

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBE ETKİSİ ALTINDAKİ KOMPOZİT PLAKALARIN VİBROAKUSTİK**  
**ANALİZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OĞUZHAN ŞEN**

**HAZİRAN 2019**



**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBE ETKİSİ ALTINDAKİ KOMPOZİT PLAKALARIN VİBROAKUSTİK**  
**ANALİZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oğuzhan ŞEN**

**DANIŞMAN**

**: Doç.Dr. Mehmet YETMEZ**

**ZONGULDAK**  
**Haziran 2019**



**KABUL:**

Oğuzhan ŞEN tarafından hazırlanan “Darbe Etkisi Altındaki Kompozit Plakaların Vibroakustik Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17/06/2019

**Danışman:** Doç. Dr. Mehmet Yetmez

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



**Üye:** Doç. Dr. Kamil Arslan

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



**Üye:** Prof. Dr. Hamdi Alper Özyiğit

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ..../..../20...



Prof. Dr. Ahmet Özarslan  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Oğuzhan ŞEN





## **ÖZET**

**Yüksek Lisans**

### **DARBE ETKİSİ ALTINDAKİ KOMPOZİT PLAKALARIN VİBROAKUSTİK ANALİZİ**

**Oğuzhan ŞEN**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr Mehmet Yetmez**

**Haziran 2019, 41 sayfa**

Kompozit malzemeler, birbirinden farklı iki ya da daha fazla malzemenin bazı özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla bir araya getirilmesi ile imal edilen malzeme türüdür. Kompozit malzemeler gelişmiş özelliklerinden ötürü (düşük yoğunluk, sertlik) günümüzde havacılık, otomotiv ve birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik yük altında kalmış gelişmiş kompozit yapıların dinamik tepkileri önemli bir konudur. Kompozit yapılarda dinamik yük altında oluşan hasar etkisi üzerine bir çok çalışma vardır. Frekans Tepki Fonksiyonunun (Frequency Response Function) (FRF) dinamik çözüm yaklaşımları, kompozit bazlı yapısal tasarımı analiz etmek için yararlı bir metottür. Kompozit malzemelerin dinamik özelliklerinin standardizasyonu için balistik hasar verilmiş düşük frekanslı, yüksek titreşim genlikli kompozit malzemenin incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

## **ÖZET (devam ediyor)**

Bu çalışmada, merkezi hasar görmüş dokuma karbon kompozit panellerin vibroakustik davranışı deneysel olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit malzemeler, Örgülü Kompozit , Vibroakustik, Balistik Hasar, Frekans Tepkisi

**Bilim Kodu:** 625.01.04.



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **VIBROACOUSTIC ANALYSIS OF A POST-IMPACTED COMPOSITE PANEL**

**Oğuzhan Şen**

**Bülent Ecevit University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YETMEZ**

**June 2019, 41 pages**

Composite materials are kind of material that is produced by combining two or more different materials with different properties. Composite materials are widely used today in aerospace, automotive and many other sectors due to their advanced properties (low density, hardness). There are many studies about effect of post-impacted composites in dynamic loading. The dynamic solution approaches of the Frequency Response Function (FRF) are a useful method for analyzing the composite based structural design. For the standardization of the dynamic properties of composite materials, it may necessary to examine the low frequency, high vibration amplitude composite material with ballistic damage.

## **ABSTRACT (continued)**

In this study, the vibro-acoustic behaviour of centrally damaged woven carbon composite panels is investigated experimentally.

**Keywords:** Composite materials, Woven Composite, Vibroacoustic, Ballistic Damage, Frequency Response

**Science Code:** 625.01.04.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında bilgi ve birikimleri ile bana yol gösteren, yardımları ve desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Mehmet YETMEZ'e ve deneylerimde yardımcı olan, tez yazım aşamasında da her daim destek olan Araştırma Görevlisi Utku UZUN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında daima beni motive eden arkadaşım Aslan Kahraman ERHAL'a ve eğitimim süresince çalışma saatlerimde esnek davranan, maddi-manevi desteğini esirgemeyen Müjdat AKCA başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak yaşamımın her anında yanımda olan, güçlerini her zaman yüreğimde hissettiğim aileme ; başta annem Saima ŞEN olmak üzere sırasıyla Burcu EREN , Tarık Buğra ŞEN , Hande ŞEN AKÇA ve Dilara ŞEN'e teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 KOMPOZİT MALZEMELER .....	5
2.1 GENEL BİLGİLER .....	5
2.2 TAKVİYE ELEMANINA GÖRE KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI .....	7
2.2.1 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	7
2.2.1.1 Cam Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler (GFRP) .....	8
2.2.1.2 Aramid Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	10
2.2.1.3 Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler (CRFP) .....	11
2.2.2 Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	13
2.2.3 Tekstil Takviyeli Kompozit Malzemeler .....	13
2.2.4 Tabakalı Kompozit Malzemeler .....	16
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	19
3.1 DENEY DÜZENİĞİ VE KULLANILAN MALZEMELER .....	19
3.1.1 Deney Düzeniği .....	19

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
3.1.2 Denede Kullanılan Numuneler .....	25
3.1.3 Denede Kullanılan Numunelerin Balistik Test Sonuçları.....	28
3.2. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ .....	29
3.2.1 Kaynak Odasında Yapılan Ölçümler .....	29
3.2.2 Toplama Odasında Yapılan Ölçümler .....	30
BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARI.....	31
BÖLÜM 5 YORUMLAR VE DEĞERLENDİRMELER .....	37
KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	41



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Kompozit malzemelerin Türkiye, Avrupa ve Dünya genelinde sektörlere göre kullanım alanları ve kullanım oranları. ....	1
Şekil 2.1 Mühendislik malzemelerinin yoğunluk-çekme mukavemeti ilişkisi (URL-1). ....	6
Şekil 2.2 Fiberlerin matris içerisinde dağılımı. ....	7
Şekil 2.3 Aramid takviyeli fiber kesiti (URL-2). ....	10
Şekil 2.4 Grafitin kristal yapısı (Bagherpour 2015). ....	12
Şekil 2.5 Matris içerisinde partiküllerin dağılımı ....	13
Şekil 3.1 Deney Düzeneği. ....	20
Şekil 3.2 Deney düzeneği açık görünüm. ....	21
Şekil 3.3 Kapalı deney düzeneği ve desibel metrenin deney düzeneğinde görünümü. ....	21
Şekil 3.4 Mikrofon. ....	22
Şekil 3.5 İvmeölçer. ....	22
Şekil 3.6 Desibelmetre. ....	23
Şekil 3.7 Alüminyum plakanın teknik çizimi. ....	24
Şekil 3.8 Hoparlör. ....	25
Şekil 3.9 1 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	26
Şekil 3.10 2 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	26
Şekil 3.11 3 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	27
Şekil 3.12 4 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	27
Şekil 3.13 5 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	28
Şekil 3.14 6 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm. ....	28
Şekil 4.1 Testlerde kullanılan mermilerin balistik darbe enerjisi değişimi. ....	31
Şekil 4.2 Kaynak Odası ve Toplama Odası Arasındaki Ses Basıncı Oranları. ....	32
Şekil 4.3 Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2 $w/w_0$ verileri oranı. ....	34
Şekil 4.4 Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2 $H/H_0$ verileri oranı. ....	35
Şekil 4.5 Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2 $\zeta/\zeta_0$ verileri oranı. ....	35
Şekil 4.6 İvme ölçerden alınan Mod:1 ve Mod:2 $w/w_0$ değerleri. ....	36



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Cam fiberler tipleri ve bu tipleri oluşturan katkı malzemelerinin kompozisyonları.....	9
Çizelge 2.2 Aramidlerin mekanik özellikleri. ....	11
Çizelge 2.3 CRFP ye ait mekanik özellikler .....	12
Çizelge 2.4 Elyaf yapısına göre tekstil kompozitlerinin sınıflandırılması. ....	14
Çizelge 2.5 Tekstil kompozitlerinin enine ve boyuna sınıflandırılması. ....	15
Çizelge 2.6 Tekstil önşekillerinin kumaş oluşum teknolojisine göre sınıflandırılması.....	16
Çizelge 2.7 Honeycomb yapısı ve çekirdek çeşitleri; a) Köpük, b) Honeycomb, c) Dalgalı .....	17
Çizelge 3.1 9x 19 mm mermi tipine göre teknik veriler. ....	29
Çizelge 3.2 Desibelmetreden alınan kaynak odası ses basıncı değerleri. ....	30
Çizelge 3.3 Mikrofondan alınan mod:1 değerleri.....	33
Çizelge 3.4 Mikrofondan alınan mod:2 değerleri.....	33
Çizelge 3.5 İvme ölçerden alınan mod:1 ve mod:2 değerleri .....	34



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

C	: Santigrat
cm	: Santimetre
cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
cos	: Cosinüs
dB	: Desibel
F	: Fahrenayt
f	: Frekans
g	: Gram
GPa	: Gigapascal
Hz	: Hertz
i	: İmajiner
in.	: İnç
J	: Joule
k	: Rijitlik matrisi
Kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
L	: Uzunluk
m	: Kütle
m	: Metre
m <sup>3</sup>	: Metreküp

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

mm	: Milimetre
mm <sup>2</sup>	: Milimetrekare
MPa	: Megapascal
N	: Newton
P	: Basınç
P	: Pascal
sin	: Sinüs
t	: Kalınlık
T	: Sıcaklık
T	: Periyod
u	: Deplasman
w	: Genişlik
ξ	: Sönüm oranı
σ	: Sigma
ω	: Açısal frekans
°	: Derece

## KISALTMALAR

<b>CFRP</b>	: Karbon Fiber Takviyeli Polimerler
<b>CMC</b>	: Seramik Matrisli Kompozitler
<b>Damp. Rat.</b>	: Sönüm Oranı
<b>DMA</b>	: Dinamik Mekanik Analiz
<b>F.A.A.</b>	: Federal Aviation Administration

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)**

<b>GFRP</b>	: Cam Fiber Takviyeli Polimerler
<b>HM</b>	: Yüksek Modüllü
<b>HT</b>	: Düşük Modüllü ve Yüksek Mukavemetli
<b>HTT</b>	: Yüksek Sıcaklıkda Isıl İşleme Tabi Tutulmuş
<b>IHT</b>	: Orta dereceli sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulmuş
<b>IM</b>	: Orta Dereceli Modüllü
<b>MMC</b>	: Metal Matrisli kompozitler
<b>PAN</b>	: Poliakrilonitril
<b>PMC</b>	: Polimer Matrisli Kompozitler
<b>SDOF</b>	: Tek Serbestlik Dereceli
<b>SPL</b>	: Ses Basınç Seviyesi
<b>UD</b>	: Hasarsız
<b>2D</b>	: İki Boyutlu
<b>3D</b>	: Üç Boyutlu

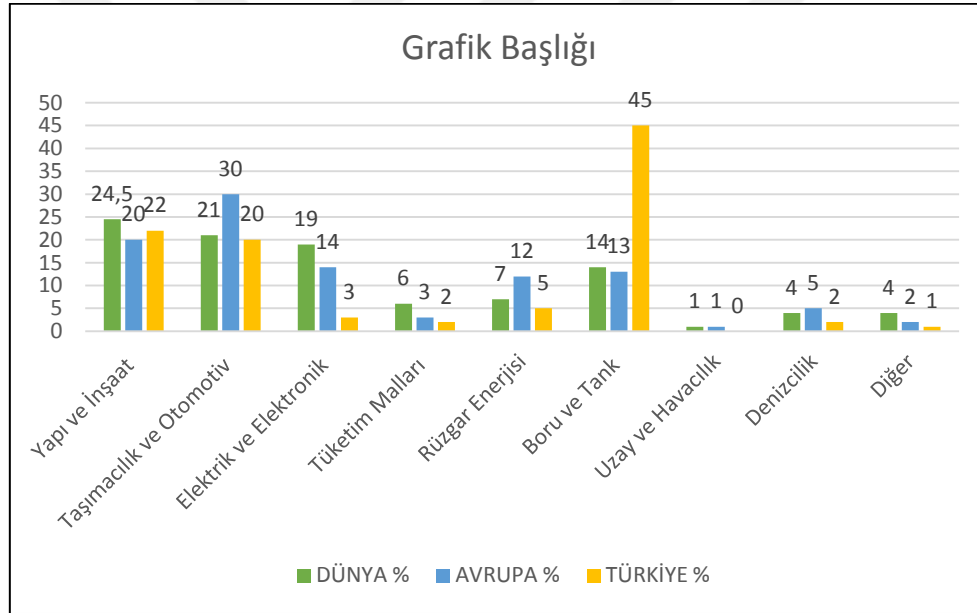




## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Kompozit malzemeler gelişmiş özelliklerinden dolayı birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin dezavantajlarından olan üretim maliyetleri teknolojinin gelişmesiyle birlikte düşürülmüş, ülkemiz ve dünya genelinde üretim alanındaki pazar payı belirgin bir şekilde artmıştır. Türkiye, Avrupa ve dünya genelinde kompozitlerin sektörlere göre kullanım oranları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 1.1** Kompozit malzemelerin Türkiye, Avrupa ve Dünya genelinde sektörlere göre kullanım alanları ve kullanım oranları.

Kompozit malzemeler havacılık, savunma, otomotiv ve sektörlerde aşınma, ısınma, burulma, yorulma gibi bir çok etkiye maruz kalırlar. Kompozit malzemelerin kullanım alanlarından dolayı geçmişte yapılan çalışmalar ağırlık olarak düşük hız darbe etkisi üzerinedir. Teknolojinin gelişmesi ve kompozit malzemelerinin kullanım alanlarının artmasından dolayı yüksek hızlı darbe etkisi ve Kompozit panellerde vibroakustik davranışları temel alan çalışmalara ihtiyaç duyulmuş ve bu konuların araştırılması hakkında pek çok akademik çalışma yapılmıştır.

Nilakantan ve Tabiei, iki farklı kalınlıkta imal edilen cam/epoksi kompozit plakalara 447 m/s ve 861 m/s hızlarda tek aşamalı bir gaz fişegiyle hasar vererek, hasara uğrayan kompozit plakaların balistik sonuçlarını incelemiştir. İnce plakalar 16 katmanlı tek yönlü tabakadan üretilirken, kalın plakalar 50 katmanlı katmanlı tek yönlü plakadan üretilmiştir. Düşük hızda atılan mermi kalın plakalardan sekerken küçük delaminasyonlar oluşmuştur. Yüksek hızda atılan mermi kalın plakalarda delaminasyonlara sebebiyet vermiştir. Her iki atış hızında da ince plakalarda delinmeler gözlenmiştir. Bu deneylerin sonucunda mermi hızının artışıyla plakayı oluşturan tabakalar arasında kayma gerilmesinin arttığını ve katmanlanların etkinliğinin azaldığını göstermiştir ( Nilakantan ve Tabiei 2008).

Onal ve Adanur, farklı katman ve farklı hibrit yapılarına sahip aynı hacimdeki dikişli kompozit malzemeleri test ederek düşük hızda darbe etkilerini ve dizin yığın etkisini incelemiştir. Karbon takviyeli yapılardaki cam fiber özellikleri darbeye karşı geliştirilmiş ve hasara sebep olan gerilmeler arttırılmıştır. Yapılan deney sonucunda hata mekanizmalarının takviye malzemesinin özelliklerinden etkilendiği görülmüştür. (Onal ve Adanur 2002)

Dziedziech vd., dokuma kompozitlerinde geleneksel olmayan modal analiz (FRF) yöntemiyle analiz yapmıştır. Yapılan bu analiz sonucunda kompozit malzemelerde yapısal sertliğin azaltılması, etki hasarı ve çatlak tespiti gibi klasik analiz yöntemleri ile tespiti mümkün olmayan ya da çok zor olan problemleri FRF ile analiz etmişlerdir. (Dziedziech vd, 2016)

Gibson R, fiber takviyeli kompozit malzemelerin ve yapıların mekanik özelliklerini tanımlamak, hızlı ve doğru bir şekilde belirlemek için modal titreşim-tepki ölçümleri üzerinde çalışmıştır. Kompozitlerin ve bileşenlerinin çeşitli çevresel koşullar altında elastik modüllerini ve sönümlenme faktörlerini belirlemek için tek bir modda veya çoklu titreşim modlarında

modal testin kullanılabilceği gösterilmiştir. Kullanıma göre modal test tahrik edici uyarma yöntemlerinin yalnızca içsel malzeme özelliklerinin karakterizasyonu için değil, aynı zamanda kalite kontrol ve inceleme için de hızlı ve doğru bir yaklaşım olma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Bu tür ölçümler, kompozitlerin küresel elastik sabitlerini, takviye edici uteritlerin kompozitler içindeki dağılımı, kompozitlerin zaman-alan sünme tepkisi, kompozitlerin ve bunların bileşenlerinin yüksek sıcaklık davranışları, interlaminar kırılma tokluğunu karakterize etmek için kullanılmıştır (Gibson R, 2000 ).

Turner vd., dikdörtgen ortogonal 3D örgülü kompozitleri  $60 \text{ m/s} \leq V_0 \leq 190 \text{ m/s}$  hızları arasında balistik etkiye maruz bırakarak malzeme içindeki hasar mekanizmasını ve kompozit malzemeleri kalınlaştırarak güçlendirmenin bu mekanizmaya etkisini incelemiştir. Deneysel çalışma amacıyla aynı mermi ile üç farklı atış mesafesinde kompozit parçanın merkezine hasar verilmiştir. Hasara uğrayan bu parçalar ; Düşük hız etkisi  $V_0 \leq 110 \text{ m/s}$  , Orta hız etkisi  $110 \text{ m/s} \leq V_0 \leq 190 \text{ m/s}$  ve balistik sonuçlar için  $V_0 \geq 190 \text{ m/s}$ . Olmak üzere üç farklı koşul için incelemiştir. Bu deney sonuçları sonlu elemanlar (FE) simülasyonu ile analiz edilmiştir. (Turner vd. 2017).

Naik vd., iki boyutlu (2D) dokuma kumaş kompozitlerin balistik etki davranışları üzerine çalışmıştır. Balistik darbe genellikle itici bir kaynaktan kaynaklanan düşük kütleli, yüksek hızlı bir etkidir. Sunulan analitik yöntem dalga teorisine dayanmaktadır. Balistik etki sırasında farklı hasar ve enerji emici mekanizmalar belirlenmiştir. Bunlar hedefin arka yüzünde koni oluşumu, primer ipliklerde gerginlik, sekonder ipliklerin deformasyonu, delaminasyon, matris çatlaması, kesme tıkaması ve penetrasyon sırasında sürtünmedir. Her bir enerji emme mekanizması için analitik formülasyon sunulmuştur. Her zaman aralığında emilen enerji ve merminin hızındaki ilgili azalma belirlenmiştir. Çözüm, yüksek gerilme hızında hedef malzeme özelliklerine, geometri ve mermi parametrelerine dayanmaktadır. Tipik dokuma kumaş kompozitler için analitik formülasyon, balistik limit, balistik limitte temas süresi, oluşan koninin yüzey yarıçapı ve hasarlı bölgenin yarıçapı kullanılarak tahmin edilmiştir (Naik vd. 2005).



## BÖLÜM 2

### KOMPOZİT MALZEMELER

#### 2.1 GENEL BİLGİLER

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin, daha iyi özelliklere sahip farklı bir malzeme üretmek amacıyla bir araya getirme işlemidir. Doğal olarak meydana gelen kompozitlerin aksine yapay olarak üretilen kompozit malzemeler çok fazlıdır. Kompozit yapıyı oluşturan fazlar kimyasal olarak birbirinden farklı bir arayüzle ayrılmıştır (Callister 2013).

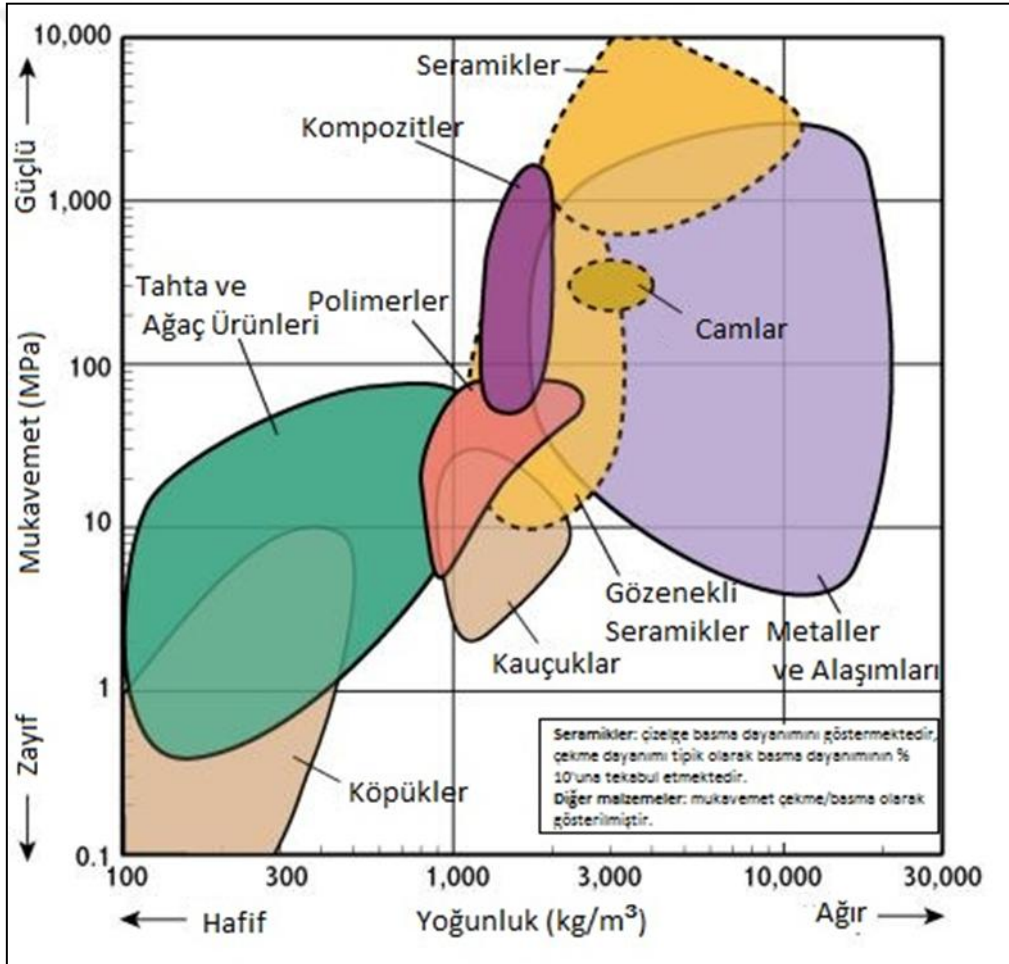
Kompozit malzemeler genel olarak iki bileşenden oluşur, bileşenler matris ve takviye malzeme olarak ikiye ayrılır. Kompozit malzemelerin özellikleri; bileşenlerin özelliklerine, geometrilerine ve dağılımına bağlıdır. Kaba malzemeler ile kıyaslandığında kompozitlerin avantajları genel olarak; düşük yoğunluk ile kombine edilmiş yüksek mukavemet ve ağırlığın azaltılması olarak gösterilebilir (Campbell 2010).

Kompozit malzemelerin diğer malzeme türlerine göre daha yüksek mukavemet, tokluk, sertlik değerleri yüksektir. Aynı zamanda sürünme, korozyon, aşınma veya yorulmaya karşı daha yüksek bir direnç gösterirler. Kompozit malzemeler uygun bir bileşenle bir araya geldiğinde ile termal, elektriksel, optik özelliklere sahip bir bileşik de elde edilebilir. Kompozit malzemelerin dezavantajı, geleneksel malzemelere kıyasla, işlemesi zordur ve nispeten daha pahalıdır (Ostrava 2015).

Kompozit malzemeler çeşitli fazlarla ve oranlarda bulunan takviye fazı ve hacimsel olarak takviye fazından daha büyük olan ve takviye fazını çevreleyen matris malzemedan oluşmaktadır.

Takviye fazı kompozit malzemenin mukavemet özelliklerini ve yük taşıma özelliğini belirler. Matriks ise yük altında kalan kompozit malzemenin plastik deformasyona geçiş sürecinde meydana gelebilecek çatlakları önleyici rolüyle kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matriks malzemenin diğer rolü ise yük altında kalan kompozit malzemede bulunan fibeleri bir arada tutarak, kompozit malzemeye uygulanan yükü liflere eşit şekilde dağıtmaktır.

Kompozit malzemeler diğer mühendislik malzemelerine göre düşük yoğunlukta olmalarına rağmen mukavemetleri düşük değildir. Şekil 2.1 de mühendislik malzemelerinin yoğunluk-çekme mukavemet ilişkisi verilmiştir.



Şekil 2.1 Mühendislik malzemelerinin yoğunluk-çekme mukavemeti ilişkisi (URL-1).

Fiberler, kompozit malzemelerde yük taşıyıcı görevindedirler. Süreksiz fiber takviyeli kompozit malzemelerde matris içinde bulunan fiberler rastgele dağılmış şekildedir. Sürekli

fiber takviyeli kompozitlerde fiberler istenilen yönde dizilir. Matris içinde bulunan fiberlerin çapı küçüldükçe dayanımları ve elastiseleri artar, küçük çaplı fiberlerin fabrikasyon işlemleri daha kolaydır fakat fiber çapı küçüldüğünde kompozitin maliyeti artar (Uzun 2017).

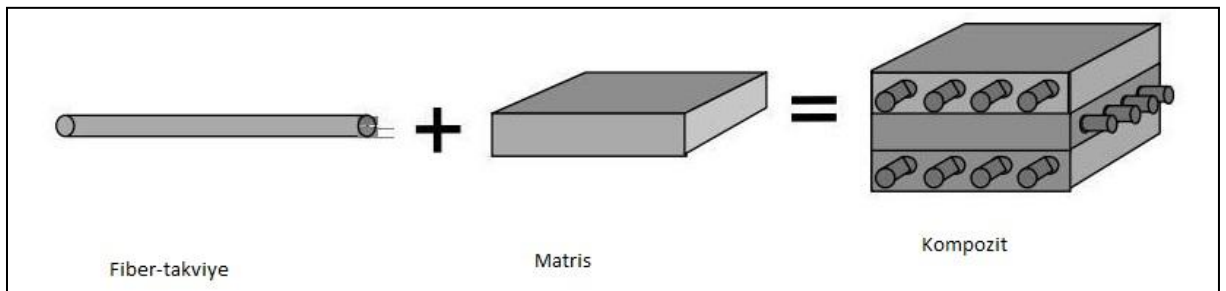
## 2.2 TAKVİYE ELEMANINA GÖRE KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

KompozitTakviye elemanına göre kompozit malzemeler dört başlık altında incelenebilir.

1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler
2. Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler
3. Tekstil Takviyeli Kompozit Malzemeler
4. Tabakalı Kompozit Malzemeler

### 2.2.1 Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Fiber takviyeli kompozitler (FRC), matris içerisine aksel yerleştirilmiş parçacıklardan oluşur.Fiber malzemenin boyları çaplarına göre büyüktür. Fiberlerin matris içersine yerleşimi ise bulunduğu kompozit malzemenin mukavemetini belirler. Fiberler matris içerisine paralel yerleştirildiğinde fiberlerin doğrultusunda mukavemet değeri oldukça yüksekken, fiberlere dik gelen açıda mukavevet değeri düşüktür. Fiberler matris içerisinde iki boyutta (2D) yerleştirilebilir.Bu sayede her iki yönde de aynı dayanıma sahip izotop bir yapı oluşturmak mümkündür.



Şekil 2.2 Fiberlerin matris içerisinde dağılımı.

Fiberin kompozit yapıya mukavemet kazandırması için matris yapıyı sarması gerekir. Fiberin matris yapıyı sarmasına ıslanma denir.Matrisin saracağı belli bir fiber eşik değeri vardır. Bu

sınır aşıldığında matris fiberi sarmaz ve ıslanma problemi ortaya çıkar buna bağlı olarak kompozit yapının mukavemet değeri düşer (Demirel 2007).

### **2.2.1.1 Cam Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler (GFRP)**

Cam fiberler E-cam, S-cam ve C-cam olmak üzere üç ana grupta incelenirler. E-cam fiberler elektriksel kullanım için, S-cam fiberler ise yüksek mukavemet için tasarlanmıştır. C-cam fiberler ise yüksek korozyon direncine sahiptir. Endüstride en yoğun kullanılan cam tipi E-cam dır.E-cam üretiminde hammadde olarak kum kullanılır. Üretim maliyeti düşüktür. Matris içerisinde bulunan fiberlerin çapı  $2 \times 10^{-6}$  m ile  $13 \times 10^{-6}$  m arasındadır. Çalışma koşullarında sıcaklığın artmasıyla fiberlerde uzama ya da kısılma meydana gelir. Matris tarafından sarılan fiberler anizotropik kabul edilir. Fiberlerin termal genleşme katsayıları çelikten daha düşüktür (Bagherpour 2015).

Yaygın olarak kullanılmayan Cam fiber takviyeli kompozitler vardır.

\* A-Cam: E-Cam'ın yüksek mukavemet ve elektrik iletkenliğine ihtiyaç duyulmayan yerlerde kullanılır.

\*D-Cam: Dialektrik sabiti düşüktür. Elektrik uygulamalarında kullanılır.

\*ECR-Cam: Ağırlıkça % 2 maksimum alkali içeriğine sahip kalsiyum alümino silikat camları,mukavemet, elektriksel direnç ve asit korozyon direncinin istendiği durumlarda kullanılır.

\*AR-Cam : Alkali zirkonyum silikatlardan üretilir. Alkali direnci yüksek camlardır.

\*R-Cam: Kalsiyum alüminosilikattan imal edilir. Asit direnci ve dayanımı yüksek camlardır.

\*S2-Cam:Sıcaklık ve aşınma dirençleri yüksektir. Tekstil sektöründe kullanılır (Bagherpour 2015).



Cam elyafları, FRP'lerin yaklaşık % 90'ı ile en yaygın kullanılan polimer takviyelerinden biridir.Çeşitli ticari ürünleri üretiminde ihtiyaçtan dolayı sürekli olarak gelişmiştir ( Journal of Material Sciences & Engineering).

Tsuda vd, cam fiber takviteli kompozitlerin aşınma mekanizmalarını ve kum erozyon dirençleri üzerine çalışma yapmıştır. Fiber takviyeli kompozitlerin (FRP) erozyon davranışının cam fiber içeriği arttığında sünek davranıştan gevrek davranışa geçtiği gözlemlenmiştir. Düşük hız ve yüksek hızda çarpma deneyleri yapılmış, düşük hızlı deneylerde FRP nin matrise göre daha dirençli olduğu belirlenmiştir (Tsuda vd, 2015).

**Çizelge 2.1** Cam fiberler tipleri ve bu tipleri oluşturan katkı malzemelerinin kompozisyonları (Eker, 2008).

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°C.10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
<b>Katkı malzemeleri (%)</b>				
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.4	52.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	0.3

Yukarıda belirtilen tablodan da görüleceği üzere Cam fiber takviyeli kompozitlerde ana katkı maddesi SiO<sub>2</sub> dir. S-Cam tipinin mekanik değerleri diğer cam tiplerine oranla daha yüksek olmasına rağmen üretimi maliyetli olduğu için yaygın olarak kullanılmazlar. C-tipi camların korozyon direnci yüksek olduğu için genellikle yüzey uygulamalarında kullanılırlar (Uzun 2017).

### 2.2.1.2 Aramid Takviyeli Kompozit Malzemeler

Aramid ‘‘aromatik polyamid’’in kısıltılmış adıdır .Aramid takviyeli kompozitler, GFRP ye göre daha hafif ve daha rijittir. GFRP dışında diğer kompozit türlerine göre ucuzdur. Aramidler piyasada Kevlar olarak adlandırılırlar.Aramid takviye elemanının nem tutma ve basma dayanımı düşüktür. Havacılık ve uzay sanyisinde yapılan çalışmalarında karbon fiber takviyesi ile hibrit yapılar elde edilerek basma dayanımı iyileştirilmektedir (Öztürk 2015).

Aramid takviyeli kompozitlerin belirli gelişmiş özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- \*Hafiftirler.
- \*Kimyasal reaksiyona girme eğilimleri azdır.
- \*Termal genleşme katsayıları düşüktür.
- \*Darbe dayanımları yüksektir.
- \*Yanmaya karşı dirençleri yüksektir.
- \*Tekstil işlenebilirliği yüksektir.
- \*Elastise modülleri yüksektir.
- \*Kopma noktasına kadar uzama miktarı düşüktür (Patterson vd, 2018).



Şekil 2.3 Aramid takviyeli fiber kesiti (URL-2).

Aramid takviyeli kompozitlerin bir çok tipi olsa da en yaygın kullanılan aramidler Kevlar 29, Kevlar 49 ve Kevlar 149 dur. Bu aramidlerin mekanik özellikleri Çizelge 2.2 de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.2** Aramidlerin mekanik özellikleri (Bagherpour 2016).

Kevlar tipi	Gerilme Dayanımı (MPa)	Elastise Modülü (GPa)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Kevlar 29	2920	83-100	1.43
Kevlar 49	3000	124	1.44
Kevlar 149	3450	143	1.47

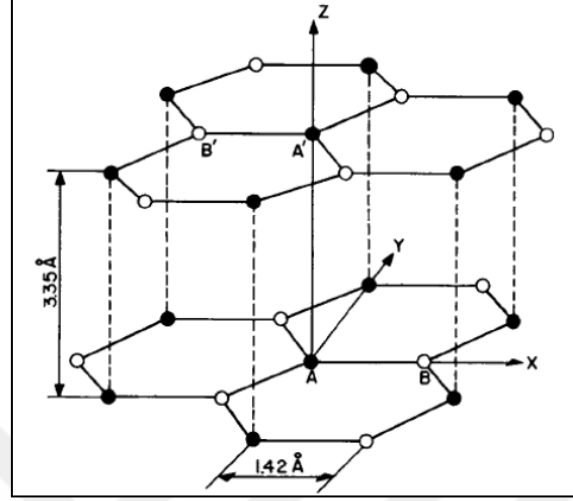
### 2.2.1.3 Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler (CRFP)

Karbon fiber takviyeli kompozitleri önemli kılan özelliği hafif olmasının yanında dayanımının yüksek olmasıdır. Karbon fiber kompozitleri karbonun elektrik iletkenliğinin çok yüksek olduğu bilindiğinden dolayı üretilmiştir. Karbon fiberin cam fibere göre daha hafif ve mukavemeti yüksek olmasına karşılık üretim maliyetleri yüksektir. Cam fiber takviye elemanı yüksek ısıya maruz bırakıldığında fiberler karbonlaşır, karbon hale gelmiş bu fiberlere grafit fiberi denir. Karbon fiber üretim maliyetleri yüksek olduğundan günümüzde havacılık, uzay, otomotiv gibi yüksek değerli uygulamalarda kullanılmaktadır (Demirel 2007).

Karbon fiber takviyeli kompozitlerde grafit oranı %0 ile %100 arasında değişmektedir. Grafit oranı yüksek olan yapılar günümüzde grafit şeklinde adlandırılırlar. Grafit whiskerları tek karbonlu kristal yapıdadır. Kristal yapılı olması grafitte yüksek mukavemet özelliği kazandırır (Bagherpour 2016).

Karbon fiberler günümüzde zift veya poliakrilonitril (PAN) kullanılarak üretilir. Yoğunluğu 2.268 g/cm<sup>3</sup> altında olan Kristal yapıda malzemeye karbon denir. Karbon ve grafit; Selüloz, PAN ve zift gibi doğal hammaddelerden üretilir. Selüloz düşük modüllü fiberlerde

kullanılır.Selüloz 1000°C- 3000°C arasında ısıtılarak çekme kuvveti uygulanır. Bu şekilde fiber tokluk ve mukavemet kazanır. Selüloz yüksek maliyetleri nedeniyle pek sık kullanılmaz (Demirel 2007).



Şekil 2.4 Grafitin kristal yapısı (Bagherpour 2015).

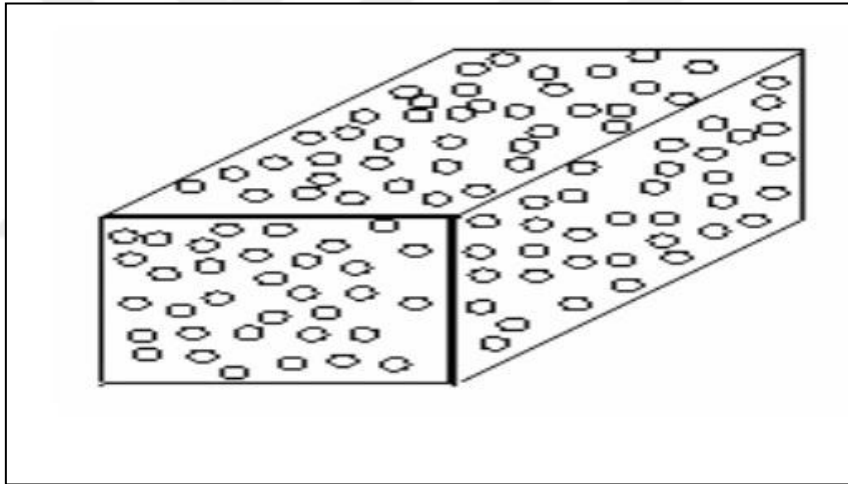
Fiber üretiminde en çok kullanılan hammadde PAN'dır. Pan ile üretilen fiberlerde çekme mukavemeti 2413 MPa ile 3102 MPa arasında değişmektedir ve üretim maliyetleri Selüloz'a göre düşüktür. Karbon üretiminde kullanılan mali olarak en düşük hammadde Zift'tir.Ziftin mekanik özellikleri PAN'a göre düşüktür. Bu sebepten ötürü yapısal bazlı uygulamalarda tercih edilmezler. CRFP ye ait mekanik özellikler Çizelge 2.3 te verilmiştir.

Çizelge 2.3 CRFP ye ait mekanik özellikler (Bagherpour 2016).

Fiberler	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Elastise Modülü (GPa)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Karbon, HS	2413	230	1.8
Karbon, HM	1790	370	1.9
Karbon,UHM	1030-1310	520-620	2.0-2.1

### 2.2.2 Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Fiber ve partikül takviyeli kompozit malzemeler, mekanik ve fiziksel özellikleri nedeniyle uçaklar, robotlar, tenis racketleri, bisikletler, imalat makineleri vb. gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiber ve parçacık takviyeli kompozit malzemelerde, Fiberler / parçacıklar bir yük taşıma aracı olarak işlev görür ve özellikleri yine izotropiktir. Parçacıkların en iyi özelliklerinden yararlanmak ve zayıf özelliklerini en aza indirmek için iki ya da daha fazla faz bir arada kullanılır. Kompozit bileşenler, filament sarımı, elle yerleştirme, karıştırma işlemi, vb. gibi çeşitli yöntemlerle imal edilir. Bu kompozitler metal, seramik ve polimerlerin bir araya getirilmesi ile imal edilebilirler. Beton partikül takviyeli kompozitlerin en yaygın bilinen ürünüdür. Oluşturulan yapının mukavemeti parçaların sertliğine bağlıdır. Metal matris içinde seramik matris içeren yapıların (cermet), sertlikleri ve yüksek sıcaklık dirençleri yüksektir.



Şekil 2.5 Matris içerisinde partiküllerin dağılımı

### 2.2.3 Tekstil Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tekstil kompozitleri, matris malzemesi ile elyaf, iplik ya da kumaş gibi tekstil takviye elemanlarının makro boyutta bir araya getirilmesi ile oluşan kompozit yapılara denir. Bu yapılardaki tekstil takviyesi boyutsal dayanımı ve stabiliteyi sağlamaktadır

Tekstil kompozitleri 1960 larda kullanılmaya başlanmış ve günümüzde kullanılmaya devam etmektedir. Bu yapıların kullanılmasındaki en büyük etken; düşük yoğunlukları, yüksek dayanımları ve yüksek enerji depolama kapasiteleridir. Yorulmaya karşı gösterdikleri direnç

yüksektir. Tekstil kompozitlerinin ilk üretim yıllarında tek yönlü lifler ve matrisin bir araya getirilmesi ile elde edilen tabakaların birleşimi ile kompozit yapılar oluşturulurdu ve bu yapılarda sertlik ve dayanımları zayıftı. Tekstil kompozitlerinde görülen istenmeyen sonuçlar üzerine yapılan çalışmalar sonucunda tabakalar kullanılarak çok yönlü kompozit yapılar üretilmiş ve 2D kompozitler kullanılmaya başlanmış, dayanım ve sertlik konularındaki zayıflıklar giderilmiştir (Alpyıldız 2010).

**Çizelge 2.4** Elyaf yapısına göre tekstil kompozitlerinin sınıflandırılması (Chou ve Ko 1989).

Seviye	Takviye Yapısı	Tekstil Yapısı	Elyaf Boyu	Elyaf Oryantasyonu	Elyaf Bütünlüğü
1	Süreksiz	Kesikli elyaf	Kesikli	Kontrol dışı	Yok
2	Doğrusal	Filament iplik	Sürekli	Doğrusal	Yok
3	Düzlemsel	Basit kumaş	Sürekli	Düzlemsel	Düzlemsel
4	Karmaşık	Geliştirilmiş kumaş	Sürekli	3 boyutlu	3 boyutlu

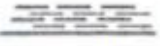


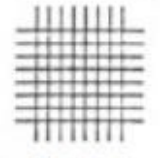
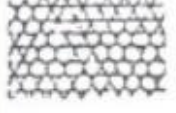



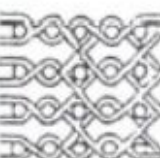



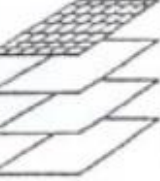
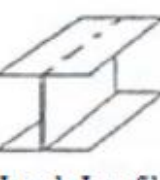

Çizelge 2.4' e göre ele aldığımızda takviye yapısına göre tekstil kompozitlerini 4 ana başlık altında inceleyebiliriz.

Süreksiz elyaf takviyeli kompozitler dokusuz yüzey gibi malzeme sürekliliği olmayan ve elyaf yerleşim kontrolü yapılamayan kompozit yapıları tanımlamak için kullanılır. Doğrusal elyaf takviyeli kompozitleri sürekli filament ya da tek yönlü (undirectional) yapılar oluşturmaktadır. Tekstil yapısından ötürü elyaf sürekliliği ve doğrusallık açısından en gelişmiş olan yapı budur. Bu yapıdaki en büyük dezavantaj ise düzlem içi ve düzlem dışı lif yerleşimi olmamasından ötürü plaka ya da plakalar arasındaki bağ oldukça zayıftır (Adanur vd, 1995 ).

Düzlemsel elyaf takviyeli kompozitlerde tabakalar arası zayıflıklar giderilmiştir fakat kumaş kalınlığı doğrultusunda lif yerleştirilemediğinden tabaka içi zayıflıklar mevcuttur.

Takviye yapısı karışık olan tanımlanan yapıda ise elyaflar düzlem içi ve düzlemler arası istenilen doğrultuda yerleştirilebilir. 3D dokuma, örme ve dokusuz yüzey yapılar bu kategoride sınıflandırılmaktadır.

**Çizelge 2.5** Tekstil kompozitlerinin enine ve boyuna sınıflandırılması (Adanur vd, 1995).

Eksen Boyut		0	1	2	3	4
		Eksenel olmayan	Tek eksenli	İki eksenli	Üç eksenli	Çok eksenli
1'D			 Fıtlı - iplik			
	2 D	 Dokusuz yüzey	 Prepeg tabaka	 Düz örgü (dokuma)	 3 eksenli örgü (dokuma)	 Çok eksenli örgü (örme, dokuma)
3 D	Doğrusal eleman		 3D saç örgüsü	 Çift katlı örgü	 3 eksenli 3D örgü	 Çok eksenli 3D örgü (4)-n, 12)-14)
	Düzlemsel eleman		 Tabaka tipi	 H ya da I profil	 Bal peteği tipi	

**Çizelge 2.6** Tekstil önşekillerinin kumaş oluşum teknolojisine göre sınıflandırılması

İplikten kumaş üretim metotları	Yapı içerisinde ipliğin temel yönü	Temel oluşum teknolojisi
Dokuma	İki ( $0^\circ / 90^\circ$ )	$0^\circ$ lik iplik sisteminin $90^\circ$ lik iplik sistemi arasına yerleştirilmesi
Saç örgüsü	Bir (makine yönü )	İpliklerin birbiri etrafında örülmesi (pozisyon değiştirerek)
Örme	Bir ( $0^\circ$ ya da $90^\circ$ )	Sıra ya da çubuk doğrultusunda ilmek oluşturulması
Dokusuz yüzey	Üç ya da daha fazla (Ortogonal)	Karmaşık elyaf yerleştirimi

Çizelgelerden de anlaşılacağı gibi tekstil takviyeli kompozitlerde kullanılan tekstil yapıları lifler, iplikler, kumaşlar ve dokusuz yüzeylerdir.

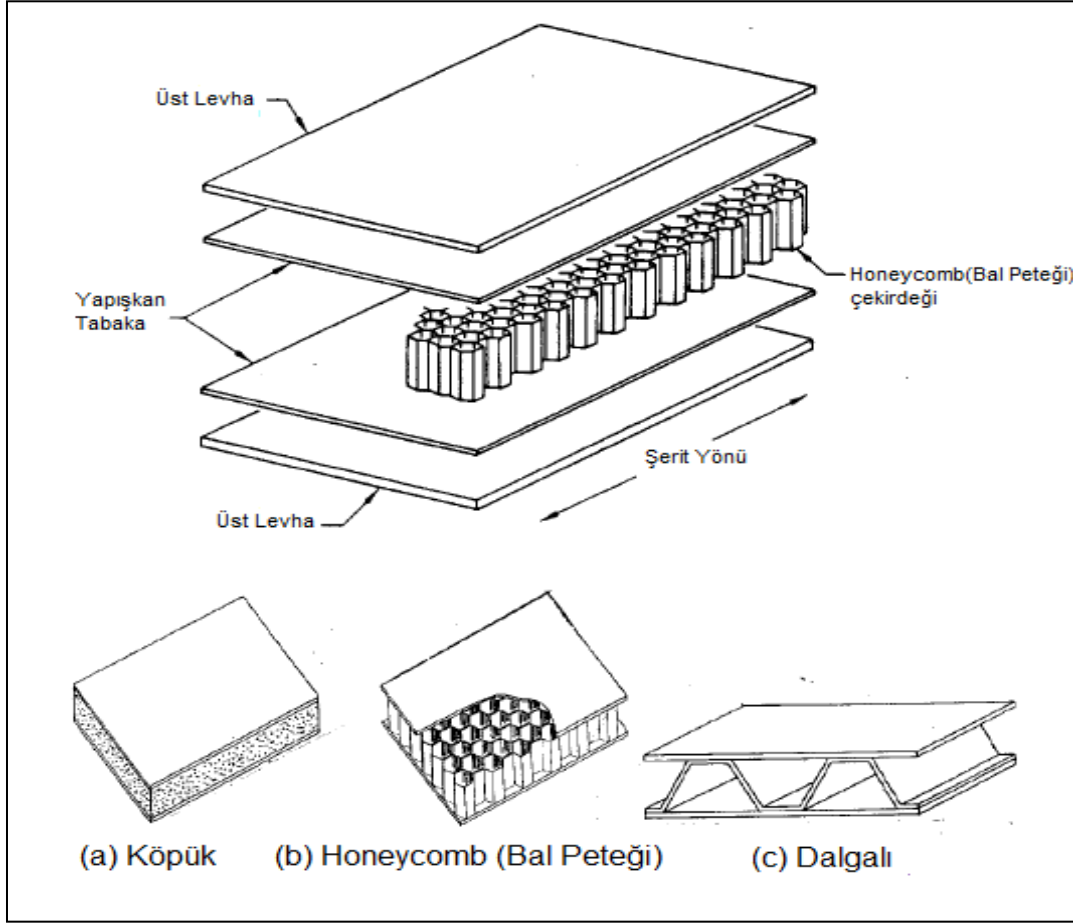
#### **2.2.4 Tabakalı Kompozit Malzemeler**

En az iki farklı levha malzemenin tabakalar halinde dizilmesi ile oluşturulan kompozit yapılar tabakalı kompozitleri oluşturur ayrıca tabakaların her biri bağımsız olarak kompozit yapıdadır. Yapıyı oluşturan levhalar aynı malzemedен üretileceği gibi ihtiyaca göre farklı malzemedен de oluşabilir.Yapısına göre tabakalı kompozit malzemeler iki grupta incelenebilir.

1-Farklı malzemelerden oluşan tabakalı kompozit malzemeler 2-Tek tür malzemedен oluşan tabakalı kompozit malzemeler.



**Çizelge 2.7** Honeycomb yapısı ve çekirdek çeşitleri; a) Köpük, b) Honeycomb, c) Dalgalı (Uzun 2017).



Kompozit malzemeler ele alındığında bilinen en eski yapıdır. Tabakalı kompozitlerin tasarım, üretim ve kontrolü diğer kompozit yapılara göre oldukça kolaydır. İhtiyaçlara göre birden fazla tabaka ile (dayanım, sertlik, ısıl direnç vb.) dizayn edilebilir. Bu yapılara aynı zamanda sandviç kompozitleride denir (Kara 2006 ).

Sandviç kompozitler mukavemet-ağırlık oranına göre ideal malzeme olduklarından uçak, füze ve uzay araçları gibi geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Şekil 2.6 da gösterildiği gibi yoğunluğu düşük kalın tabaka ile ayrılmış metalik ya da fiber malzemelerden oluşan güçlü tabakalardan oluşur.

Sandviç kompozitler mekanik ve sonik yorulmalara karşı gösterdikleri direnç yüksektir, darbelerle karşı dayanımları iyidir ve termal özellikleri diğer kompozit yapılara göre gelişmiştir (Uzun 2017).



## BÖLÜM 3

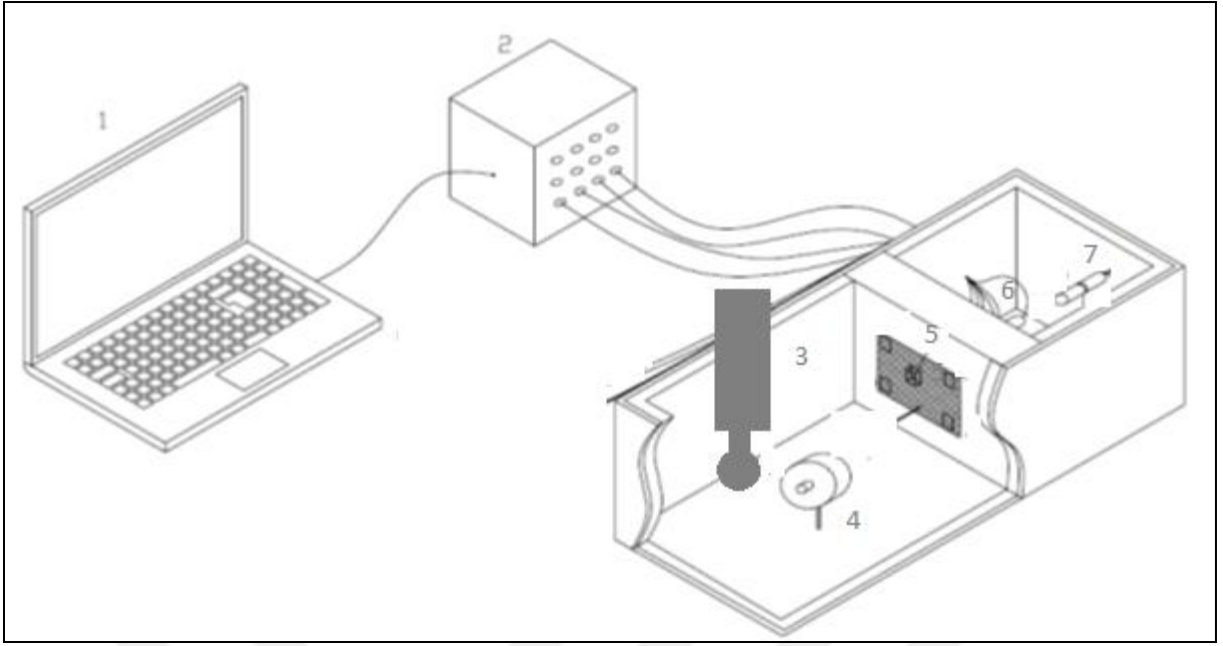
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 DENEY DÜZENEĞİ VE KULLANILAN MALZEMELER

##### 3.1.1 Deney Düzenegi

Vibroakustik deneylerde deney sonuçlarının doğru elde edilebilmesi açısından ses yalıtımı oldukça önemlidir. Dışarıdan sistemi etkileyen sesler hatalı sonuçlar elde edilmesine, buna bağlı olarak deney yapılan malzemenin özelliklerinin yanlış yorumlanmasına sebep olmaktadır. Hazırlanan deney düzeneginde ses yalıtımını iyileştirmek amacıyla ahşap sandığın içine 50 mm kalınlığında polistren levha ve levhanın içine 30 mm kalınlığında piramit akustik sünger yerleştirilmiştir. Deney düzenegi iki alüminyum levhanın arasına kompozit numuneler yerleştirilerek ahşap odayı ikiye ayırmıştır. Kaynak odasında desibel ölçer cihaz ve ses üretici cihaz (kablolu hoparlör) toplayıcı odada ise kompozit numune üzerine yerleştirilmiş ivme ölçer ve mikrofon bulunmaktadır. Akustik ortam olarak iç hacmi 395×205×185 mm olan ahşap tabut kullanılmıştır.

Deneyde kullanılan numuneler 13mm kalınlığındaki iki alüminyum levhanın ortasına numuneler yerleştirilmek üzere 110x99 mm boyutlarında ve 6mm derinlikte yuva açılmıştır. Alüminyum plakaları birbirine sabitlemek amacıyla M8 çapta üç altta üç üstte olmak üzere toplam altı adet havşa açılmıştır. Deney düzeneginin kurulmasının ardından tüm numuneler ses üreticisi çalıştırılmadan veriler toplanmıştır (Mod:1). İkinci aşamada hoparlör aracılığıyla kaynak odasına ses verilmiş, verilen ses desibelmetre ile ölçülmüştür (Mod:2). Toplama odasında frekansı ve ses basıncını ölçmek için sırasıyla Dytran marka 3093B model ivmeölçer ve G.R.A.S marka 46AE model mikrofon kullanılmıştır. Her iki enstrüman da Somat marka eDAQ Lite modeli veri toplama cihazına bağlanarak bilgisayardaki Infield programının yardımı ile farklı sıcaklıktaki hasarlı ve hasarsız örgülü kompozit numunelerin frekans ve ses basıncı değerleri ölçülmüştür. Çalışmalarda kullanılan kompozitlerin vibroakustik özelliklerini ölçmek için hazırlanan deney düzenegi Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.1** Deney Düzenegi.

Şekilde numara ile belirtilen ekipmanlar sırası ile aşağıda belirtilen gibidir.

1: Bilgisayar (SolidWorks, InField ve nCode)

2: eDAQ veri toplama cihazı

3: Desibelmetre

4: Hoparlör

5: Numune

6: Dytran 3093B tipi ivmeölçer

7: G.R.A.S 46AE tipi mikrofon



Şekil 3.2 Deney düzeneği açık görünüm.

Veri toplama cihazı aracılığı ile ivme ölçer ve mikrofondan alınan veriler TCE yazılım aracılığı ile bilgisayara aktarılmış ve bu veriler InField ve nCode yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir.



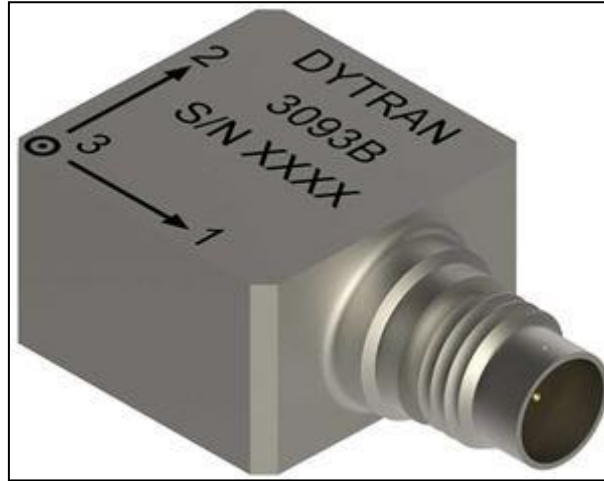
Şekil 3.3 Kapalı deney düzeneği ve desibel metrenin deney düzeneğinde görünümü.

Birinci odada bulunan desibel metrede ölçüm esnasında değerler manuel olarak kaydedilmiştir. Veriler kaydedilmeden önce ses üretim cihazından ses verilmiş, 30 sn beklenmiş ve sürekli ses akışı olduğu zaman diliminde kayıt yapılmıştır.



Şekil 3.4 Mikrofon.

Çalışmada ses basıncını ölçmek için  $\pm 50^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çalışma hassasiyetine sahip G.R.A.S. marka 46AE tipi mikrofon kullanılmıştır.



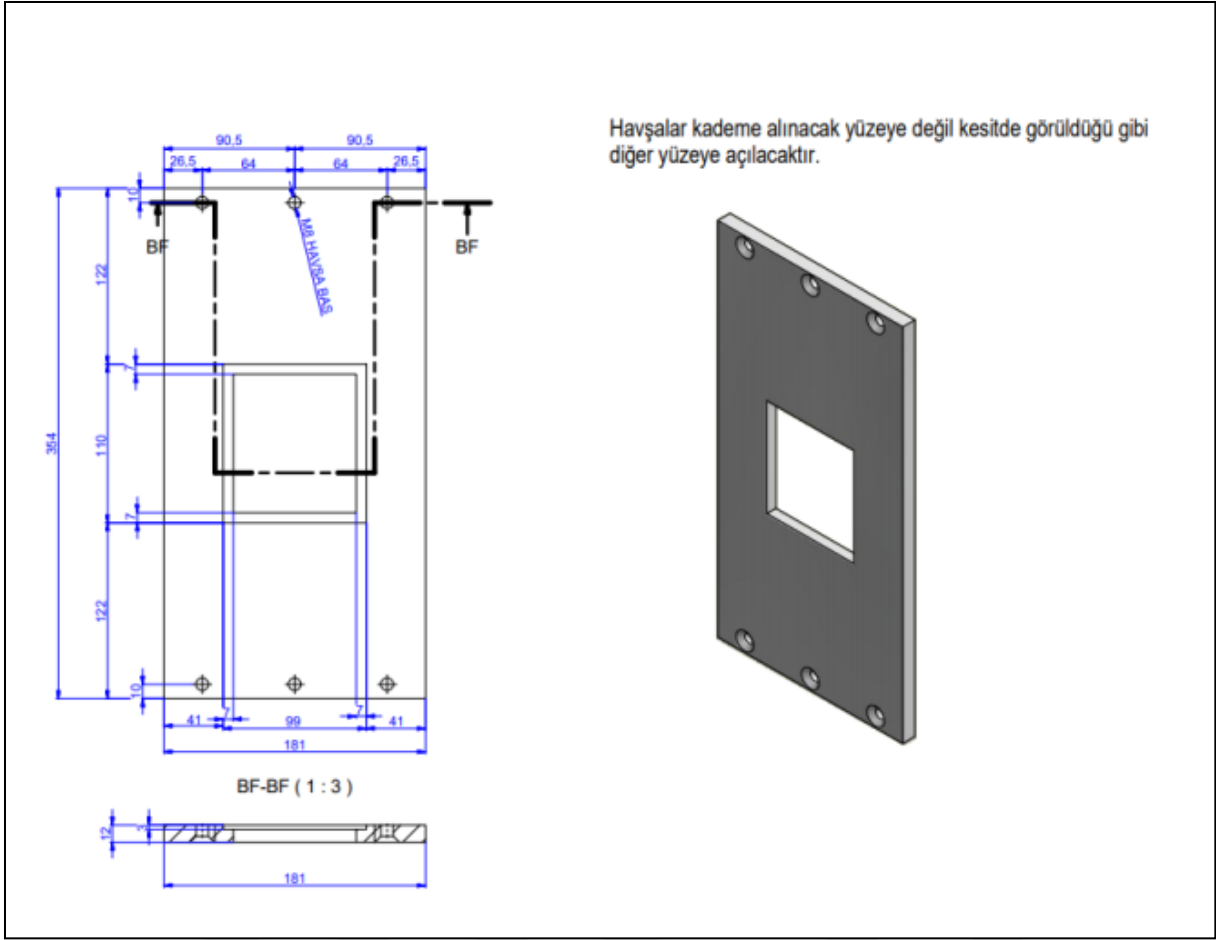
Şekil 3.5 İvmeölçer.

Düşük hızla darbeye maruz bırakılan numunelerden elde edilen frekans değerleri Dytran 3093B model ivmeölçer ile ölçülmüştür.



**Şekil 3.6** Desibelmetre.

Bu çalışmada UNI-T markasının UT352 serisine ait 30dB-130dB aralığında çalışan desibelmetresi kullanılmıştır.



**Şekil 3.7** Alüminyum plakanın teknik çizimi.

Numuneleri sabitlemek ve deney düzeneğini iki oda şeklinde bölmek için kullanılan alüminyum plakalar Türkiye Taş Kömürü maden makineleri fabrikasında CNC torna tezgahında işlenmiştir.



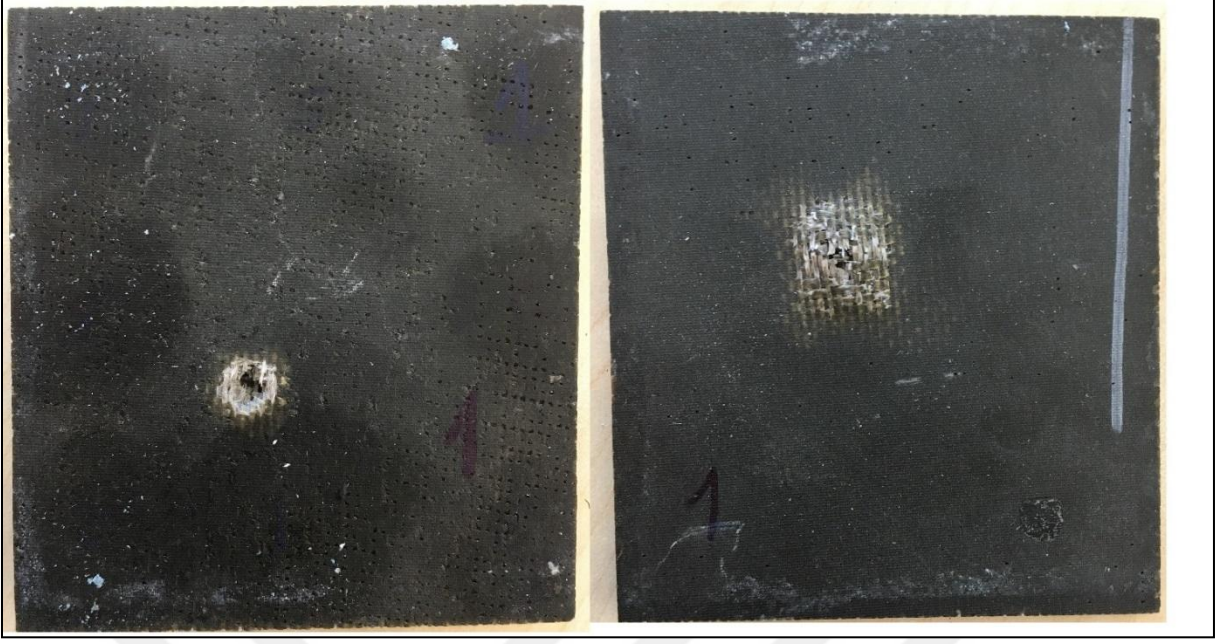


**Şekil 3.8** Hoparlör.

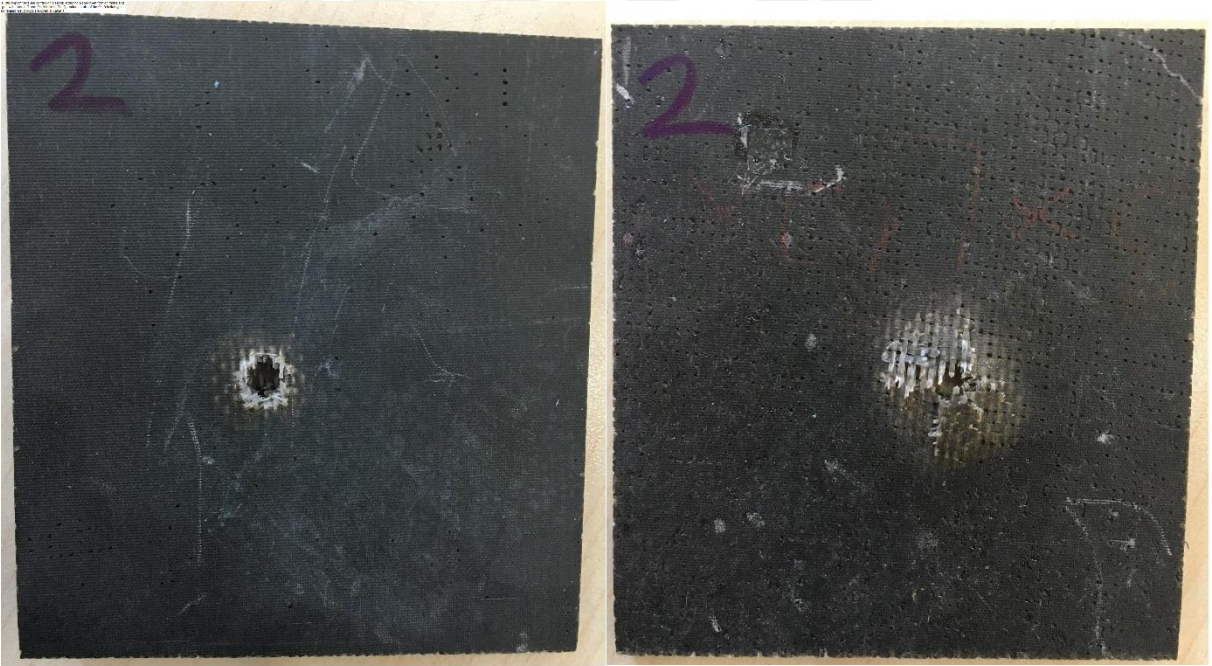
Bu çalışmada, çalışma aralığı 0- 126 dB olan markası Hiper BT-10s olan Bluetooth hoparlör ses üreticisi olarak kullanılmıştır.

### **3.1.2 Deneyde Kullanılan Numuneler**

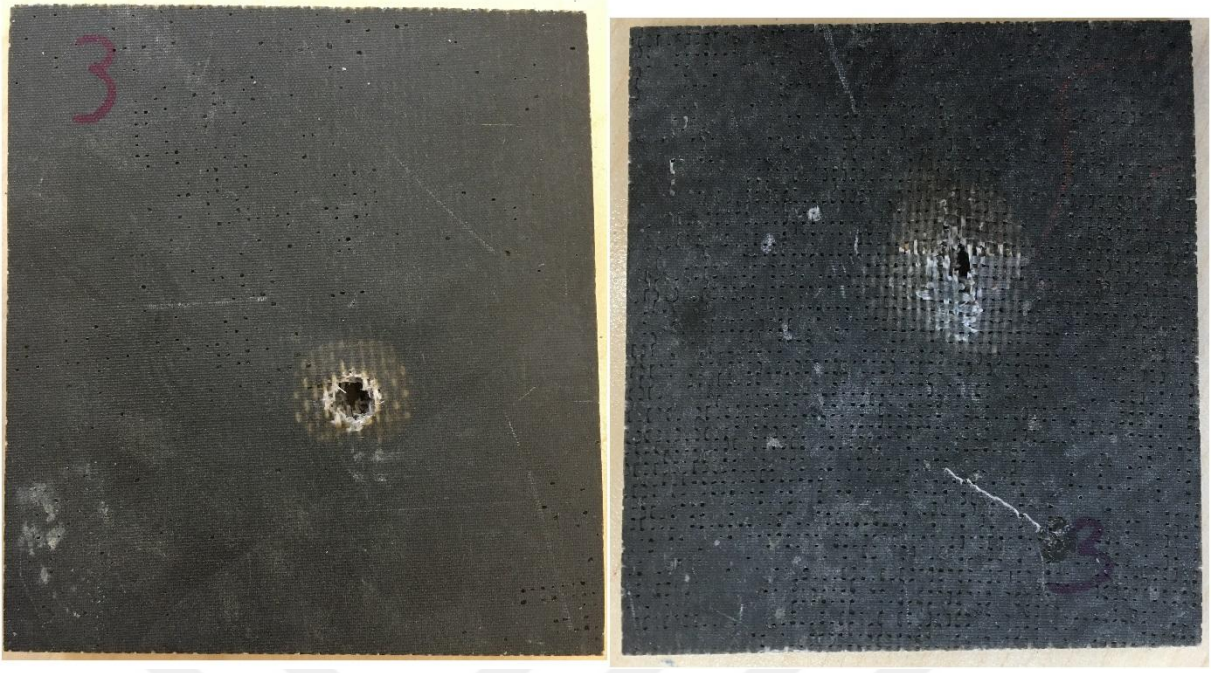
Bu çalışmada on katmandan oluşan düz örgülü  $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ]$ s 100 x 100 mm büyüklükle, kalınlıkları 5 mm olan örgülü kompozit plakalar numune olarak kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin mekanik özellik özellikleri  $E_{12} = 68$  Gpa ve  $\nu_{12} = 0.19$  ' dir.



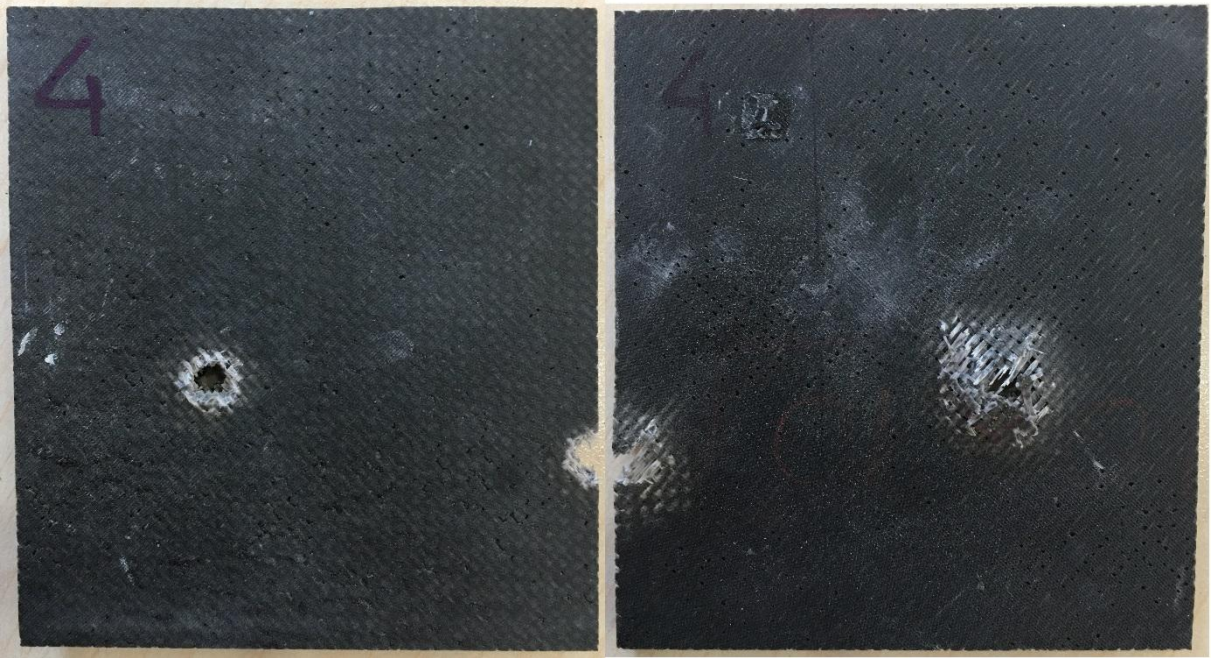
Şekil 3.9 1 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.



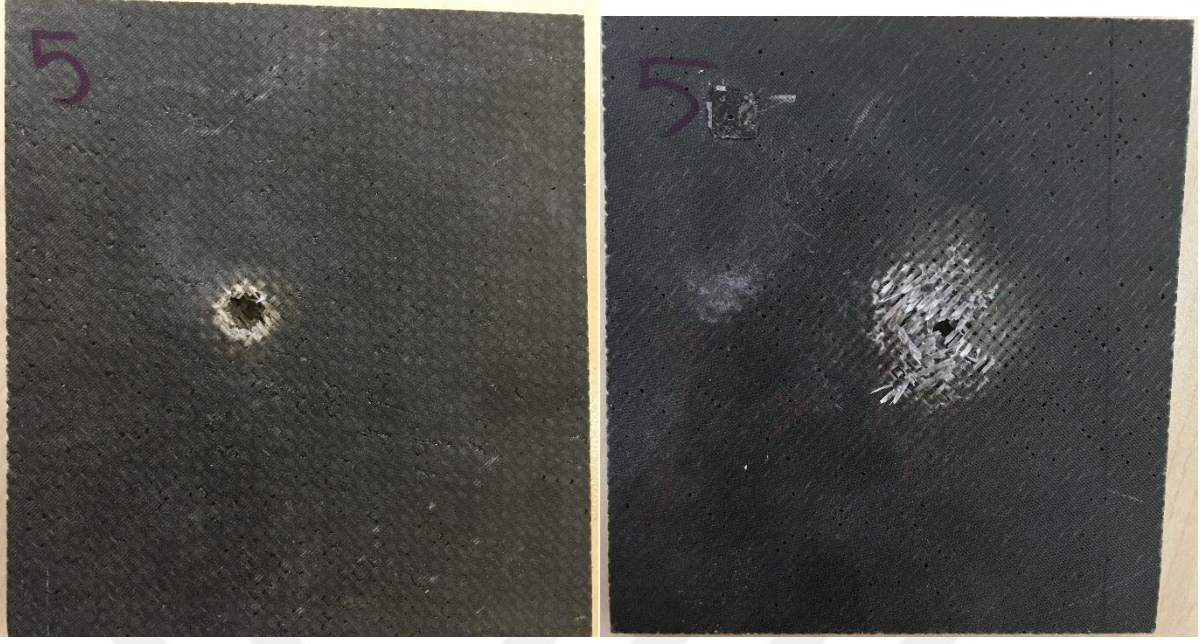
Şekil 3.10 2 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.



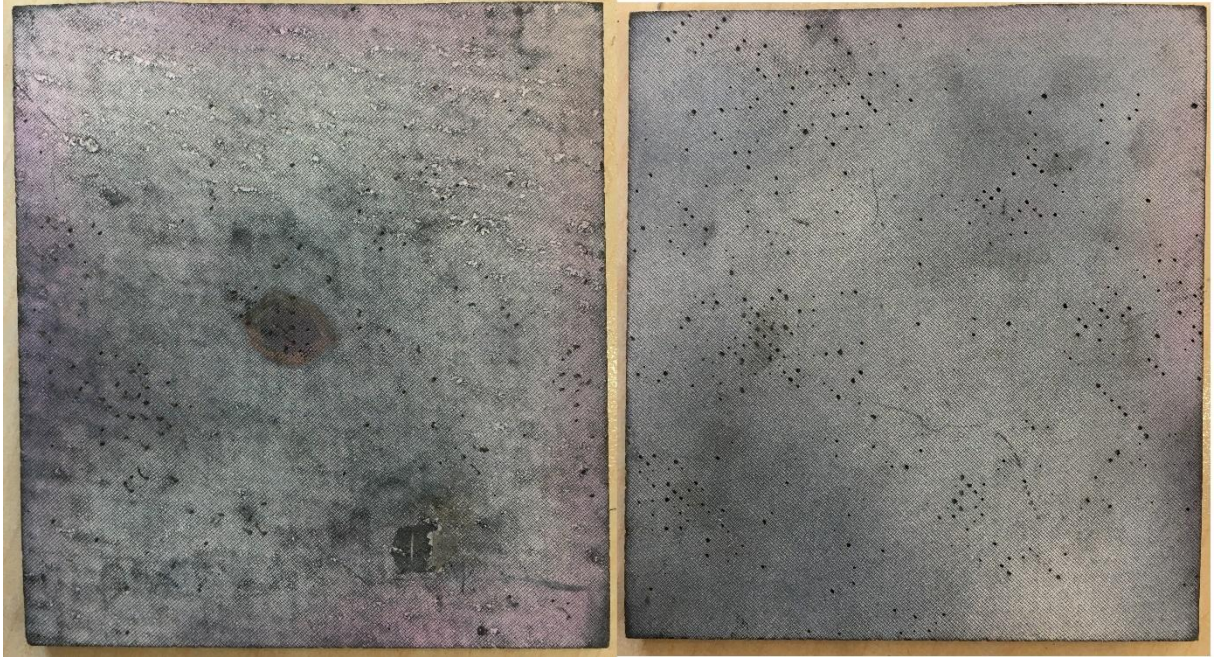
Şekil 3.11 3 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.



Şekil 3.12 4 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.



Şekil 3.13 5 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.



Şekil 3.14 6 numaralı balistik hasar verilmiş numuneye ait ön ve arka görünüm.

### 3.1.3 Deneyde Kullanılan Numunelerin Balistik Test Sonuçları

Çalışmada kullanılan numunelere MKEK Parabellum, Remington Luger ve Remington UMC 'ye ait üç farklı 9 x 19 mm mermi tipi ile iki farklı atış mesafesinden balistik etki ile hasar verilmiştir. Mermilere ait teknik veriler çizelge 3.1 de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** 9x 19 mm mermi tipine göre teknik veriler.

Grup #	Mermi Tipi	Atış Mesafesi (m)	Atış hızı (m/s)
1	MKEK Parabellum	5	405.6
2	Remington Luger	5	416.5
3	Remington UMC	5	355.1
4	MKEK Parabellum	25	388.5
5	Remington Luger	25	401.5
6	Remington UMC	25	340.7

## **3.2. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ**

### **3.2.1 Kaynak Odasında Yapılan Ölçümler**

Aluminyum plaka içerisine numuneler yerleştirildikten sonra ses üreticisinden üretilen ses basıncını ölçmek üzere ahşap tabutun üst kapağına yerleştirilen desibelmetre aracılığı ile veriler manuel olarak kaydedilmiştir. Altı adet hasarlı ve bir adet hasarsız numune için toplam yedi adet deney yapılmıştır. Desibelmetre ve mikrofondan alınan verilerin güvenilirliği açısından aluminyum levha arasında bulunan numune çıkarılmış ve desibelmetreden okunan veri ile miktafonun okuduğu veri karşılaştırılmıştır. Desibelmetreden alınan sonuçlar çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Desibelmetreden alınan kaynak odası ses basıncı değerleri.

Numuneler grup	Desibelmetre üzerinden kaydedilen değer (dB)
1	69.4
2	68.6
3	69.5
4	72.9
5	65.5
6	67.8
7 (hasarsız numune)	71.9

### **3.2.2 Toplama Odasında Yapılan Ölçümler**

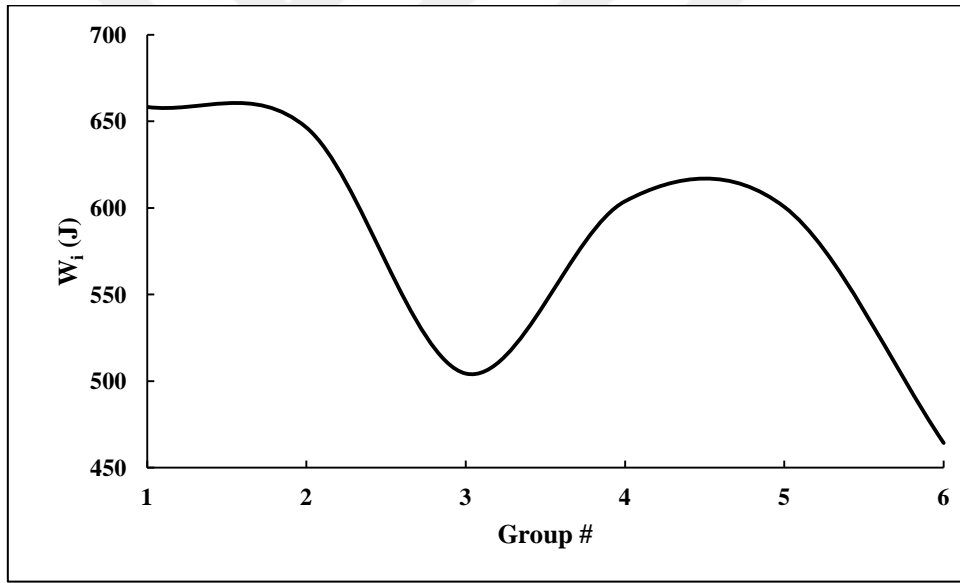
Aluminyum levha arasında bulunan numuneye kaynak odasındaki ses basıncından kaynaklı oluşan titreşimi ölçmek amacıyla ivme ölçer yapıştırılmıştır. İvme ölçerin üç ekseninde de aldığı verileri bilgisayara aktarmak için üç kablo veri toplama cihazına bağlanmıştır. Burada toplanan veriler TLC programı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.

Çalışma esnasında oluşan ses kaybını ölçmek amacıyla toplama odasına mikrofon yerleştirilmiş ve desibelmetre ile ölçülen ses basıncı ile kıyaslanarak numunelerdeki hasar oranının ses kaybına etkisi incelenmiştir.

## BÖLÜM 4

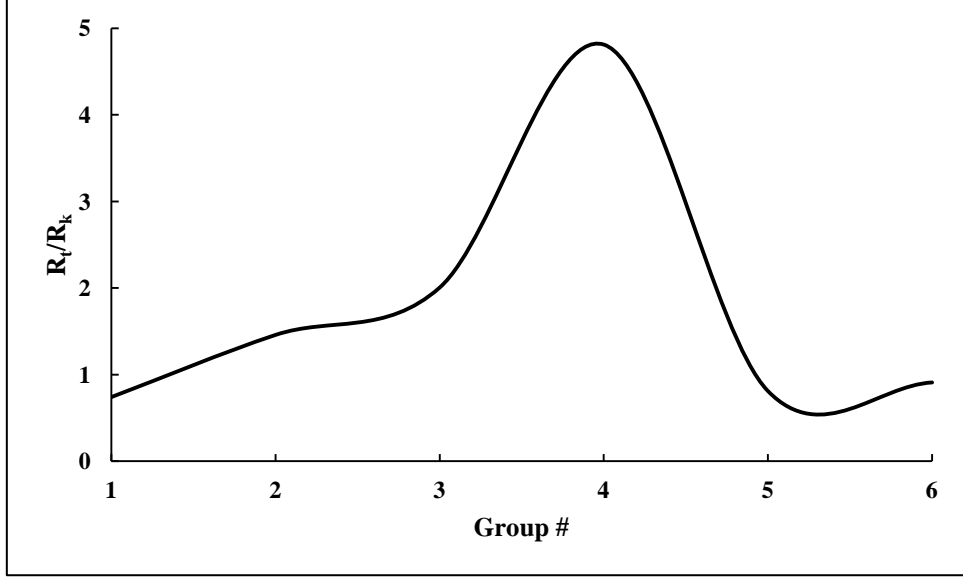
### DENEY SONUÇLARI

Balistik darbe enerjisi ( $W_i$ ) incelenmiş ve  $W_i$  değişimi Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Atış mesafesi arttığında her üç mermi tipi içinde balistik etkinin azaldığı görülmüştür. Grafik incelendiğinde MKEK Parabellum ve Remington Luger mermilerinin balistik etkilerinin yakın olduğu görülmektedir. Balistik etkisi en düşük olan mermi Remington UMC'dir. Şekil 3.3 te de görüldüğü üzere mermi numuneyi düşük enerjisinden dolayı delmemiştir.



Şekil 4.1 Testlerde kullanılan mermilerin balistik darbe enerjisi değişimi

Ses basıncındaki değişim oranları  $R_k$  (kaynak odası) ve  $R_t$  (toplama odası) değişimi Şekil 4.2 de gösterilmektedir. MKEK Parabellum grupları hariç, atış mesafesi arttığında numunelerin ses geçirgenliğinin azaldığı görülmüştür. Bir ve dört numaralı numunelerdeki hasarın uniform olmadığı kanısına varılabilir.



**Şekil 4.2** Kaynak Odası ve Toplama Odası Arasındaki Ses Basıncı Oranları

$$R_k = [\phi_k - \phi_k(\text{boş})] / [\phi_k(\text{hasarsız}) - \phi_k(\text{boş})] \quad (1)$$

$$R_t = [\phi_t - \phi_t(\text{boş})] / [\phi_t(\text{hasarsız}) - \phi_t(\text{boş})] \quad (2)$$

$\phi(\text{boş})$  numunesiz yapılan deney sonucu ölçülen ses basıncı (dB),  $\phi(\text{hasarsız})$  hasarsız numune ile yapılan ses basıncıdır (dB).

Akustik düzenekteki hasarsız numune göz önüne alındığında; doğal frekans ( $\omega_0$ ), Frekansa bağlı fonksiyon ( $H_0$ ) ve sönümlenme oranının ( $\zeta_0$ ) birinci ve ikinci aşamalar için mikrofon ve ivme ölçer aracılığıyla elde edilebilir. Mikrofon ve ivme ölçerden elde edilen teknik veriler çizelge 3.3- 3.5 te gösterilmiştir.



**Çizelge 3.3** Mikrofondan alınan mod:1 değerleri

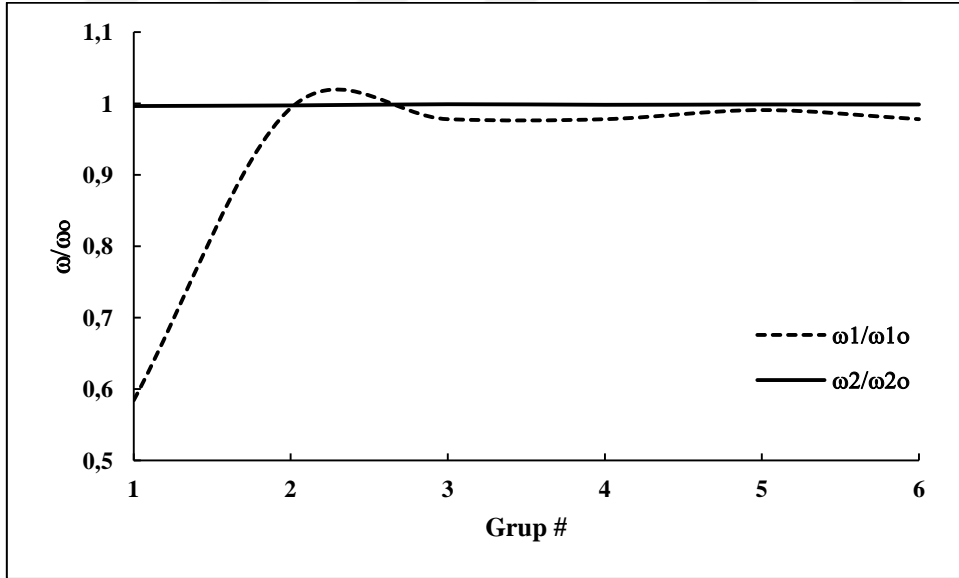
Grup	$w_1/w_{10}$	$H_1/H_{10}$	$\zeta_1/\zeta_{10}$
1	0,5844	0,611111	0,51
2	0,9936	0,111111	4
3	0,978	0,055556	1,2
4	0,978	0,138889	2,6
5	0,9908	0,527778	0,3
6	0,978	0,583333	0,4

**Çizelge 3.4** Mikrofondan alınan mod:2 değerleri

Grup	$w_2/w_{20}$	$H_2/H_{20}$	$\zeta_2/\zeta_{20}$
1	0,5844	0,611111	0,51
2	0,9936	0,111111	4
3	0,978	0,055556	1,2
4	0,978	0,138889	2,6
5	0,9908	0,527778	0,3
6	0,978	0,583333	0,4

**Çizelge 3.5** İvme ölçerden alınan mod:1 ve mod:2 değerleri

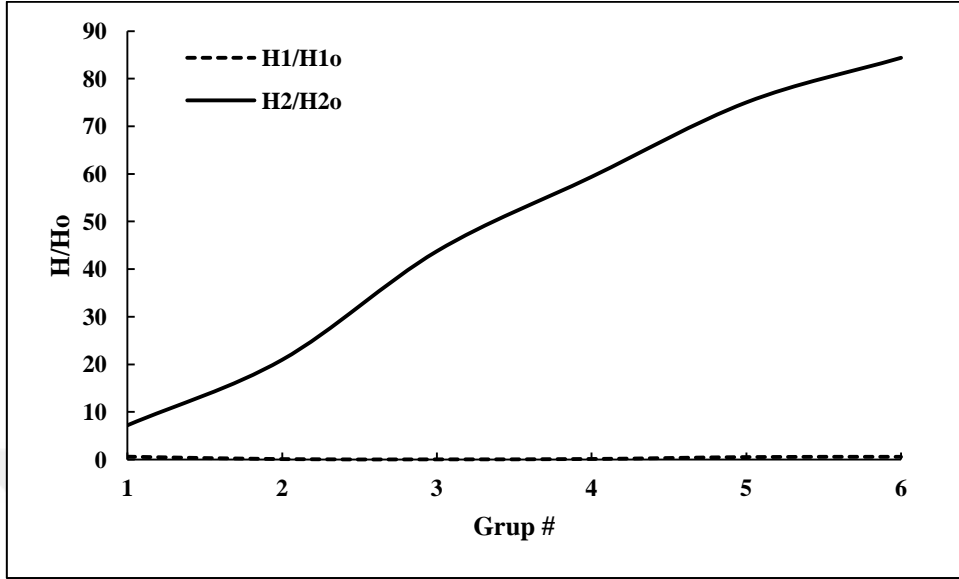
Grup	$w_1/w_{10}$	$w_2/w_{20}$
1	0,99918633	0,998303
2	1,014646054	0,999186
3	1,022579333	0,000884
4	1,007323027	1,000093
5	1,003458096	1,000558
6	1,012815297	1,000558



**Şekil 4.3** Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2  $w/w_0$  verileri oranı

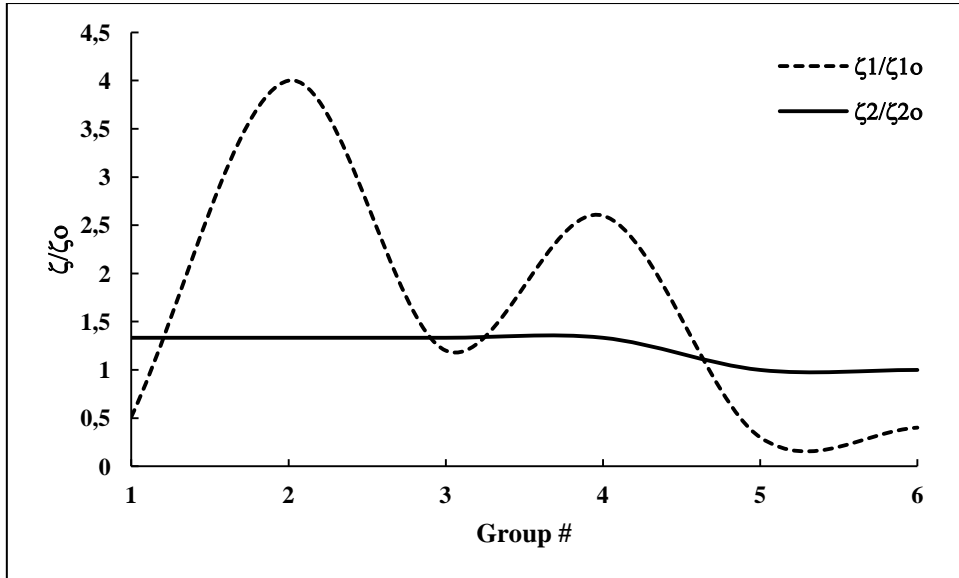
Remington Luger ve Remington UMC mermileri ile hasar verilen numunelerde ilk doğal frekans oranları  $\omega/\omega_0$  birbirine yakındır. İkinci durumda ölçülen doğal frekans  $\omega/\omega_0$  oranları ise sabittir. MKEK Parabellum mermileri ile hasar verilen numunelerde atış mesafesi

arttığında ilk doğal frekans oranını  $\omega/\omega_0$  arttırması hasarın düzgün olmamasından kaynaklanabilir.



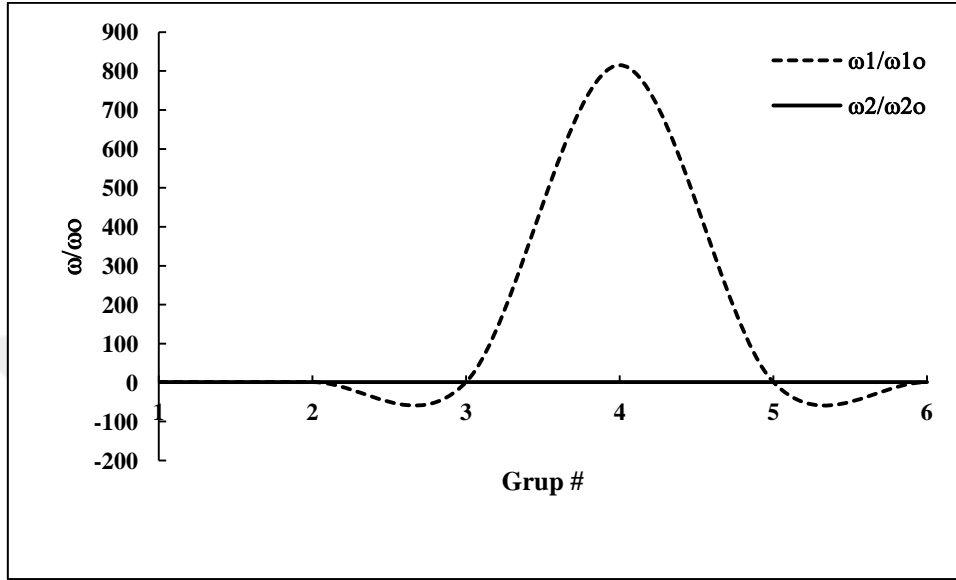
Şekil 4.4 Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2  $H/H_0$  verileri oranı

Üç farklı mermi tipi ile hasar verilen numunelerde mod:2 konumunda frekans oranı  $H/H_0$  birbirine çok yakındır. Üç grupta da ilk doğal frekans oranı atış mesafesi arttıkça artmaktadır.



Şekil 4.5 Mikrofondan alınan Mod:1 ve Mod:2  $\zeta/\zeta_0$  verileri oranı

Remington Luger ve Remington UMC mermileri ile hasar verilen numunelerde atış mesafesi arttıkça sönümlenme oranı  $\zeta/\zeta_0$  düşmektedir. MKEK Parabellum mermisi ile hasar verilen numunelerde ise tersi bir durum gözlenmektedir. Bu hasarın düzgün olmamasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.6 İvme ölçerden alınan Mod:1 ve Mod:2  $w/w_0$  değerleri

Remington Luger ve Remington UMC mermileri ile hasar verilmiş numunelerde ilk doğal frekans oranı artmaktadır. Üç farklı mermi tipi ile hasar verilen numunelerde ise doğal frekans oranı sabittir. MKEK Parabellum mermisi ile hasar verilen numunelerde ise tersi bir durum gözlenmektedir. Bu hasarın düzgün olmamasından kaynaklanabilir.

## BÖLÜM 5

### YORUMLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada üç farklı mermi ile iki farklı atış mesafesinden balistik hasar verilmiş örgülü kompozit plakalar deneysel olarak incelenmiştir. Deneyde test ortamı olarak ahşap tabut ses yalıtımı yapılarak akustik ortam sağlanmıştır.

Kullanılan mermilerin atış hızı ve atış mesafesi, numune üzerindeki balistik hasarın büyüklüğünü doğrudan etkilemekte olduğu gözlenmiştir.

Remington ve and Remington UMC mermileri ile hasar verilen numunelerde deneyin her iki aşaması için atış mesafesi arttığında sönümlenme oranı azaldığı, MKEK Parabellum mermisi ile hasar verilen numunelerde ise atış mesafesi arttığında sönümlenme oranının arttığı gözlenmiştir.

İvme ölçer ve mikrofondan alınan açısal frekans oranlarının grafiklerinin deneylerin birinci aşaması için benzer şekilde sabit olduğu, ikinci durumda ise hasar oranından dolayı farklılık gösterdiği gözlenmiştir.

Kompozit plakaların üzerinde oluşan hasarın büyüklüğüne göre, plakaların ses geçirgenliğinin arttığı gözlenmiştir.

Deneyde kullanılan örgülü kompozit plakalarda hasar oranı düzenli ise, hasar oranı arttıkça; sönümlenme oranının azaldığı, Frekans tepkisi ve doğal frekansın arttığı gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Tabiei A and Nilakantan G** (2008) Ballistic Impact of Dry Woven Fabric Composites: A Review. *Applied Mechanics Reviews*, 61(1), 010801. <https://doi.org/10.1115/1.2821711>
- [2] **Onal L vd Adanur S** (2002) Effect of Stacking Sequence on the Mechanical Properties of Glass–Carbon Hybrid Composites before and after Impact. *Journal of Industrial Textiles*, 31(4), 255–271. <https://doi.org/10.1106/152808302028713>
- [3] **Dziedziech K, Pieczonka Ł, Dao P B, and Klepka A** (2016) *Structural Damage Detection Using Non-Classical Vibro-Acoustic Approaches*. 27.
- [4] **Gibson R F** (2000). Modal vibration response measurements for characterization of composite materials and structures. *Composites Science and Technology*, 60(15), 2769–2780. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(00\)00092-0](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00092-0)
- [5] **Turner P, Liu T, Zeng X and Brown K** (2018) Three-dimensional woven carbon fibre polymer composite beams and plates under ballistic impact. *Composite Structures*, 185, 483–495. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.091>
- [6] **Naik N K, Shirao P and Reddy B C K** (2006) Ballistic impact behaviour of woven fabric composites: Formulation. *International Journal of Impact Engineering*, 32(9), 1521–1552. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.01.004>
- [7] **Campbell F C** (2010) *Structural Composite Materials*. 1st edition, ISBN: 978-1-61503-037-8, ASM International, USA, 612 pp.
- [8] **Ostrava M K** (2015). *Composite materials Miroslava Klárová Ostrava 2015*. Retrieved from [http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory\\_FMMI\\_ENG/2\\_rocnik/TRaCM/Composite materials.pdf](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI_ENG/2_rocnik/TRaCM/Composite%20materials.pdf)
- [9] **URL-1** <<http://www.materials.eng.cam.ac.uk>>, Ziyaret Tarihi: 15.03.2018.
- [10] **Uzun U** (2017) ‘‘Hasarlı Kompozit Plakalarda Vibroakustik Bir Çalışma’’ *Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- [11] **Bagherpour S** (2012) Fibre Reinforced Polyester Composites. *Polymers*, Saleh H M (Ed.), 1st edition, ISBN: 978-953-51-0770-5, InTech, e-book, 167-198.
- [12] **Patterson B A, Malakooti M H, Lin J, Okorom A and Sodano H A** (2018) Aramid nanofibers for multiscale fiber reinforcement of polymer composites. *Composites Science and Technology*, 161, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.04.005>

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **Kara M** (2006) “Düşük Hızlı Darbeye Maruz Tabakalı Kompozitlerin Dinamik Cevabı.” *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- [14] **Adanur S , Tsao Y P, and Tam C W** (1995) Improving fracture resistance of laminar textile composites by third direction reinforcement. *Composites Engineering*, 5(9), 1149–1158. [https://doi.org/10.1016/0961-9526\(95\)00089-6](https://doi.org/10.1016/0961-9526(95)00089-6)
- [15] **Alpyıldız T** (2010) “Tekstil Kompozitleri Üzerine Bazı Çalışmalar.” *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- [16] **Allemang R, De Clerck J , Niezrecki C and Wicks A.** (2014) Materials Science and Engineering introduction chapter 16 7th Edition. *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*, 45(7), 577–617.
- [17] **Engineering Noise Control** (13 July 2001) Adres: <http://www.mne.psu.edu/lamancusa/me458/>
- [18] **URL-2** <[http:// www.craftechind.com](http://www.craftechind.com)>, Ziyaret Tarihi: 15.03.2018.



## ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan ŞEN, 1991 yılında Alaçam/Samsun'da doğdu. İlköğretim eğitimini Karahüseyinli Köyü İlköğretim okulunda tamamladı. Lise eğitimini Alaçam Anadolu Lisesinde tamamlamasının ardından 2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği %100 İngilizce bölümüne kayıt yaptırdı. 2015 yılında lisans eğitimini tamamladı. Mezuniyetinin ardından Karaelmas Isı Mühendislik firmasında proje mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Güney Mahallesi, Hürriyet Cad. 152/2  
67100, Kozlu/Zonguldak

E-posta: senoguzghan@gmail.com