



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BAL PETEĞİ ÖZLÜ SANDVIÇ PANELLERİN  
YÜKSEK HIZLI DARBE DAVRANIŞI**

**Ali Osman ŞEN**

**YÜKSEK LİSANS**

**Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## BAL PETEĞİ ÖZLÜ SANDVIÇ PANELLERİN YÜKSEK HIZLI DARBE DAVRANIŞI

Ali Osman ŞEN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanlar: Prof. Dr. Mesut UYANER  
Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ  
2022, 29 Sayfa

### Jüri

Prof. Dr. Mesut UYANER  
Doç. Dr. Memduh KARA  
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Bu çalışma, bal peteği özlü sandviç panellerin yüksek hızlı darbeler karşısındaki davranışları ele almaktadır. Sandviç paneller bir yüzü sert bir yüzü yumuşak fazdan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Tabakalı yapılarda fenolik reçine, alümina, oda sıcaklığında vulkanize olan (RTV) silikon, bal peteği yapılı sandviç panel ve alüminyum kullanılmıştır. Hazırlanan numunelere önceden doldurulmuş havalı (PCP) tüfek yardımı ile yüksek hızda atışlar yapılmıştır. 250 bar ön hava yüklemesi 32, 44 ve 50 grain pelet atışlarında yaklaşık 104 J bir darbe enerjisi üretmiştir. Sert fazdan yumuşak faza, yumuşak fazdan sert faza pelet geçişleri ile darbe sonrası deformasyonların tabakalar üzerindeki incelemeleri ayrı ayrı yapılmıştır. Atış testi sonuçlarına göre pelet girişi sert fazdan olan atışlarda yumuşak fazdan pelet çıkışı oluşmamış ve darbe sönümlenmiştir. Pelet girişinin yumuşak fazdan olduğu atışlarda sert faz bölgesinden pelet çıkışlarının gerçekleştiği görülmüştür. Bal peteği yapılı kompozitte pelet temas yüzeyinde deformasyonlar gözlemlenmiş ve darbe bölgesi dışında yayılan ve devamlı deformasyonlar gözlemlenmemiştir. Bu çalışma ile üretilen sandviç panellerin 100 J la kadar parçacık (şarapnel vs.) darbelerine karşı koruma sağlayabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal Peteği, Sandviç Panel, Yüksek Hızlı Darbe, Alümina, RTV

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**HIGH VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF HONEYCOMB CORE  
SANDWICH PANELS**

**Ali Osman ŞEN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AERONAUTICAL  
ENGINEERING**

**Advisors: Prof. Dr. Mesut UYANER  
Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ**

**2022, 29 Pages**

**Jury  
Prof. Dr. Mesut UYANER  
Assoc. Prof. Dr. Memduh KARA  
Asst. Prof. Dr. Hasan Hüseyin BİLGİÇ**

This study investigates the behavior of honeycomb core sandwich panels against high velocity impacts. The sandwich panels were designed to consist of a hard phase on one side and a soft phase on the other side. Phenolic resin, alumina, room temperature vulcanized (RTV) silicone, honeycomb sandwich panel and aluminum were used in layered structures. The prepared samples were shot at high speed with the help of a pre-charged pneumatic (PCP) rifle. 250 bar pre-air loading produced an impact energy of approximately 104 J for 32, 44 and 50 grain pellet shots. Pellet transitions from hard phase to soft phase, from soft phase to hard phase and post-impact deformations were investigated separately on the layers. According to the rifle shots, no pellet exits from the soft phase occurred and the impact was damped in the shots where the pellet input was from the hard phase. In the shots where the pellet inlet was from the soft phase, pellet exits from the hard phase region were observed. In the honeycomb composite, deformations were observed on the pellet contact surface and no diffuse and continuous deformations were observed outside the impact zone. It has been demonstrated that the sandwich panels produced with this study can provide protection against non-high energy particle (shrapnel, etc.) impacts. It has been demonstrated that the sandwich panels produced by this study can provide protection against particle (shrapnel, etc.) impacts up to 100 J.

**Keywords:** Honeycomb, Sandwich Panel, High Velocity Impact, Alumina, RTV

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının en önemli özelliği tamamen yerli kaynaklar kullanılarak düşük koruma sınıflı bir yapı bileşeni (bal peteği özlü sandviç panel) üretimidir. Mühendislik bilimlerinde ana unsurlardan birisi olan temel konular, birikim ve bilinen yöntemlerin yeni ve farklı bir sahaya uygulanmasıdır. Gerçekleştirilen çalışma panel üretimi ve bu panellerin yüksek hızlı darbe testi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sunulan tez, dört ana bölümden ibarettir. Bunlar: *Kaynak Araştırması*, *Materyal ve Yöntem*, *Araştırma Sonuçları ve Tartışma*, ve son olarak ta *Sonuçlar ve Öneriler*.

*Kaynak Araştırması* bölümünde, literatürdeki yürüttüğümüz çalışmaya benzer konular araştırılmış ve bu kaynaklar, kendi içerisinde konu bütünlüğü oluşturacak ve akıcı bir tarzda özetlenmiştir.

*Materyal ve Yöntem* bölümünde ise, bu çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri verilmiştir.

*Araştırma Sonuçları ve Tartışma*, deney aşamalarında ve deney sonucunda elde edilen bulgular grafik ve şekiller halinde sunulmuş ve bunlar değerlendirilmiştir.

*Sonuçlar ve Öneriler* kısmında da üretim aşamasına dair sonuçlar ile deneysel sonuçlar iki ayrı alt başlıklarda sunulduktan sonra gelecekte bu konunun devamında yapılabilecek çalışmalar önerilmiştir.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>5</b>
3.1. Materyal .....	5
3.1.1. Bal Peteği .....	5
3.1.2. Termoset Reçine .....	6
3.1.3. RTV Kalıp Silikonu .....	7
3.1.4. Alümina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	8
3.1.5. Alüminyum Levha .....	9
3.1.6. Pelet Geometrisi.....	9
3.1.7. Sert Tabakayı Oluşturan Malzemelerin Üretimi.....	10
3.1.8. Yumuşak Tabakayı Oluşturan Malzemelerin Üretimi.....	12
3.1.9. Sandviç Panelin Oluşturulması .....	13
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. Basma Testi.....	15
3.2.2. Yüksek Hızlı Darbe (Atış) Deneyi.....	15
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>17</b>
4.1. Basma Testi.....	17
4.2. 32 Gr Pelet Atışları .....	19
4.3. 44 Gr Pelet Atışları .....	21
4.4. 50 Gr Pelet Atışları .....	22
4.5. Atışlara Ait Hız ve Enerji Bilançoları.....	24
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>26</b>
5.1 Sonuçlar .....	26
5.1.1. Üretim Sonuçları.....	26
5.1.2. Yüksek Hızlı Darbe Deneyleri.....	26
5.2 Öneriler .....	27

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>28</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>30</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler Açıklama

m/s	m: metre, s: saniye
%	yüzde
>	büyüktür
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	alümina
α	alfa
≅	yaklaşık eşit
gr	grain
g	gram
J	joule
V	hız
C	Selsiyüs
°	derece
μm	mikrometre
V <sub>i</sub>	çarpma hızı
V <sub>r</sub>	dönüş hızı

### Kısaltmalar

### Açıklama

RTV	Oda Sıcaklığında Vulkanize olan
CFRP	Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit
PCP	Önceden Doldurulmuş Havalı
min	minimum

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 2.1. Muhtelif Geometrideki Mermiler ile Gerçekleştirilen Darbe Testleri (Nilakantan, 2013).....</b>	<b>4</b>
<b>Çizelge 3.1. 5754 Al Levha Mekanik Özellikler (alüminyum burada, 2022) .....</b>	<b>9</b>
<b>Çizelge 3.2. Pelet ağırlık dönüşümleri.....</b>	<b>10</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bal Peteği Özlü Sandviç Panel .....	1
Şekil 2.1. Mermi Tipleri (Bozdoğan vd., 2015).....	4
Şekil 3.1. Sandviç Panel Üretiminde Kullanılan Bal Peteği .....	6
Şekil 3.2. ÇZR 8005 Fenolik Zımpara Reçinesi .....	6
Şekil 3.3. E50 RTV Kalıp Silikonu .....	7
Şekil 3.4. Alümina Tozları.....	8
Şekil 3.5. Çalışmada Kullanılan Alüminaya Ait SEM Görüntüsü .....	8
Şekil 3.6. Havalı Tüfek Peletleri (a: 32 gr, b: 44 gr ve c: 50 gr) .....	10
Şekil 3.7. a) Basma Test Numuneleri b) Ölçüleri.....	11
Şekil 3.8. Sert Tabaka a) Kürlenme Öncesi ve b) Kürlenme Sonrası Görünümleri .....	12
Şekil 3.9. %33 Fenolik Reçine, %67 Alümina Karışımının Kürlenme Sonrası SEM Görüntüsü.....	12
Şekil 3.10. Yumuşak Tabaka a) Kürlenme Öncesi ve b) Kürlenme Sonrası Görünümleri.....	13
Şekil 3.11. RTV-Alümina Karışımının Kürlenme Sonrası SEM Görüntüsü .....	13
Şekil 3.12. Sert-Yumuşak Tabakalar ve Alüminyum Plakaların Temsili Görüntüleri.....	14
Şekil 3.13. Sert ve Yumuşak Tabakalar ile Alüminyum Plakaların Yapıştırma Öncesi Hazırlığı.....	14
Şekil 3.14. Sert ve Yumuşak Tabakalar ile Alüminyum Plakaların Çift Taraflı Isı Plakasında Yapıştırılması .....	15
Şekil 3.15. Atış Düzeneği .....	15
Şekil 3.16. AF- 700L Mesafe Ölçümü.....	16
Şekil 4.1. Basma Test Numuneleri (a: %33 Reçine, b: %30 Reçine).....	17
Şekil 4.2. Basma Testi Sonrası Numuneler (a: %33 Reçine, b: %30 Reçine) .....	17
Şekil 4.3. Ortalama Basma Gerilmeleri .....	18
Şekil 4.4. Kuvvet-Uzama Grafikleri.....	19

<b>Şekil 4.5. 32 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış).....</b>	<b>19</b>
<b>Şekil 4.6. 44 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış).....</b>	<b>21</b>
<b>Şekil 4.7. 50 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış).....</b>	<b>22</b>
<b>Şekil 4.8. Lokal Hasar Görüntüleri (a: numune 1, sert faz.,b: numune 3, yumuşak faz) .....</b>	<b>23</b>
<b>Şekil 4.9. Parçacık Namlu Çıkış Hızı .....</b>	<b>24</b>
<b>Şekil 4.10. Darbe Enerjileri.....</b>	<b>25</b>

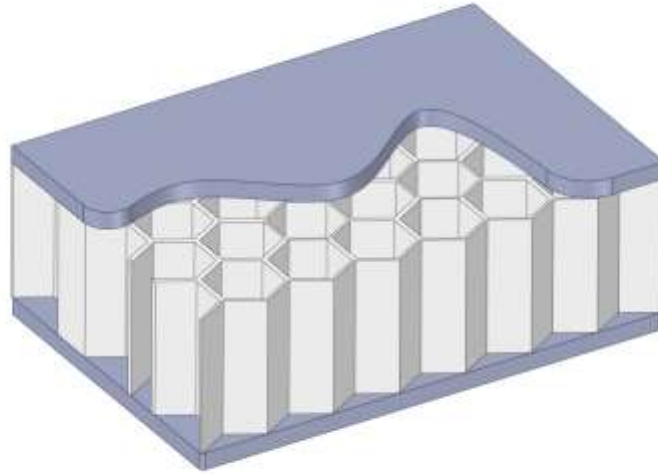


## 1. GİRİŞ

Kompozitler çok fazlı malzemelerdir. Birbirlerinin zayıf yönlerini yok edecek şekilde maddeler bir araya getirilerek iyi özellikler kazandırılmış bileşiklerdir. Bileşenler gözle görülebilecek niteliktedir. Beton, kontrplak, cam fiber, oto lastiği kompozit malzemelerdir. Hafif, sağlam, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, sert darbelere dayanımlıdır (Karagöz, 2008).

Havacılık ve savunma sanayinde kullanılan kompozit malzemelerin davranış ve dayanım biçimleri farklı üretim yolları sebebiyle değişkenlik göstermektedir. Askeri ve sivil havacılıkta altıgen (bal peteği) yapılı kompozit malzemeler, yorulma dirençleri, yüksek özgül mukavemet ve hafiflik bakımından üstün olmaları nedeni ile tercih edilmektedir.

Bal peteği özlü sandviç panelin öz kısmını hafif yoğunluktaki altıgen petek oluşturur (Şekil 1.1). Petek hücresinin boyutları, sandviç levhanın yoğunluğunda doğrudan etkilidir. Öz kısmın, eğrisel veya düzlemsel kabuklar ile alttan ve üstten kaplanması ile sandviç paneller elde edilir (Solmaz, Turan ve Turgut, 2010).



Şekil 1.1. Bal Peteği Özlü Sandviç Panel

Bal peteği yapımında hem metalik hem de metalik olmayan malzemeler kullanılmaktadır. Metalik hücrelerde alüminyum, paslanmaz çelik, titanyum ve nikel alaşımlardır çokça görülür. Metal olmayan hücrelerde ise aramid elyaf, cam elyaf, termoplastik ve kraft kağıtları tercih edilir. Sıvı fenolik polyester ya da poliamid reçineye daldırılan metal dışı hücreler son yoğunluğuna ulaşır. Reçine oranı %50 civarındadır.

Petek yapıları üzerindeki yüzey örtüleri kompozit yapının kullanım alanına göre mekanik özellikler de baz alınarak seçilmelidir. Bal peteği yapılı kompozit malzeme üzerinde tercih edilecek olan örtü, darbenin gerçekleştiği ilk yüzey olduğundan darbe davranışı bakımından önemlidir.

Bal peteği yapılı kompozitler, çarpma olayında daha çok enerji sönümlediği için yüksek darbe dayanım gerektiren yapılarda kullanılmaktadır (Arslan ve Kaman, 2002).

Darbe hızları genel olarak düşük hızlı darbe için 10 m/s'ye kadar, orta hızlı darbe için 10–100 m/s, yüksek hızlı darbe için 100–1000 m/s olarak sınıflandırılmaktadır (Starratt vd., 2000). Kompozit malzemelere, düşük, orta ya da yüksek hızlarda yapılan darbelerle ilgili literatürde çok sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Yüksek hızlı darbe ile ilgili yapılan bir deneysel çalışmada, termoplastik matrisli cam elyaf kompozitlerin karbon elyaf ile güçlendirilmiş olanlardan (CFRP) daha iyi darbe davranışına sahip olduğu gösterilmiştir (Franke vd., 2017).

Literatürde kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarıyla ilgili çalışmalar yüksek hızlı darbe davranışı çalışmalarına göre daha fazladır.

Teorik olarak analitik ve sayısal modelleme yöntemleri ile balistik test çalışmalarında yüksek hızlı darbelerle hasar incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan modellemelerde deformasyonların derinlemesine incelenmesi çekirdek davranışı ve numune dış yüzeyinin davranışı bilinmediğinden yetersiz kalmaktadır.

Bir tabakada birkaç hata mekanizması vardır: birçok parametreye (örneğin, elyaf ve matris özellikleri, elyaf-matris arayüzünün karakteristiği, üretim süreci) bağlı olan matris çatlaması, çekme ve sıkıştırma elyaf kırılması, delaminasyon vb. durumlar bunlardan bazılarıdır (Zou, Reid, ve Li, 2003).

Tabakaların hasarını modelleme için kırılma mekaniği, hasar kriterleri ve hasar mekaniği teknikleri kullanılmaktadır. Bazı durumlarda bu teknikler birleştirilebilmektedir. Hasar ölçütler hem statik hem de dinamik koşullarda geçerlidir. Literatürde birçok farklı hasar ölçütü vardır (Paris ve Washington 2001).

Zırh ağırlıkları balistik korumada zırh ağırlıkları hayati öneme sahiptir. Tehdit seviyesine göre zırh ağırlığı belirlenmelidir. Balistik zırh tasarım ve üretiminde zırh ağırlığı yerine birim alana düşen ağırlık olarak ifade edilen, alansal yoğunluk kavramı kullanılmaktadır (National Research Council, 2011).

Bal peteği yapılı sandviç panellerin içerisine doldurulacak karışımların yoğunluklarının sandviç yapı boyunca homojen dağılımlı olacak şekilde üretimleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mekanik mühendislik uygulamalarında, kompozit malzeme üzerine uygulanacak darbeye karşı istenmeyen bir sonucun oluşmaması için, malzemenin gerekli darbe davranışını sergilemesi istenir. Çarpmanın çeşidine bağlı olarak darbeye maruz kalmayan yüzeyde de hasar gözlemlenebilir. Tabakalar arasında ayrılma şeklinde, hasar iç yapıdan başlayarak oluşabilir.

Yüksek hızlı darbeye maruz kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalar, düşük hızlı darbelere karşı davranışların incelendiği çalışmalara göre kısıtlıdır.

Kara ve Uyaner, yapı çeliği ve alaşımsız alüminyum plakalardan oluşan farklı yerleşim düzenine sahip metal tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarını incelemiştir (Uyaner ve Kara, 2016).

Yüksek hızlı darbe deneylerindeki dinamik yük, lokal deformasyon ve fiber hasarı enerjisi daha çok yutar. Doğrusal yer değiştirme ve tabakalaşma çok az oluşur. Yüksek hızlı darbe koşullarında hibrit kompozit malzemelerin yüksek hızlı enerji emilimi üzerindeki birçok araştırma yapılmıştır.

Kevlar, karbon, cam dokuma kumaşlar ve reçineden imal edilmiş olan numuneler darbe koşulları altında deneysel olarak incelenmiştir. Tüm örnekler eşit kütle, şekil ve yoğunluğa sahip olsa da yine de katmanlar farklı istifleme sırasına göre dizilmiştir. Balistik testi aynı koşullarda yürüttükten sonra, silindirik AISI 4340 Çelik peletin son hızları, numuneler tarafından ne kadar enerjinin emildiğini göstermiştir. Her numunenin yüksek hızlı etki yoluyla enerji emilimi hesaplanarak; buna göre, uygun yüksek hızlı darbe direnci malzemeleri testin gerçekleştirilmesiyle bulunmuştur (Randjbaran vd., 2014).

Çalışmamızda kullanılan tabakalı yapının özgün olarak geliştirilmesi yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konmuştur. Yüksek hızlı darbe ile ilgili çalışmalarda muhtelif malzemeler ve kompozisyonlardaki kompozit yapılar incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan alüminyum levhaların uçak yapıları, hızlı trenlerin mutfak malzemeleri uygulamalarında kullanılmaktadır. Alüminyum levhalar ayrıca balistik korunma amacıyla da kullanılırlar.

Genelde, yüksek hızlı darbe görmüş kompozitlerde gelişen hasarlar tabaka özelliklerine, çarpan cismin şekli ve kütlesine, çevre şartlarına ve meydana gelen darbenin

koşullarına (mermi hızı, kompozit levha sınır şartları vs.) bağlıdır (Peijs, Smets ve Govaert, 1994).

Ortalama 320 m/s hıza sahip mermiler yüksek hızlı testlerde koruyucu zırh üzerinde kesme kuvveti oluşturur. Yüksek hızlı testler malzemede penetrasyon meydana getirir. Basınç penetrasyonu ve delaminasyon, pelet ucu ile plaka temas yüzeyinde pelet ucu geometrisine bağlı olarak etkilenir (Jovicic, 2003).

Mermi geometri ve yarıçapı değiştirilmeden kütesinin artırılması mermi hızının düşmesine yol açmaktadır (Naik ve Doshi, 2008). Nilakantan'ın yaptığı bir başka çalışmada, birbirinden farklı uzunluk, çap ve şekillerdeki mermilerin yüksek hızlı testlerde darbe dayanımını etkilediği sonucuna varılmıştır (Nilakantan vd., 2013). Şekil 2.1 bazı mermi tiplerini göstermektedir.



Şekil 2.1. Mermi Tipleri (Bozdoğan vd., 2015)

Yüksek hızlı darbeyi oluşturacağımız peletin şekilleri göze alındığında Bozdoğan'ın yuvarlak burunlu mermi çekirdeği şekli peletlerimizle bağdaşmaktadır.

Çizelge 2.1. Muhtelif Geometrideki Mermiler ile Gerçekleştirilen Darbe Testleri (Nilakantan, 2013)

Mermi	Darbe Noktası	$V_i$ (m/s)	$V_r$ (m/s)
Küre (d=2/9")	Boşluk-İplik	50	13,2 - 8,5
Küre (d=1/9")	Boşluk-İplik	50	32,1 - 28,5
Koni (d=2/9")	Boşluk	50	16,8
Koni (d=1/9")	Boşluk	50	43,9
Silindir (d=2/9" L=2/9")	Boşluk-İplik	50	-
Silindir (d=2/9" L=2/9")	Boşluk-İplik	50	40,8 - 40,5

Mermi ağırlıkları ve mermi boyutları da mermi uç geometrisi kadar yüksek hızlı darbe direncini etkilemektedir. Çizelge 2.1.'de küresel, konik ve silindirik geometrilerden

oluşan farklı ağırlıklara sahip mermilerle yapılan bir balistik test ve sonuçları yer almaktadır. Çarpma hızı  $V_i$ , darbe sonrası artık hız  $V_r$  şeklinde çizelgede gösterilmiştir (Sözen, Gündüz ve İmren, 2016).

Sandviç yapılar üzerinde yüksek hızlı darbe davranışlarının incelenmesi deneysel testlere dayanmaktadır. Deneysel çalışmalar, test edilen sandviç yapı hakkında bilgi sağlasa da darbe davranışı çok sayıda parametreye bağlı olduğundan balistik davranış üzerindeki etkiye dair bilgi, zaman alıcı ve pahalı olan geniş bir test programı gerektirmektedir (Buitrago vd. 2010).

Balistik kompozit malzemeler birincil ve ikincil zırhlar olmak üzere hafif ve ağır zırhlı araçlarda kullanılmaktadır. Parçacık tutma ve çok kısa sürelerde enerji soğurabilmesi nedenleri ile balistik kompozitler ağır zırhlı araçlarda ikincil zırh olarak kullanılmaktadır. Hafif zırhlı araçlarda ise tek başına kullanılabilir. İkincil zırhlar birincil zırhların arkasında kullanılmaktadır (Sokalingam vd., 2017). Yüksek sertlik değerine sahip seramiklerde üretilmiş plakalar birincil zırh olarak kullanılmaktadır (Braga vd. 2018). Birincil zırhlar, mermi çekirdeklerini çarpma ile birlikte deforme edip çekirdek uç geometri yapısını bozar. Bu sayede delme gücü azalır. İkincil zırhlar ise çekirdek kütlesi ve hızıyla oluşan kinetik enerjiyi daha geniş bir bölgeye dağıtarak soğurulmasını sağlarlar (Bitlisli ve Yazıcı 2019). Zırh yapısı içerisinde merminin aldığı mesafe uzadıkça daha fazla yüzeyden enerji dağıtılır. Bu sayede daha yüksek bir balistik limite çıkmış olur (Sabet, Beheshty, ve Rahimi 2009).

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Bal Peteği**

Kompozit malzemeler rijit yapıları, yüksek yorulma dayanımları ve düşük ağırlıkları sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak üretim maliyetleri ve üretim güçlüğü temin edilmelerini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada sert ve yumuşak fazlı tabakaları oluşturmak üzere; 100x100 mm boyutlarında ticari olarak 2 numara olarak adlandırılan hücre çapı yaklaşık 5-6 mm, hücre yüksekliği 9 mm olan bal petekleri seçilmiştir. Bu boyutlardaki bal peteğinin kütlesi 5,75 g gelmektedir. Şekil 3.1'de deney numuneleri için seçilen doldurulmamış bir bal peteği görülmektedir.



**Şekil 3.1.** Sandviç Panel Üretiminde Kullanılan Bal Peteği

### 3.1.2. Termoset Reçine

Termoset reçine oda sıcaklığında çalışılabilecek bir form olması ve çözücü ve aşındırıcılara karşı mükemmel direnç göstermesi, yüksek sıcaklık dayanımı, ısıya karşı dayanıklılık, yorulma gücü, özel esneklik, mükemmel yapışma, mükemmel perdahlama (parlatma, boyama vb.) özellikleri dolayısı ile seçilmiştir ve çalışmamızın ana malzemelerinden birini oluşturmaktadır.

Şekil 3.2’de Ticari adı ÇZR 8005 olan fenolik zımpara reçinesi görülmektedir. Bu reçine alümina ile karıştırılarak tabakanın sert fazını oluşturacak şekilde kullanılmıştır.



**Şekil 3.2.** ÇZR 8005 Fenolik Zımpara Reçinesi

### 3.1.3. RTV Kalıp Silikonu

Akıcı özelliği ile zor ve detaylı bölgelere kolayca nüfuz etmesi, yüksek ısı ve kimyasal dayanımı, düşük çekme oranı, yüksek mekanik dayanım, yüksek kopma ve yırtılma direnci, alerjen karşıtı olması ve cilt ile temas ettiğinde bilinen bir zararının olmaması nedenleri ile tasarlanan sandviç yapının yumuşak fazında tercih edilmiştir.

Oda koşullarında RTV silikon ve alümina belirlenen oranlarda karıştırılıp bal peteği içerisine tam nüfuziyetle (boşluk kalmayacak şekilde) doldurulmuştur.

Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri arasında en çok kullanılan RTV kalıp silikonudur. Sıvı halde bulunan termoset plastikler, ısı yolu ile kimyasal tepkimelere sokularak sağlamlaştırılır. Termoset polimerler, termoplastiklerden farklı bir polimerizasyon süreci geçirmektedir. Geri dönüşü olmayan, bir kez uygulandığında yeniden eski halini alması mümkün olmayan bir işlem olarak gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklara tabi tutulsa bile yumuşamaz. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurularak depolanmaktadır. Dondurucudan çıkarılıp 1 hafta ile 4 hafta arasında oda sıcaklığında bekletilen termosetler sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybeder. Şekil verilmesi zorlaşır ve kullanılamaz hale gelir. Şekil 3.3, RTV kalıp silikonunu göstermektedir.



Şekil 3.3. E50 RTV Kalıp Silikonu

### 3.1.4. Alümina ( $Al_2O_3$ )

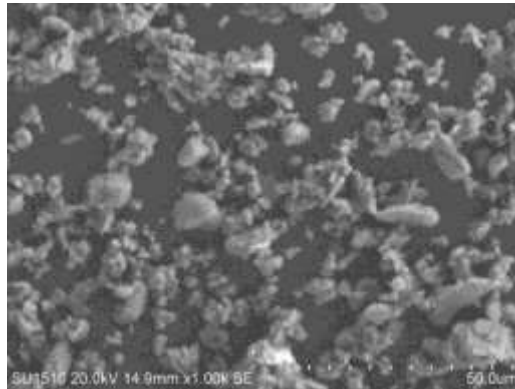
Farklı saflıklardaki alümina en çok kullanılan bir seramik malzemedir.  $Al_2O_3$ , ince ve iri taneli olarak çeşitli mikron düzeylerinde bulunmaktadır. Alüminanın kullanım alanları arasında, seramik endüstrisi, cam endüstrisi, refrakter endüstrisi, öğütücü malzeme üretimi, birincil alüminyum üretimi, şeffaf zırh üretimi, seramik kesici üretimi, substratlar ve direnç çekirdekleri, aşınma koruması ve yüksek hızlara dayanımlı plakalar, tekstil mühendisliğinde iplik kılavuzları, musluklar ve vanalar için sızdırmazlık elemanı ve regülatör diskleri, aydınlatma sistemleri için soğutma blokları, termal uygulamalarda koruma boruları veya kimya sektöründe katalizör taşıyıcıları sayılabilir.

Ticari adı EtiAlu 305 olan, kimyasal içeriğinde  $\%>99.3$   $Al_2O_3$  bulunan, tane boyutları 40-70  $\mu m$  aralığında ve  $\alpha \cong 90$  değerlerindeki öğütülmemiş özel kalsine alümina sert ve yumuşak tabakaları oluşturan karışımlarda kullanılmak üzere seçilmiştir.

Şekil 3.4'te 40-70  $\mu m$  boyutlarındaki  $Al_2O_3$ 'ün, Şekil 3.5'te ise bu alüminanın elektron mikroskobu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.4. Alümina Tozları



Şekil 3.5. Çalışmada Kullanılan Alüminaya Ait SEM Görüntüsü

### 3.1.5. Alüminyum Levha

Yüksek hızlı çalışmalarda yüksek hızlı darbenin kinetik enerjisi peletin namlu çıkışı sonrası sahip olduğu kinetik enerjiye doğrudan bağlıdır. Pelet penetrasyonunun soğurulması ve çarpma etkisinin şekil değişimine dönüşmesi beklenmektedir. Alüminyum levha, emiş gücünün yüksek olduğu bilinen kompozit malzemede pelet enerjisiyle ilk karşılaşacak malzeme olarak numune üzerindeki deformasyona ilk tepkiyi verecek bileşendir.

Bu çalışmada 5754 kalite alüminyum plakalar 100x100x0,5 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Çizelge 3.1 levha özelliklerini göstermektedir.

**Çizelge 3.1.** 5754 Al Levha Mekanik Özellikler (alüminyum burada, 2022)

Özellik	Değer
Akma Mukavemeti	80-100 MPa
Çekme Mukavemeti (MPa)	190-240 MPa
Uzama	% 24
Sertlik	50-55 Brinel

### 3.1.6. Pelet Geometrisi

Literatürde ve pazarda muhtelif geometrilerdeki peletlere rastlamak mümkündür. 300J üzerinde enerji çıkışı sağlayan PCP havalı tüfek peletleri üç farklı gramajda seçilerek yüksek hızlı atışlarda kullanılmıştır. Şekil 3.6 yüksek hızlı darbe uygulamalarımızda kullanılan peletleri göstermektedir.





c)

**Şekil 3.6.** Havalı Tüfek Peletleri (a: 32 gr, b: 44 gr ve c: 50 gr)

Bu çalışmada kullanılan 32, 44 ve 50 gr peletlerin gram olarak kütle karşılıkları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

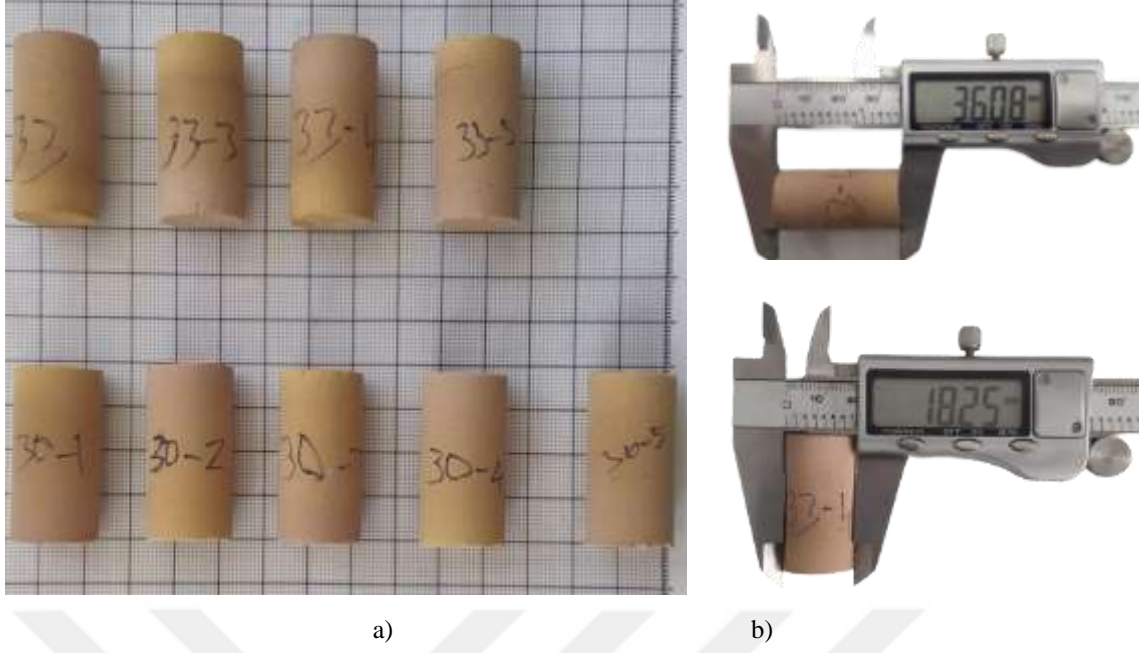
**Çizelge 3.2.** Pelet ağırlık dönüşümleri

grain	kütle [g]
1	0,06479891
32	2,073565
44	2,851152
50	3,239946

### 3.1.7. Sert Tabakayı Oluşturan Malzemelerin Üretimi

Sert tabaka üretimi öncesi, çapı 8 mm, yüksekliği 36 mm olacak şekilde ısıya dayanıklı PP boru içerisine yedirilip kürlenmek üzere silindirik deney numuneleri hazırlanarak basma testleri yapılmıştır. (Numuneler bal peteği yapılı kompozit malzemelerin kürlenme şartlarıyla aynı şartlarda fırınlanmıştır). Basma testlerinde kullanılan numuneler çeşitli karışım oranlarıyla hazırlanmıştır. Basma testi sonuçlarına göre en uygun karışım oranı olarak %33 reçine, %67 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak belirlenmiştir.

Numuneler, karışımda bulunan reçine oranlarına göre 30, 33, 35 olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.7 basma test numunelerinin çap ve boy ölçülerini, Şekil 3.8 basma test düzeneğinde test anını, Şekil 3.9 basma testi sonrası numunede gözlenen deformasyonu göstermektedir.



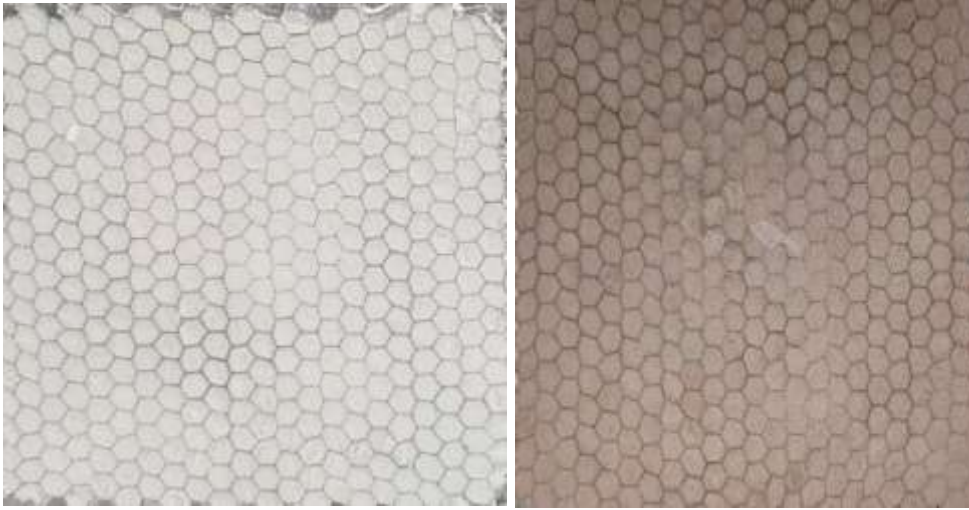
Şekil 3.7. a) Basma Test Numuneleri b) Ölçüleri

Sandviç panellerin sert olanının üretimi için önce bal peteği 100x100 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Fenolik reçine ile alümina karışımı çeşitli oranlarda hazırlanarak en iyi basma dayanımını gösteren kürlenme zamanı ve karışım oranı sağlanana kadar denemeler yapılmıştır.

Sert faz karışımı, bal peteği yapılı kompozit malzeme içerisine petek yapısı bozulmayacak, hava kabarcığı kalmayacak şekilde dol birinci tabaka hazırlanmıştır.

Hazırlanan numuneler, 80°C'ye ayarlanmış olan etüv fırın içerisine 120°C'ye 30 dakikada çıkacak şekilde yerleştirilmiştir. 120°C'de numuneler kürlenmek üzere 2 saat boyunca fırınlanmıştır. Toplam 2 buçuk saatte kürlenmiş numuneler hiçbir ek müdahale yapılmaksızın oda sıcaklığında bekletilerek soğutulmuştur. Şekil 3.8.a.'da %33 fenolik reçine, %67 alümina karışımının kürlenme öncesi bal peteği yapısı içindeki görüntüsü, Şekil 3.8.b.'de kürlenme sonrası görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3.9'te fenolik reçine-alümina karışımının elektron mikroskopundaki görüntüsü yer almaktadır.

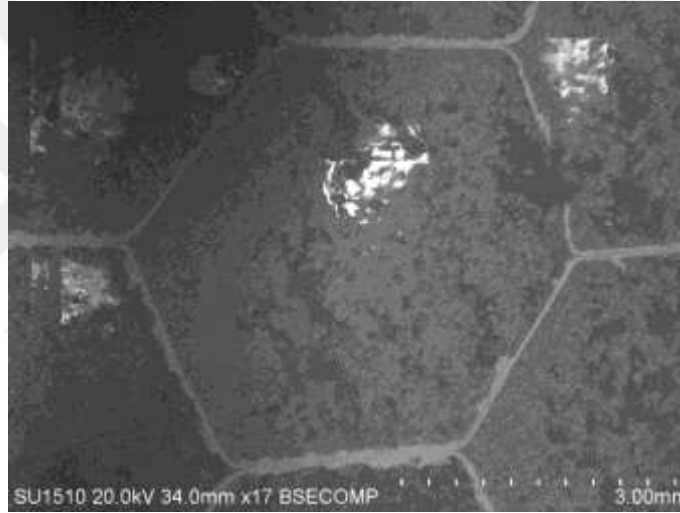
Kürlenmiş bir sert tabakanın kütlesi ortalama 150 g olarak ölçülmüştür. Bu katmanın sertliği ise 90 Shore D olarak ölçülmüştür.



a)

b)

**Şekil 3.8.** Sert Tabaka a) Kürlenme  ncesi ve b) Kürlenme Sonrası Görünümleri



**Şekil 3.9.** %33 Fenolik Reçine, %67 Alümina Karışımının Kürlenme Sonrası SEM Görüntüsü

### 3.1.8. Yumuşak Tabakayı Oluşturan Malzemelerin  retimi

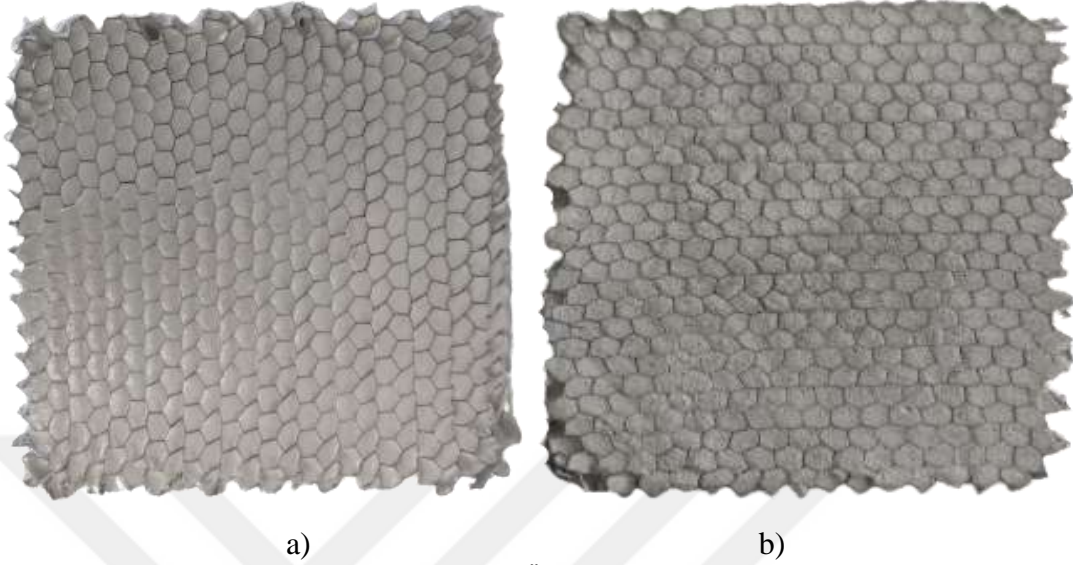
Kompozit malzemenin iki tabakasından yumuşak olanının üretiminde bal peteği yapılı kompozit malzeme 100x100 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır.

E50 RTV silikon ile alümina karışımı 10 gram RTV'ye 7 gram alümina oranlanarak ve ağırlıkça %1,2 sertleştirici eklenerek hazırlanmıştır.

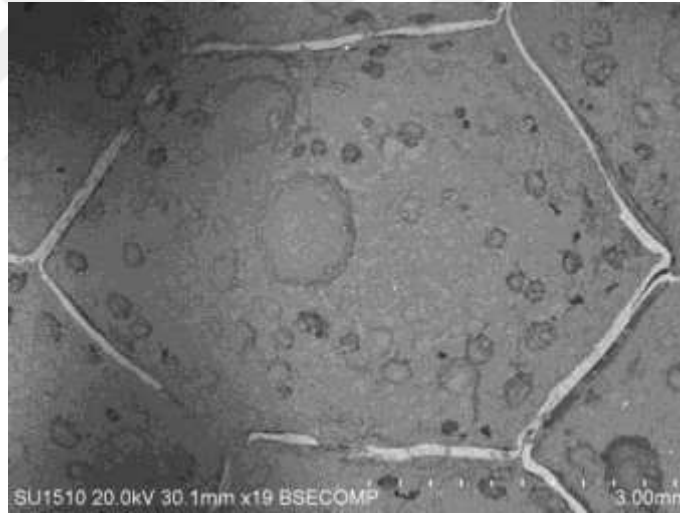
Yumuşak faz karışımı, bal peteği yapılı kompozit malzeme içerisine petek yapısı bozulmayacak, tam bir nüfuziyet sağlanacak şekilde ikinci tabaka hazırlanmıştır.

Hazırlanan numuneler, 120°C'ye ayarlanmış olan iki plaka arasında 24 saat fırınlanmıştır. Şekil 3.10.a ve Şekil 3.10.b.'de E50 RTV silikon ile alümina karışımının

kürlenme öncesi ve sonrası görünümleri yer almaktadır. Şekil 3.11’te RTV-Alümina karışımının elektron mikroskobundaki görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.10. Yumuşak Tabaka a) Kürlenme Öncesi ve b) Kürlenme Sonrası Görünümleri



Şekil 3.11. RTV-Alümina Karışımının Kürlenme Sonrası SEM Görüntüsü

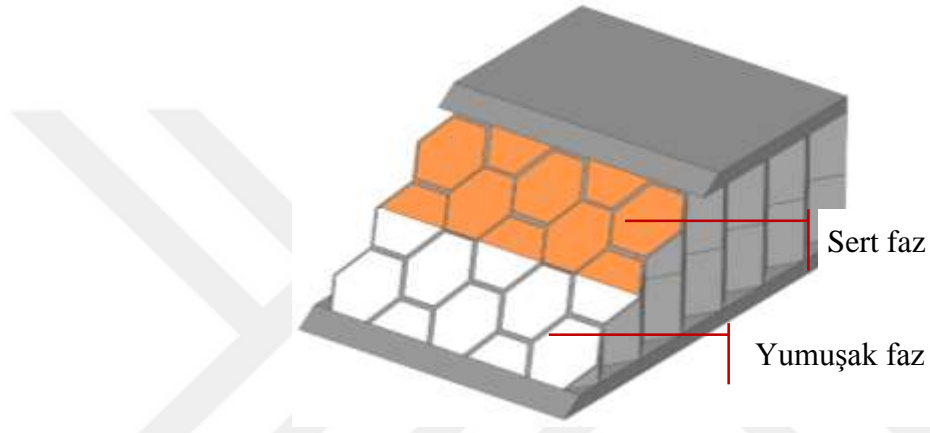
Kürlenmiş bir yumuşak tabakanın kütlesi ortalama 150 g gelmektedir. Kürleme sonrası bir bal peteği gözü ortasından *Shore A* yöntemiyle yapılan sertlik ölçümünün sonucu 50 olarak bulunmuştur.

### 3.1.9. Sandviç Panelin Oluşturulması

Sert ve yumuşak tabakalar kürlenme sonrası hazır hale gelmelerinin ardından; önce poliüretan yapıştırıcı ile birbirlerine daha sonra alüminyum plakalar numunenin her iki

yüzeyine yapıştırılmıştır. Numunelere yapıştırıcı sürüldükten sonra sandviç paneller oluşturulmuş ve 60°C’de iki plaka arasında 24 saat ısıtma işlemi yapılmıştır. Yapıştırıcının bozulma sıcaklığı 80°C olduğu için güvenli sıcaklık seviyesinde kalınarak numunelerin ve yapıştırıcının hasar görmesi engellenmiştir. Yapıştırma sonucunda üretimi tamamlanan numunelerin kütlesi ortalama 290 g olmuştur. Bu değerler ile sandviç panellerin birim alanın kütlesi 29 kg/m<sup>2</sup> olmaktadır.

Şekil 3.12.’de temsili katmanlar, Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.’te ise uygulama aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.12. Sert-Yumuşak Tabakalar ve Alüminyum Plakaların Temsili Görüntüleri



Şekil 3.13. Sert ve Yumuşak Tabakalar ile Alüminyum Plakaların Yapıştırma Öncesi Hazırlığı



**Şekil 3.14.** Sert ve Yumuşak Tabakalar ile Alüminyum Plakaların Çift Taraflı Isı Plakasında Yapıştırılması

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Basma Testi

Basma deneyleri maksimum basma kapasitesi 100 kN olan Shimatzu marka AG-X model basma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çapraz kafanın hızı 0,007 mm/s dir. Her bir parametre (reçine/alümina oranları) için en az üç adet numune test edilmiştir.

### 3.2.2. Yüksek Hızlı Darbe (Atış) Deneyi



**Şekil 3.15.** Atış Düzenegi

Şekil 3.15'te görülen yüksek hızlı darbe (atış) test düzeneği Beyşehir Üzümlü 'de bulunan Kral Silah fabrikasında bulunmaktadır. Atış düzeneği, namlu ucu ile hedef arasındaki mesafe 22 metre olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. AF- 700L Mesafe Ölçümü

Deney düzeneğinde hedef olarak hazırlanan numunelere 32 gr pelet ile başlayarak sırasıyla 44 gr ve 50 gr peletler havalı PCP tüfek ile atış yapılmıştır. Tüm atışlarda, tüfek hava basıncı 250 bar basınç sabit tutulmuştur.

Altı adet numunenin sert ve yumuşak yüzeylerine birer atış yapılarak yumuşak ve sert yüzeylerde numunelerin yüksek hızlı davranışları gözlemlenmiştir. Toplam on iki adet atış yapılmıştır.

32 gr peletler 5 ve 6 numaralı numuneler,

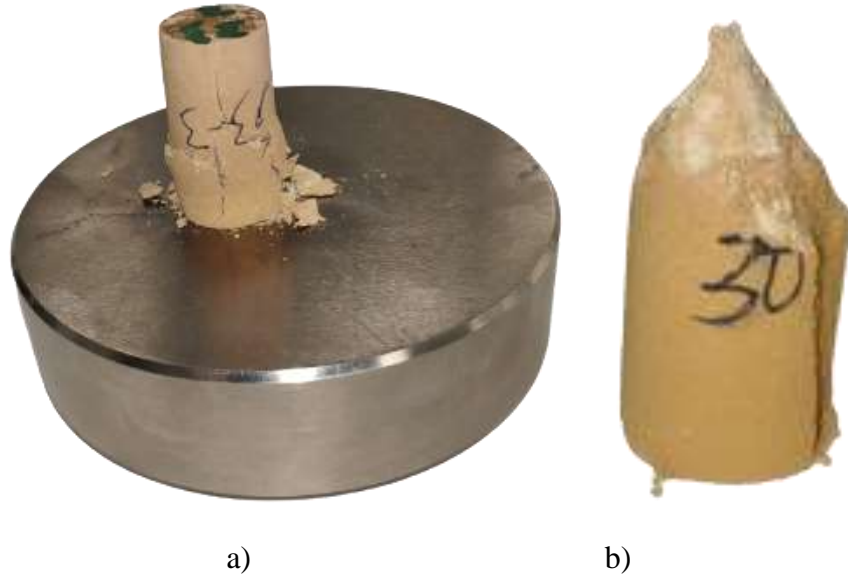
44 gr peletler 1 ve 2 numaralı numuneler,

50 gr peletler 3 ve 4 numaralı numuneler

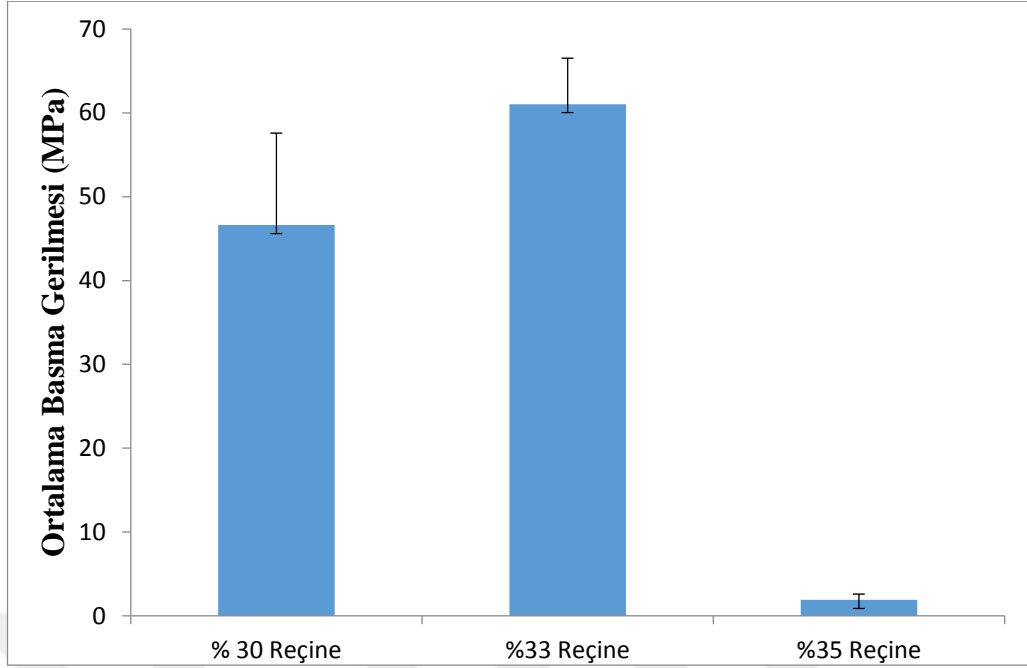
üzerine yüksek basınçlı PCP tüfek ile atış yapılarak yüksek hızlı darbe oluşturmuştur.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Basma Testi



Şekil 4.1.a. ve Şekil 4.1.b.'de iki farklı karışım oranı ile hazırlanan basma test numunelerinin test aşaması gösterilmiştir. Şekil 4.2.a. ve Şekil 4.2.b. basma testi sonrasında hasarlanan numuneleri göstermektedir.



Şekil 4.3. Ortalama Basma Gerilmeleri

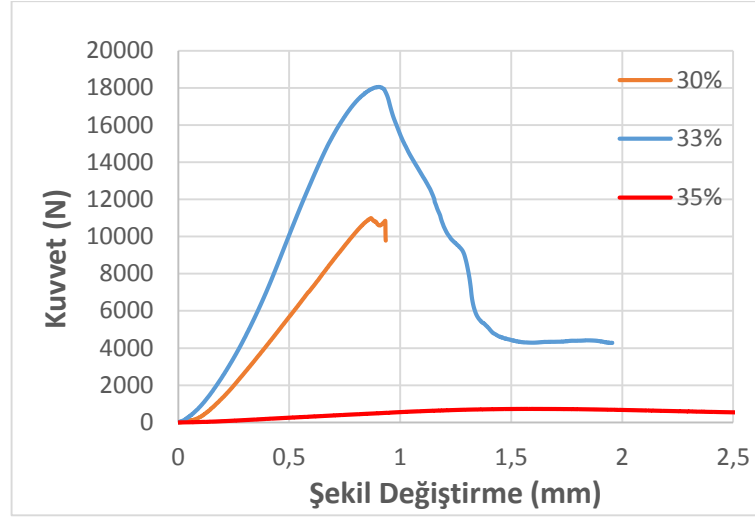
Şekil 4.3.'de yer alan standart sapma grafiği, sert faz üretiminde kullanılacak karışım oranlarının belirlenmesi için yapılan basma testleri sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda ortaya çıkmıştır. 100 gram karışım içerisinde %33 reçine, %67 alümina olacak şekilde hazırlanan basma test numunelerinin ortalama gerilme değerlerinde oluşan standart sapma diğer karışım oranlarına göre daha düşük çıkmıştır. Numuneler aynı şartlarda kürlendiği hâlde %35'lik karışımında reçine oranının görece fazla olması basma testlerinde numunenin ani hasar görüp mantarlaşmasına yol açmıştır. Sert fazın en yumuşak yapısı %35 reçineli karışımında oluşmuş ve istenilen mukavemet değeri gözlemlenememiştir.

Tüm karışım oranları değerlendirildiğinde %30 fenolik reçine ile %67 alümina karışımının standart sapma değerinin %33'lük karışıma göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Nihai olarak karışım, %33 fenolik reçine, %67  $Al_2O_3$  olacak şekilde üretilmiştir.

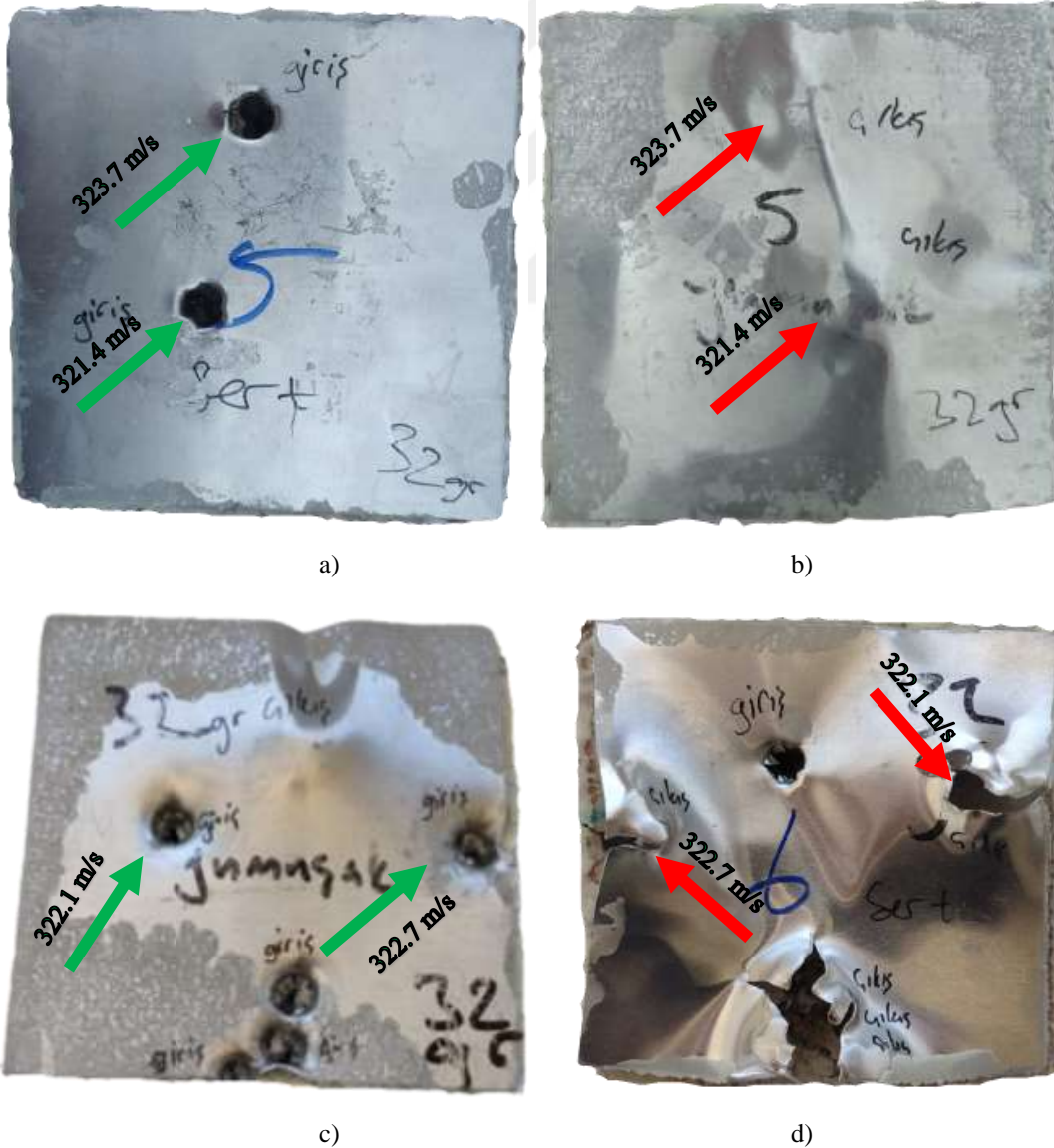
Üç farklı karışım oranı ile gerçekleştirilen basma testlerine ait Kuvvet-Şekil Değiştirme Grafiği Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.

Diğer numuneler ait basma grafikleri Ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 4.4. Kuvvet-Uzama Grafikleri

#### 4.2. 32 Gr Pelet Atışları

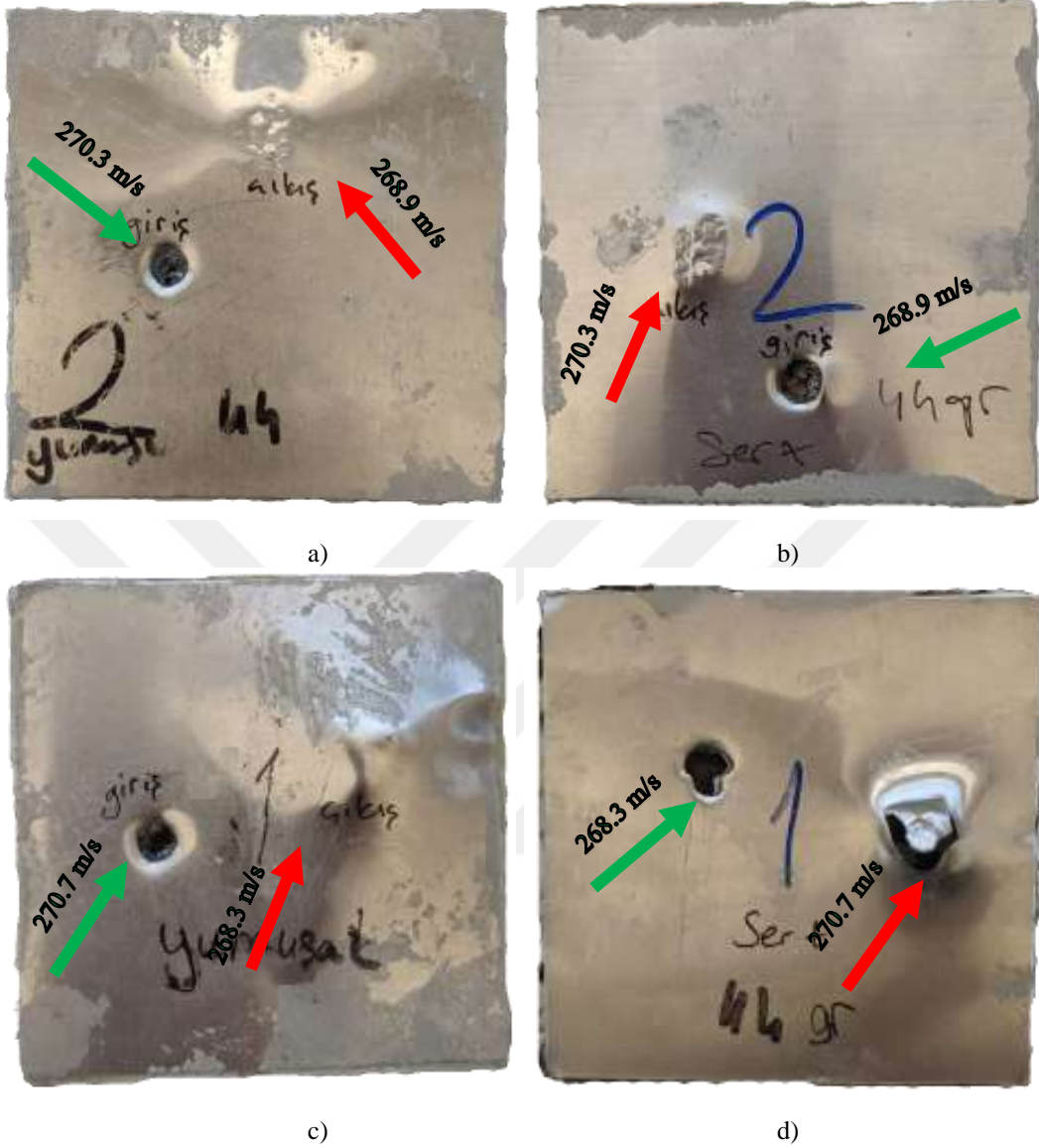


Şekil 4.5. 32 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış)

Şekil 4.5.a. ve Şekil 4.5.b.'de 5 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namlu çıkış hızları 323,7 m/s ve 321,4 m/s olan 32 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Her iki atış da sert tabakadan pelet girişi oluşturan atışlardır. Şekil 4.5.c. ve Şekil 4.5.d.'de 6 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namlu çıkış hızları 322,1 m/s ve 322,7 m/s olan 32 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Her iki atış da yumuşak tabakadan pelet girişi oluşturan atışlardır.

Sert faz bölgesinden pelet girişi oluşacak şekilde yapılan atışlarda peletin; giriş tarafındaki plakayı, sert fazı ve ardından yumuşak fazı deldiği, yumuşak faz bölgesindeki alüminyum plakayı ise dışbükey olarak tahrip ettiği ancak peletin numuneden çıkışının olmadığı gözlemlenmiştir.

### 4.3. 44 Gr Pelet Atışları



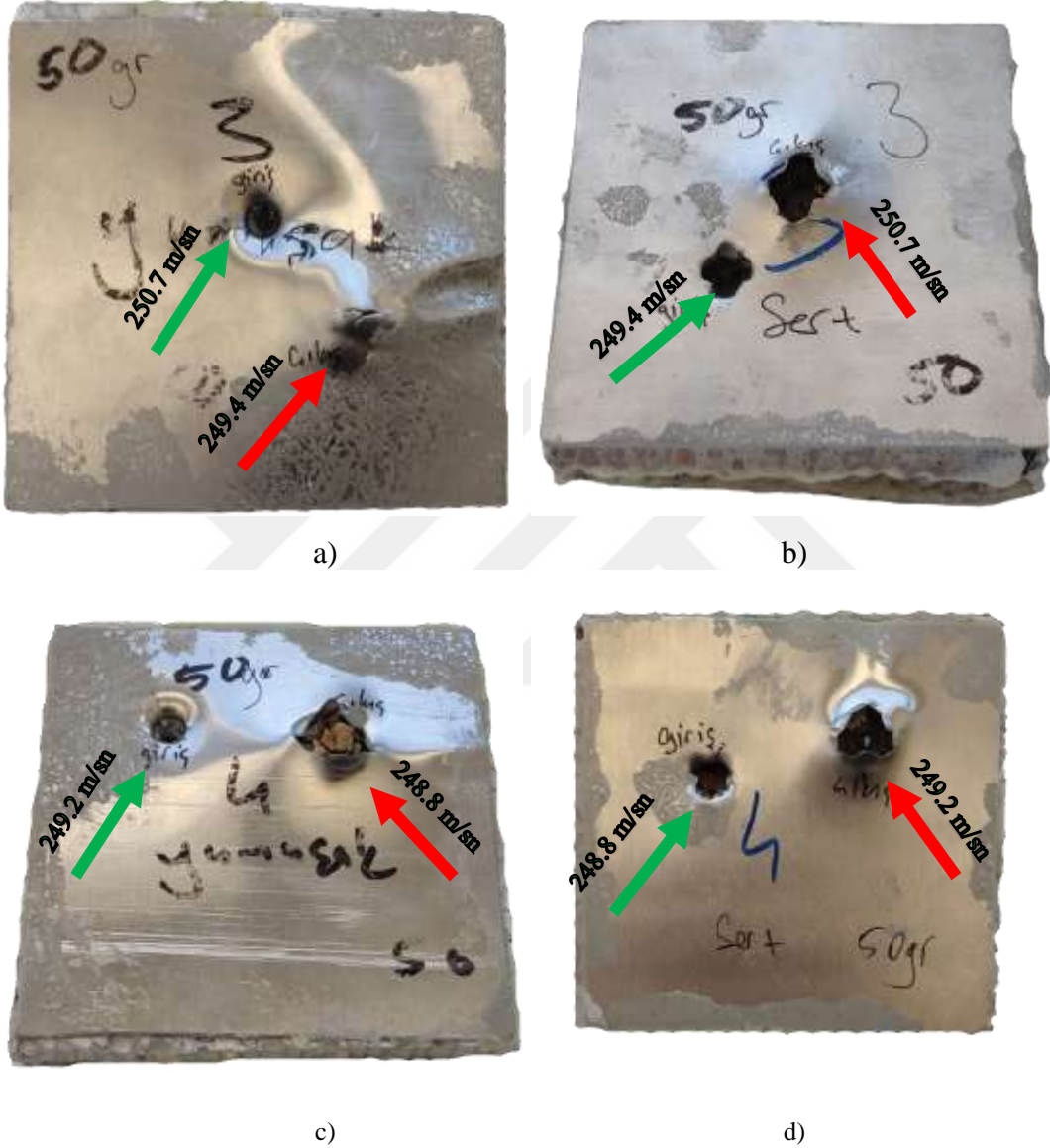
Şekil 4.6. 44 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış)

Şekil 4.6.a. ve Şekil 4.6.b.'de 2 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namli çıkış hızları 270,3 m/s (yumuşak tabakadan giriş) ve 268,9 m/s (sert tabakadan giriş) olan 44 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Şekil 4.6.c. ve Şekil 4.6.d.'de 1 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namli çıkış hızları 270,7 m/s (sert tabakadan giriş) ve 268,3 m/s (yumuşak tabakadan giriş) olan 44 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir.

Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere yumuşak fazdan giriş yapan 44 gr peletin sert faz bölgesinde alüminyum plakayı tahrip edip numuneden tamamen çıkmıştır. Pelet kütlesi

artıkça mermi çıkış hızları düşse de 32 ve 44 gr atışların numunelerde meydana getirdikleri tahribat benzer olmuştur.

#### 4.4. 50 Gr Pelet Atışları



Şekil 4.7. 50 gr Pelet Atışları (a: 1. atış, b: 2. atış, c: 3. atış, d: 4. atış)

Şekil 4.7.a. ve Şekil 4.7.b.'de 3 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namlu çıkış hızları 250,7 m/s (yumuşak tabakadan giriş) ve 249,4 m/s (sert tabakadan giriş) olan 50 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir. Şekil 4.7.c. ve Şekil 4.7.d.'de 4 numaralı numunenin yumuşak ve sert tabakalarına ayrı ayrı yapılan, namlu çıkış hızları 249,2 m/s (yumuşak tabakadan giriş) ve 248,8 m/s (sert tabakadan giriş) olan 44 gr pelet atışlarına ait giriş ve çıkış noktaları görülmektedir.

Şekil 4.7.'de yer aldığı üzere en düşük hızlardaki atışlar 50 gr peletler ile gerçekleşmiştir. 250 bar sabit basınç altında mermi hızlarındaki ağırlık bazlı değişim deney setinde sonucu değiştirecek etki göstermemiştir. 50 gr pelet ile yumuşak faz bölgesinden yapılan atışlar, numuneyi tahrip edip sert faz bölgesi tarafından tamamen numune dışına çıkararak pelet kütlesi 50 gr ve altında olan tüm pelet atışlarında aynı sonucun alınacağını göstermiştir.

50 gr pelet atışlarında sert fazdan girişi olan atışlar sonucu yumuşak faz bölgesindeki alüminyum plakadaki hasarın 32 ve 44 gr atışlara kıyasla daha fazla olduğu ancak peletin daha düşük kütleli atışlarda olduğu gibi numune içinde kaldığı ve numune dışına yumuşak faz bölgesinden çıkamadığı sonucu gözlemlenmiştir.



a)

b)

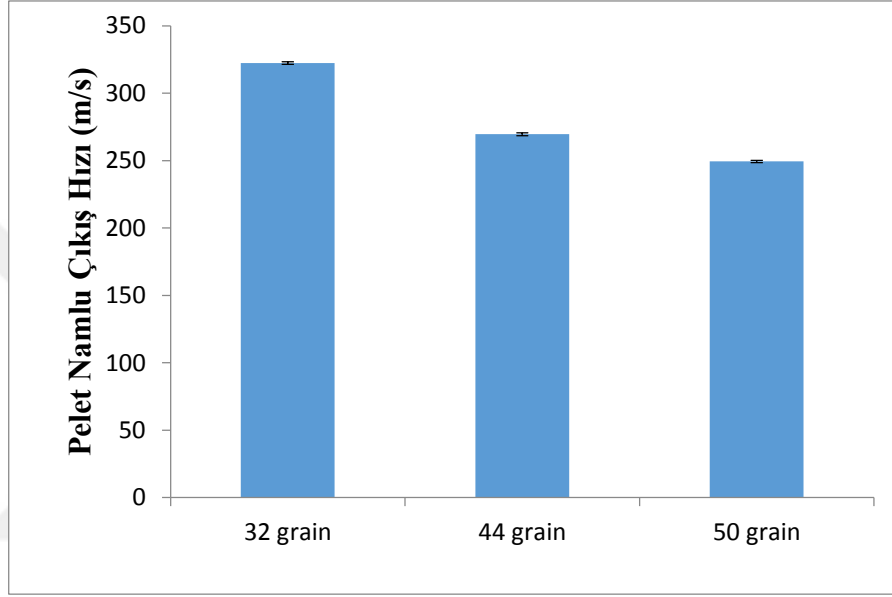
**Şekil 4.8.** Lokal Hasar Görüntüleri (a: numune 1, sert faz.,b: numune 3, yumuşak faz)

Tez kapsamında kullanılan pelet kütlelerinin tümü ile yapılan yüksek hızlı atışlarda yumuşak ve sert faz katmanlarında oluşan hasarların lokal hasar olarak oluştuğu gözlemlenmiş ve Şekil 4.8.'de ilgili hasarlar görülmektedir.

Yüksek hızlı testler sonucunda pelet ağırlığı arttıkça pelet çıkış hızının azaldığı, enerjinin düştüğü görülmüştür. Pelet çıkış hızlarına bağlı olarak 32 gr atışlarda peletin giriş-çıkış çaplarının daha ağır peletlere göre küçük olduğu görülmüştür.

#### 4.5. Atışlara Ait Hız ve Enerji Bilançoları

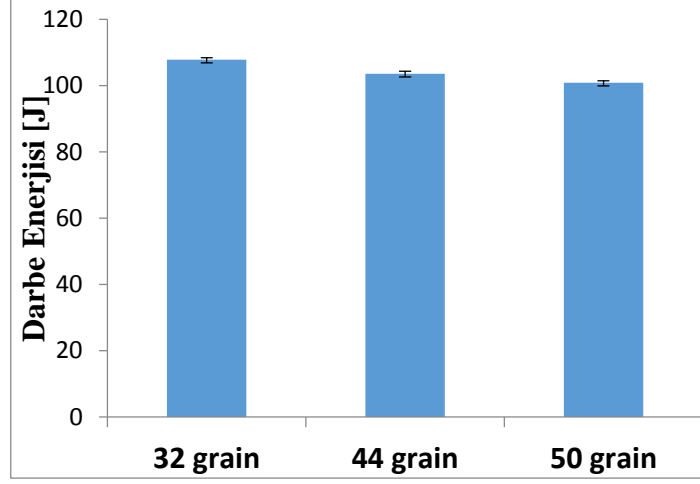
Atış deneylerin tamamı tüfek hava basıncı 250 bar sabit kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kütleleri farklı olduğundan (32, 44 ve 50 gr) peletlerin namlu çıkışları aynı olmamıştır. Pelet çeşitlerine göre ortalama namlu çıkış hızları Şekil 4.9 da verilmiştir.



Şekil 4.9. Parçacık Namlu Çıkış Hızı

Şekil 4.9 dan her bir peletin namlu çıkış hızının hemen hemen sabit olduğu söylenebilir. Bu tespiti standart sapmanın küçük olması onaylamaktadır.

Yüksek hızlı atışlarda numune ile parçacık mesafesi kısa olduğundan (deneylerimizde 22 m) namlu çıkış hızı ile parçacığın (pelet) deney levhasına çarpma hızı aynı olur. Bu nedenle namlu çıkış hızı darbe hızı olarak ta düşünülebilir. Üretilen sandviç plakalara yapılan darbelerin enerjileri (pelet kinetik enerjisi) Çizelge 3.2 de verilen pelet ağırlık dönüşümleri ve ortalama namlu çıkış hızları yardımıyla hesaplanabilir. Hesaplanan darbe enerjileri Şekil 4.10 da sunulmuştur.



Şekil 4.10. Darbe Enerjileri

Hesaplama sonucunda bu değerler 32, 44, ve 50 gr peletler için sırasıyla 107 J, 104 J ve 101 J çıkmıştır. Bu deneyler ve yapılan hesaplar göstermiştir ki 250 bar ön hava yüklemeli tüfek yaklaşık 104 J lük bir darbe üretmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

#### 5.1.1. Üretim Sonuçları

- Basma deneyleri sonucunda optimum karışım oranı %33 reçine, %67  $Al_2O_3$  olarak bulunmuştur.
- Bal peteğinin üretim şekli gereği petek yapısının yatay düzlemde bozulmaya müsait olduğu görülmüştür. Bu sebeple tabaka karışımlarının bal peteğine boşluksuz bir şekilde doldurulması esnasında bal peteğinin deforme olmaması için titiz davranılmalıdır.
- Sert tabaka üretiminde alümina ile reçinenin karıştırılması esnasında alümina tozunun reçineye çabuk yapıştığı, el ile karışımın hazırlanmasının zorlaştığı görülmüştür.
- Yumuşak tabaka üretiminde RTV ile alümina aynı kaba konulduktan sonra sertleştirici dökülmesiyle birlikte sertleşmenin aniden başladığı, karıştırma süresinin kısıtlı olduğu görülmüştür. Sertleşmenin karıştırma esnasında giderek artması RTV ve alümina arasında tam nüfuziyet sağlanma süresini azaltmış yaklaşık 15 dk içerisinde bal peteğine karışımın boşluksuz bir şekilde doldurulması gerektiği, aksi halde karışımın koparak dağılma özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

#### 5.1.2. Yüksek Hızlı Darbe Deneyleri

- Sert ve yumuşak tabakalı bal peteği özlü sandviç panellerin; Sert yüzey tarafından yapılan yüksek hızlı atışlarda pelet girişi olmuş fakat yumuşak taraftan çıkış olmamıştır. Yumuşak tabaka yüzeyinde bulunan alüminyum plakada hasar oluşmuş ve plaka peleti durdurucu etki oluşturmuştur. Yumuşak tabaka üzerine uygulanan atışlarda ile pelet giriş çapının pelet çıkış çapından küçük olduğu ve peletin sert tabakayı ve sert tabaka yüzeyinde bulunan alüminyum plakayı delip numuneden çıktığı görülmüştür.
- 50 gr pelet atışlarında sert tabakadan giriş yapan peletlerin yumuşak tabakayı deldiği, yumuşak tabaka üzerindeki plakayı ise 32 ve 44 gr peletlere nazaran daha çok tahrip ettiği gözlemlenmiştir.

- Tüm atışların ortak hasar sonuçlarına bakıldığında pelet çıkış çapları, giriş çapına göre büyüse de numunede oluşturdukları hasarın lokal olduğu görülmüştür. Numunelerde pelet giriş çıkışı dolayısı ile kılcal çatlak oluşmamış, bal peteği hücrelerinde en küçüğü 10 mm, en büyüğü 15 mm çapında pelet çıkışları görülmüştür.
- Yüksek hızlı testler sonucunda hazırlanan tabakalı kompozit malzemenin sert tabakası pelet ya da şarapnel girişi olacak şekilde kullanılması durumunda deneylerde kullanılan enerji ve hızlarda koruyucu zırh etkisi sağlayabileceği görülmüştür.
- Sandviç panellerde sert faz bölgesi tarafından yapılan atışlarda peletin yumuşak faza geçişinde darbenin ilk sönümlenme noktası olan RTV-alümina karışımı bölgesidir. Sert faz tane yapısının yumuşak faza göre daha rijit olması enerjinin görece büyük kısmı absorbe olmuştur.
- Yumuşak fazın pelet enerjisini karşılayan ilk bölge olduğu atışlarda enerji sönümlemesi malzemenin sertliği ve rijitliğine bağlı olarak görece daha az gerçekleşmiş ve pelet sert fazdan çıkabilecek enerjiyi kaybetmeden tabakaların içerisinden tamamen çıkabilmiştir.
- Atış deneylerinde namlu çıkış hızları farklılık gösterirken darbe enerjileri hemen hemen aynı kalmıştır.
- Yapılan deneyler sonucunda yorgun mermi, şarapnel vs. gibi dolaylı parça tesirine (darbe) karşı koruma gösterebilen bir sandviç yapı elde edilmiştir.

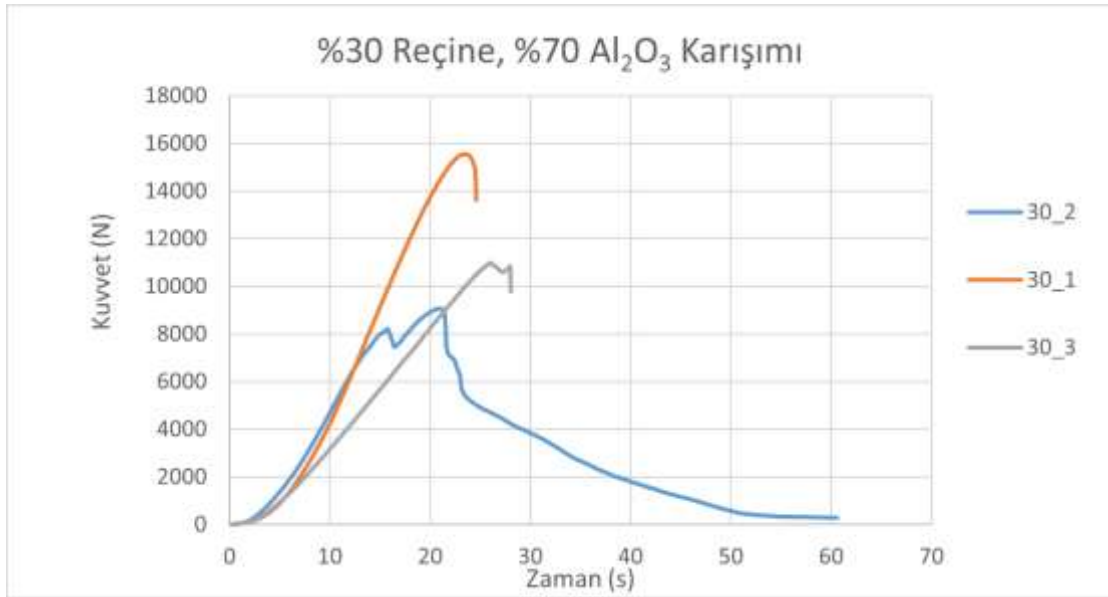
## 5.2 Öneriler

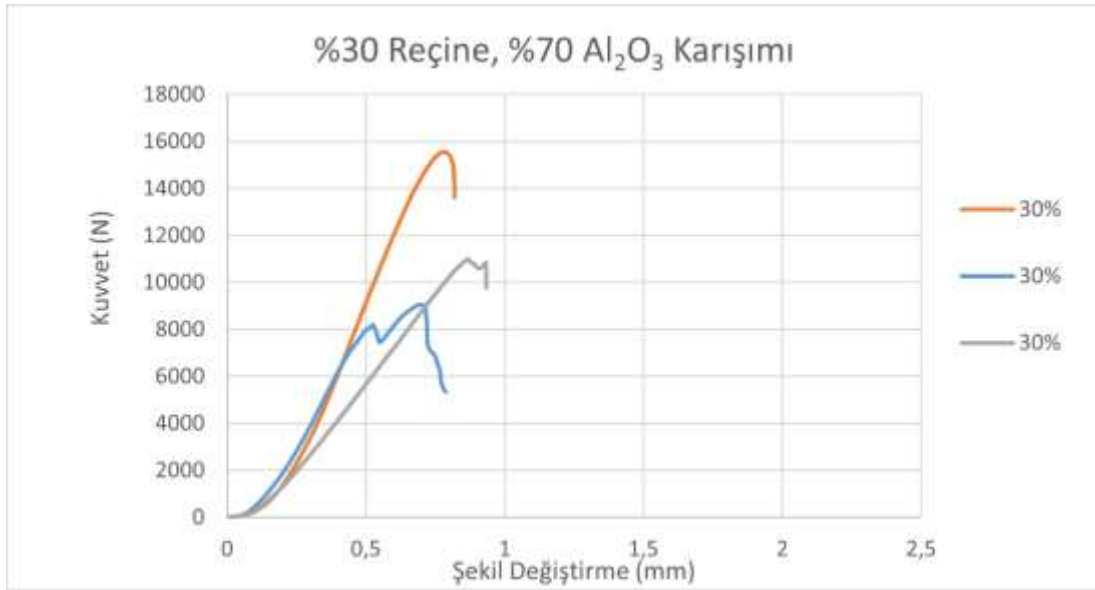
- Bu çalışmada kullanılan bal peteği yapıli kompozit malzeme yerine petek çapları daha küçük kompozit malzemeler kullanılabilir.
- Yüksek hızlı atış yapılan poligonda atış mesafesi değiştirilerek bulguların çeşitliliği sağlanabilir.
- Yumuşak tabakanın farklı karışımlarla yeniden tasarlanması ve dayanımının artırılması için çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan her iki tabakaya ayrı ayrı atışlar yapılarak sadece bir tabakadaki darbe davranışları gözlemlenebilir.
- Aynı tabakalar üzerinde farklı pelet çekirdekleri ile tabanca atışları ya da şarapnel etkisi gösterecek darbeler ile testler yapılabilir.

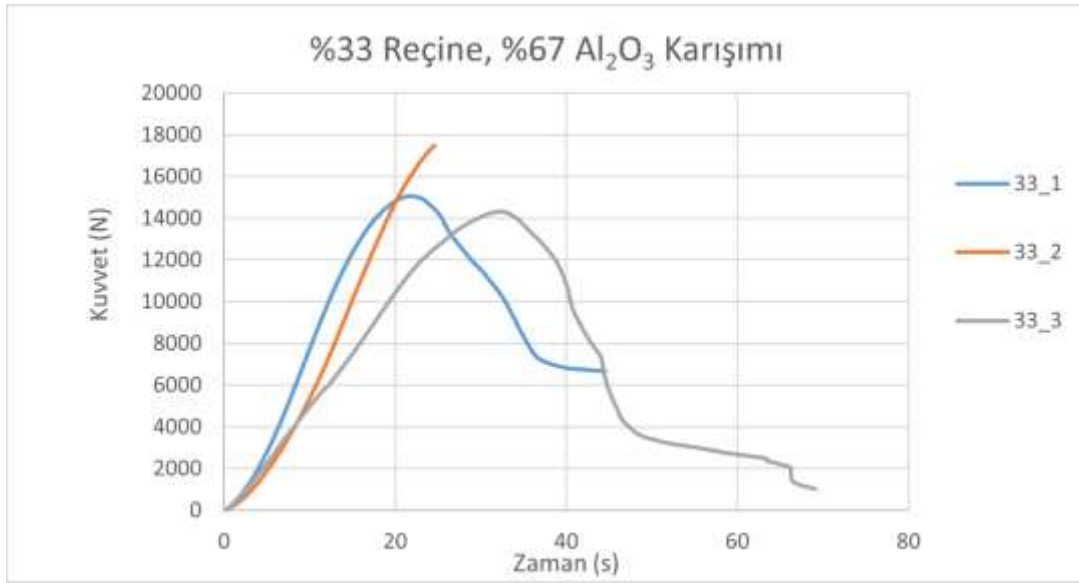
## KAYNAKLAR

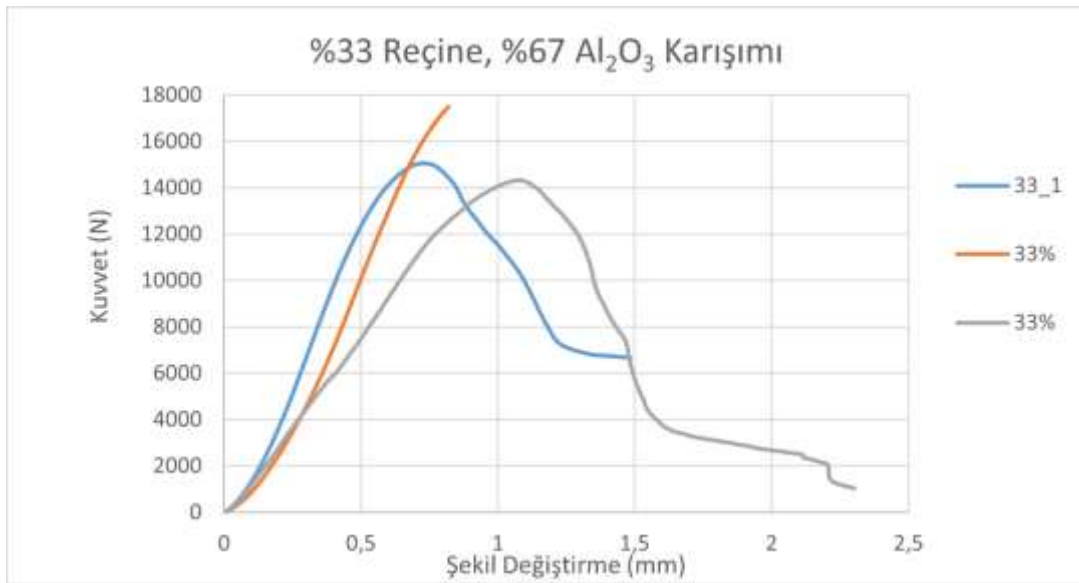
- Alüminyum Burada, 2022, EN AW 5754 Alüminyum Özellikleri [online], Poole, Bournemouth University, <https://aluminumburada.com/blog?p=5754-alasim-aluminyum-ozellikleri> [Ziyaret Tarihi: 21 Kasım 2022]
- Arslan, Nurettin ve Mete Onur Kaman. 2002. “Alüminyum, Kâğıt ve Cam Elyaf Petek Yapılı Kompozitlerin Üretim Teknikleri ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 4: 113-123.
- Bitlisli, Baybora ve Murat Yazıcı. 2019. “Araç Zırhlamada Kullanılan Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının İncelenmesi”. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 24 (1): 25-34. <https://doi.org/10.17482/uumfd.494262>.
- Bozdoğan, Faruk, Sacide Üngün, Emrah Temel ve Gamze Süpüren Mengüç. 2015. “Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Materyalleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri”. *Tekstil ve Mühendis* 22 (98): 84-103. <https://doi.org/10.7216/130075992015229808>.
- Braga, Fábio De Oliveira, Fernanda Santos da Luz, Sergio Neves Monteiro, ve Édio Pereira Lima. 2018. “Effect of the Impact Geometry in the Ballistic Trauma Absorption of a Ceramic Multilayered Armor System”. *Journal of Materials Research and Technology* 7 (4): 554-60. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.06.019>.
- Buitrago, Brenda L., Carlos Santiuste, Sonia Sánchez-Sáez, Enrique Barbero, ve Carlos Navarro. 2010. “Modelling of Composite Sandwich Structures with Honeycomb Core Subjected to High-Velocity Impact”. *Composite Structures* 92 (9): 2090-96. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.10.013>.
- Franke, Florian, Uli Burger, Sebastian Heimbs, Christian Seidel, Patrik Vincent Brudzinski, ve Dominic Huehn. 2017. “High Speed Impact Testing of Thermoplastic Composite Plates”. *Annual Forum Proceedings - AHS International*, 2495-2506.
- Jovicic, Jovan. 2003. “Numerical Modeling and Analysis of Static and Ballistic Behavior of Multi-Layered/Multiphase Composite Materials Using Detailed Microstructural Discretization”.
- Karagöz, Serap. 2008. “Malzeme Bilgisi”. 2008. malzemebilimi.net.
- Naik, N. K., ve A. v. Doshi. 2008. “Ballistic Impact Behaviour of Thick Composites: Parametric Studies”. *Composite Structures* 82 (3): 447-64. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2007.01.025>.
- National Research Council (U.S.). Committee on Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications., National Research Council (U.S.). National Materials Advisory Board., ve National Research Council (U.S.). Board on Army Science and Technology. 2011. *Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications*. National Academies Press.
- Nilakantan, Gaurav, Eric D. Wetzel, Travis A. Bogetti, ve John W. Gillespie. 2013. “A Deterministic Finite Element Analysis of the Effects of Projectile Characteristics on the Impact Response of Fully Clamped Flexible Woven Fabrics”. *Composite Structures* 95: 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.07.023>.
- Paris, Federico ve George Washington. 2001. “A Study of Failure Criteria of Fibrous Composite Materials”. <http://www.sti.nasa.gov>.

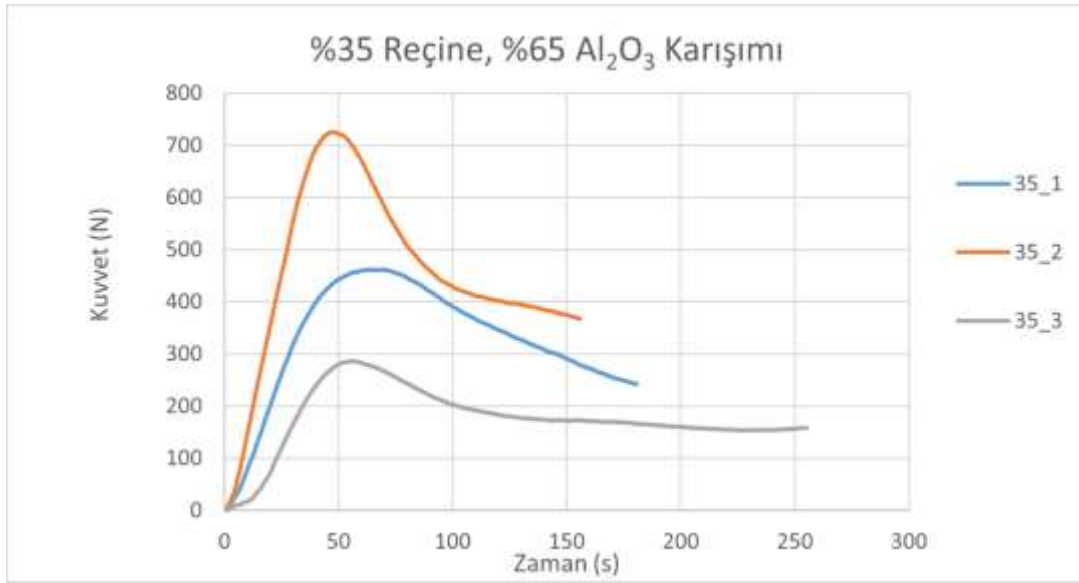
- Peijs, T., E. A.M. Smets ve L. E. Govaert. 1994. "Strain Rate and Temperature Effects on Energy Absorption of Polyethylene Fibres and Composites". *Applied Composite Materials* 1 (1): 35-54. <https://doi.org/10.1007/BF00567210>.
- Randjbaran, Elias, Rizal Zahari, Nawal Aswan Abdul Jalil, ve Dayang Laila Abang Abdul Majid. 2014. "Hybrid Composite Laminates Reinforced with Kevlar/Carbon/Glass Woven Fabrics for Ballistic Impact Testing". *Scientific World Journal* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/413753>.
- Sabet, Ali Reza, Mohammad Hosain Beheshty, ve Hamid Rahimi. 2009. "Experimental Study of Sharp-Tipped Projectile Perforation of Gfrp Plates Containing Sand Filler under High Velocity Impact and Quasi-Static Loadings". *Polymer Composites* 30 (10): 1497-1509. <https://doi.org/10.1002/pc.20720>.
- Sockalingam, Subramani, Sanjib C. Chowdhury, John W. Gillespie, ve Michael Keefe. 2017. "Recent Advances in Modeling and Experiments of Kevlar Ballistic Fibrils, Fibers, Yarns and Flexible Woven Textile Fabrics – a Review". *Textile Research Journal*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0040517516646039>.
- Solmaz, M Yavuz, Kadir Turan ve Aydın Turgut. 2010. "Petek Yapılı Kompozit Levhaların Eğilme Davranışlarının İncelenmesi" *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 22 (1): 1-11.
- Sözen, Eser, Gökhan Gündüz ve Erol İmren. 2016. "Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler". *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 18 (2): 194-194. <https://doi.org/10.24011/barofd.267304>.
- Starratt, Darlene, Tim Sanders, Elvis Cepus, Anoush Poursartip, ve Reza Vaziri. 2000. "An Efficient Method for Continuous Measurement of Projectile Motion in Ballistic Impact Experiments". *International Journal of Impact Engineering*. C. 24.
- Uyaner, Mesut ve Kara, Memduh. 2016. "Metal Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Enine Darbeye Karşı Davranışlarının İncelenmesi". *Selcuk University Journal of Engineering , Science and Technology* 4 (4): 256-256. <https://doi.org/10.15317/scitech.2016.56>.
- Zou, Z., S. R. Reid, ve Shuguang Li. 2003. "A Continuum Damage Model for Delaminations in Laminated Composites". *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 51 (2): 333-56. [https://doi.org/10.1016/S0022-5096\(02\)00075-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5096(02)00075-3).

**EKLER****EK 1: %30 Reçine, %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Zaman Grafiği**

**EK 2: %30 Reçine, %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Şekil Değişirme Grafiği**

**EK 3: %33 Reçine, %67 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Zaman Grafiği**

**EK 4: %33 Reçine, %67 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Şekil Değişirme Grafiği**

**EK 5: %35 Reçine, %65 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Zaman Grafiği**

**EK 6: %35 Reçine, %65 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Karışımı Kuvvet-Şekil Değişirme Grafiği**