık öğrencilerinin yanı sıra, akademisyenler, araştırmacılar ve sektör profesyonelleri için kalıcı bir başvuru kaynağı olacağına inanıyorum. Bu eserin, mühendislik bilgisini derinleştirirken çevreye ve insana duyarlı, dijital çağa uyumlu bir mühendislik anlayışının gelişmesine katkı sağlamasını diliyorum.

Prof. Dr. Ayşe ARICI

Resume of Book

I am deeply honored to present this work to you. Inspired by the lack of Turkish-language resources in civil engineering, particularly those focusing on composite materials, this book has been written in line with International Vision University's mission of Turkish education and its vision of making Turkish a strong international language of science and academia. This work aims to create a reliable and sustainable reference source that provides high-quality technical information and strengthens the Turkish language's place in engineering literature, integrating research and practice.

Science is the human mind's effort to understand the order of the universe; engineering is the art of putting that order at the service of human life. True engineering is defined not only by building structures, but also by establishing systems that respect the balance of nature. In this context, materials science, the most concrete expression of engineering, now represents physical strength, sustainability, digital intelligence, and ethical awareness.

This book, titled "Composite Materials," was written to introduce a new group of materials and transform thinking in civil engineering. Composites are no longer structures formed by the haphazard combination of fiber and resin; they are the engineering expression of the delicate balance between humanity, nature, and technology. Every fiber represents the strength of nature, every matrix, the order of human ingenuity, and every connector, which is the limit of engineering responsibility.

The primary goal of this work is to reintegrate three core values that have long been lacking in engineering education: scientific thinking, environmental awareness, and digital intelligence. Today's engineering is no longer solely measured by producing durable structures, but rather by their energy consumption, carbon footprint, recycling capacity, and digital

traceability. The question now transcends the question of "how strong is a material?"; the real question of the age has become, "how environmentally compatible, economically efficient, and technologically intelligent is this material?"

This book goes beyond classical engineering approaches and presents sustainability, lifecycle cost, recycling, green energy integration, and AI-enabled design from a holistic engineering perspective. Each chapter integrates theory with practice, laboratory experiments with algorithmic analysis, and materials physics with engineering economics. Thus, the book establishes an interdisciplinary engineering paradigm for students and practicing engineers.

The book aims to equip students not only with knowledge but also with the power of inquiry. Every line aims to develop a scientific consciousness beyond mere engineering knowledge. While the classical engineering approach measured durability by longevity, rigidity, and load-bearing capacity, contemporary science has revealed that true durability is not merely physical but also environmental. If a structure harms nature, even if it is technically successful, it is not ethically sustainable. Therefore, the concept of "durability" has been redefined in the book: it now encompasses strength, energy efficiency, carbon neutrality, and ethical responsibility.

During the book's preparation, course materials, scientific publications, and field studies from leading universities in Turkey and around the world were meticulously examined. The content was evaluated comparatively with the academic knowledge of engineering faculties in Europe and the US, thus combining local knowledge with universal scientific standards. The formulas used in the book are not merely mathematical tools, but expressions of a way of thinking transformed into engineering language. Each table represents the essence of a research process, each graph showing an experimental result.

Research-based project assignments at the end of each chapter aim to encourage students not only to convey knowledge but also to generate and question it. This approach transcends traditional textbooks, serving as a guide to a thinking, analytical, and research-minded engineering mindset.

The book is based on a synthesis of numerous academic studies, laboratory experiments, and field applications conducted over the years. Composite materials science, developed through the contributions of numerous academics, researchers, and students at national and international levels, has become one of the most strategic areas of engineering today. Artificial intelligence-assisted analyses, carbon-negative resins, biopolymer systems, and digital twin applications are now setting the future standards in civil engineering.

This work is both a document of this transformation and an invitation—a call to action for scientists, engineers, and students to join the innovative vision of next-generation materials science. Every chapter is based on real data from the field, and every line is based on scientific observation. Therefore, this book should not be seen as a conclusion, but rather as the beginning of an ongoing investigation.

This comprehensive academic study, written in Turkish, was developed within the framework of International Vision University's Turkish language education mission, with an approach that makes science universal and language local. I believe that "Composite Materials" will be a lasting reference for civil engineering, materials science, and architecture students, as well as academics, researchers, and industry professionals. This book will deepen engineering knowledge while contributing to developing an environmentally and humanely conscious engineering approach compatible with the digital age.

Prof. Dr. Ayşe ARICI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	3
RESUME OF BOOK.....	6
İÇİNDEKİLER	9
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	18
TABLolar DİZİNİ.....	18
FORMÜLLER DİZİNİ	19

BİRİNCİ BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLİMSEL TEMELLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

1. KOMPOZİT MALZEMELERİN BİLİMSEL TEMELLERİ VE SINIFLANDIRILMASI.....	24
1.1. KOMPOZİT MALZEME KAVRAMI VE BİLİMSEL GELİŞİMİ.....	24
1.2. MATRİS VE TAKVİYE ARASINDAKİ ETKİLEŞİM: BİLİMSEL ESASLAR	25
1.3. KOMPOZİTLERİN MÜHENDİSLİKTEKİ ROLÜ VE GEREKLİLİĞİ	27
1.4. MEKANİK ÖZELLİKLER VE YAPISAL DAVRANIŞ	28
1.5. KOMPOZİT SİSTEMLERİN SİSMİK PERFORMANSA KATKISI.....	29
1.6. SİSMİK DAVRANIŞIN TEMEL MEKANİZMASI	29
1.7. FRP SİSTEMLERİNİN SİSMİK GÜÇLENDİRMEDE UYGULAMA ALANLARI.....	30
1.8. KOMPOZİTLERİN UZUN ÖMÜR VE YORULMA PERFORMANSI.....	31
YORULMA MEKANİZMASININ MİKROYAPISAL TEMELİ KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞI, ÜÇ TEMEL AŞAMADA İNCELENİR:	32
1.9. DENEYSEL BULGULAR VE UZUN DÖNEM GÖZLEMLER	32
1.10. KOMPOZİTLERDE YORULMA DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	33
1.11.KENDİNİ ONARAN VE AKILLI KOMPOZİT SİSTEMLER.....	34
2. KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI	36
2.1. KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİSİNDE YENİ EĞİLİMLER.....	37
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE -1.....	38
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 2.....	41
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 3.....	44

İKİNCİ BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

1. KOMPOZİT MALZEMELERİN TANIMI.....	50
2. KOMPOZİT MALZEME TÜRLERİ.....	52
2.1. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER (PMC).....	53
2.2. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMC).....	55
2.3. SERAMİK MATRİSLİ KOMPOZİTLER (CMC)	57
2.4. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANILAN BAŞLICA KOMPOZİTLER.	59
2.5. KOMPOZİT MALZEMELERİN İNŞAATTA SAĞLADIĞI AVANTAJLAR VE DİĞER SEKTÖRLERDEKİ ÖNEMİ.....	59
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ -1.....	66
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ – 2.....	71
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ – 3.....	77

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MEKANİK DAVRANIŞ VE MALZEME KARAKTERİSTİKLERİ

1.MEKANİK ÖZELLİKLER.....	85
1.1. MEKANİK ÖZELLİKLERİN TEMEL GÖSTERGELERİ	86
1.2. ANİZOTROPİK DAVRANIŞ.....	88
1.3. GERİLME DAĞILIMI VE YORULMA ANALİZİ.....	90
1.4. LİF-MATRİS ARAYÜZÜNDE GERİLME AKTARIMI	91
1.5. GERİLME-GERİLME İLİŞKİSİ VE YÖN BAĞIMLI DAĞILIM.....	92
1.6. YORULMA (FATİGUE) DAVRANIŞI	93
1.7. YORULMA TEST YÖNTEMLERİ VE DENEYSEL YAKLAŞIMLAR.....	94
1.8. MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI VE ÖRNEK ANALİZLER	95
1.9. AKADEMİK DEĞERLENDİRME: GERİLME–ZAMAN–HASAR ETKİLEŞİMİ	
96	
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ -1.....	97
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ -2.....	99
ARAŞTIRMA VE UYGULAMA ÖDEVİ -3.....	101

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

1. KOMPOZİT MALZEMELERDE ÜRETİM TEKNOLOJİSİNİN MEKANİK DAVRANIŞ ÜZERİNE ETKİSİ.....	107
1.1 KOMPOZİT ÜRETİMİNDE SİSTEMATİK YAKLAŞIM.....	108
1.2. ÜRETİM TEKNOLOJİSİNİN MÜHENDİSLİK ANLAMI	108
1.3. MİKRO YAPIDAN MAKRO DAVRANIŞA: ÜRETİMİN ROLÜ	109
1.4. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN ÜRETİM TEKNOLOJİSİ .	110
2. ÜRETİM KALİTESİ, TEST YÖNTEMLERİ VE MÜHENDİSLİK KONTROLÜ	122
3. GENEL DEĞERLENDİRME VE MÜHENDİSLİK YORUM. 124	
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-1	127
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-2	129
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-3	131

BEŞİNCİ BÖLÜM

MEKANİK DAVRANIŞ, GERİLME DAĞILIMI VE HASAR MEKANİZMALARI

1. KOMPOZİTLERDE ELASTİK DAVRANIŞIN TEMELLERİ	138
1.1. MİKRO MEKANİK YAKLAŞIM	138
1.2. POISSON ORANI VE KAYMA MODÜLÜ	139
2. İZOTROPİ, ORTOTROPİ VE ANİZOTROPİ DAVRANIŞLARI	140
2.1. İZOTROPİK MALZEMELER	140
2.2. ORTOTROPİK MALZEMELER	140
2.3. ANİZOTROPİK SİSTEMLER	140
3. GERİLME DAĞILIMI VE YÜK AKTARIMI MEKANİZMASI	141
3.1. LİF-MATRİS ARAYÜZEYİNDE YÜK AKTARIMI	141
3.2. HASAR MODELLERİ VE KIRILMA TEORİLERİ	143
3.3. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE UYGULAMA ÖRNEKLERİ	146
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVLERİ – 1	147
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVLERİ – 2	149
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVLERİ – 3	151

ALTINCI BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERDE TERMAL, AKUSTİK VE ELEKTRİKSEL DAVRANIŞLAR – SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

1. KOMPOZİT MALZEMELERDE TERMAL DAVRANIŞ.....	157
1.1. Isıl Genleşme Katsayısı (Coefficient of Thermal Expansion – CTE) 157	
1.2. Termal İletkenlik (k) ve Isıl Yalıtım Performansı	158
1.3. Termal Yorgunluk ve Termal Şok	158
2. KOMPOZİTLERDE AKUSTİK DAVRAN	159
2.1. Ses Geçirgenlik Katsayısı (Transmission Loss – TL)	159
2.2. Sönümlenme (Damping) Özelliği.....	160
2.3. Akustik Kompozitlerde Çok Katmanlı Yaklaşım.....	160
3. KOMPOZİT MALZEMELERDE ELEKTRİKSEL VE ELEKTROMANYETİK ÖZELLİKLER	161
3.1 Elektriksel İletkenlik (σ).....	161
4. KOMPOZİT MALZEMELERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GERİ DÖNÜŞÜM YAKLAŞIMLARI	162
4.1. Sürdürülebilirlik Kavramı	162
4.2. Geri Dönüşüm Yöntemleri.....	163
4.3. Biyo-Kompozitler ve Doğal Elyaf Takviyeleri	163
5. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LIFE CYCLE ASSESSMENT – LCA)...	164
6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ: AKILLI VE DUYARLI KOMPOZİT SİSTEMLER	164
6.1. Akıllı Termal Kompozitler	164
6.2. Piezoelektrik Kompozitler: Enerji Dönüşümü ve Yapısal Sağlık İzleme Sistemlerinde Yeni Nesil Yaklaşım	167
6.3. Kendini Onaran Kompozitler: Mikro Kapsül Teknolojisiyle Yapısal Dayanıklılığın Yeniden Tanımlanması.....	168
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-1.....	170
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-2	172
ARAŞTIRMA PROJE ÖDEVİ-3	174

YEDİNCİ BÖLÜM

YAPISAL KOMPOZİT SİSTEMLERİN İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

1. KÖPRÜ, BİNA, ZEMİN GÜÇLENDİRME VE FRP DONATI SİSTEMLERİ BAĞLAMINDA DAYANIKLILIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ.....	179
<u>1.1. Yapısal Kompozit Sistemlerin Mühendislik Özellikleri.....</u>	179
1.2. KÖPRÜ UYGULAMALARI: FRP TAŞIYICI SİSTEMLER.....	181
1.3. BİNA UYGULAMALARI: KOMPOZİT GÜÇLENDİRME VE TAŞIYICI SİSTEMLER.....	185
1.4. KOMPOZİT CEPHE SİSTEMLERİ.....	189
2. ZEMİN GÜÇLENDİRME VE KOMPOZİT ENJEKSİYON SİSTEMLERİ.....	193
2.1. GFRP MİKROPAY VE ANKRAJ SİSTEMLERİ.....	193
<u>2.2. Kompozit Enjeksiyon Sistemleri.....</u>	197
3. FRP DONATI SİSTEMLERİ.....	201
3.1. FRP Donatı Çubukları.....	201
3.2. FRP – Beton Ara Yüzey Davranışı.....	203
4. DAYANIKLILIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZLERİ.....	207
4.1. UZUN DÖNEM DAYANIKLILIK MEKANİZMALARI.....	207
4.2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ.....	208
5. GELECEK PERSPEKTİFİ: AKILLI KOMPOZİT ALTYAPILAR.....	209
5.1. AKILLI MALZEME KAVRAMI.....	209
5.2. KENDİNİ ONARAN KOMPOZİT SİSTEMLER.....	210
5.3. DEPREM BÖLGELERİNDE UYGULAMA POTANSİYELİ.....	211
5.4. SONUÇ VE MÜHENDİSLİK YORUMU.....	211
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE ÖDEVLERİ-1.....	212
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE ÖDEVLERİ-2.....	214
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE ÖDEVLERİ-3.....	216

SEKİZİNCİ BÖLÜM

YENİLİKÇİ KOMPOZİTLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİR MALZEME TEKNOLOJİLERİ

1. NANOKOMPOZİTLER, AKILLI VE ADAPTİF MALZEMELER,	
BIYOPOLİMER TABANLI SİSTEMLER	221
1.1. İnşaat Nanokompozit Malzemelerin Bilimsel Temelleri.....	221
1.2. Yapısal Mekanizma ve Davranış İlkesi	222
1.3. Malzeme Türleri ve Fonksiyonel Özellikler	223
1.4. Mühendislik Uygulamaları ve Deneysel Bulgular	224
1.5. Mühendislik Değerlendirmesi ve Gelecek Vizyonu	224
2. AKILLI VE ADAPTİF KOMPOZİT SİSTEMLER.....	225
<u>2.1. PİEZOELEKTRİK KOMPOZİT SİSTEMLER.....</u>	<u>225</u>
<u>2.2. KENDİNİ ONARAN (SELF-HEALİNG) KOMPOZİTLER.....</u>	<u>226</u>
<u>2.3. ADAPTİF (KENDİNİ ALGILAYAN VE TEPKİ VEREN) KOMPOZİTLER</u>	
227	
3.SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, GERİ DÖNÜŞÜM VE KARBON AYAK İZİ ANALİZİ	230
<u>3.1. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LCA).....</u>	<u>230</u>
<u>3.2. YENİDEN KULLANIM VE DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİRLİK.....</u>	<u>232</u>
<u>3.3. MÜHENDİSLİK YORUMU VE SONUÇ</u>	<u>233</u>
4.İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE UYGULAMA ÖRNEKLERİ .	234
4.1. UYGULAMA ÖRNEKLERİ	234
4.2. GELECEK PERSPEKTİFİ: AKILLI VE DÖNGÜSEL KOMPOZİT ÇAĞI ..	236
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE ÖDEVİ-1.....	239
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE ÖDEVİ-2	241

DOKUZUNCU BÖLÜM

KOMPOZİT MALZEMELERİN YAŞLANMA, KOROZYON VE GERİ DÖNÜŞÜM DAVRANIŞLARI

1.ÇEVRESEL ETKİLERE KARŞI DAYANIKLILIK, UV BOZUNUMU, NEM DİFÜZYONU, GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ	248
1.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN ZAMANLA ETKİLEŞİMİ VE MÜHENDİSLİK DENGESİNİN EVRİMİ	248

2. YAŞLANMA MEKANİZMALARI: ÇEVRESEL ETKİLERİN BİLİMSEL ANALİZİ.....	250
2.1. NEM DİFÜZYONU VE HİGROTHERMAL YAŞLANMA	251
2.2. UV BOZUNUMU VE FOTOOKSİDATİF DEGRADASYON	252
2.3. KİMYASAL VE ELEKTROKİMYASAL KOROZYON.....	252
2.4. TERMAL DÖNGÜLERİN MİKROYAPISAL ETKİSİ	253
2.5. GENEL DEĞERLENDİRME: YAŞLANMA–MEKANİK PERFORMANS İLİŞKİSİ.....	254
2.6. SONUÇ VE MÜHENDİSLİK YORUMU.....	255
2.7. DENEYSEL DEĞERLENDİRME VE TEST PROTOKOLLERİ	255
3.MEKANİK PERFORMANS VE YAPISAL STABİLİTE TESTLERİ.....	256
3.1.ÇEKME TESTİ (ASTM D3039 / EN ISO 527)	256
3.2. EĞİLME TESTİ (ASTM D790)	257
3.3.KESME VE KATMAN AYRIŞMASI TESTİ (ASTM D7078 / ASTM D2344)	257
4. ÇEVRESEL YAŞLANDIRMA VE HIZLANDIRILMIŞ TESTLER	258
4.1.UV HIZLANDIRILMIŞ YAŞLANDIRMA TESTİ (ASTM G154).....	258
4.2.HİGROTHERMAL DÖNGÜ TESTİ (ISO 9142).....	258
4.3.TUZ SPREY (SALT-FOG) TESTİ (ISO 9227 / ASTM B117)	259
5. TERMAL VE KİMYASAL STABİLİTE TESTLERİ	259
5.1.TERMOGRAVİMETRİK ANALİZ (TGA, ISO 11358).....	259
5.2.DİFERANSİYEL TARAMALI KALORİMETRİ (DSC, ISO 11357)	259
5.3.MİKROYAPISAL ANALİZ VE GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ	260
5.4.DAYANIKLILIK MODELLEME VE ÖMÜR TAHMİNİ	260
6. GERİ DÖNÜŞÜM, YENİDEN KULLANIM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	261
6.1. KOMPOZİTLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PARADOKSU.....	261
6.2. KOMPOZİTLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LCA)	262
6.3. KOMPOZİTLERDE GERİ DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ	263
6.4.MEKANİK GERİ DÖNÜŞÜM.....	263
6.5.TERMAL GERİ DÖNÜŞÜM (PİROLİZ YÖNTEMİ).....	264
6.6. KİMYASAL GERİ DÖNÜŞÜM	265
6.7.YENİDEN KULLANIM VE İKİNCİL UYGULAMALAR.....	265
7.YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (LİFE CYCLE ASSESSMENT – LCA).....	267
7.1. MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMI VE ANALİZ İLKELERİ	267

7.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN LCA PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	268
7.3. ENERJİ VE EMİSYON KARŞILAŞTIRMASI.....	268
7.4. MÜHENDİSLİK ANALİZİ VE UYGULAMA YORUMU	269
8. YAPISAL PERFORMANS VE ZAMAN BAĞIMLI DAYANIKLILIK.....	270
8.1. ZAMAN BAĞIMLI DAYANIKLILIK KAVRAMI.....	271
8.2. MÜHENDİSLİK YORUMU VE UYGULAMA BAĞLAMı	272
8.3. ZAMANLA DAYANIM AZALMASININ FİZİKSEL MEKANİZMASI	272
8.4. ZAMAN DAYANIKLILIĞININ HESAPLAMALI MODELLEMESİ	273
8.5. YAPISAL PERFORMANSIN ZAMANLA İZLENMESİ	274
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 1	275
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 2	278
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 3	280

ONUNCU BÖLÜM

GELECEĞİN KOMPOZİT MALZEMELERİ: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, EKONOMİ VE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ TASARIM

1. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM POLİTİKALARI VE MALZEME EKOLOJİSİ	285
1.1. KOMPOZİT ÜRETİMİNDE ÇEVRESEL PARADİGMA DEĞİŞİMİ	285
2.DÖNGÜSEL EKONOMİ VE MALZEME YAŞAM DÖNGÜSÜ YÖNETİMİ	289
3. MALZEME EKOLOJİSİ VE BİYO-TEMELLİ KOMPOZİT SİSTEMLER	290
3.1. BİYO-TEMELLİ KOMPOZİTLERİN BİLİMSEL TEMELLERİ	290
3.2. YOĞUNLUK, HAFİFLİK VE YAPISAL VERİMLİLİK.....	291
3.3.KARBON NEGATİF SİSTEM YAKLAŞIMI	292
3.4.ÇEVRESEL FAYDA FAKTÖRÜ (ENVİRONMENTAL BENEFİT INDEX – EBI)	293
4. ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ENERJİ YÖNETİMİ VE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU	294
4.1.ENERJİ YÖNETİMİ: MÜHENDİSLİK DÜZEYİNDE YENİ BİR BOYUT ...	295
4.2.YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ ÜRETİM SÜREÇLERİ	295
4.3.AI TABANLI ÜRETİM PLANLAMA VE VERİMLİLİK OPTİMİZASYONU	296

4.4.AKILLI SENSÖR AĞLARI VE VERİ TABANLI ENERJİ İZLEME	297
4.5.ENERJİ YÖNETİMİ DENKLEMİNDE YAPAY ZEKÂ ROLÜ	297
5.YENİ KUŞAK MÜHENDİSLİK PARADİGMASI	299
5.1.EKO-MÜHENDİSLİK (ECO-ENGINEERING).	300
5.2.FRP SİSTEMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK DENKLEMİ	300
5.3.ENERJİ VE ETKİ ARASINDAKİ MÜHENDİSLİK DENGESİ	301
5.4.SÜRDÜRÜLEBİLİR MÜHENDİSLİĞİN ETİK BOYUTU	301
6.YAŞAM DÖNGÜSÜ MALİYETİ (LCC) VE EKONOMİK DAYANIKLILIK	302
6.1 KAVRAMSAL ÇERÇEVE: DAYANIKLILIĞIN EKONOMİK YÜZÜ	302
6.2. LCC’NİN TEORİK MODELİ VE HESAPLAMA TEMELİ.....	303
6.3.KOMPOZİT SİSTEMLERDE LCC ANALİZİ – KARŞILAŞTIRMALI ÖRNEK 304	
6.4.ENERJİ YOĞUNLUĞU VE EKONOMİK VERİMLİLİK	305
6.5. LCC ANALİZİNDE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU	309
7. YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KOMPOZİT TASARIMI.....	311
7.1. MALZEME BİLİMİNDEN VERİ BİLİMİNE GEÇİŞ.....	311
7.2. AI MODELİNİN MÜHENDİSLİK TEMELİ: VERİDEN YAPIYA.....	311
7.3.MAKİNE ÖĞRENMESİ (MACHINE LEARNING) İLE OPTİMUM MALZEME SEÇİMİ	313
7.4.DİJİTAL İKİZ (DIGITAL TWIN) TEKNOLOJİSİ VE GERÇEK ZAMANLI KOMPOZİT YÖNETİMİ	314
7.5. YAPAY ZEKÂ İLE YAŞAM DÖNGÜSÜ OPTİMİZASYONU	315
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 1	323
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 2	326
ARAŞTIRMA BAZLI PROJE 3	329
YARARLANILAN KAYNAKLAR	332

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Kompozit Malzeme Teknolojilerinde Bileşen Etkileşimi	24
Şekil 2. Kompozit Malzemelerin Temel Yapısal Örnekleri	50
Şekil 3.Mekanik Özellikler	85
Şekil 4.Kompozit Malzemelerin Üretim Tekolojileri	107
Şekil 5. Mekanik Davranış, Gerilme Dağılımı Ve Hasar Mekanizmaları	138
Şekil 6. Kompozit Malzemelerde Termal Davranış	157
Şekil 7. Yapısal Kompozit Sistemlerin Mühendislik Özellikleri	179
Şekil 8.Nanokompozitler, Akıllı ve Adaptif Malzemeler, Biyopolimer Tabanlı Sistemler	221
Şekil 9. Çevresel Etkilere Karşı Dayanıklılık, UV Bozunumu, Nem Difüzyonu, Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Yaşam Döngüsü	248

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Metal Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	55
Tablo 2. Kompozitlerin Diğer Endüstriyel Kullanım Alanları	56
Tablo 3.Kompozitlerin Endüstriyel ve Savunma Kullanım Alanları	58
Tablo 4.İnşaat Mühendisliğinde Kullanılan Başlıca Kompozitler	59
Tablo 5.Diğer Sektörlerde Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	64
Tablo 6. Kompozit Malzemelerin Mühendislik Uygulamaları ve Örnek Analizleri	95
Tablo 7.Uluslararası Standartlar ve Test Yöntemleri	123
Tablo 8. İnşaat Mühendisliği Uygulama Örnekleri	146
Tablo 9.Geri Dönüşüm Yöntemleri	163
Tablo 10.GFRP Mikropay ve Ankraj Sistemlerinin Başlıca Teknik Özellikleri	194
Tablo 11.Malzeme Türleri ve Fonksiyonel Özellikleri	223
Tablo 12.Mekanik Özellikler ve Karakterizasyon	229
Tablo 13.Yaşam Döngüsü Analizi	231
Tablo 14. Farklı Çevresel Etkilerin Kompozit Sistemlerdeki Tipik Etkilerini	254
Tablo 15.Enerji ve Emisyon Karşılaştırması	268
Tablo 16.GFRP ve Çelik İçin Karşılaştırmalı Özetİ	306

FORMÜLLER DİZİNİ

FORMÜL 1. Kompozit malzemelerde elastisite modülünün belirlenmesi için Karışım Kuralı (Rule of Mixtures):	26
FORMÜL 2. Dayanım İçin Karışım Kuralı	86
FORMÜL 3. Ortotropik Malzeme Modeli.....	88
FORMÜL 4.Lif-Matrif Arayüzünde Gerilme Aktarımı	91
FORMÜL 5. Anizotropik Hooke Kanunu	92
FORMÜL 6. Kümülatif Hasar Teorisi	96
FORMÜL 7. Lif Doğrultusundaki Etkin Modül (E_1).....	138
FORMÜL 8.Çok Eksenli Gerilme Davranışı Hesabı.....	139
FORMÜL 9.Elastisite Tensörü	140
FORMÜL 10. Shear-Lag Modeli (Cox, 1952) Yük Aktarımı	141
FORMÜL 11. Gerilme-Dağılım Denklemi.....	142
FORMÜL 12.Tsai- Hill Kriteri.....	143
FORMÜL 13. Tsai- Wu Kriteri	144
FORMÜL 14. S-N Eğrisi Yaklaşımı.....	145
FORMÜL 15.Miner Kuralı	145
FORMÜL 16. Isıl Genleşme Katsayısı	157
FORMÜL 17.Fourier Yasası.....	158
FORMÜL 18.Ses Geçirgenlik Katsayısı.....	159
FORMÜL 19. Kompozitlerde Sönümleme Oranı.....	160
FORMÜL 20.Elektriksel İletkenlik	161
FORMÜL 21.Kalkanlama Etkinliği.....	162
FORMÜL 22.Yaşam Döngüsü Analizi.....	164
FORMÜL 23.Sargı Uygulanmış Betonun Eşdeğer Sıkışma Dayanımı	186
FORMÜL 24.Kompozit Sistmin Efektif Elastisite Modüle.....	198
FORMÜL 25. Aderans Gerilmesi.....	204
FORMÜL 26.Beton ,Çelik ve CFRP Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Parametrelerinin Karşılaştırmalı Analizi	209
FORMÜL 27. Nanokompozitin Efektif Elastisite Modülü.....	222
FORMÜL 28.İndüklenen Voltaj	226
FORMÜL 29.Fick'in ikinci yasası	251
FORMÜL 30.Zamana Bağımlı Dayanıklılık Kavramı	271
FORMÜL 31.Bozunma Katsayısının Belirlenmesi	273
FORMÜL 32.Yaşam Döngüsü Enerji Dengesi.....	289
FORMÜL 33.Çevresel Fayda Faktörü.....	293

FORMÜL 34. GFRP Tabliye Panelleri İki Alternatifin Ekonomik Analizi.....	304
FORMÜL 35. FRP Köprü Elemanı İçin Performans Endeksi.....	309
FORMÜL 36. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı	312

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Açıkgöz, M., & Yıldız, R. (2021). FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme davranışı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(4), 1719–1732. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.908765> Ahmed, S., &

Arici, A. (2024). An Academic Study of Alaca Mosque the Integration of Ottoman and Western Architectural Elements. *Journal of Waste Management & Recycling Technology*. SRC/JWMRT-160. DOI: [doi.org/10.47363/JWMRT/2024\(2\),136,2-7](https://doi.org/10.47363/JWMRT/2024(2),136,2-7).

Alhassan, S. M., & Nguyen, T. K. (2020). Durability of hybrid FRP bars in alkaline environments. *Construction and Building Materials*, 251, 118986.

Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2012). *Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Arici, A. (2024). An Academic Study of Alaca Mosque the Integration of Ottoman and Western Architectural Elements. *Journal of Waste Management & Recycling Technology*. SRC/JWMRT-160. DOI: [doi.org/10.47363/JWMRT/2024\(2\),136,2-7](https://doi.org/10.47363/JWMRT/2024(2),136,2-7).

ASTM D3039/D3039M-17. (2017). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. ASTM International.

Agarwal, B. D., Broutman, L. J., & Chandrashekhara, K. (2018). *Analysis and performance of fiber composites* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Arici, A. (2024). USE OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT IN OCCUPATIONAL SAFETY AND AWARENESS AND APPLICATION TRENDS OF CONSTRUCTION WORKERS, LEGAL OBLIGATIONS AND COMPLIANCE. *Sui Generis*, 3(2), 7-21.

Agarwal, A., & Garg, M. (2018). *Concrete Technology*. New Age International Publishers.

Arici, A. (2024). An Academic Study of Alaca Mosque the Integration of Ottoman and Western Architectural Elements. *Journal of Waste Management & Recycling Technology*. SRC/JWMRT-160. DOI: [doi.org/10.47363/JWMRT/2024\(2\),136,2-7](https://doi.org/10.47363/JWMRT/2024(2),136,2-7).

Ahmadi, M., & Shekarchi, M. (2010). Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 32(2), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.10.006>

ARICI, A. Restoration of Hacıbaşı Lodge, Preservation and Reinterpretation of Ottoman and Western Architectural Elements. *KİÜ Fen, Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 35-47.

AİTCİN, P.-C. (1998). *High-Performance Concrete*. E & FN Spon.

Alexander, M. G., & Mindess, S. (2005). *Aggregates in Concrete*. Taylor & Francis.

Allen, E., & Iano, J. (2013). *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods* (6th ed.). John Wiley & Sons.

Amano, K., & Ohnishi, K. (2017). Structural performance and durability of recycled aggregate concrete with blast-furnace slag. *Materials and Structures*, 50(1), 25-34. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0977-1>

Amziane, S., & Arnaud, L. (Eds.). (2013). *Bio-aggregate-based Building Materials: Applications to Hemp Concretes*. Springer.

Anderson, D., & Berwald, J. (2005). Development of new lightweight aggregate for self-compacting concrete. *Concrete International*, 27(4), 41–46.

Ang, H. H., & Sivakumar, V. (2012). Structural behavior of lightweight aggregate concrete subjected to high temperatures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(8), 1030–1037. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000465](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000465)

Ashby, M. F. (2012). *Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Ashby, M. F., & Johnson, K. (2013). *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.

Asokan, P., Osmani, M., & Price, A. D. F. (2009). Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites. *Journal of Cleaner Production*, 17(9), 821–829. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.12.004>

Atkinson, H. V., & Shi, G. (2003). Characterization of the rheology of semisolid metal slurries. *Materials Science and Engineering: A*, 361(1–2), 175–187. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(03\)00526-9](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(03)00526-9)

Attard, M. M., & Setunge, S. (2008). Strength and durability properties of high-performance lightweight concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(1), 88–95. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:1\(88\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:1(88))

Autio, M. (2005). Impact of using alternative construction materials on concrete performance. *Construction and Building Materials*, 19(8), 627–634. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.017>

Azevedo, A. R. G., & Vieira, C. M. F. (2020). Properties of recycled aggregate concrete with eco-friendly binders. *Construction and Building Materials*, 247, 118450. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118450>

Abrahamsen, R. (2017). *Mjøstårnet – Construction of an 81 m tall timber building*, 23. *Internationales Holzbau-Forum IHF*.

Abrahamsen, R. B., & Malo, K. A. (2014). Structural design and assembly of “Treet” - A 14-storey timber residential building in Norway. *World Conference on Timber Engineering*, August 10-14, Quebec City, Canada.

ACI Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19)*. American Concrete Institute.

Alberti, M. (2008). *Advances in urban ecology: Integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*. Springer.

American Wood Council. (n.d.). *National design specification for wood construction (NDS)*.

ASTM International. (2002). *ASTM C109/C109M-02: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens)*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0109_C0109M-02

ASTM International. (2015). *ASTM C127-15: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate*. ASTM International.

ASTM International. (2018). *ASTM C191-18: Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0191-18>

ASTM International. (2018). *ASTM C204-18: Standard test methods for fineness of hydraulic cement by air-permeability apparatus*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0204-18>

Bal, S. (2018). Mechanical characterization of jute fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18626–18633.

Barbero, E. J. (2017). *Introduction to Composite Materials Design* (3rd ed.). CRC Press.

Bank, L. C. (2013). *Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials*. John Wiley & Sons.

Başaran, A., & Karakaya, D. (2020). Kompozit malzemelerde nem ve sıcaklığın mekanik dayanıma etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(8), 1312–1321.

Bhatnagar, A. (2014). *Lightweight Composite Materials and Structures*. CRC Press.

- Boros, G. (2012). *Fire safety of timber structures*. Springer.
- Barnes, M. R., & Dickson, M. (2000). Structural design of the Eden Project biomes. *Structural Engineer*, 78(17), 29-37.
- Bell, F. G. (1993). *Engineering treatment of soils*. E & FN Spon.
- Beranek, L. L., & Vér, I. L. (2006). *Noise and vibration control engineering: Principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Bodig, J., & Jayne, B. A. (1982). *Mechanics of wood and wood composites*. Van Nostrand Reinhold.
- Bojinovski, Z., & Iliev, I. (2014). Seismic hazard assessment of the Republic of Macedonia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(3), 593–601. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-593-2014>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00041-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00041-7)
- Bowyer, J., Fernholz, K., Groot, H. W., & Pepke, E. (2016). *Modern tall wood buildings: Opportunities for innovation*. Dovetail Partners Inc.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2010). *Elements of the nature and properties of soils*. Pearson.
- Buchanan, P. (2005). The architecture of Norman Foster. *Architectural Review*, 218(1305), 72–83.
- Ceccotti, A. (2008). New technologies for construction of medium-rise buildings in seismic regions: The XLAM case. *Structural Engineering International*, 18(2), 156-165.
- Cecobois. (2018). *Origine Quebec City, case study*. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois, Canada.
- Crespell, P., & Gagnon, S. (2010). *Cross laminated timber: A primer* (Special Publication 52). FPInnovations.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.

- Chandra, S., & Berntsson, L. (2002). *Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology, and Applications*. Noyes Publications.
- Chen, W. F., & Liew, J. Y. R. (Eds.). (2002). *The Civil Engineering Handbook*. CRC Press.
- Çelik, O., & Erdemir, M. (2021). FRP kompozitlerle betonarme kiriş güçlendirme uygulamalarının karşılaştırmalı analizi. *İMO Teknik Dergi*, 32(1), 55–68.
- Chawla, K. K. (2019). *Composite Materials: Science and Engineering* (4th ed.). Springer.
- Chen, J.-F., & Teng, J. G. (2018). Anchorage systems for FRP plates: A review. *Composites Part B*, 139, 232–246.
- Cox, H. L. (1952). The elasticity and strength of paper and other fibrous materials. *British Journal of Applied Physics*, 3(3), 72–79. <https://doi.org/10.1088/0508-3443/3/3/302>
- Çoban, O., & Özdemir, E. (2022). Bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin ısı ve nem direnci üzerine bir inceleme. *Journal of Polymer Engineering*, 42(5), 457–465.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials science and engineering: An introduction* (11th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464.
- Daniel, I. M., & Ishai, O. (2006). *Engineering mechanics of composite materials* (2nd ed.). New York, NY: Oxford University Press.

Dimitrovski, D., & Iliev, D. (2016). Sustainable tourism development in Mavrovo National Park. *Economic Development*, 18(3), 45–58. <https://doi.org/10.4236/ed.2016.183004>

Dinwoodie, J. M. (2000). *Timber: Its nature and behaviour*. E & FN Spon.

Eurocode 5: Design of timber structures. European Committee for Standardization.

Daniel, I. M., & Ishai, O. (2006). *Engineering Mechanics of Composite Materials* (2nd ed.). Oxford University Press.

Demir, F., & Aydın, A. C. (2020). Karbon elyaf donatılı betonun mekanik özellikleri ve mikro yapı analizi. *Yapı Malzemeleri Dergisi*, 2(1), 35–46.

Dong, C., & Davies, I. J. (2014). Flexural properties of hybrid flax/glass fibre reinforced epoxy composites. *Composites Part B*, 67, 181–188.

EN ISO 14125:2011. (2011). *Fibre Reinforced Plastic Composites – Determination of Flexural Properties*. European Committee for Standardization.

Ersoy, U., & Teng, J. G. (2009). Strengthening of RC members with FRP: Design approach and case studies. *Engineering Structures*, 31(7), 1348–1358.

Fardis, M. N. (2011). *Innovative Materials in Concrete Structures*. Springer.

F. (2019). Termoplastik matrisli kompozitlerin geri dönüştürülmesi üzerine bir inceleme. *Polimer Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15(3), 147–160.

Faruk, O., & Sain, M. (2015). *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*. Woodhead Publishing.

Ferreira, J. M. F., Marques, A. T., & Costa, J. M. (2019). Fatigue performance of FRP composites in civil engineering. *Composites Part B*, 164, 267–280.

Falk, R. H. (2009). Wood as a sustainable building material. In *Wood handbook* (Chapter 1). USDA Forest Service.

Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. USDA Forest Service.

Foster + Partners. (n.d.). Project details: 30 St Mary Axe. <https://www.fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe/>

Foth, H. D. (1990). *Fundamentals of soil science*. John Wiley & Sons.

TS 2471: Odunun fiziksel ve mekanik deney metotları - Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü.

Gehry Partners. (n.d.). Project documentation: Fondation Louis Vuitton. <https://www.fondationlouisvuitton.fr/en/the-building>

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150192>

Grimshaw Architects. (n.d.). Case studies: The Eden Project. <https://grimshaw.global/projects/the-eden-project/>

Gustavsson, L., Pingoud, K., & Sathre, R. (2006). Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(3), 667-691.

Gibson, R. F. (2016). *Principles of composite material mechanics* (4th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Güngör, M., & Çelik, A. (2021). Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin sürdürülebilir yapı malzemesi olarak kullanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(3), 1089–1102.

Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics* (4th ed.). CRC Press.

Gao, X., & Wang, L. (2020). Optimization of carbon fiber sizing agents. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(22), 48603.*

Gürsoy, M., & Şentürk, K. (2022). Doğal elyafların yapı malzemesi olarak kompozitlerde değerlendirilmesi. *Yapı Malzemeleri Dergisi*, 6(1), 55–70.*

Hardt, U. H. (2018). Naval Air Station Tillamook / Tillamook Air Museum. *The Oregon Encyclopedia*.

Harte, A. M. (2017). Mass timber – The emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 2(3), 121-132.

Häring, C. (2012). Dome structures. In P. B. Lourenço & J. M. Branco (Eds.), *Saldome 2, Seminário Coberturas de Madeira* (pp. 127-132).

Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier.

Honey, M. (2008). *Ecotourism and sustainable development: Who owns paradise?* (2nd ed.). Island Press.

Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications.

High-rise building structural design in windy cities. (2019). *Chicago Engineering Journal*.

Hollaway, L. C., & Head, P. R. (2019). *Advanced Polymer Composites and Polymers in the Civil Infrastructure*. Elsevier. Hota, G. (2017). *Natural and Synthetic Fibre Reinforced Composites: Advances in Modeling and Manufacturing*. Springer.

Huseyin, A., & Sari, M. (2020). Kompozit panel duvarlarda ısı iletim performansının deneysel analizi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 16(2), 99–110.

Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., & Gorga, R. E. (2006). Polymer-matrix nanocomposites: Processing, manufacturing, and application—An overview. *Journal of Composite Materials*, 40(17), 1511–1575. <https://doi.org/10.1177/0021998306067321>

Hollaway, L. C., & Teng, J. G. (2018). Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using fibre-reinforced polymer (FRP) composites. In J. G. Teng (Ed.), *FRP-Strengthened RC Structures: Design and Applications* (pp. 1–30). CRC Press.

Hull, D., & Clyne, T. W. (2019). *An Introduction to Composite Materials* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108556851>

Ingles, O. G., & Metcalf, J. B. (1972). *Soil stabilization: Principles and practice*. Butterworths.

Jensen, J. L. (2014). The Metropol Parasol Project: Innovative Timber Architecture in Seville, Spain. *Journal of Green Building*, 9(3), 130-145.

Jones, R. M. (2014). *Mechanics of composite materials* (2nd ed.). Philadelphia, PA: Taylor & Francis.

Jones, R. M. (2018). *Mechanics of Composite Materials* (2nd ed.). Taylor & Francis.

Kafescioğlu, R. (1983). Alker: A new building material. *İTÜ Journal*, 42(1), 55–68.

Kafescioğlu, R. (2014). *Çağdaş yapı malzemesi toprak ve Alker* (Planlanan yayın). Kendisinin izni ile alıntılar, yeniden düzenlemeler ve ilaveler yapılmıştır.

Karanfilovski, P., Jovanovski, V., & Zdraveva, P. (2018). Sustainable building practices in Macedonia: Challenges and opportunities. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 23(2), 75–84. <https://doi.org/10.5296/jsace.v23i2.13276>

- Keefe, L. (2005). *Earth building: Methods and materials, repair and conservation*. Taylor & Francis.
- Kurtuluş, F., & Karabulut, A. (2021). Nanokompozit yapı elemanlarının ısı iletim katsayılarının deneysel analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 453–466.
- Karbhari, V. M. (2007). *Durability of composites for civil structural applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Khalili, N., & Vitt, E. (1999). *Earthbag building: The tools, tricks and techniques*. CalEarth Press.
- Kollmann, F. F. P., & Côté, W. A. (1968). *Principles of wood science and technology*. Springer-Verlag.
- Kume, K., Saitoh, M., Esaka, Y., Nishiya, T., Tanaka, H., Yamashita, M., & Murakami, K. (2019). Complex structure combined with timber BSS and cantilever. *IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019, Form and Force*, 7–10 October, Barcelona, Spain.
- Kuzman, M. K., Oblak, L., & Vratuša, S. (2010). Glued laminated timber in architecture. *Drvna Industrija*, 61(3), 197–204.
- Kürekent 2013: Entwerfen eines Dorfes aus Lehm. Çiçek, B., & Cancino, P. (2011). *Masterthesis*, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Entwerfen und Tragwerkskonstruktion.
- Kaw, A. K. (2020). *Mechanics of composite materials* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Karagöz, B., & Demirtaş, E. (2022). Polimer matrisli kompozitlerde yangın direncinin artırılması üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 25(5), 2331–2344.
- Khan, M., & Ali, N. (2019). Mechanical properties of hybrid carbon/glass FRP composites. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2711–2716.

Kim, J.-K., & Mai, Y.-W. (2015). *Engineered Interfaces in Fiber reinforced Composites*. Elsevier.

Korkmaz, A., & Şahin, S. (2020). FRP ile güçlendirilmiş yapı elemanlarının uzun dönem performans değerlendirmesi. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 32(4), 245–260. Lee, J., & Cho, S. (2019). Smart composites for adaptive infrastructure. *Composite Structures*, 221, 110917.

Kaçar, İ., & Alver, A. (2020). Termoplastik matrisli karbon elyaf kompozitlerin mekanik özellikleri. *Ege Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 37(1), 73–83.*

Kaya, S., & Uzun, A. (2019). Bazalt elyaf kompozitlerde matris tipinin mekanik davranışa etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 34(6), 1641–1654.*

Khan, Z. A., & Das, S. K. (2020). Characterization of hybrid hemp-glass composites. *Polymer Testing*, 89, 106598.*

Korkut, H., & Demir, H. (2021). Doğal elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin sürdürülebilirlik değerlendirmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 873–882.*

Kovářová, J., & Müller, M. (2020). Surface pretreatment methods for glass fibers. *Materials*, 13(8), 1879.*

Kaya, B., & Arı, S. (2023). Sürdürülebilir yapı malzemelerinde nanoteknolojik yaklaşımlar. *Construction Materials Research*, 5(2), 121–139.*

Lea, F. M. (2004). *Lea's chemistry of cement and concrete*. Elsevier.

LEED v4 for building design and construction. (2019). *U.S. Green Building Council*.

Little, D. N. (1995). *Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime*. Kendall/Hunt Publishing.

Louvre Museum. (n.d.). *Official website*. <https://www.louvre.fr/en>

Li, C., & Xu, Z. (2021). Life-cycle assessment of recycled fibre reinforced composites. *Journal of Cleaner Production*, 293, 125910.

Lee, J. (2018). Recent advances in nanomodified cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 188, 537–551. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.152>

Maher, M. H., & Ho, Y. C. (1994). Mechanical properties of Kaolinite/Fiber soil composite. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(8), 1381–1393.

Mallick, P. K. (2018). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design* (4th ed.). CRC Press.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill. Meran, C., & Savaş,

Mayer, H. (2011). Metropol Parasol Sevilla. *Detail*, 51(5), 490–495.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2006). *Concrete: Microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

Miles, J., & Spencer, B. (2005). Damp earth floors: Design, construction and maintenance. *Building Conservation Directory*.

Milner, H. R. (2009). Sustainability of engineered wood products in construction. In J. Khatib (Ed.), *Sustainability of construction materials* (pp. 184–212). Woodhead Publishing.

- Minke, G. (2006). *Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser.
- Mindess, S., & Young, J. F. (1981). *Concrete*. Prentice Hall.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Prentice Hall.
- Moelven Limtre AS. (2019). *Mjøstårnet technical information*.
- Mohammad, M., Gagnon, S., Douglas, B. K., & Podesto, L. (2012). Introduction to cross laminated timber. *Wood Design Focus*, 22(2), 3–12.
- Moody, R. C., & Liu, J. Y. (2011). Glued structural members. In *The Encyclopedia of Wood* (Chapter 11). Skyhorse Publishing
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (2000). *Composite materials: Engineering and science* (2nd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Pearson Education Limited.
- Naik, N. K. (2018). *Composite Materials: Design and Applications* (3rd ed.). CRC Press.
- Nanni, A., & Gold, W. J. (2014). Field applications of FRP for concrete structures. *ACI Structural Journal*, 111(3), 435–446. Narita, F., & Shindo, Y. (2021). Smart polymer composite materials: Recent advances. *Applied Sciences*, 11(4), 1749.
- Nikolovska, L., & Dodeva, S. (2019). Climate change impacts on water resources in Mavrovo National Park. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2), 65. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7005-5>
- Nanni, A., & Dolan, C. W. (2020). *FRP Reinforced Concrete Structures: Advances, Design, and Applications*. CRC Press.

Oyen, M. L. (2014). *Handbook of Biomaterials and Tissue Engineering*. Elsevier Science.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., ... Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823–833. <https://doi.org/10.1641/B570709>

Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2265–2300. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.05.011>

Ong, C. B. (2015). Glue-laminated timber (Glulam). In M. P. Ansell (Ed.), *Wood composites* (pp. 123-140). Woodhead Publishing.

Öztürk, M., & Erdem, T. (2020). Karbon elyaf ile güçlendirilmiş betonarme elemanlarda yük-deformasyon davranışı. *Teknik Dergi*, 31(5), 4589–4603.

Park, R. S., & Kim, H. S. (2022). Performance of FRP-strengthened concrete under cyclic loading. *Composites Part B*, 236, 109788.

Pei, M. (1989). Grand design: Louvre pyramid. *Journal of Architectural Engineering*.

Petkovski, L., & Nikolov, A. (2015). Traditional architecture in rural areas of Macedonia: The case of Mavrovo. *International Journal of Architectural Research*, 9(2), 35–48. <https://doi.org/10.5171/2015.23441>

Petrova, M., & Doloska, M. (2013). Environmental protection of Mavrovo National Park through sustainable tourism development. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 92, 675–682. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.04.135>

Pilon, A., Teshnizi, Z., Lopez Behar, D., & Gooch, H. (2018). Brock Commons Tallwood House performance overview. Case study, University of British Columbia's Centre for Interactive Research on Sustainability, Canada.

Pizzi, A. (2007). Transparency and lightness: The Glass Pavilion by SANAA. *Domus*, (904), 50-57.

Porteous, J., & Kermani, A. (2013). *Structural timber design to Eurocode 5* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Peled, A., & Bentur, A. (2013). Novel cementitious composites with textile reinforcement. *Cement and Concrete Composites*, 40, 47–59.

Pereira, A. L. G., & Figueiredo, S. C. (2019). Recycling of carbon fibres for structural composites. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 179–188.

PTW Architects. (n.d.). Project details: Beijing National Aquatics Centre. <http://www.ptw.com.au/projects/beijing-national-aquatics-centre/>

Spangler, S. (2016, November 21). Seeing the future of aviation in the past. *JetWhine*. <https://www.jetwhine.com/2016/11/seeing-future-aviation-past/> (Erişim tarihi: 30.12.2020).

Şahin, E., & Kurt, B. (2021). FRP takviyeli betonarme elemanlarda yapışma performansının değerlendirilmesi. *Yapı Teknolojisi Dergisi*, 25(2), 102–115.

Riberholt, H. (2007). Performance of old glulam structures in Europe. *Rapport, BYG.DTU R-177*. Danmarks Tekniske Universitet.

Rafael Viñoly Architects. (n.d.). *Project information: NEMA Chicago*. <https://www.rvapc.com/projects/nema-chicago/>

Rahman, M., & Choudhury, M. A. (2018). A review on nanoclay-based polymer composites. *Materials Science Forum*, 928, 65–76.

Reddy, J. N. (2015). *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells* (2nd ed.). CRC Press.

Rojek, M., & Nowak, T. (2020). Numerical simulation of composite bridge decks. *Composite Structures*, 238, 111986.

SANAA Architects. (n.d.). *Portfolio: Toledo Museum of Art, Glass Pavilion*. https://www.sanaa.co.jp/works/2006_toledo.html

Sandberg, D., Kutnar, A., & Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies—a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10, 895-908. <https://doi.org/10.3832/ifor2387-010>

Spangler, S. (2016, November 21). Seeing the future of aviation in the past. *JetWhine*. <https://www.jetwhine.com/2016/11/seeing-future-aviation-past/> (Erişim tarihi: 30.12.2020).

Shelden, D. R., & Horvath, J. (2015). Digital design and construction of the Fondation Louis Vuitton. *Architectural Design*, 85(5), 90-97.

Sherwood, P. T. (1993). *Soil stabilization with cement and lime*. HMSO Publications.

Siau, J. F. (1995). *Wood: Influence of moisture on physical properties*. Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Tech.

Simovski, B. (2017). Biodiversity conservation in Mavrovo National Park. In *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Development* (pp. 123–130).

Smith, P., & Austin, S. (2016). *Sustainable design and construction*. Routledge.

Stojanovski, V. (2015). The impact of tourism on the environment in Mavrovo National Park. *Tourism and Hospitality Management*, 21(1), 15–26. <https://doi.org/10.4172/2167-0269.1000115>

Stockholm Architectural Review. (2020). Sustainable building design in cold climates.

Thelandersson, S., & Larsen, H. J. (2003). *Timber engineering*. Wiley.

Tillamook Airport. (2012). *Airport layout plan narrative report*. Precision Approach Engineering, Inc. and Coffman Associates, Inc.

Trajkov, S., & Mitic, V. (2016). Environmental issues in Mavrovo National Park: Current state and perspectives. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 6(2), 233–240. <https://doi.org/10.11114/ijee.2016.6.2.3103>

Trusses - Ariake Gymnastics Centre, Japan. (2019). *IASS Annual Symposium 2019 – Structural Membranes 2019, Form and Force*, 7 – 10 October, Barcelona, Spain.

Talreja, R., & Singh, C. V. (2012). *Damage and failure of composite materials*. Cambridge: Cambridge University Press.

Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood: Structure, properties, utilization*. Chapman & Hall.

Tang, Y., & Zhao, X. (2023). Fire resistance of polymer composites used in civil structures. *Journal of Building Engineering*, 74, 107125.

Tekin, K., & Aydın, A. (2023). Kompozit malzemelerde nano katkıların mekanik özelliklere etkisi. *Yapı Malzemeleri Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 25–39.

Tekin, K. (2019). Cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(6), 1083–1092.

Teng, J. G., Yu, T., & Dai, J. G. (2022). Recent research advances in FRP-confined concrete: State-of-the-art review. *Composite Structures*, 280, 114880. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114880>

Talreja, R. (2020). Damage mechanics in composite materials: Progress and challenges. *Composites Science and Technology*, 200, 108444. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108444>

Gay, D., Hoa, S. V., & Tsai, S. W. (2003). *Composite materials: Design and applications* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Türk Standartları Enstitüsü. (2012). *TS EN 197-1: Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*.

Türk Standartları Enstitüsü. (2016). *TS EN 196-1: Çimentoların deney metotları*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-a). *TS EN 196-2: Çimentoların kimyasal analizleri için deney metotları*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-b). *TS EN 196-3: Çimentoların deney metotları - Bölüm 3: Priz süresi ve genleşme tayini*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-c). *TS EN 196-6: Çimentoların deney metotları - Bölüm 6: İncelik tayini*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-d). *TS 647: Ahşap yapı elemanlarının hesap ve yapım kuralları*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-e). *TS EN 1995-1-1 (Eurocode 5): Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1-1: Genel kurallar ve binalar için kurallar*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-f). *TS EN 1995-1-2 (Eurocode 5): Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1-2: Yangına karşı tasarım kuralları*.

Türk Standartları Enstitüsü. (n.d.-g). *TS EN 338: Yapısal ahşap - Dayanım sınıfları*.

Triantafillou, T. C. (Ed.). (2016). *Textile fibre composites in civil engineering*. Oxford: Woodhead Publishing.

Vara, J. (2019). Lighthouse Joensuu Finland's Tallest Wooden Apartment Building, *PUU wood*, 3/19, 13-17.

Van De Kuilen, J.-W. G., Ceccotti, A., Xia, Z., & He, M. (2011). Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber. *Procedia Engineering*, 14, 1621-1628.

Woschitz V.R, und Zotter, J. (2017). High-rise Timber Building HoHo Vienna – The structural Concept, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. Jg., Heft 1–12/2017.

Wingårdh Architects Project Portfolio:
<https://www.wingardhs.se/en/projects/the-crystal>

Quaresimin, M., & Talreja, R. (2021). Fatigue in composite laminates: Present understanding and future developments. *International Journal of Fatigue*, 142, 105924. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105924>

White, S. R., Blaiszik, B., Sottos, N. R., & Moore, J. S. (2018). Self-healing polymers and composites. In *Self-Healing Materials* (pp. 231–260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813883-9.00010-7>

Witik, R. A., Teuscher, R., & Steinfeld, A. (2022). Mechanical recycling of fibre-reinforced plastics: Recent progress and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131489>

Yao, X., & Zhou, M. (2022). Life cycle analysis of fiber-reinforced composites for sustainable structures. *Journal of Cleaner Production*, 343, 130979.

Zhong, S., & Guo, Y. (2008). Structural Design and Construction of the National Aquatics Center. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10), 801-808.

Zhou, Y. (2022). Recent developments in fibre reinforced polymer composites for structural applications. *Composite Structures*, 285, 115241. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.115241> Akbulut, H., &

Zalba, B., Marín, J. M., & Lázaro, A. (2020). Phase change materials for thermal energy storage in advanced building applications. *Energy and Buildings*, 224, 110246. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110246>

SON SÖZ

Yapı teknolojilerinin geleceği, yalnızca malzemenin fiziksel dayanımıyla değil; aynı zamanda enerji verimliliği, çevresel sürdürülebilirlik ve mühendislik yenilikleriyle tanımlanmaktadır. Kompozit malzemeler, bu dönüşümün en güçlü temsilcilerinden biri olarak, geleneksel yapı anlayışını yeniden şekillendirmekte ve mimarlık ile mühendislik disiplinleri arasında dinamik bir köprü kurmaktadır.

Bu kitapta, kompozit malzemelerin yapısal performansı, üretim teknikleri, mekanik özellikleri ve uygulama alanları; mikro düzeydeki malzeme davranışından makro ölçekli sistem entegrasyonuna kadar kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Lif takviyeli, nanoteknolojik, polimer esaslı ve hibrit sistemler gibi farklı kompozit türlerinin mühendislikte sunduğu potansiyeller, sürdürülebilir yapı yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Artık modern yapı mühendisliği, yalnızca taşıyıcılık veya estetik kaygılarla değil; **malzemenin yaşam döngüsü, çevresel ayak izi ve yeniden kullanılabilirliği** ile de ölçülmektedir. Bu bağlamda, kompozit sistemlerin hafiflik, yüksek dayanım, korozyon direnci ve uzun ömür gibi üstün nitelikleri, hem enerji verimli hem de çevre dostu yapı çözümlerinin temel bileşenleri haline gelmiştir.

Bu eser, mühendislik biliminin çağdaş yönelimlerini izleyerek, kompozit malzemelerin güncel araştırmalardaki yerini ve geleceğin yapı teknolojilerinde üstleneceği stratejik rolü açıklamaktadır. Amacı, yalnızca bilgi aktarmak değil, aynı zamanda yeni fikirlerin, yenilikçi uygulamaların ve disiplinler arası yaklaşımların gelişimine ilham vermektir.

Geleceğin yapıları; dayanıklı, hafif, akıllı ve çevreyle uyumlu olacaksa, bu dönüşümün merkezinde **kompozit malzemelerin mühendislik vizyonu** yer alacaktır. Bu kitap, bu vizyonu bilimsel temellerle destekleyen, uygulamaya dönük bir rehber niteliğinde hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Ayşe ARICI