



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB
PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI
İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

ESER SÖZEN

DANIŞMAN

PROF. DR. GÖKHAN GÜNDÜZ

BARTIN-2019



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB
PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI
İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

Eser SÖZEN

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. Süleyman KORKUT	- Düzce Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Eser SÖZEN tarafından hazırlanan “ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, 02.05.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Süleyman KORKUT

Üye : Prof. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA

Üye : Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ danışmanlığında hazırlamış olduğum “ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

02.05.2019

Eser SÖZEN

ÖNSÖZ

“ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak 2019 yılında hazırlanmıştır. Doktora Tez danışmanlığımı üstlenen, bununla birlikte araştırma konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi sırasında problemlere çözüm odaklı bakış açısıyla yaklaşan, değerli fikir ve tecrübelerinden yararlandığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez savunma sınavına jüri üyesi olarak katılan değerli hocalarım Prof. Dr. Süleyman KORKUT, Prof. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA, Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR ve Dr. Öğr. Üyesi S. Murat ONAT’a, değerli fikir ve önerileri ile sağladıkları katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümündeki saygıdeğer hocalarıma ve sevgili arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Doç. Dr. Deniz AYDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Cemal ÖZCAN ve Arş. Gör. Mehmet DEMİR’i katkılarından dolayı ayrıca anmak isterim. Balistik testlerin gerçekleştirilmesinde katkılarını esirgemeyen Bartın Valiliği, Bartın Üniversitesi, Bartın İl Emniyet Müdürlüğü ve Bartın İl Jandarma Komutanlığının değerli idareci ve personellerine teşekkür ederim. Bu çalışma, “PP/GF İLE DESTEKLENEN AHŞAP KOMPOZİTLERİNİN BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı ve 2017-FEN-CD-001 kod numaralı proje olarak Bartın Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından maddi olarak desteklenmiştir. Sağladığı maddi desteklerden dolayı BAP’a teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini yanımda hissettiğim annem, babam ve abilerime, sevgili eşim ve kızıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı, toprağımızı vatan yapan tüm şehit ve gazilerimize ithaf ediyorum.

Eser SÖZEN

ÖZET

Doktora Tezi

ATIK POLİPROPİLEN VE DOKUMA CAM LİFİ İLE DESTEKLENEN OSB PANELLERİN BALİSTİK, HIZLANDIRILMIŞ UV YAŞLANDIRMA VE ISI İLETKENLİĞİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Eser SÖZEN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Bartın-2019, sayfa: 86

Bu çalışmada, farklı oranlarda dokuma cam lifi ve atık polipropilen (APP) ile desteklenen OSB (Oriented Strand Board) levhaların balistik özellikleri incelenmiştir. Balistik testlerde merminin ilk hızını absorbe etmesi için üç farklı kalınlıkta galvanizli metal plakalar (M1, M2 ve M3) kullanılmıştır. Balistik paneli oluşturan materyaller, elle döşeme yöntemi ile dizilmiştir. APP plakalar paneli oluşturan taslağın alt ve üst yüzeylerinde eritilmiştir. Üretim şartları 170°C-175°C arasında sıcaklık, 3,5-4,0 N/mm² basınç ve 10 dakika süre olarak uygulanmıştır.

30, 40 ve 50 adet dokuma cam lifi, OSB panel ve 3 farklı kalınlıkta (0,8 mm, 1,2 mm ve 1,5) metal kullanılarak üç farklı aşamada toplamda 15 varyasyon oluşturulmuştur. Üretilen paneller üzerinde NIJ (National Institute of Justice) standardı Seviye IIA kategorisine göre balistik testler gerçekleştirilmiştir. Balistik atışlar sonucunda 1,5 mm kalınlığındaki metal plaka, 50 adet dokuma cam lifi ve OSB içeren balistik panel en iyi dayanımı göstermiştir. Çalışma sonucunda merminin ilk hızını absorbe eden materyalin mekanik özelliklerini yüksek olması, panellerin balistik performansında önemli bir etken olduğu belirlenmiştir.

UV yaşlandırma testleri için balistik panelin yüzey kısımlarında kullanılan atık polipropilen örnekler 500 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Testler sonucunda ışık stabilitesinin (ΔL^*) %59,3 olarak gerçekleştiği, bu değerin %81,9'unun ilk 300 saatte meydana geldiği tespit edilmiştir. Toplam renk değişiminin (ΔE^*) ise %18,06 olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Isı iletkenliği testlerinde balistik panelin artan yoğunluğuna bağlı olarak ısı iletkenliği de artmıştır. Dięer taraftan OSB içeren balistik panellerde yoğunluğun dūřürmesine rağmen ısı iletkenliği artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Balistik panel; OSB; atık polipropilen; dokuma cam lifi; ısı iletkenliği.

Bilim Kodu: 502.15.01



ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETERMINATION OF THE BALLISTIC, ACCELERATED UV AGING AND THERMAL CONDUCTIVITY PROPERTIES OF OSB PANELS SUPPORTED BY WASTE POLYPROPYLENE AND WOVEN GLASS FIBER

Eser SÖZEN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Prof. Gökhan GÜNDÜZ

Bartın-2019, pp: 86

In this study, ballistic properties of OSB (Oriented Strand Board) boards which are reinforced with woven glass fiber and waste polypropylene (WPP) at different ratios were investigated. Three different thickness galvanized metal plates (M1, M2 and M3) were used in the ballistic tests to absorb the initial velocity of the projectile. Ballistic panel forming materials are arranged by hand laying method. The WPP plates are melted on the top and bottom surfaces of the mat forming the panel. The production conditions were as 170°C-175°C temperature, 3.5-4.0 N/mm² pressure and 10 minutes duration.

15 variations were produced in three different stages using 30, 40 and 50 pieces of woven glass fiber, OSB panel and 3 different thickness (0.8 mm, 1.2 mm and 1.5 mm) galvanized metal. Ballistic tests were carried out according to NIJ (National Institute of Justice) standard Level IIA category. As a result of ballistic shots, ballistic panel containing 1.5 mm thick metal plate, 50 pieces of woven glass fiber and OSB showed the best resistance. As a result of the study, it was determined that higher mechanical properties of the material absorbing the first speed of the bullet were an important factor in the ballistic performance of the panels.

Waste polypropylene samples used in the surface parts of the ballistic panel for UV aging tests were subjected to aging process for 500 hours. As a result of the tests, light stability (ΔL^*) was realized as 59.3% and it was found that 81.9% of this value reached in the first 300 hours. Total color change (ΔE^*) was determined as 18.06%. It was determined that the thermal conductivity increased due to density of ballistic panels. On the contrast, thermal conductivity has increased despite decreasing the density in ballistic panels containing OSB.

Key Words: Ballistic panel; OSB; waste polypropylene; woven glass fiber; thermal conductivity.

Science Code: 502.15.01



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
1.1 Genel Bilgiler.....	2
1.1.1 İç Balistik	3
1.1.2 Dış Balistik.....	3
1.1.3 Terminal (Hedef) Balistiği	3
1.2 Balistik Korumada Testler	5
1.3 Literatür Özeti.....	6
1.4 Çalışmanın Amacı.....	13
BÖLÜM 2.....	14
2.1 Materyal	14
2.1.1 Dokuma Cam Lifi	14
2.1.2 OSB (Oriented Strand Board) / Yönlendirilmiş Yonga Levha	16
2.1.3 Atık Polipropilen (APP).....	17
2.1.4 Metal plaka.....	20
2.2.Yöntem.....	23
2.2.1 Atık Polipropilen (APP) Plakaların Hazırlanması	23
2.2.2 OSB ve Dokuma Cam Liflerinin Boyutlandırılması.....	26

2.2.3 Balistik Panellerin Üretilmesi	28
2.2.4. Balistik Panel Taslağının Hazırlanması	28
2.3. Numune Deseni.....	30
2.4. Balistik Testler	32
2.4.1 NIJ 0101.06 Standardı.....	32
2.4.2 Balistik Test Düzeneğinin Hazırlanması.....	36
2.5 Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Testleri	37
2.5.1 Renk Ölçümü	38
2.6 Isı İletkenlik Testi	39
2.7 Verilerin İstatistik Değerlendirilmesi	40
 BÖLÜM 3.....	 41
3.1 Birinci (1.) Aşama Panellerin Balistik Testleri.....	41
3.1.1 D3 ve D3M1 Panellerine Ait Balistik Testler	43
3.1.2 D3/O ve D3M1/O Panellerine Ait Balistik Testler	45
3.1.3 D4 ve D4M1 Panellerine Ait Balistik Testler	47
3.1.4 D4/O ve D4M1/O Panellerine Ait Balistik Testler	48
3.2 İkinci (2.) Aşama Panellerin Balistik Testleri	50
3.2.1 D4M1/O ve D4M2/O Panellerine Ait Balistik Testler	52
3.2.2 D5M1 ve D5M1/O Panellerine Ait Balistik Testler	55
3.2.3 D5M2 ve D5M2/O Panellerine Ait Balistik Testler	58
3.3 Üçüncü (3.) Aşama Panellerin Balistik Testleri	64
3.4 Balistik Panellerin Maliyetleri	65
3.5 Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Testi	67
3.6 Isı İletkenlik Testleri	69
 BÖLÜM 4.....	 72
 KAYNAKLAR.....	 76
BİBLİYOGRAFYA	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: Balistik biliminin kısımları.	4
1.2: Levha şeklindeki hedefler için en yaygın hasar mekanizmaları (a) gevrek kırılma (b) sünek delinme (c) parça kopması (d) radyal çatlak oluşumu (e) tıkaç oluşumu (f) taç yaprağı oluşumu	4
1.3: Balistik limit ve enerji absorpsiyonunun belirlendiği düzenek.	6
1.4: Bazı liflerin birincil balistik değerleri	9
1.5: Balistik testlerde kullanılan en yaygın mermi ucu tipleri	11
2.1: Cam lifi/ipliğinin üretim aşamalarının genel görünüşü.....	15
2.2: Toz (a), dokuma (b) ve kırılmış (c) haldeki cam materyaller	15
2.3: Polipropilenin kimyasal formülü.....	17
2.4: Granül haldeki saf ve atık polipropilenin genel görünüşü.	18
2.5: Saf ve atık polipropilene ait TGA eğrileri.....	19
2.6: Saf ve atık polipropilene ait DTG eğrileri.....	19
2.7: Saf ve atık polipropilene ait DTA eğrileri.....	20
2.8: M1 (a) ve M2 (b) metallerinin atış sonrası görünümü	21
2.9: Çalışmada kullanılan M1 ve M2 kodlu galvanizli metallere ait çekme testi diyagramı.....	22
2.10: 500x500x3 mm ebatlarında demir saçlar (a) ve 400x400x5, 20, 30 mm ebatlarındaki demir kalıplar (b).....	23
2.11: APP plakalarının pres için hazırlanma aşamaları.....	24
2.12: Çalışmada kullanılan hidrolik pres (a), 5 mm'lik APP taslağı (b), soğuk pres sonrası taslağın görünümü (c).	25
2.13: Atık polipropilen (APP) plaka.....	26
2.14: 32x32 cm ölçülerine getirilmiş OSB plakalar.	27
2.15: Dokuma cam lifinin genel (a) ve rulo halindeki (b) görünümü.	27
2.16: OSB ve metal plaka içeren varyasyona ait aşamalar.....	29
2.17: Balistik panel taslağı ve enine kesiti.	29
2.18: 1. aşamada oluşturulan varyasyonlar	30
2.19: 2. aşamada oluşturulan varyasyonlar	31
2.20: 3. aşamada oluşturulan varyasyon.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
2.21: Roma Plastilina No. 1 Clay üzerinde yapılan ölçümler	34
2.22: Balistik testlerde kullanılan macun.	35
2.23: Atış sonrası macunda oluşan travmanın belirlenmesi.	35
2.24: 9x19mm Parabellum mermisi genel görünüşü (URL-3).....	36
2.25: Çalışmada kullanılan kronografin genel (a) ve LCD ekran görünümü (b)	36
2.26: Balistik testlerin gerçekleştirildiği düzenek.	37
2.27: Hızlandırılmış UV yaşlandırma testlerinde kullanılan APP test örnekleri.	38
2.28: L*a*b* renk sistemi	39
2.29: QTM-500 ısı iletkenliği test cihazı.....	40
2.30: Isı iletimi kalibrasyonunda kullanılan referans plakalar.	40
3.1: Balistik testlerin gerçekleştirildiği alan.	41
3.2: D3 ve D3M1 panellerinin yapısal görünümü.	43
3.3: 30 adet dokuma cam lifi içeren panellerin test öncesi görünümü.	43
3.4: D3 ve D3M1 panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.....	44
3.5: Atış sonrası tamamen delinen macunun görünümü	44
3.6: Lamine kompozitlerde tipik hasar modu.....	45
3.7: D3/O ve D3M1/O panellerinin yapısal görünümü	46
3.8: D3/O ve D3M1/O panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.	46
3.9: D4 ve D4M1 panellerinin yapısal görünümü	47
3.10: D4 ve D4M1 panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.	47
3.11: D4/O ve D4M1/O panellerinin yapısal görünümü.....	49
3.12: D4/O ve D4M1/O panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.	49
3.13: 2. aşama panellerin ortalama deformasyon miktarları ve NIJ standardına göre sınır değeri.....	52
3.14: D4M1/O ve D4M2/O panellerinin yapısal görünümü	52
3.15: D4M1/O ve D4M2/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görünümleri.	53
3.16: D4M2/O panelindeki dokuma cam lifinde meydana gelen gerilmeler.	54
3.17: D4M2/O balistik panelde bulunan OSB’de atış sonrası ön (a), arka (b) ve enine kesitte (c) oluşan deformasyon görüntüleri.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3.18: D5M1 ve D5M1/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri	55
3.19: D5M1 ve D5M1/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görünüşleri	56
3.20: Panel kalınlığına bağlı olarak panelin arka yüzeyinde oluşan deformasyon.	57
3.21: Arka yüzey deformasyonunun üstten görünüşü.	58
3.22: D5M2 ve D5M2/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri	58
3.23: D5M2 ve D5M2/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görünüşleri.	59
3.24: D5M2 panelinin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon derinliği.	59
3.25: Balistik etki sırasında kompozit malzemelerin arka yüzündeki deformasyon ve koni oluşumu	60
3.26: D5M2/O panelinin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon derinliği.....	61
3.27: D5M2/O panelini oluşturan materyallerin boyuna yönde kesit görünümü.....	61
3.28: D5M2/O varyasyonundaki OSB panelinin atışlar sonrası arka yüzey görünümü.	62
3.29: D5M2/O panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyon şekilleri.	62
3.30: D5M3/O panelinin genel görünüşü (a), atış öncesi (b) ve atış sonrası kesiti.....	65
3.31: Yaşlandırma testi öncesi ve sonrası atık polipropilen örneklerin görünümü.	67
3.32: APP örnekler üzerinde renk ölçümü.	68
3.33: APP örneklerin ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* değerleri.	69
3.34: Üretilen paneller üzerinde ısı iletkenliği ölçümü	70

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Balistik alanında kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri	8
2.1: Cam lifi tipleri ve karakteristik özellikleri	14
2.2: E-glass ve S-glass liflerine ait bazı özellikler	16
2.3: 10 mm kalınlığa sahip OSB-1 levhalara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler	16
2.4: Saf ve atık polipropilenin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	18
2.5: Çalışmada kullanılan metallere ait çekme direnci değerleri.	22
2.6: çalışmada kullanılan galvanizli metale ait XRF analizi sonuçları	22
2.7: APP plaka taslağının preslenmesinde kullanılan parametreler.	25
2.8: 1. aşamada oluşturulan varyasyonların teknik özellikleri.	30
2.9: 2. aşamada oluşturulan varyasyonların teknik özellikleri.	31
2.10: 3. aşamada oluşturulan varyasyonun teknik özellikleri.	32
2.11: NIJ STD-0101.06'ya göre balistik test kriterleri.....	33
3.1: 1. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları.....	42
3.2: 1. aşama panellerde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri.	42
3.3: 2. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları.....	51
3.4: 2. aşama panellerde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri.	51
3.5: 2. aşama panellere ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.	63
3.6: İkinci aşama panellere ait Duncan testi sonuçları.	63
3.7: 3. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve kinetik enerji değerleri.	65
3.8: D5M2/O balistik panelde kullanılan materyallerin birim fiyatları.....	66
3.9: Yaşlandırma testi süresince renk değişim değerleri.	68
3.10: 1. aşama balistik panellerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları	70
3.11: 2. aşama balistik panellerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	:	Yüzde
<		Küçüktür
>	:	Büyüktür
°C	:	Santigrat derece
cm	:	Santimetre
cm ³	:	Santimetre küp
fps	:	Foot per second
Kg	:	Kilogram
m	:	Metre
m ²	:	Metrekare
mK		Metre Kelvin
mm	:	Milimetre
mm ²		Milimetre kare
p	:	Anlamlılık değeri
W	:	Watt
λ	:	Isı iletkenliği

KISALTMALAR

AP	:	Armor Piercing
APP	:	Atık Polipropilen
AR-GE	:	Araştırma-Geliştirme
CEN		Comité Européen de Normalisation
DIN	:	Deutsches Institut für Normung
EN	:	Europeane Norm
FMJ RN	:	Full Metal Jacketed, Round Nose

HDPE	:	Hight Density Polyethylene
HPPE	:	Hight Performance Polyethylene
ISO	:	International Organization for Standardization
J	:	Joule
kJ	:	Kilo Joule
LDPE	:	Low Density Polyethylene
NIJ	:	National Institute of Justice
OSB	:	Oriented Strand Board
PE	:	Polietilen
PP	:	Polipropilen
PS	:	Polistiren
STANAG	:	Standardization Agreement
TS	:	Türk Standartları
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
UHMWPE	:	Ultra High Molecular Weight Polyethylene
UV	:	Ultraviyole
V	:	Volt
WPP	:	Waste Polipropilen

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yaşadığımız dünya üzerinde dengeler, ülkelerin ekonomik ve askeri alanlardaki yetkinliklerine göre şekillenmektedir. Bu yüzden, ülkeler ekonomik anlamda atılımlar yaparken, askeri alanlara da yüksek bütçeli yatırımlar yapmaktadır. Hatta askeri alanlara yapılan yatırımları genişleterek, bu alandan kendilerine ekonomik kazanımlar sağlamaktadırlar. Ülkemiz, son zamanlarda askeri alanda yapılan yatırım ve atılımlar ile büyük ilerlemeler kaydetmiş ve bu ilerlemeleri sürdürmektedir. Gerek kamu sermayeli şirketler, gerekse özel şirketler tarafından askeri alanda ülkemizin ihtiyaç duyduğu alanlarda önemli çalışmaların devam ettiği bilinmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde yeni teknolojilerin üretilmesi önemli bir sorundur. Bunun temel nedeni ise teknolojik alt yapılarının ve yeterli AR-GE bütçelerinin olmamasıdır. Bu nedenle dışa bağımlılığı azaltacak, performans/maliyet oranı dengelenmiş ürün ve hizmetlerin üretimine eğilimler artmaktadır. Geliştirilen teknolojiler ve yöntemler sayesinde birçok materyalin disiplinler arası kullanımı artmıştır. Bunun sonucu olarak da kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Bu durum bazen materyallere yeni özellikler kazandırmak, bazen de materyallerin düşük performanslarının geliştirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla materyalin oluşturduğu, yeni malzemenin kendini oluşturan her bir materyalin bireysel özelliğinden daha üstün özelliklere sahiptir. Örneğin, kompozit malzemelerin metal malzemelere tercih edilmesi ile ağırlıktan %25'lik kazanımlar sağlanabilmektedir (Buytoz ve Yıldırım, 2002).

Zırh üretiminde hafifliğe duyulan ihtiyaç, kompozit malzemelerin kullanımını arttırmıştır. Metal, seramik, polimer ve çeşitli kombinasyonlarla üretilmiş kompozit zırh çalışmaları mevcuttur. Seramik zırhların çoklu atışlara karşı dayanımının az olması, polimer zırhların yüksek tesirli mühimmatlara karşı avantaj sağlamaması nedeniyle metal ve çelik gibi yüksek performanslı materyaller ile kombine edilebilmektedirler (Demir, 2008). Koruyucu zırhlardan beklenen performans, kullanılacak materyal seçimini etkilemektedir. Hafif silahlara karşı dayanımın istendiği koruyucularda, yüksek yoğunluklu ve yüksek maliyetli

materyal kullanımı maliyet ve ağırlık artışına neden olacaktır. Diğer taraftan yüksek performans istenen koruyucu zırhların üretiminde düşük performanslı materyallerin kullanımı istenen başarılı sonuçlara ulaşmayı zorlaştıracaktır.

1.1 Genel Bilgiler

Yaratılış itibarıyla her canlı varlık, dışarıdan gelebilecek doğal tehlikelere karşı önlem aldığı gibi, düşmanlarına karşı da önlemler almıştır (Sözen ve Gündüz, 2017). İnsanoğlu da ister doğal tehlikelere karşı olsun, ister düşmanlarına karşı olsun, sürekli daha iyi olan korunma yöntemlerini keşfetmeye uğraşmıştır. İlk başlarda taş ve sopa ile karşılanan bu ihtiyaç, kişisel zırh ve kalkanlar ile devam etmiştir. 13. yüzyılda kılıç ile savaşan ve kendini koruyan insanoğlu, bu devirde vücudunu saran çelik elbiseleri kişisel zırh olarak kullanmıştır. Barut ve ateşli silahların hayatımıza girmesinden sonra, boyutları ve ağırlıkları düşen mühimmat ve ekipmanların etkileri ve menzilleri artmıştır (Demir, 2008).

Etimolojik olarak Fransızca “balistique” sözcüğünden gelen “balistik” kelimesi, bir merminin silahta bulunduğu yerden itibaren, hedefe ulaşana kadar hareketlerini, hedefe ulaştıktan sonraki enerjinin sönümlenmesi ve hedefte oluşan bozulma/deformasyon davranışlarını kapsayan bir anlama sahiptir (Candan, 2005’e atfen Yumak vd., 2013). Merminin bulunduğu yere bağlı olarak balistik biliminin üç temel çalışma alanı bulunmaktadır. Bunlar iç balistik, dış balistik ve terminal (hedef) balistiği olarak adlandırılır (Carlucci ve Jacobson, 2008).

Bu çalışma alanlarına ek olarak bazı eserlerde, iç balistik ile dış balistik arasındaki mermi hareketlerini inceleyen *orta balistik*; mermi çekirdeklerini, kovanlarını ve barutlarını inceleyerek adli bir olaya karışmış silahların atış mesafesi tespitini yapan *adli balistik*; terminal balistiği içinde yer alan, ateşli silahlar ile yaralanan insan ve hayvanlarda meydana gelen yaralar ile ilgilenen *yaralanma balistiği* gibi tanımlamalar/alanlar da nadiren kullanılmaktadır (Carlucci ve Jacobson, 2008; Akman, 2012). Bu çalışmada balistik alanının temel bölümleri olan iç balistik, dış balistik ve terminal balistiği ele alınmıştır.

1.1.1 İç Balistik

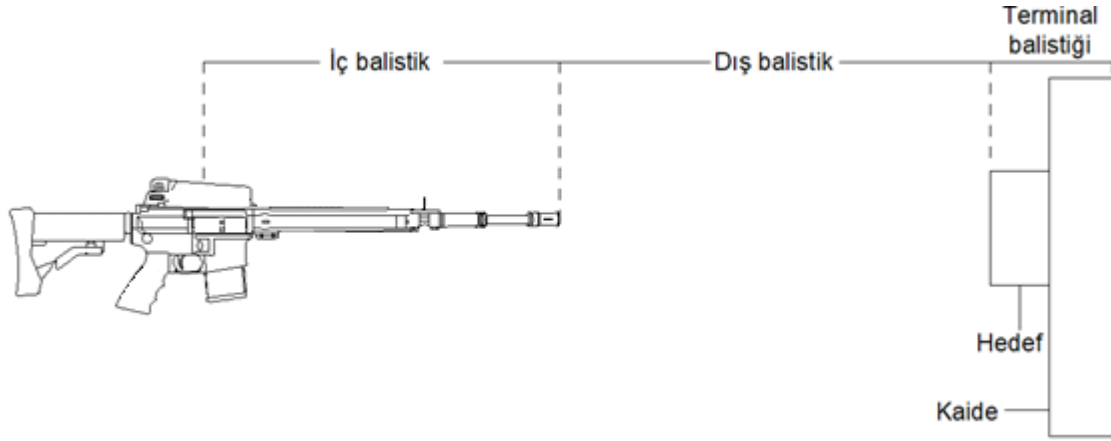
Silah içerisindeki mermide bulunan barutun yanması, yanma sonrası oluşan basınç miktarını ve merminin namlu içerisindeki hızını inceleyen balistiğin alt temel alanını kapsamaktadır (Lowry, 1968'e atfen Girelli vd., 2018). Tabanca gibi silahlarda iç balistik aşamasında mermiye ilk hız verilirken, yivli setli silahların iç balistik aşamasında ise mermiye dönme hareketi verilmektedir. Silahın ateşlenmesiyle birlikte barutta bulunan kimyasal enerji ısıya dönüşür ve bu ısı, yanma odası olarak tanımlanan çekirdeğin arka kısmında basıncın artmasına neden olur. Bu basıncın mermiye kuvvet uygulamasıyla mermi ateşlenmiş olur. Bu durum barutta bulunan kimyasal enerjinin mermide kinetik enerjiye dönüşmesi olarak özetlenebilir (Carlucci ve Jacobson, 2008).

1.1.2 Dış Balistik

Ateşlenen merminin namludan barut gazlarıyla birlikte çıkmasıyla başlayan ve hedefe varıncaya kadar geçen sürede merminin hareketleri inceleyen alandır. Dış balistikte etkili olan faktörler, mermiye ve atmosfere bağlı olan etkenler olarak iki farklı kısımda incelenebilir (Özgültekin, 2012; Fedaravicius vd., 2007). İç balistik ile dış balistik arasında çok kısa bir zaman aralığı olduğu için, merminin namlu ucundan çıktığı andaki hızının, eğer yivli setli bir silah ise dönme sayısının ve atış eğiminin bilinmesine ihtiyaç vardır.

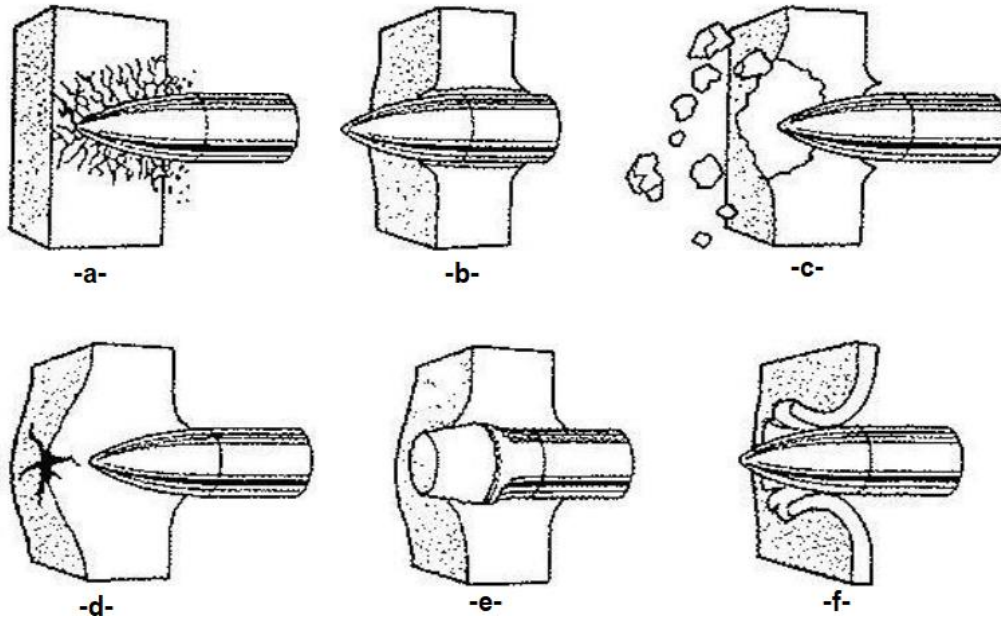
1.1.3 Terminal (Hedef) Balistiği

Merminin hedef üzerinde meydana getirdiği etkilerinin incelendiği, balistik biliminin kısımlarından biridir. Terminal balistiği, bazı kaynaklarda hedef balistiği olarak da isimlendirilmektedir (Deniz, 2009). Mermi zırha veya koruyucuya ulaştığı andan itibaren etkiye/tesir mekaniği, zırhta meydana gelen etkiler, saçılan parçalar, deformasyon şekilleri, yüksek basınçtaki patlamalar ve canlı dokuları veya dokuları simüle eden materyaller üzerinde meydana gelen etkilerin incelendiği geniş bir kapsamı vardır (Carlucci ve Jacobson, 2008). Şekil 1.1'de balistik biliminin üç temel kısmı gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Balistik biliminin kısımları.

Zırh üzerinde meydana gelen hasarlar üzerinde birçok faktör etkili olmaktadır. Malzemenin özellikleri, mermi hızı, mermi geometrisi, hedefin boyutları bunların en önemlileridir (Deniz, 2009). İnce veya orta kalınlıktaki levha şeklindeki zırhlarda hasar mekanizmaları Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Bu hasar mekanizmalarında genellikle bir tanesi etkin olmakla birlikte, bazı materyallerde birkaç hasar mekanizması birlikte bulunabilmektedir. Örneğin düşük veya orta sertlikteki kalın levhalara özgün hasar mekanizması sünek delinme ile küçük parça kopmasıdır (Zukas vd., 1992).



Şekil 1.2: Levha şeklindeki hedefler için en yaygın hasar mekanizmaları (a) gevrek kırılma (b) sünek delinme (c) parça kopması (d) radyal çatlak oluşumu (e) tıkaç oluşumu (f) taç yaprağı oluşumu (Zukas vd, 1992).

1.2 Balistik Korumada Testler

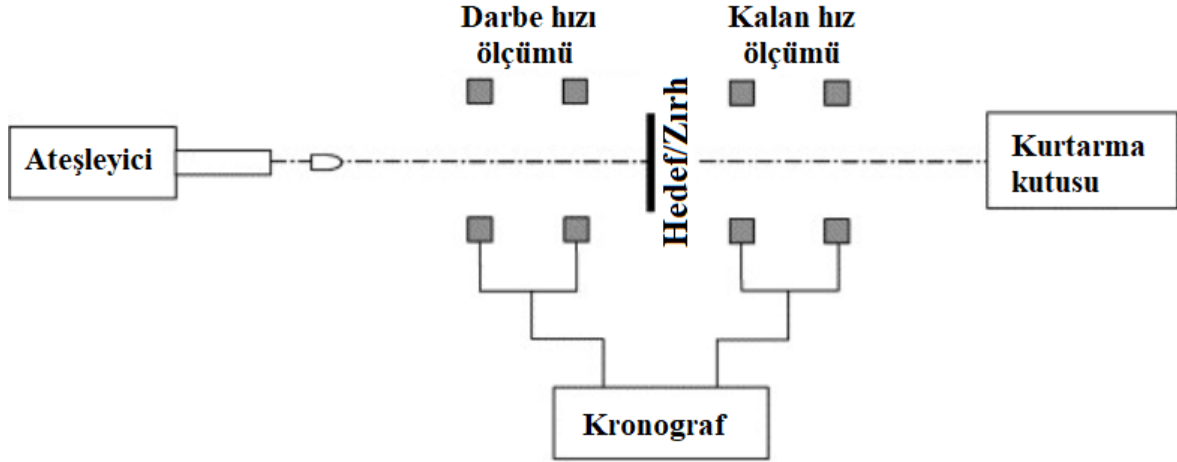
Balistik koruma kapasitesini ölçmek amacıyla ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların oluşturduğu standartlar bulunmaktadır. Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ/ National Institute of Justice) ve NATO (North Atlantic Treaty Organization) bu kuruluşların önde gelenlerindendir. Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ)'ün (NIJ-STD-0101.06) ve Alman (ISO/DIS 14876-2) standartlarında, kullanılan merminin kalibresi, tipi ve hızı dikkate alınarak koruma seviyeleri tanımlanmıştır. Bu konu ile ilgili, Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS 11164 (2013) standardı hazırlanmıştır. Bu standartların oluşturulmasının temelinde, yapılacak zırh çalışmaları için ortak bir başarı kriteri meydana getirme amacı bulunmaktadır (Yavaş, 2009'a atfen Özgültekin, 2012).

Balistik testlerde yaygın olarak kullanılan NIJ-STD-0101.06 standardında belirtilen koruma seviyeleri ve değerlendirme kriterleri, hafif silahlara karşı koruyucu zırhlar için geliştirilen ürünlerin balistik performansının ölçümünde referans standart olarak kullanılmaktadır (Candan, 2005'e atfen Yumak vd., 2013).

Balistik testlerde önemli bir yer tutan parametrelerden biri de V_{50} hız limitidir. V_{50} hız limiti, balistik panelin delinme veya delinmeme ihtimalinin %50 olduğu hız limitidir. Diğer bir deyişle, V_{50} hız limiti ile atış yapılan panelin delinme ihtimalinin %50 olduğunu belirtir. V_{50} hız limitinin altındaki hızlarda koruyucuda/zırhta kısmi delinme oluşurken, V_{50} hız limitinin üstündeki hızlarda tam bir delinme oluşmaktadır. V_{50} hız limiti belirlenirken ikisi plakayı delen ve ikisi plakayı delmeyen toplam dört atış yapılır. Bu atışlardan en yüksek hıza ve en düşük hıza sahip atışlar arasındaki farkın 18,29 m/s'yi geçmemesi gerekir. Bu şartları sağlayan dört atışın ortalaması alınarak ilgili koruyucunun/zırhın V_{50} hız limiti bulunmuş olur (Erdem ve Türker, 2011). V_{50} hız limitinin belirlenmesinde MIL-STD-662 F standardına ait prosedür kullanılmaktadır.

V_{50} hız limitinde, merminin hedefe ulaşmadan önceki hızı ve hedeften sonraki önemli etkidir. Bu hızlar ile hedefin absorbe ettiği enerji miktarı hesaplanmaktadır. Eğer mermi zırhı delip geçiyorsa, o mermi hızının ilgili hedef için balistik limitin üstünde olduğu, eğer mermi zırhta kalırsa balistik limitin altında tanımları kullanılmaktadır. Şekil 1.3'te zırhların

balistik limitlerinin belirlenmesi ve absorbe ettikleri enerji miktarlarının belirlenmesinde kullanılan düzenek, Tan vd., (2003)'ten düzenlenerek verilmiştir.



Şekil 1.3: Balistik limit ve enerji absorpsiyonunun belirlendiği düzenek (Tan vd., 2003).

Balistik limitin üstünde, kumaş numunelerini delmek için mermilerin harcadığı enerji, kumaş tarafından emilen enerji olarak kabul edilir. Kumaş tarafından absorbe edilen (emilen) bu enerji, merminin kalan enerjisini ilk çarpma enerjisinden çıkararak bulunur. Perforasyon (delinme) meydana gelmediğinde (balistik limit altında), kumaş tarafından emilen enerji, başlangıçtaki darbe enerjisine eşit olarak alınır (Tan vd., 2003). Bu nedenle, balistik limitin üstünde;

$$E_{emilen} = \frac{1}{2} m(V_{darbe}^2 - V_{kalan}^2) \quad (1)$$

balistik limitin altında;

$$E_{emilen} = \frac{1}{2} mV_{darbe}^2 \quad (2)$$

(1) ve (2) nolu formüller kullanılmaktadır. Burada; E_{emilen} : Kumaş tarafından absorbe edilen enerji miktarı, m : Merminin kütlesi, V_{darbe} : Merminin çarpma hızı, V_{kalan} : Merminin kalan hızını göstermektedir (Tan vd., 2003).

1.3 Literatür Özeti

Zırh üretiminde kullanılan materyaller üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, üründen beklenen performans, maliyet, üretim kolaylığı gibi faktörlerin öne çıktığı görülmüştür. Yüksek balistik performansın istendiği durumlarda çelik, metal ve seramik odaklı

materyaller kullanılırken, daha düşük seviyelerde korumalar için yüksek performanslı kumaşlar ve polimerler tercih edilmektedir.

Zırh üretiminde kullanılan en önemli maddelerden biri metallerdir. Metaller üzerine yapılan çalışmaların çokluğu, bu alanda geniş ve yararlı bilimsel alt yapının oluşmasını sağlamıştır. Metallerin tokluk, mukavemet, sertlik, enerji sönümleme (absorblama) gibi karakteristik özellikleri, zırh teknolojisinde aranan özelliklerdir (Übeyli ve Demir, 2006). Diğer yandan yüksek yoğunlukları metallerin bu alanda kullanımını sınırlandırmaktadır. Yoğunluğa bağlı olarak ortaya çıkan işleme zorluğu, taşıma/nakliye zorlukları ve konfor gibi sorunlar zırh teknolojisinde önemli yer tutmaktadır.

Gelişen teknolojilere bağlı olarak, balistik alanında daha önce gerek duyulmayan koruyucu giysilere olan talepler artmaya başlamıştır. Balistik koruyucu tekstil ürünlerinde hafiflik, düşük maliyet, konfor ve özel taleplere cevap verilememesi, yeni sentetik liflerin üretimine neden olmuştur. Bunun sonucunda yüksek dayanım ve modül, düşük elastik özelliklere sahip yüksek performanslı sentetik lifler ortaya çıkmıştır (Turan, 2007).

Yüksek performanslı liflerin balistik koruma sektöründe kullanımı, hafif vücut koruyucuların üretimini mümkün kılmıştır. Hafif koruyucu zırhlarda daha fazla koruma sağlama için çalışmalar sürekli devam etmektedir (Tan vd., 2005). Sanayi devriminden sonra artan makineleşme ve buna bağlı olarak ortaya çıkan farklı üretim yöntemleri, farklı materyallerin üretimine olanak sağlamıştır. Bu materyallerin disiplinler arası kullanılmasıyla da bilimsel ve endüstriyel gelişmeler ivme kazanmıştır. Teknolojik ilerlemeler, birçok sektör için gelişmeyi zorunlu kılmıştır. Balistik alanında da daha hafif koruyucular elde etmek çeşitli lifler kumaş haline getirilerek farklı kombinasyonlarda kullanılmıştır. Balistik alanında kullanılan lifleri Çerkez, (2007) aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır.

1. Poliamid lifler
2. Aramid lifler
 - Kevlar® lifleri
 - Twaron® lifleri
 - Technora® lifleri
3. Yüksek performanslı polietilen lifleri (HPPE)
 - Dyneema®
 - Spectra®

4. PBO (polybenzoxazole)/ Zylon
5. Karbon nano tüpler
6. Örümcek ipeği lifleri

Aramid lifler, düşük hıza sahip mermi ve parçacıklara karşı balistik alanında kullanılan ilk liflerdendir. Yoğunluğuna oranla yüksek çekme direnci ve elastikiyet modülü, balistik kullanım için oldukça uygundur. %65-85 oranındaki kristalin yapısı sayesinde pürüzsüz yüzeye ve yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Yüksek sıcaklık ve UV (Ultraviyole) ışınları karşısında sırasıyla rengi bozulur ve darbe direnci düşer (Temiz, 2005). Aramid lifler balistik alanında en çok tercih edilen liflerin başında gelmektedir. Özellikle ısıya karşı dayanımlarının yüksek olması sebebiyle, balistik darbe ile lif-lif veya lif-parça arasında sürtünmeye bağlı olarak oluşan ısınma karşısında erime göstermemektedirler (Çay vd., 2007). Aramid liflerin çevresel faktörlere, özellikle de ultraviyole ışınlarına karşı dayanımı zayıftır. Ultraviyole ışınlarına karşı aramid lifleri beş hafta boyunca doğrudan güneş ışığına maruz bıraktığında, aramid liflerin direnç özelliği %49 oranında azalma göstermiştir (Bunsell, 1988). Tablo 1.1’de, balistik alanında kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1: Balistik alanında kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri (Cavallaro, 2011; Behera ve Dash 2013; Holmes vd., 2006).

Materyal	Çekme Direnci (GPa)	Elastikiyet modülü (GPa)	Kopmada uzama (%)
Aramid	2,9-3,3	70-121	2,6-4,4
HPPE	2,4-3,3	73-124	2,8-3,5
PBO	5,80	270	2,5-3,5
S Glass	4,40	90	5,3

Ultra yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen (UHMWPE) liflerde, balistik darbe etkisine bağlı olarak ortaya çıkan ısı, liflerin yüzey sıcaklığını artırmakta, dolayısıyla buralarda yumuşama ve kalıcı deformasyon oluşmaktadır (Çay vd., 2007).

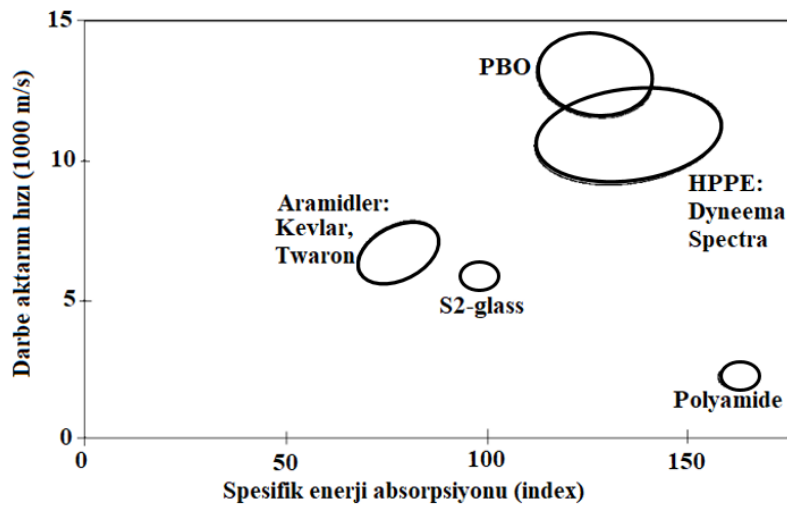
PBO (Polybenzobisoxazole) lifleri, Amerika Hava Kuvvetleri’nin aramid liflerden daha yüksek direnç özelliklerine sahip bir malzeme üretme ihtiyacı üzerine 1980’lerde ortaya çıkan sentez liflerdendir (Sikkema vd., 2003). PBO lifleri de yüksek mekanik özelliklerine rağmen sıcaklık ve UV (ultraviyole) ışınlarına karşı hassastır (Tiptipakorn vd., 2007).

Sıcaklık ortalaması 55°C, bağıl nem ortalaması %50 olan ortamda 157 gün bekletilen PBO liflerinin çekme direnci değerleri, ortalama %40 düşüş göstermiştir (Chin vd., 2007).

Kumaş tarafından emilen enerji, kumaşın enine sapmasına ve iplik malzemesinin darbe noktasına doğru içeri doğru hareketine bağlı olarak ipliklerin ve kinetik enerjinin gerilmesinden türetilen gerilme enerjisine dönüştürülür. Enerjinin bir kısmı da sürtünme kayıpları yoluyla dağılır. Darbe hızı ve mermi şekli ile kumaş tarafından emilen enerjideki değişimler, bu bileşenlerin her birinin büyüklüğünde ve nispi oranındaki değişikliklere göre farklılık gösterir. Kumaş içindeki gerilme enerjisi olarak absorbe edilen enerji miktarı, çarpma sırasında gerilen malzemenin miktarına ve oluşan stres seviyesine bağlıdır (Tan vd., 2003). Vinson ve Zukas (1975) darbe etkisinin, etkilenen iplikler boyunca darbe noktasından uzağa yayılan boyuna gerginlik (darbe) dalgalarını başlattığını ve darbe dalgalarının aktarım hızının;

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

formülünden hesaplandığını bildirmişlerdir. Burada c : darbe dalgası aktarım hızı, E : dinamik elastik modülü, ρ : kumaşın yoğunluğunu temsil etmektedir (Vinson ve Zukas, 1975). Jacobs ve Van Dingenen, (2001) balistik alanında yaygın şekilde kullanılan liflerin darbe dalgası aktarım hızı ve enerji absorpsiyonunu birincil balistik değerleri olarak tanımlamış, ilgili verileri alan grafiği belirtmiştir. Şekil 1.4'te bu liflerin birincil balistik değerleri verilmiştir.



Şekil 1.4: Bazı liflerin birincil balistik değerleri (Jacobs ve Van Dingenen, 2001).

Plastik günlük hayatımızın farklı alanlarında önemli bir rol oynar. Ahşap, beton ve metal gibi klasik materyallere oranla hafif ve düşük üretim maliyeti plastiğin popülaritesini arttırmıştır. Plastikler artık anahtar materyal olarak inşaat, tıp, mühendislik, otomotiv, havacılık, eğlence, elektronik, paketlenme, yiyecek ve diğerleri gibi birçok sektörde karşımıza çıkmaktadır. Buna ek olarak, ekonomik büyüme ve nüfus artışlarına bağlı olarak plastik malzemeler ve üretimlerinde kullanılan kimyasallarda artışlar görülmektedir. Son 20 yıldır hızlı bir büyüme gösteren plastik sektörü 2013 yılında 299 milyon ton üretime ulaşmıştır (WI, 2015).

Plastik atıkların çoğu biyolojik olarak çözilemeyeceği için büyük çevresel sorunlardan biri olarak algılanmaktadır. Dünya çapında plastik üretimi 311 milyon ton/yıla ulaşmıştır (ul Hassan vd., 2017). Atık plastikler esas olarak polietilen (PE), polipropilenden (PP) ve polistiren (PS)'den oluşmaktadır. Özellikle farklı yapıdaki polimer ile kullanılan polistiren atık plastik sektöründe %70'den fazla paya sahiptir (Ciliz vd., 2004). Polipropilen (PP) en yaygın kullanılan plastiklerden biridir ve polimer endüstrisinde çok yönlü kullanıma sahiptir. Polipropilen 1950'lerin başında Ziegler tipi katalizörler kullanılarak geliştirildi ve fiziksel özellikleri, çok yönlülüğünü ve üretim kolaylığı nedeniyle o zamandan beri büyük bir ilgi görmüştür (Valenza ve La Mantia 1988). Polimer bir termoplastik olan PP, birkaç dakika içinde bir eriyiğe kadar ısıtılabilir, çeşitli şekillerde ve boyutlarda kalıplanabilir. Polipropilen oksidasyona veya çevresel bozulmaya karşı dirençlidir ve çeşitli aşındırıcı yüzeylere uygulanabilme özelliğine sahiptir. Polipropilenin en büyük dezavantajı ise çevreye olan olumsuz etkisidir. Bunun bertaraf edilmesi ise yakılması ile gerçekleştirilir. Yanma sırasında meydana gelen kimyasal tepkimeler ve buna bağlı olarak oluşan gazların etkisi ise bu durumu farklı bir boyuta taşımaktadır (Valenza ve La Mantia 1987).

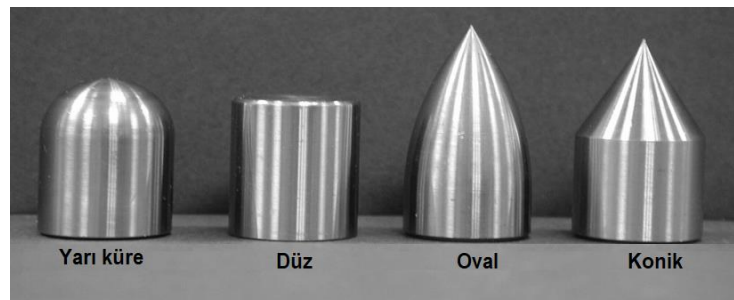
PP ürünlerinin çoğu, dolgu maddesi olmadan üretilir ve bu nedenle PP geri dönüşüm için uygun bir materyaldir. Geri dönüştürülmüş PP ürünler, daha hızlı bozulmaya uğrar ve plastiklerin bozunmasına katkıda bulunur. Atık PP'nin kompozitlere veya laminatlara dönüştürülmesi, monomerlerine ayrıştırılması, yonga ve granül haline getirilmesi araştırmacılar tarafından denenmiştir (Nahil vd., 2015).

Tabakalı balistik kompozit malzemeler ile dizayn edilen koruyucu başlıklar ve koruyucu gövde zırhlarında, seramik veya metal malzemeler kullanılabilir. Standart sert plaka şeklinde tasarlanan vücut zırhlarında, mermiyi kırmak veya yavaşlatmak için genellikle

seramik plaka kullanılmaktadır. Mermiyi durdurmak için ise katman sayısının artırılmasıyla oluşan çoklu tabakalardan faydalanılmaktadır (Gower vd., 2008).

Polimer materyallerin seramik, alüminyum, zırh çeliği gibi materyaller ile desteklenerek oluşturulan hafif ama balistik dayanımı yüksek koruyucu zırh üretiminde kullanımı giderek artmaktadır. Kompozit malzemeler, yüksek performans gerektiren ve ağırlıktan tasarruf etme potansiyelinin önemli olduğu havacılık, uzay ve savunma uygulamalarında yüksek özgül mukavemet ve rijitlikleri ile aranan malzemeler haline gelmiştir (Freitas vd., 2000).

Dateraksa vd., (2012) Al_2O_3 , SiC ve B_4C seramiklerini reçine kullanarak S-2 cam lifleri ile destekleyerek elde ettiği kompozitlerin V_{50} hız limitlerini incelediği çalışmalarında Al_2O_3 /S-2, SiC/S-2 ve B_4C / S-2 panellerinin V_{50} hız limitlerinin sırasıyla, 913 m/s, 869 m/s ve 829 m/s olduğunu tespit etmişlerdir. Chen vd., (2014) Dyneema® ticari adıyla bilinen, UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene) kumaş kullanarak hibrit balistik panel üretmişlerdir. Çalışmalarında tek yönlü (unidirectional- UD) ve dokuma olmak üzere iki farklı örgü tipi kullanarak 24 ile 40 katman arasında değişen varyasyonlarda, 10 farklı hibrit panelin deneysel ve nümerik testlerini gerçekleştirmişlerdir. Testler sonucunda hibrit panellerin arka yüzeyinde en az deformasyonun ölçüldüğü 6 adet örgü ve 30 adet tek yönlü kumaş kullandıkları, 5,790 g/m² alan yoğunluğuna sahip hibrit panel, 500 m/s hıza sahip mermiler karşısında en iyi dayanımı sergilemişlerdir. Balistik testlerde kullanılan mermi şekilleri de koruyucuların performanslarında etkili olmaktadır. Şekil 1.5'te balistik testlerde en yaygın kullanılan mermi uçları gösterilmiştir.



Şekil 1.5: Balistik testlerde kullanılan en yaygın mermi ucu tipleri (Tan vd., 2003).

Tan vd., (2003) yarı küre, düz, oval ve konik mermi uçları kullanarak Twaron® kumaşın hız limitlerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, ilgili mermilerin hız limitlerinin sırasıyla 159 m/s, 100 m/s, 76 m/s ve 58 m/s olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, kumaşların enerji

yayılım modülleri ile mermi geometrisi arasındaki kuvvetli ilişkinin, balistik sınırın ve kumaş tarafından emilen enerjinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığının vurgulanışlardır.

Genellikle seramik tabakalı sert ön yüzey ve fiber destekli arka plakanın kombinasyonu olarak tasarlanan modern zırhlar, balistik ve yapısal gereksinimleri sağlamak üzere geliştirilirken aynı zamanda yaklaşık %30-40 oranında ağırlık tasarrufu sağlamaktadır (Guden vd., 2004).

Tan ve Akil, (2012) çekirdeğinde polipropilen bal peteği olmak üzere, alüminyum fiber ve cam fiber destekli lamine kompozitlerde, düşük hızlardaki darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda düşük enerjili çarpmaların, sadece çarpma noktasının çevresinde girinti yaptığı, yüksek enerjili çarpmaların ise yüzeyde delaminasyona ve malzeme yapısında eğilmeye neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, 23 mm kalınlığında üretilen bu alüminyum fiber, polipropilen bal peteği, cam fiber kompozit malzemenin kritik hasar enerji değerinin 13-14 J olduğunu bildirmişlerdir.

Askeri veya askeri olmayan alanlarda kullanılan polimer esaslı kişisel koruyucu zırhlar, genellikle polimer matriks kompozitlerinin hafiflik ve balistik özellikleri için kullanılmaktadır. Bu zırhlarda amaç, merminin kinetik enerjisini absorbe ederek büyük yaralanmaları önlemektir. Bu nedenle kişisel koruyucular mermiyi durdurmanın yanında, arka yüzeyde oluşacak deformasyonu da en aza indirebilecek özelliklere sahip olmalıdır (Soykasap ve Çolakoğlu, 2010).

Isı iletimi bir materyalin fiziksel özelliklerinin bir yansıması olarak algılanabilir. Bir materyale lokal olarak herhangi bir ısı tatbik edildiğinde cismin o kısmındaki moleküllerde titreşim enerjisi yükselir. Bu moleküller civarındaki moleküllere çarparak yeni kazanılan enerjiyi çarptığı moleküllere iletir. Bu komşu moleküller de daha sonra kazandıkları enerjinin bir kısmını daha uzaktaki moleküllere iletirler. Şayet yukarıda belirtilen ısı kuvveti daha sonra kesilir ve dışarıya herhangi bir ısı kaybına müsaade edilmezse sonunda sistem daha yüksek ve yeknesak seviyede daimi bir sıcaklık durumunu elde edecektir. Aynı sisteme yeknesak bir hız ile ısı verilmesine devam edilir ve hiç bir ısı kaybına müsaade edilmezse bir sıcaklık akısı meydana gelir (Bozkurt, 1971). Isı iletimi ilgili standartlar incelendiğinde ISO (İnternational Organization for Standardization) ve CEN (Comité Européen de

Normalisation) standartlarında; ısı iletimi katsayısı (λ) $> 0,065$ Watt/mK ise “yapı malzemesi”, ısı iletimi katsayısı (λ) $< 0,065$ Watt/mK ise “ısı yalıtım malzemesi” olarak değerlendirilir (TS 825, 2013).

1.4 Çalışmanın Amacı

Balistik korumada tercih edilen inorganik yüksek performanslı liflerin en önemli dezavantajlarından biri maliyetleridir. Çalışmada kullanılan 500 gr/m²'lik E- glass dokuma cam lifinin m² fiyatı 2,3 dolar iken, 410 gr/m²'lik Kevlar 29 kumaşın fiyatı 67 dolardır (Haziran, 2018). Ayrıca, Kevlar kumaşlar dünyada sadece Amerika ve Japonya'da üretilmektedir. Bu kumaşların diğer bir dezavantajı ise dış ortam koşullarına ve UV ışınlarına karşı davranışlarıdır. Düşük maliyetli materyaller ile belirli koruma seviyelerine karşı koruma sağlayabilen, aynı zamanda UV ışınlarına karşı korunmuş panellerin üretim ihtiyacı, bu çalışmanın çıkış noktasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, balistik alanında kullanılan kumaşlara oranla daha düşük maliyetli E- glass dokuma cam liflerini atık polipropilen ve geri dönüşüm ile kazanılabilecek malzemelerin kullanımı ile ekonomiye ve çevreye katkı sağlayarak, hafif silahlara karşı dayanım gösteren balistik panel üretimi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında atık polipropilenin kullanılarak katma değeri yüksek ürünlerin üretimine katkı sağlanacaktır. Ayrıca, balistik panellerin dış yüzeyleri tamamen atık polipropilen ile kaplanacağı için paneli oluşturan diğer materyallerin UV gibi dış ortam şartlarından korunması sağlanacaktır. Üretilen balistik panellerin seyyar nöbet kulüpleri, geçici askeri yapılar/çadırlar ve düşük maliyetinin öne çıktığı korunaklı yapılarda kullanılması öngörülmektedir.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışma kapsamında kullanılan dokuma cam lifi Omnis Kompozit San. Tic. Ltd. Şti.'den rulo halinde temin edilmiştir. SFC Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. üretimi olan OSB (Oriented Strand Board) / yönlendirilmiş yonga levhalar yerel bir pazarlama şirketinden satın alınmıştır. Atık polipropilen (APP) ise BGS Beypazarı Gıda Petrol San. ve Tic. Ltd. Şti.'den granül halinde temin edilmiştir.

2.1.1 Dokuma Cam Lifi

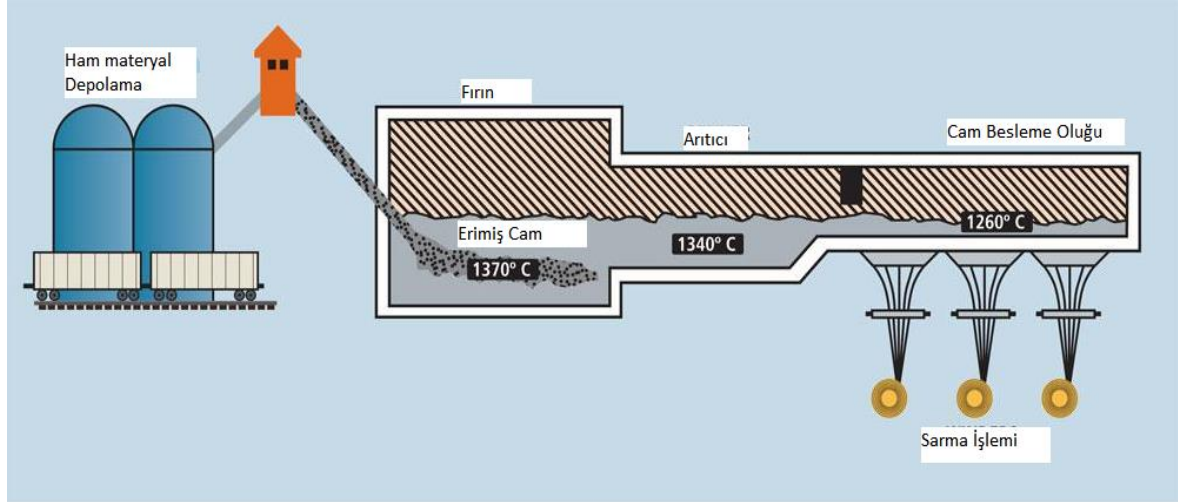
Cam lifi, fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak birçok sektörde kendine yer bulmaktadır. Sahip olduğu karakteristik özelliklere göre adlandırılan cam lifleri güçlendirme, yalıtım/iletim, kimyasal dayanım, sertlik gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Cam lifleri genel amaçlar için ve özel amaçlar için olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Endüstride kullanılan cam liflerinin %90'ından fazlası genel amaçlar için kullanılan düşük maliyetli E- glass (cam) lifleridir. Cam lifleri Amerikan Metal Derneği (ASM/American Society for Metals) tarafından tanımlanmış ve karakteristik özellikleri belirtilmiştir (Wallenberger vd., 2001). Ticari olarak karakteristik özelliklerine göre isimlendirilen cam lifleri Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Cam lifi tipleri ve karakteristik özellikleri (Wallenberger vd., 2001).

Cam lifi türü	Özellik tipi	Karakteristiği
E- glass	Elektriksel/Electrical	Düşük elektrik iletkenliği
S- glass	Direnç/Strength	Yüksek direnç
C- glass	Kimyasal/Chemical	Yüksek kimyasal dayanım
M- glass	Modül/Modulus	Yüksek sertlik (stiffness)
A- glass	Alkali/Alkali	Yüksek alkali
D- glass	Yalıtkanlık/Dielectric	Düşük yalıtım kararlılığı

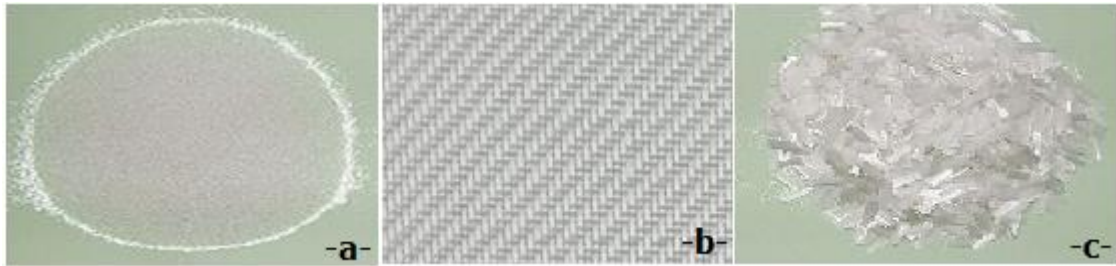
Bileşimi; %54 silika, %17,5 kalsiyum oksit, %14 alüminyum oksit, %8 bor oksit ve %4.5 magnezyum oksitten oluşur. Hammadde kaynağından cam lifi/ipliğinin üretilmesinde üç

aşamalı sıcaklık uygulanır. 1370 °C'den 1260 °C'ye kadar kademeli olarak su vasıtasıyla soğutulan hammadde daha yoğun bir kıvama gelir ve iplik halinde bobinlere sarılır (URL-1). Cam lifi/ipliğinin üretim aşamalarının genel görünüşü Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Cam lifi/ipliğinin üretim aşamalarının genel görünüşü (URL-1).

Sınırlı ya da belirli alanlarda kullanım alanına sahip materyallerin disiplinler arası kullanımı, bilimsel ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum materyallerin mevcut özelliklerinin geliştirilmesine olanak sağladığı gibi, yeni özellikler de kazandırmaktadır. Cam lifleri üretim yöntemine göre toz, dokuma ve kırılmış olarak temin edilebilmektedir. Şekil 2.2'de ticari olarak toz, dokuma ve kırılmış şekilde pazarlanan cam türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Toz (a), dokuma (b) ve kırılmış (c) haldeki cam materyaller (Sözen vd., 2016).

Cam lifleri gerek bireysel kullanımı, gerekse farklı materyaller ile birlikte kullanımı ile birçok alanda kendine kullanım alanı bulmuştur. Sertlik, aşınma ve kimyasallara karşı zemin uygulamalarında (Corradi vd., 2006), uygun reçine tiplerinde güçlendirme amaçlı (Kim ve Watts, 2004), potansiyel polimerlere farklı özellikler kazandırmak için (Gooranorimi vd.,

2017) ve mekanik özellikleri için balistik uygulamalarda (Baucom ve Zikry, 2005) tercih edilmektedir.

Çalışma kapsamında tercih edilen E-glass türü lifler dünya çapında üretilen cam liflerinin %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Bu durum pazarlama ve ürüne ulaşım açısından kolaylık sağlamaktadır. E – glass liflerinin direnç özellikleri, en yüksek direnç özelliğine sahip cam olan S-glass liflerine yakın mekanik özellikler göstermesi diğer bir tercih nedenidir. Üretilen balistik panellerde *GW 500T Twill* ticari adıyla bilinen, 500 gr/m²'lik dokuma cam lifleri 30, 40 ve 50 tabaka (adet) kullanılmıştır. Tablo 2.2'de direnç (strength) özelliği en yüksek olan S-glass ve çalışmada kullanılan E-glass liflerine ait bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.2: E-glass ve S-glass liflerine ait bazı özellikler (Wallenberger vd., 2001).

Materyal	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Direnci (MPa)	Young Modülü (GPa)
E – Glass	2,55	3100-3800	76-78
S – Glass	2,49	4380-4590	88-91

2.1.2 OSB (Oriented Strand Board) / Yönlendirilmiş Yonga Levha

Yönlendirilmiş yonga levhalar, yongaların tutkallama işlemine tabi tutulduktan sonra hazırlanan levha taslağının uygun sıcaklık ve basınç altında preslenmesi elde edilmektedir. Kullanım yerine göre OSB-1, OSB-2, OSB-3 ve OSB-4 olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılır (TS EN 300, 1997).

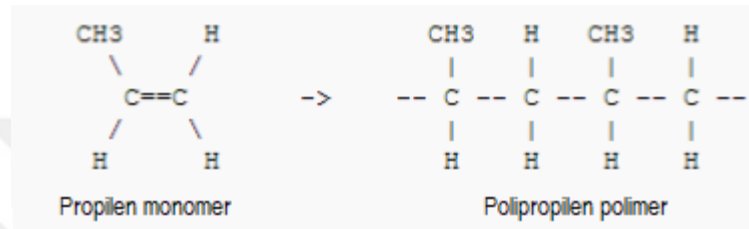
Çalışma kapsamında OSB-1 sınıfı, 10 mm kalınlığında, 0,65 gr/cm³ yoğunluğa sahip levhalar kullanılmıştır. 10 mm OSB levhalara ait EN 300 standardında belirtilen bazı fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 2.3'te ilgili standartlarla verilmiştir.

Tablo 2.3: 10 mm kalınlığa sahip OSB-1 levhalara ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler (TS EN 300).

Özellik/Direnç	Değer	Birim	Standart
Eğilme direnci	20	N/mm ²	EN 310
Elastikiyet modülü	2500	N/mm ²	EN 310
İç yapışma direnci	0,3	N/mm ²	EN 319
Kalınlığa şişme (24 saat)	25	%	EN 317

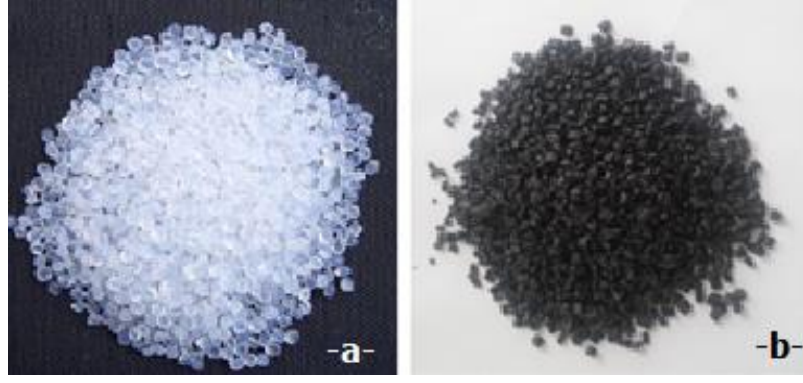
2.1.3 Atık Polipropilen (APP)

Plastik sektöründe PP olarak adlandırılan polipropilen, monomer yapıdaki propilen gazının polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Yapısal olarak düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) arasında özellikler sergileyen polipropilen, düşük yoğunluklu polietilenden ve yüksek yoğunluklu polietilenden sırasıyla, az miktarda düşük sertlik ve gevreklik özellikleri sergilemektedir (URL-2). Şekil 2.3'te polipropilenin kimyasal formülü gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Polipropilenin kimyasal formülü (URL-2).

Plastiklerin geri dönüşüm metodu olarak glikoliz (glycolysis), hidroliz (hydrolysis), piroliz, (pyrolysis), aminoliz (aminolysis) ve hidrojenasyon (hydrogenation) yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, TCT (thermo-chemical treatment) olarak isimlendirilen pyrolysis yöntemi çevresel ve operasyonel avantajlarından dolayı en çok tercih edilen yöntemdir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda (500°C - 650°C) gerçekleştirilen bu işlem atık PP'nin sıvıya dönüştürülmesi işlemidir (Mastral vd., 2002). Piroliz yöntemi ile elde edile ürünler kolay pazarlanabilmekte ve gaz yakıt kazanlarında yakılarak elektrik ve ısı kaynağına dönüştürülebilmektedir (Demirbaş, 2001). Saf polipropilenden elde edilecek ürünlerin üretimi sırasında farklı katkı materyalleri fiziksel, mekanik ve görsel vb. özellikler kazandırmak için eklenmektedir. Bu durum geri dönüşümde atık polipropilen farklı fiziksel, mekanik, teknolojik ve görsel farklılıklara neden olmaktadır. Şekil 2.4'te granül halindeki saf (a) ve atık (b) polipropilenin genel görünüşü, Tablo 2.4'te fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

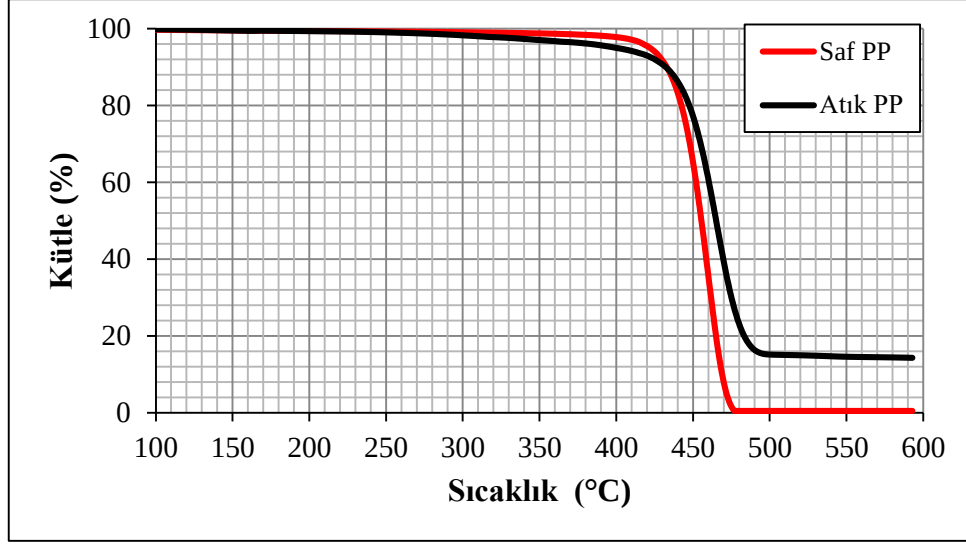


Şekil 2.4: Granül haldeki saf ve atık polipropilenin genel görünüşü.

Tablo 2.4: Saf ve atık polipropilenin fiziksel ve mekanik özellikleri (Gündüz vd., 2018).

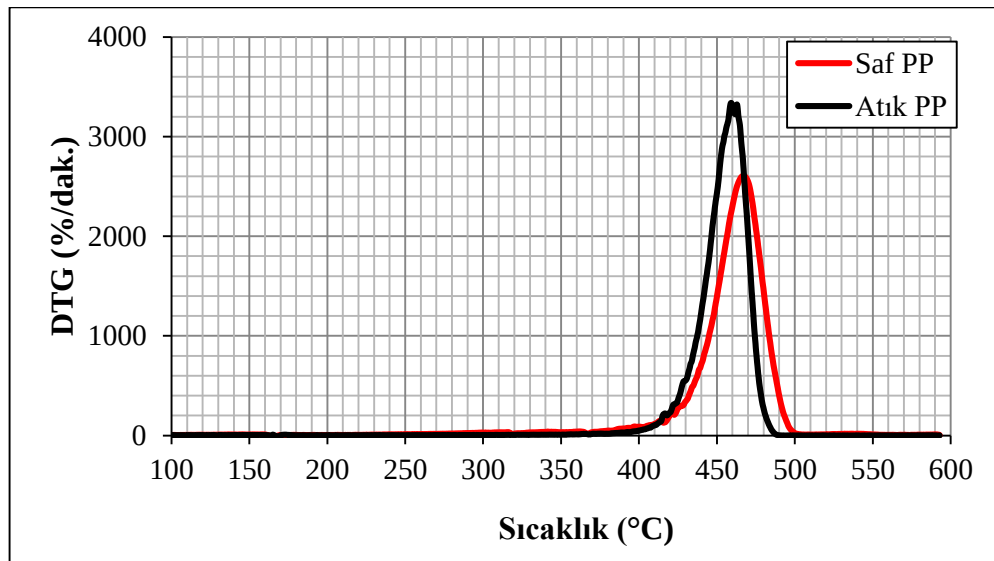
Direnç/Özellik	Saf PP	Atık PP	Birim
Yoğunluk	0,89	0,98	gr/cm ³
Eğilme direnci	33,16	27,46	MPa
Çekme direnci	29,11	18,87	MPa
Eğilmede elastikiyet modülü	1076	983	MPa
Çekmede elastikiyet modülü	526	476	MPa
Darbe direnci	2,63	3,86	kJ/m ²

Tablo 2.4'te görüldüğü gibi atık polipropilen, saf polipropilene göre yoğunluk ve darbe direnci özelliklerinde daha yüksek performans göstermiştir. Yoğunluk ve darbe direnci kavramları, balistik özellikler açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle belirlenen hedeflere ulaşmada atık PP'nin saf PP'ye göre daha etkili olduğu da ortaya çıkmıştır. Saf polipropilene oranla daha düşük özelliklerin görüldüğü eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü değerlerinde atık PP'de bulunan katkı maddelerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Balistik panellerde diğer bir faktör de maliyettir. Üretilen balistik panellerde kullanılan materyal oranlarına göre değişmekle birlikte, ortalama %20 oranında kullanılan atık polipropilen fiyatı 0,32 \$/kg iken, saf polipropilenin 1,5 \$/kg'dır (Haziran 2018). Balistik panellerin üretiminde atık polipropilen yüksek sıcaklıkta eritilerek kullanılmıştır. Atık polipropilenler daha önce kullanıldıkları için içerisinde katkı maddeleri olma ihtimalleri yüksektir. Materyallerin özelliklerinin bilinmesi, kullanılan yöntemin başarıya ulaşmasında katkı sağlamaktadır. Bu nedenle atık polipropilenin termal özellikleri de incelenmiştir. Şekil 2.5'te TGA (Thermo-gravimetric analysis) eğrileri ile saf ve atık polipropilen arasındaki farklılık ortaya koyulmuştur.



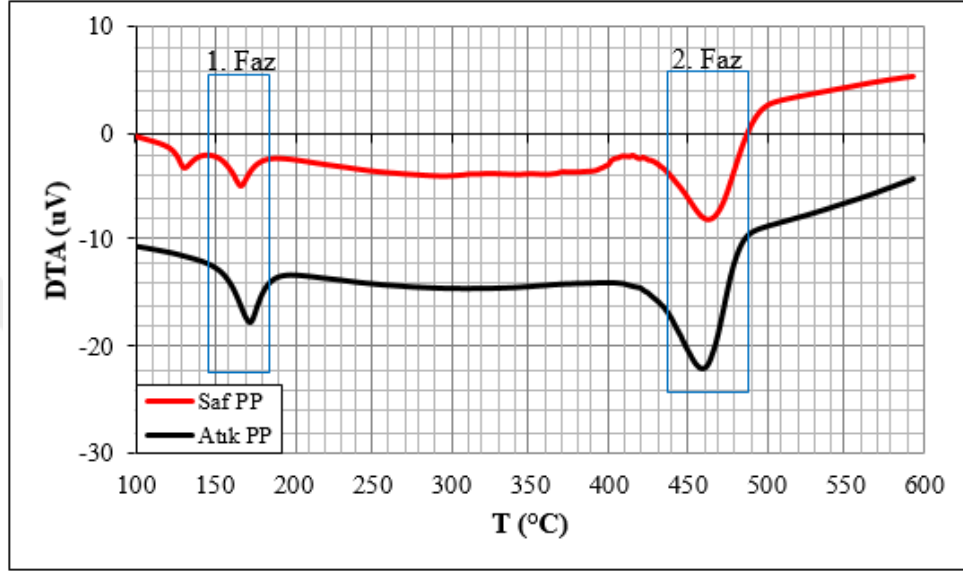
Şekil 2.5: Saf ve atık polipropilene ait TGA eğrileri (Gündüz vd., 2018).

Şekil 2.5'teki kütle kayıpları incelendiğinde, atık polipropilenin bozunma sıcaklığına (458°C) ulaşması, saf polipropilene (463°C) göre daha hızlı gerçekleşmiştir. TGA eğrilerinden çıkarılan bir diğer sonuç ise, saf polipropilenin kütle kaybı tamamen gerçekleşirken, atık polipropilenin kütlesinin yaklaşık %16'sı, 500°C ile 600°C arasında kütle kaybına uğramamıştır. Bu durum atık polipropilen içerisinde kalsit gibi katkı maddelerinin yüksek (1000°C-1300 °C) sıcaklığa dayanıklı olmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek kütle kayıplarının yaşandığı sıcaklık değerleri, 400°C ile 500°C arasında gerçekleşmiş ve Şekil 2.6'da DTG (Derivative thermo-gravimetric) eğrileri ile görseli verilmiştir.



Şekil 2.6: Saf ve atık polipropilene ait DTG eğrileri (Gündüz vd., 2018).

Panellerin üretiminde polipropilenin erime sıcaklığı önemli bir yer tutmaktadır. Atık polipropilen, hazırlanan kalıbın kalınlığına bağlı olarak belirli bir süre polipropilenin erime sıcaklığında ($170\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de) plakalar haline getirilmiştir. Bu nedenle atık polipropilenin erime ve bozunma sıcaklıkları diferansiyel termal analiz (DTA) ile belirlenmiştir. Şekil 2.7'de saf ve atık polipropilene ait DTA eğrilerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 2.7: Saf ve atık polipropilene ait DTA eğrileri (Gündüz vd., 2018).

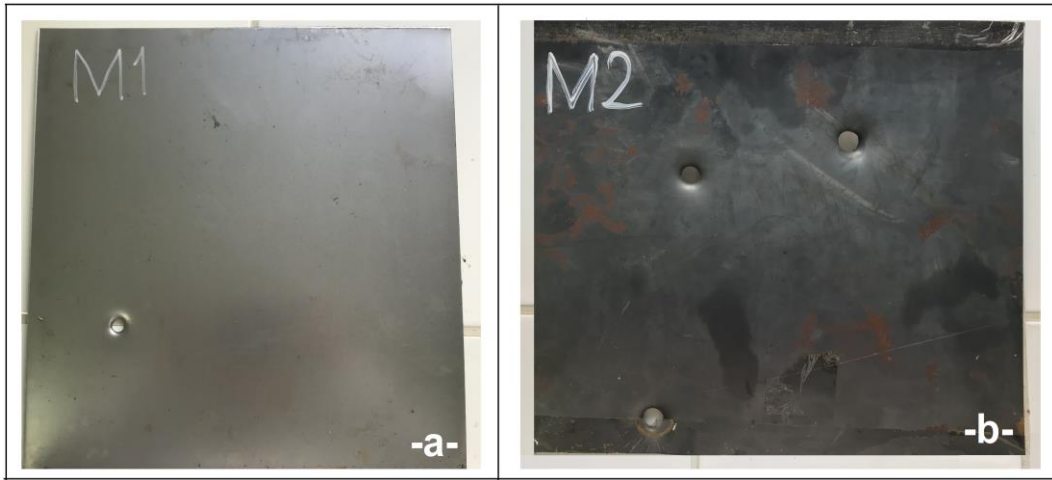
Saf ve atık polipropilenin DTA eğrilerinde 1. faz (erime noktası) ve 2. faz (bozunma noktası) olarak isimlendirilen 2 farklı oluşum meydana gelmiştir. Birinci faz polipropilenin erime sıcaklığını gösterirken, ikinci faz bozunma sıcaklığını göstermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemde polipropilenin eritilmesinde birinci fazda belirlenen erime noktası ($170\pm5^{\circ}\text{C}$) sıcaklık değeri kullanılmıştır.

2.1.4 Metal plaka

Metaller, savunma sanayinde hala en yaygın kullanılan malzemelerdendir. Metalleri balistik uygulamalar için uygun kılan bazı önemli özellikleri vardır. Metaller diğer malzemelerden daha ucuzdur ve seri üretim için uygundur. İstenilen mekanik ve fiziksel özellikleri elde edebilmek için metallere bazı ikincil işlemler uygulanabilir. En önemlisi, metaller balistik uygulamalar için bir kereden fazla kullanılabilir. Seramik ve liflerin aksine, bir mermi metal bir malzemeye çarptığında metallerin bütünlüğü bozulmamaktadır. Öte yandan, metaller ağırlıklarından dolayı büyük bir dezavantaja sahiptir. Balistik malzemeler için ağırlığın

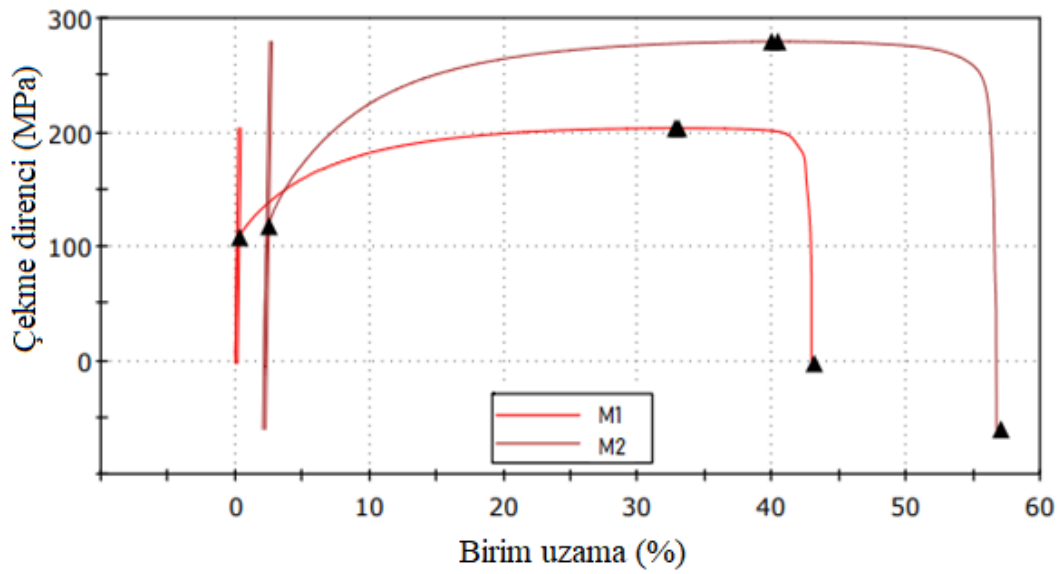
önemi göz önünde bulundurulursa, savaş alanında metallerin bazı problemleri olabilir, çünkü manevra yeteneğinden yoksun olabilirler. Bu durum, bazı durumlarda insanları veya araçları savunmasız kılabilir (Durmaz, 2017).

Çalışma kapsamında balistik panelin performansını arttırmak için üç farklı kalınlıkta galvanizli metal sac kullanılmıştır. Metal sac kullanımı ile merminin sahip olduğu ilk hızın yavaşlatılması hedeflenmiştir. Panelin içinde kullanılan bu metal plakaların balistik performansının belirlenmesi için, bu metal saclar bireysel olarak test edilmiş ve tamamen delinmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan 0,8 mm, 1,2 mm ve 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli metal saclar, sırasıyla M1, M2 ve M3 olarak kodlanmıştır. Metal plakalara NIJ standart Seviye IIA kategorisine göre yapılan atışlar sonrasında metallerin tamamen delindiği gözlemlenmiştir. M1 ve M2 metal saclara yapılan atışlara ait sonuçlar Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: M1 (a) ve M2 (b) metallerinin atış sonrası görünümü

Çalışmada kullanılan metallerin özellikleri, üretilecek balistik panellerin özelliklerine etkileyeceği için, bu metallere ait çekme direnci testleri TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak Bartın Üniversitesi, Merkezi Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiş ve ilgili parametreler belirlenmiştir. Şekil 2.9’da M1 ve M2 metallerine ait çekme testi diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Çalışmada kullanılan M1 ve M2 kodlu galvanizli metallere ait çekme testi diyagramı.

Çekme testi sonucunda ilgili parametreler incelendiğinde, M2 metali, Young modülü hariç diğer bütün parametrelerde daha yüksek performans göstermiştir. Bu farkın metaller arasındaki kalınlık farkından dolayı ortaya çıktığı belirlenmiştir. Tablo 2.5'te çekme testinde elde edilen ve universal test makinesi tarafından otomatik olarak hesaplanan değerler, Tablo 2.6'da ise galvanizli metali oluşturan elementlerin belirlendiği XRF (X-Ray Fluorescence) analizi sonuçları sunulmuştur.

Tablo 2.5: Çalışmada kullanılan metallere ait çekme direnci değerleri.

Metal	Maksimum çekme direnci (MPa)	Maksimum yük (kN)	Tokluk (J)	Young Modülü (GPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)
M1	203	3,10	422	92,5	109	42
M2	279	9,05	556	76,5	148	54
M3	385	15,20	685	55,2	187	60

Tablo 2.6: Çalışmada kullanılan galvanizli metale ait XRF analizi sonuçları

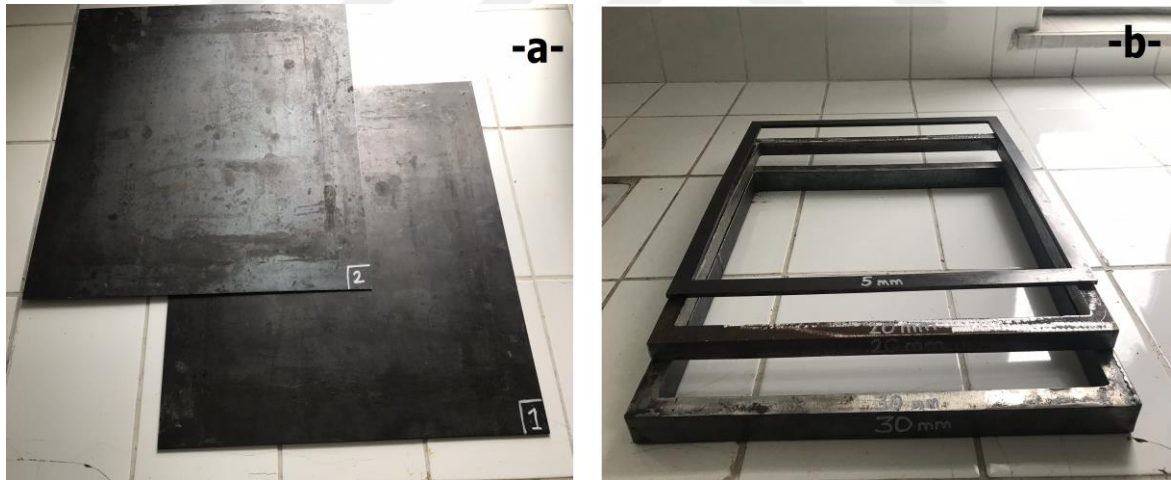
Element	Değer	Birim
Na	72,937	%
Al	2,902	%
Cl	0,573	%
Ca	0,268	%
Cr	1085,536	ppm
Fe	23,160	%
Zr	505,914	ppm

2.2.Yöntem

Çalışma kapsamında üretilen balistik panellerin üretimi, üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamayı balistik panelin ebatlarını oluşturacak kalıpların hazırlanması ve atık polipropilen (APP) tabakaların elde edilmesi oluşturmaktadır. İkinci aşamada materyallerin balistik panel için uygun ölçülere getirilmesi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise paneli oluşturan kombinasyonlar hazırlanmış ve paneller üretilmiştir.

2.2.1 Atık Polipropilen (APP) Plakaların Hazırlanması

Atık PP plakaların hazırlanması için 500x500x3 mm ebatlarında 2 adet (1 ve 2 numaralı) demir saçlar kestirilmiş (Şekil 2.10-a) ve iç yüzey alanı 400x400 mm ebatlarında üç farklı (5, 20, 30 mm) kalınlıkta demir kalıp (Şekil 2.10-b) hazırlanmıştır. Balistik panellerin üretiminde kullanılan APP plakalar, 5 mm kalınlıkta üretilmiş ve panelin alt ve üst tabakasında olmak üzere her balistik panel için iki adet kullanılmıştır.

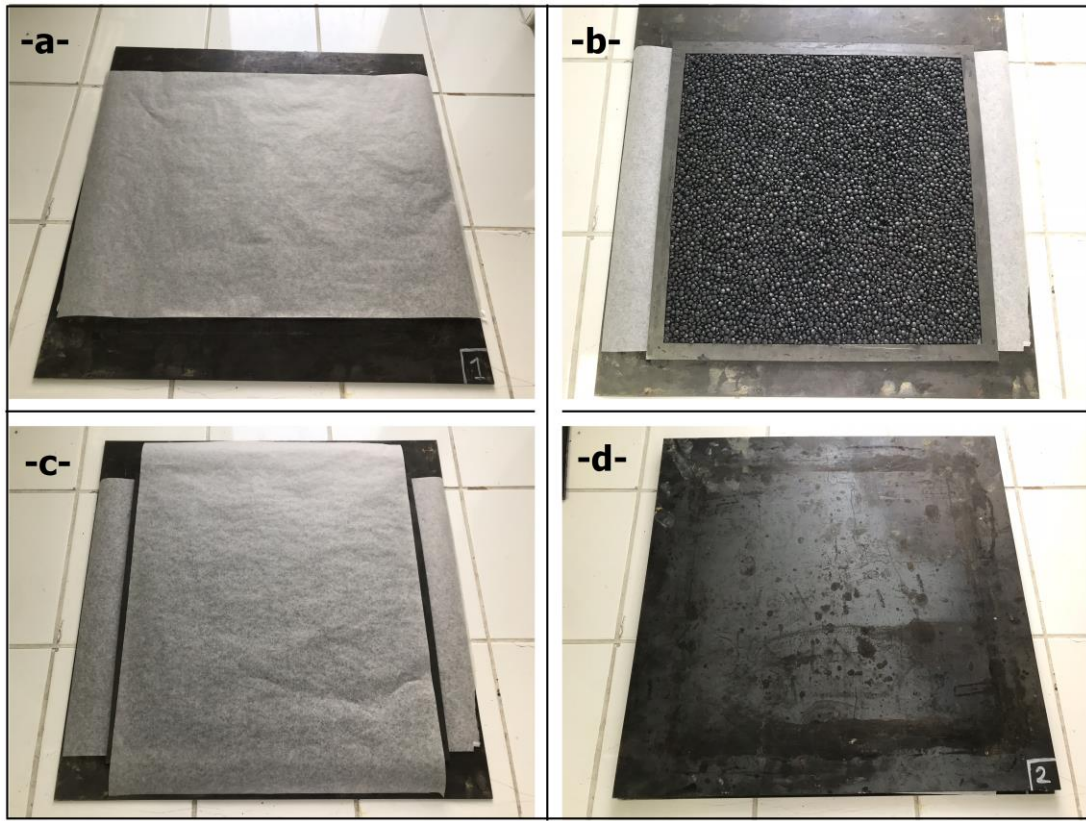


Şekil 2.10: 500x500x3 mm ebatlarında demir saçlar (a) ve 400x400x5, 20, 30 mm ebatlarındaki demir kalıplar (b).

APP plakaların elde edilmesi için ilk olarak 1 numaralı saç üzerine pişirme kağıdı Şekil 2.11-a'daki gibi yerleştirilmiştir. Daha sonra bu kâğıt üzerine 400x400x5 mm'lik demir kalıp yerleştirilmiştir. Yerleştirilen kalıbın hacmi hesaplanarak ($40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm} = 800 \text{ cm}^3$) $0,98 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip granül haldeki atık polipropilenden 816 gr koyulması gerekirken 820 gr koyulmuştur. (Şekil 2.11-b). Sıcaklık ve pres altında sıkıştırma

gerçekleştirileceği için hesaplanan hacme göre 4 gr fazla APP kullanılmıştır. Bu miktar, laboratuvar ortamında yapılan ön deneme çalışmaları sonucunda tespit edilmiştir.

Tesviye edilen granül haldeki APP'lerin üzerine tekrar pişirme kağıdı yerleştirilmiştir (Şekil 2.11-c). Pişirme kağıdının kullanılmasındaki amaç, eriyen polipropilenin demir saçlara yapışmasını önlemek ve düzgün yüzeyler elde etmektir. Son olarak pişirme kağıdından üzerine 2 numaralı demir saç yerleştirilerek taslak preslenmeye hazır hale getirilmiştir (Şekil 2.11-d). Kalıplardan (40x40 cm) daha yüksek yüzey alanına sahip (50x50 cm) saç kullanımı ile taslağın taşınması kolaylaştırılmıştır. Ayrıca, pres sırasında eriyen polipropilenin presin yüzeylerine yapışması da engellenmiştir.



Şekil 2.11: APP plakalarının pres için hazırlanma aşamaları.

Hazırlanan levha taslağı Bartın Orman Fakültesi, Kompozit Levha Laboratuvarında bulunan 60x60 cm yüzey alanına sahip hidrolik preste (Cemil Usta SSP 180) Tablo 2.7’de verilen parametreler kullanılarak preslenmiştir.

Tablo 2.7: APP plaka taslağının preslenmesinde kullanılan parametreler.

Sıcaklık (°C)	Basınç (N/mm ²)	Süre (sn)
170±5	3,5-4,0	312

Pres sıcaklığı için alt ve üst yüzeyde polipropilenin erime noktası olan 170±5°C baz alınmıştır. Presin maksimum ve minimum basınç girdileri sırasıyla 4,0 ve 3,5 N/mm² kullanılmıştır. Hidrolik presin çalışma prensibinde, maksimum değerine kadar çıkan basınç, plastiğin erimesiyle düşmeye başlar. Minimum değerine kadar düştükten sonra tekrar maksimum değerine kadar basınç otomatik olarak artar. Şekil 2.12-a’da çalışmada kullanılan hidrolik presin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.12: Çalışmada kullanılan hidrolik pres (a), 5 mm’lik APP taslağı (b), soğuk pres sonrası taslağın görünümü (c).

5 mm’lik APP plakası için hazırlanan taslak Şekil 2.12-b’de gösterilmiştir. APP plakasının taslağının alt ve üst tabakasında kullanılan demir saçlar 3 mm kalınlığındadır. Bu durum saçların ağırlığını arttırmaktadır. Ön denemelerde 1 mm’lik saçlar kullanılmış ve preslemenin hemen sonrasında eriyen polipropilenin sıcaklığına bağlı olarak hacim kazanmasıyla APP plakanın bütünlüğü bozulmuştur. 3 mm saçların ağırlığı, bu genleşmeyi

önlemektedir. 5 mm'lik APP üretiminde pres süresi 312 sn. (5,2 dak.) kullanılmış, bunun 12 saniyesi saç plakaların maksimum sıcaklığa ulaşması için gereken süredir. Manual olarak ayarlanan pres süresinin dolmasıyla birlikte pres otomatik olarak açılmaktadır. Açılan presin ve içindeki taslağın yüzeyleri sıcak olduğu için ısıya dayanıklı eldivenler kullanılmıştır. Sıcak presteki süresi biten taslak alınarak 1 N/mm² normal (soğuk) preste 1 saat bekletilmiştir. Buradaki amaç, eriyen polipropilenin kalıbın şeklini almasıdır. Şekil 2.12-c'de soğuk pres sonrası taslağın görünümü verilmiştir.

Taslağın hazırlanmasında alt ve üst yüzeyde kullanılan pişirme kağıtları, polipropilenin demir saçlara yapışmasını önlemekte ve APP plakaların yüzey düzgünlüğünü sağlamaktadır. Ekonomik olması ve kullanım kolaylığı, pişirme kağıdı kullanımının diğer tercih sebepleridir. Şekil 2.13'te balistik panelin alt ve üst tabakasında kullanılacak 5 mm APP plakaların genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.13: Atık polipropilen (APP) plaka.

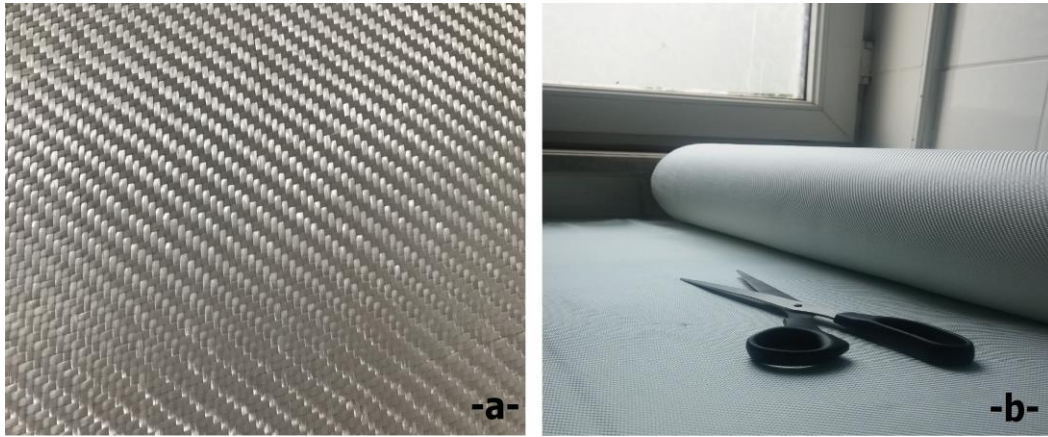
2.2.2 OSB ve Dokuma Cam Liflerinin Boyutlandırılması

122x244x1 cm ebatlarında temin edilen OSB paneller, Bartın Üniversitesi, Mobilya ve Dekorasyon Atölyesinde daire testere vasıtasıyla kesilmiş ve Şekil 2.14'te gösterildiği gibi 32x32 boyutlarına getirilmiştir.



Şekil 2.14: 32x32 cm ölçülerine getirilmiş OSB plakalar.

Balistik paneli oluşturan diğer bir materyal ise, 500 gr/m²'lik dokuma cam lifidir. Dokuma cam lifinin genel görünüşü Şekil 2.15-a'da gösterilmiştir. 100 cm genişlik ve 50 m uzunluğa sahip rulo halinde (Şekil 2.15-b) temin edilen dokuma cam lifi, cam lifi, aramid, kevlar gibi özel ve yüksek performanslı kumaşların kesilmesinde kullanılan Solingen Textilia High Tech. marka ve modeli makas kullanılarak 32x32 ebatlarına getirilmiştir.



Şekil 2.15: Dokuma cam lifinin genel (a) ve rulo halindeki (b) görünümü.

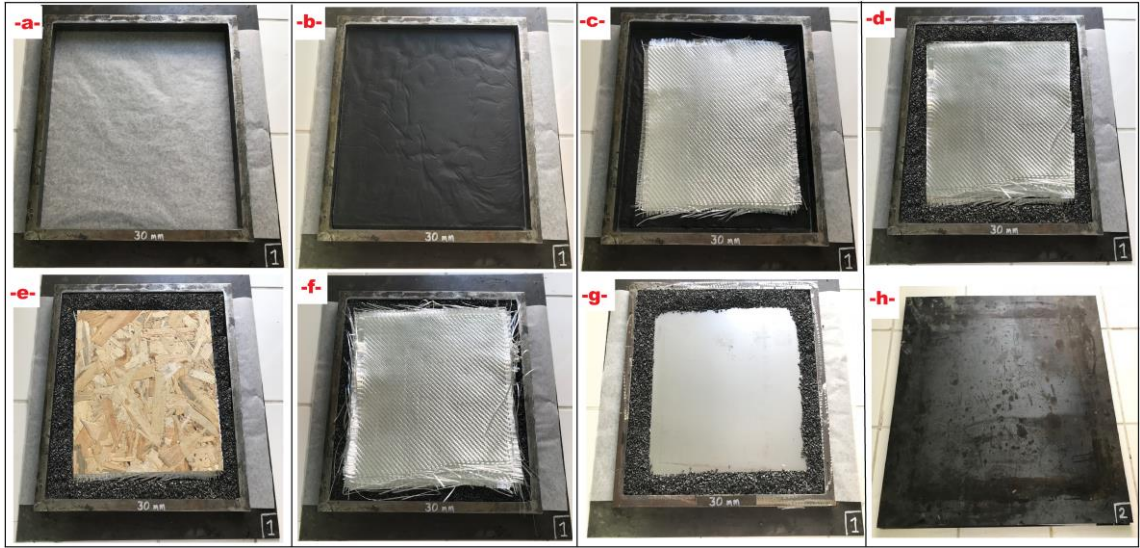
Dokuma cam lifleri belirtilen ebatlara getirilirken gözlük, maske, eldiven, önlük gibi ekipmanlar kullanılmıştır. Kesim esnasında ortaya çıkan cam liflerinin solunması sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Deri yüzeyine temas etmesi halinde, kaşıntı ve batmalara neden olduğu görülmüştür.

2.2.3 Balistik Panellerin Üretilmesi

Balistik panellerin üretilmesi, üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Her aşama, kendinden sonraki aşamada oluşturulacak olan varyasyon için altlık oluşturmuştur. Birinci aşamada 30 ve 40 adet dokuma cam lifi kullanılarak metal (M1) ve OSB ile 8 farklı varyasyon oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise 40 ve 50 adet dokuma cam lifi, M1 ve M2 olmak üzere iki farklı metal ve OSB panel kullanılarak oluşturulan kombinasyonlar ile 6 farklı varyasyon oluşturulmuştur. Üçüncü şamada ise 50 adet dokuma cam lifi, OSB ve M3 kodlu metal plaka kullanılarak tek varyasyon oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan varyasyonlarda, OSB içeren paneller 3 cm kalınlığında, diğerleri ise 2 cm kalınlığındadır. Farklı kombinasyonlar oluşturulmasında amaç, materyallerin bireysel performanslarının ortaya konulmasıdır.

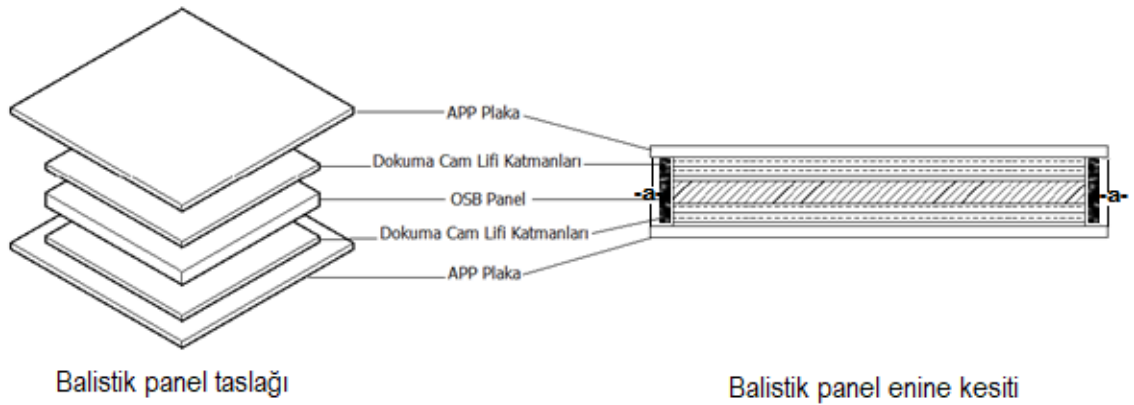
2.2.4. Balistik Panel Taslağının Hazırlanması

Balistik panel taslağının hazırlanmasında, 5 mm'lik APP plakaların elde edilmesinde kullanılan 3 mm'lik saçlar kullanılmıştır. 1 numaralı saç üzerine pişirme kağıdı yerleştirilmiş ve üretilecek balistik panelin kalınlığına göre (20 mm ve 30 mm) Şekil 2.10-b'de gösterilen çelik kalıplardan uygun olanı Şekil 2.16-a'da gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Daha sonra ilk aşamada üretilen 5 mm'lik APP plakası taslak içine yerleştirilmiştir (Şekil 2.16-b). APP plaka üzerine üretilecek varyasyona göre belirlenen dokuma cam lifi tabakaları elle döşeme yöntemiyle yerleştirilmiştir (Şekil 2.16-c). Dokuma cam lifleri yerleştirildikten sonra kullanılan kalıp ile dokuma cam lifi arasında kalan 4 cm genişliğindeki alanlar granül halindeki APP ile doldurulmuştur (Şekil 2.16-d). Daha sonra kalıba uygun olarak 32 cm ölçülerine getirilmiş olan OSB panel taslağa yerleştirilmiştir (Şekil 2.16-e). OSB panel yerleştirildikten sonra kullanılan kalıp ile OSB arasında kalan 4 cm genişliğindeki alanlar yine granül halindeki atık APP ile doldurulmuştur. Ardından tekrar varyasyona göre belirlenen dokuma cam lifi tabakaları yerleştirilmiş (Şekil 2.16-f) ve eğer üretilecek varyasyonda metal plaka var ise metal plaka yerleştirilmiştir (Şekil 2.16-g). Kalıp ile kullanılan materyallerin arası tekrar granül haldeki APP ile doldurulduktan sonra taslağın en üstüne altında olduğu gibi 5 mm'lik APP plaka yerleştirilmiştir. APP plaka üzerine yapışmayı önlemek için pişirme kağıdı koyulmuş ve 2 numaralı 3 mm'lik metal saç taslağın en üstüne (Şekil 2.16-h) yerleştirilerek taslak hazırlanmıştır. Şekil 2.16'da OSB ve metal plaka içeren varyasyona ait aşamalar gösterilmiştir.



Şekil 2.16: OSB ve metal plaka içeren varyasyona ait aşamalar

Balistik panelin üretiminde kullanılan içteki materyaller (OSB, cam lifi, metal plaka) ile dıştaki APP plakalar arasında kalan alanlar, levha taslağı hazırlanırken granül halindeki polipropilen ile doldurulmuştur. Bu kısımlar Şekil 2.17’de balistik panelin enine kesitinde (a) ile gösterilmiştir. Şekil 2.17’de balistik panel taslağını oluşturan materyaller ve panelin enine kesiti verilmiştir.



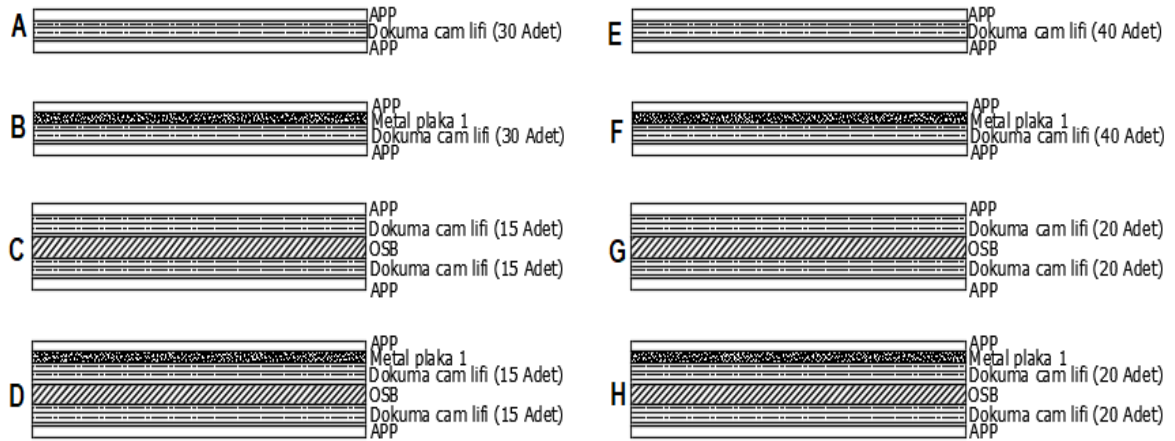
Şekil 2.17: Balistik panel taslağı ve enine kesiti.

Balistik panelin iç tabakalarında kullanılan diğer materyaller 32x32 cm ebatlarında ve panelin tam ortasına yerleştirilmiştir. Dolayısıyla balistik panelin dört kenarından 4’er cm’lik boşluklar kalmıştır. Buradaki amaç, dış tabakalarda kullanılan APP plakaların paneli tamamen kaplayarak panelde bütünlük sağlamaktır.

Hazırlanan balistik panel taslağı hidrolik preste (Cemil Usta SSP 180) 170°C sıcaklık, 3,5-4,0 N/mm² basınç ve 600 sn. (10 dak.) preslenmiştir. Belirtilen süre sonunda otomatik olarak açılan presin ve içindeki taslağın yüzeyleri sıcak olduğu için ısıya dayanıklı eldivenler ile panel taslağı alınmıştır. Presten alınan taslak hemen 1 N/mm²'lik basınç altında 1 saat süre ile normal (soğuk) preste tabi tutulmuştur. Bu aşamada plastik materyalin soğuyarak kullanılan kalıbın şeklini alması sağlanmıştır

2.3. Numune Deseni

Çalışma kapsamında 3 farklı kategoride varyasyonlar oluşturulmuştur. 1. aşamada oluşturulan varyasyonların test sonuçları baz alınarak 2. aşama varyasyonları tasarlanmıştır. 3. Aşamada ise tek bir varyasyon hazırlanarak incelenmiştir. 1. aşamada oluşturulan varyasyonların tasarımları Şekil 2.18'de, teknik bilgileri ise Tablo 2.8'de verilmiştir.



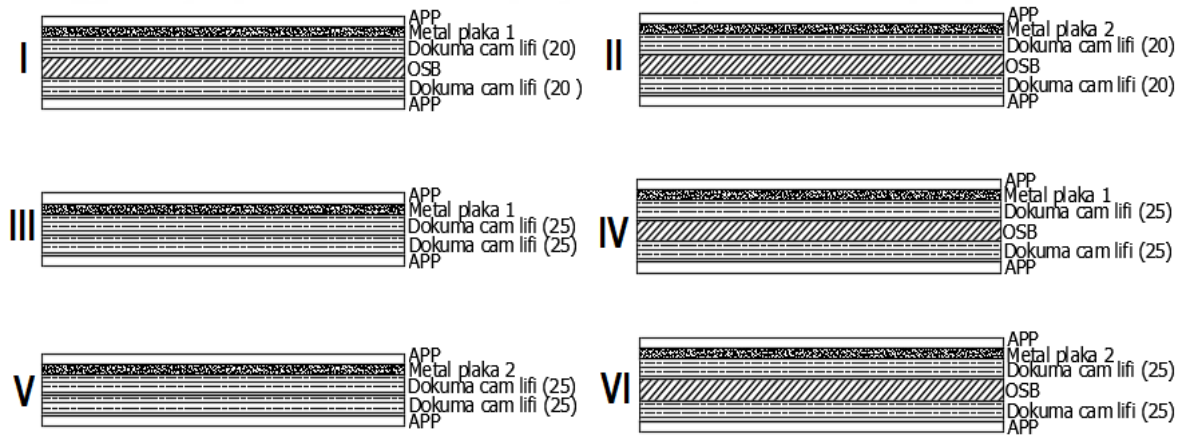
Şekil 2.18: 1. aşamada oluşturulan varyasyonlar

Tablo 2.8: 1. aşamada oluşturulan varyasyonların teknik özellikleri.

Panel	Panel ölçüleri (cm)	Dokuma cam lifi (gr)	OSB (gr)	Metal plaka1 (gr)	PP (gr)	Toplam (gr)	Kodu	Yoğunluk (gr/cm ³)
A	40/40/2	1500 (30 adet)	-	-	1260	2760	D3	0,86
B	40/40/2	1500 (30 adet)	-	557	1318	3375	D3M1	1,05
C	40/40/3	1500 (30 adet)	665	-	2325	4490	D3/O	0,94
D	40/40/3	1500 (30 adet)	665	557	2345	5067	D3M1/O	1,06
E	40/40/2	2000 (40 adet)	-	-	2987	4987	D4	1,56
F	40/40/2	2000 (40 adet)	-	557	2634	5191	D4M1	1,62
G	40/40/3	2000 (40 adet)	665	-	2761	5426	D4/O	1,13
H	40/40/3	2000 (40 adet)	665	557	2418	5640	D4M1/O	1,18

Balistik panellere verilen kodlarda “D3” ve “D4” sırasıyla 30 ve 40 adet dokuma cam lifini, “M1” 0,8 mm kalınlığındaki metal plakayı, “O” OSB plakayı temsil etmektedir. 1. aşama paneller üzerinde Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ)’nün NIJ STD-0101.06 standartlarına göre yapılan balistik testlerin verileri doğrultusunda 2. aşama panellerin tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. aşama panellerde, 1. aşamada başarılı olan varyasyon üzerinden dokuma cam lifi miktarında artış ve farklı metal plaka (Metal plaka 2/M2) tasarımda kullanılmıştır. 2. aşamada oluşturulan varyasyonların tasarımları Şekil 2.19’da, teknik bilgileri ise Tablo 2.9’da verilmiştir.



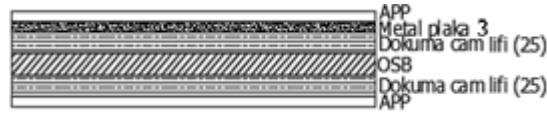
Şekil 2.19: 2. aşamada oluşturulan varyasyonlar

Birinci aşamada üretilen balistik panellerde kullanılan kodlama sistemi ikinci aşamada üretilen panellerde de kullanılmıştır. “D4” ve “D5” sırasıyla 40 ve 50 adet dokuma cam lifini, “M2” 1,2 mm kalınlığındaki metal plakayı, “O” OSB plakayı temsil etmektedir.

Tablo 2.9: 2. aşamada oluşturulan varyasyonların teknik özellikleri.

Panel	Panel ölçüleri (cm)	Dokuma cam lifi (gr)	OSB (gr)	Metal plaka (gr)	PP (gr)	Toplam (gr)	Kodu	Yoğunluk (gr/cm ³)
I	40/40/3	2000 (40 adet)	665	557 (1)	2418	4482	D4M1/O	1,18
II	40/40/3	2000 (40 adet)	665	990 (2)	1318	4973	D4M2/O	1,04
III	40/40/2	2500 (50 adet)	-	557 (1)	2634	5691	D5M1	1,78
IV	40/40/3	2500 (50 adet)	665	557 (1)	2325	6047	D5M1/O	1,26
V	40/40/2	2500 (50 adet)	-	990 (2)	2553	6043	D5M2	1,89
VI	40/40/3	2500 (50 adet)	665	990 (2)	2345	6500	D5M2/O	1,35

3. aşamada sadece bir varyasyon oluşturulmuştur. Oluşturulan varyasyona ait tasarım Şekil 2.20’de, teknik özellikleri ise Tablo 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.20:3. aşamada oluşturulan varyasyon

Tablo 2.10: 3. aşamada oluşturulan varyasyonun teknik özellikleri.

Panel Kodu	Panel ölçüleri (cm)	Dokuma cam lifi (gr)	OSB (gr)	Metal plaka 3 (gr)	PP (gr)	Toplam (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)
D5M3/O	40/40/3	2500 (50 adet)	665	1200	2418	4482	1,41

2.4 Balistik Testler

Balistik koruyucu olarak üretilen materyallerin performanslarının belirlenmesinde Ulusal Yargı Enstitüsü (National Institute of Justice/NIJ) ve NATO (North Atlantic Treaty Organization) gibi kuruluşlar tarafından çeşitli standartlar oluşturulmuştur. NIJ standartlarında, kullanılan merminin kalibresi, tipi ve hızı baz alınarak koruma seviyeleri oluşturulmuştur. Bu standartların oluşturulmasındaki temel amaç, zırh çalışmalarında kullanılmak üzere ortak bir başarı kriteri belirlemektir. Testlerin gerçekleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken ortam şartları, kullanılacak ekipmanlar ve sonuçların değerlendirilmesi gibi parametreler bu standartlarla belirlenmiştir (Yavaş, 2009).

2.4.1 NIJ 0101.06 Standardı

NIJ standardında amaç, silah ateşlemelerine karşı koruma amacıyla tasarlanmış olan kişisel vücut zırh malzemelerinin balistik dayanımına yönelik minimum performans gerekliliklerini ve test yöntemlerini belirlemektir. Bu standardın kapsamı sadece balistik direnç (balistik dayanım) ile sınırlı kalmaktadır. Bıçak ve keskin aletlerin neden olduğu tehditleri, kapsamı farklı olmalarından ötürü bu test yöntemlerinin arasında içermemektedir (Özgültekin, 2012). NIJ standardında balistik performans, kullanılan merminin kalibresi, tipi, ağırlığı ve hızı dikkate alınarak belirlenmektedir. Beş (IIA, II, IIIA, III, IV) farklı

koruma seviyesine göre gerekli olan mermi özellikleri ve test koşulları Tablo 2.11’de gösterilmiştir. Bu sınıflandırmaya ek olarak özel bir test sınıfı daha tanımlanarak, zırh malzemesinin diğer beş standart sınıfı tarafından kapsanmamış olan tehditlere karşı da geçerli olması amaçlanmıştır. Koruyucu zırh için özel bir yetkinlik isteyen alıcılar, mermi özelliklerini ve beklenen performansı net bir şekilde belirtmelidir. Bu standardın diğer beş standarttan ayrı tutulması gerekmektedir. Temmuz 2008 tarihinde “NIJ Standart-0101.06” oluşturulmuştur. Bu standart, Eylül 2000 tarihli “NIJ Standard-0101.04”ün bir revizyonudur. Ayrıca, 2005 tarihli “NIJ 2005 Interim Requirements”, “NIJ Standard-0101.04” ve diğer tüm revizyonları ile buna ilave olan diğer tüm standartların yerine geçmektedir (Ashby ve Jones 1998).

Tablo 2.11: NIJ STD-0101.06’ya göre balistik test kriterleri (NIJ, 2008).

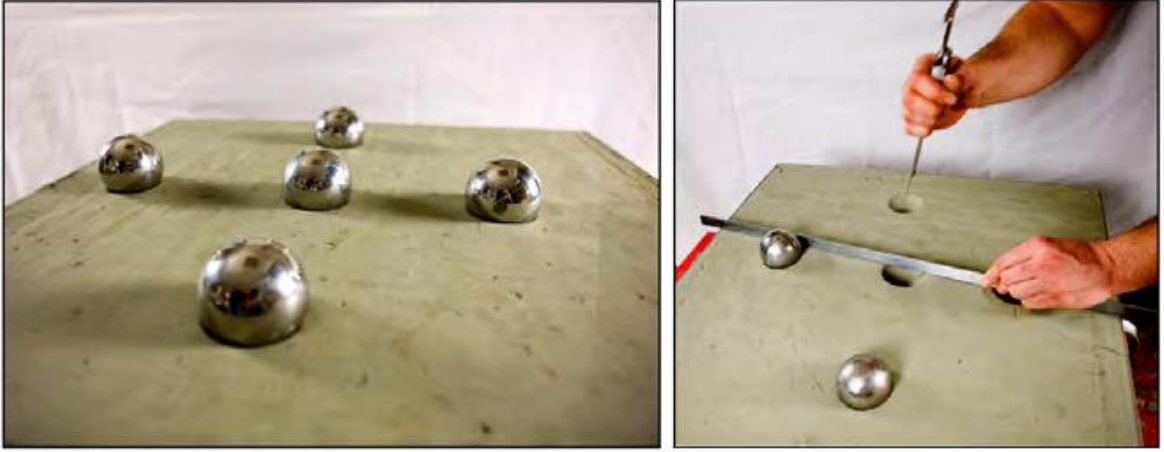
Zırh Tipi	Test Atışı	Mermi Kalibresi	Mermi Ağırlığı	Mermi Hızı	Max. Arka Yüzey Def.	Levha Sayısı	Levha Başına Atış
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 gr 124 gr.	373 m/s (1225 ft/sn)	44 mm	6	6
	2	40 S&W FMJ	11.7 gr 180 gr	352 m/sn (1155 ft/sn)	44 mm	6	6
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 gr 124 gr.	398 m/sn (1305 ft/sn)	44 mm	6	6
	2	.357 Magnum JSP	10.2 gr. 158 gr.	436 m/sn (1430 ft/sn)	44 mm	6	6
IIIA	1	.357 SIG FMJ FN	8.1 gr. 125 gr.	448 m/sn (1470 ft/sn)	44 mm	6	6
	2	44 Magnum SJHP	15.6 gr. 240 gr.	436 m/sn (1430 ft/sn)	44 mm	6	6
III	1	7.62mm NATO FMJ	9.6 gr. 148 gr.	847 m/sn (2780 ft/sn)	44 mm	4	6
IV	1	30 Kalibre M2 AP	10.8 gr. 166 gr.	878 m/sn (2880 ft/sn)	44 mm	4-24	1-6
Özel	Zırh performansı ve atış gereksinimleri zırh tipine bağlı olmalıdır.						

NIJ standartlarına göre koruyucu zırhın balistik dayanım kriterinin ölçütü, zırhın arkasına yerleştirilen ve insanı simule eden macunun (kilin) üzerinde meydana gelen çöküntü (travma) miktarının 44 mm’nin altında olmasıdır (NIJ, 2008). Testlerde kullanılan macun kriterlerinin belirlenmesinde aşağıdaki özelliklere dikkat edilmiştir.

- Macunun sıcaklığı kontrol edilmelidir (oda sıcaklığı).
- 63,5 mm $\pm$ 0.05 mm çap ve 1043 g $\pm$ 5 g ağırlığa sahip beş adet çelik küre 2 m yükseklikten bu macun üzerine bırakılır. Kürenin, macunun sınırlarına yakın yerlere bırakılmaması gerekmektedir.

- Her bir kürenin macunda oluşturduğu derinlik ölçülür. Ortalama derinlik 19 mm $\pm$ 2 mm'den fazla olmamalıdır. Ayrıca, her bir ölçüm 16 mm'den az 22 mm'den fazla olmamalıdır (Cavallaro, 2011).

Şekil 2.21'de Courtesy of Warwick Mills (ABD) şirketi tarafından üretilen ve “Roma Plastilina No. 1 Clay” ismi ile ticarileşen macun tabakası üzerinde yapılan ölçümler verilmiştir.

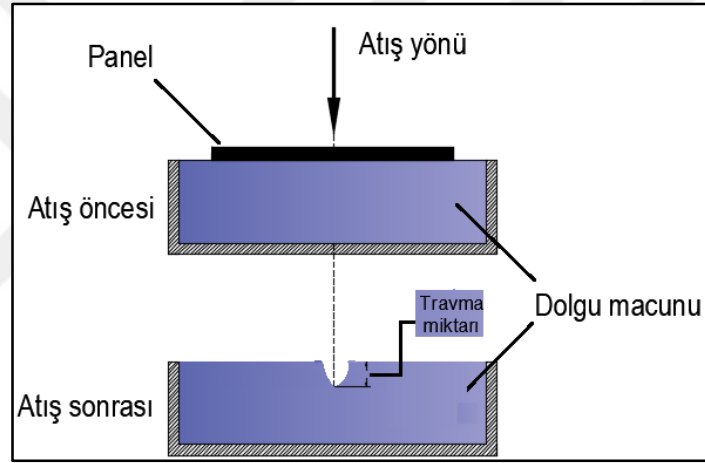


Şekil 2.21: Roma Plastilina No. 1 Clay üzerinde yapılan ölçümler (Fotoğraf: Courtesy of Warwick Mills, Inc).

Üstübeç tozu ve bezir yağı karışımından oluşan cam macunu “Roma Plastilina No. 1 Clay” materyalinin kriterlerini taşıdığı için balistik testlerde kullanılmıştır. 40 kg cam macunu 40x40x10 cm ebadında hazırlanan kalıp içine yerleştirilerek panel ebatlarına getirilmiştir. Şekil 2.22’de çalışmada kullanılan macun, Şekil 2.23’te atışlar sonrası macunda oluşan travma (deformasyon) miktarının ölçümü gösterilmiştir.

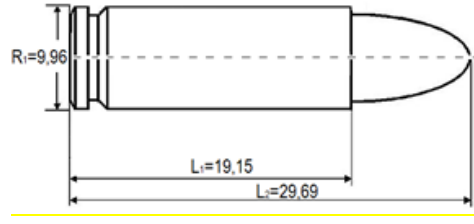


Şekil 2.22: Balistik testlerde kullanılan macun.



Şekil 2.23: Atış sonrası macunda oluşan travmanın belirlenmesi.

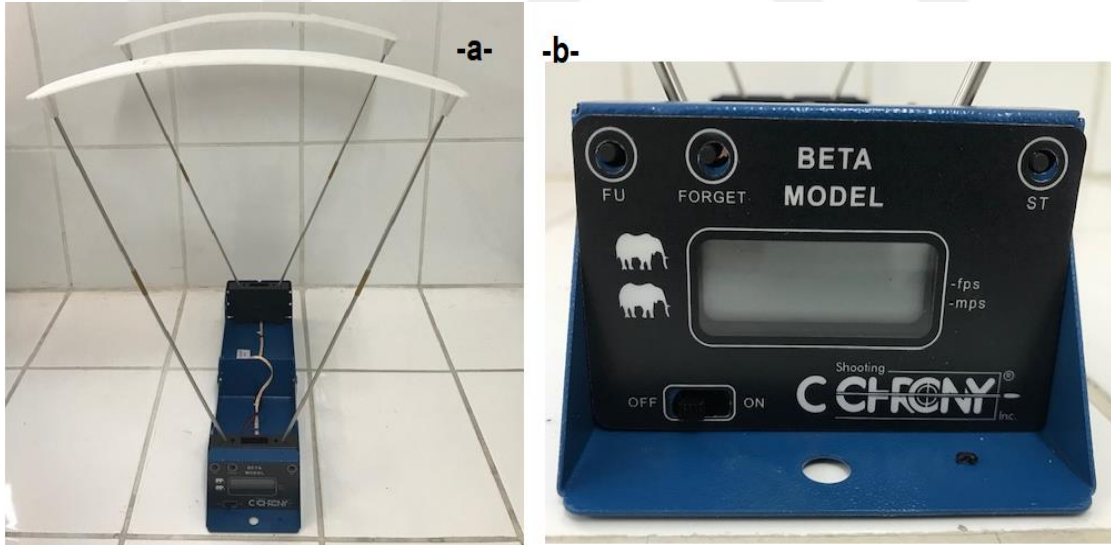
Çalışma kapsamında hazırlanan balistik panellerin testleri, NIJ-0101.06 (National Institute of Justice) standartlarına göre, Seviye IIA kriterlerine uygun mermiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Seviye IIA kriterlerinde 9 mm FMJ RN (Full Metal Jacketed, Round Nose) mermi kullanılmaktadır. Atışlarda kullanılan 9x19mm Parabellum mermisinin çekirdek kısmının ağırlığı 8 gr, merminin toplam ağırlığı ise 124 gr'dır. Şekil 2.24'te atışlarda kullanılan merminin görseli verilmiştir.



Şekil 2.24: 9x19mm Parabellum mermisi genel görünüşü (URL-3).

2.4.2 Balistik Test Düzeneğinin Hazırlanması

Balistik koruyucu zırhın/malzemenin testleri gerçekleştirilirken atış yapılan alanda gerekli koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Atış yapılacak ortamın şartları (sıcaklık, rüzgar, ışık vb.) kaydedilmelidir. Testlerin yapılacağı ortamda sıcaklık $21^{\circ}\text{C} \pm 2,9^{\circ}\text{C}$, bağıl nem $\%50 \pm \%20$ olmalıdır (Ashby ve Jones 1998). Hız ölçümlerinin yapılacağı atışlarda yeterli güneş ışığı gerekmektedir. Aksi halde kronografta bulunan sensörler mermiyi algılayamamakta, dolayısıyla da hız ölçümleri yapılamamaktadır. Şekil 2.25'te, çalışmada kapsamında hız ölçümlerinin yapıldığı kronografin genel görünüşü (a) ve LCD ekran görüntüsü (b) verilmiştir.

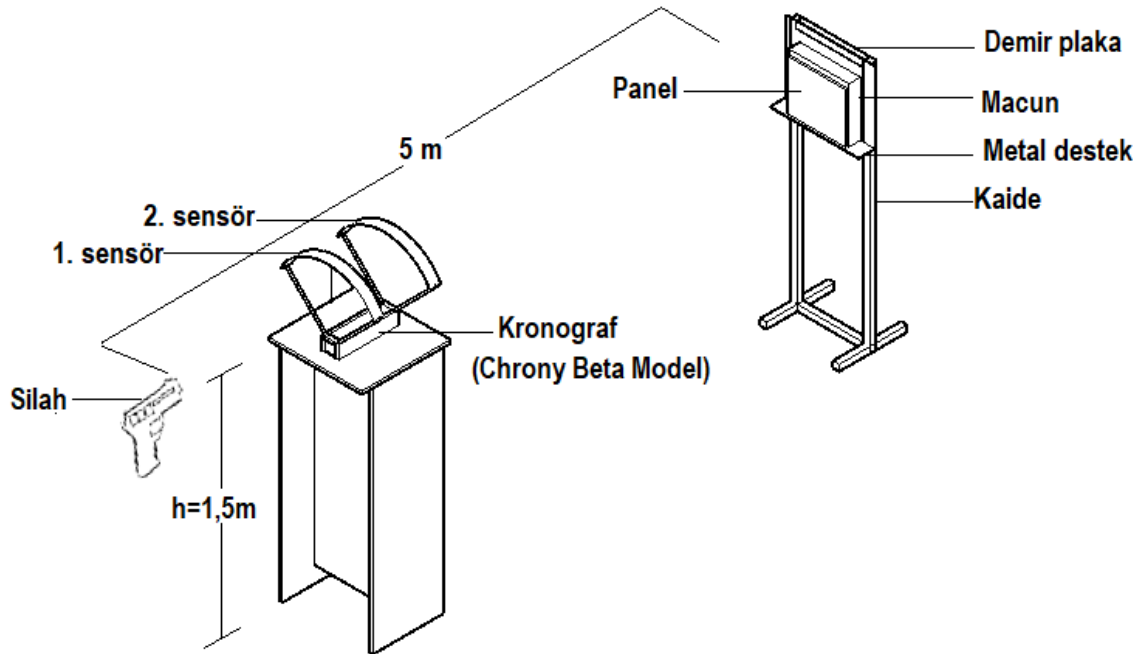


Şekil 2.25: Çalışmada kullanılan kronografin genel (a) ve LCD ekran görünümü (b)

Çalışmada kullanılan *Chrony Beta Model* kronograf 30 fps ile 7000 fps (foot per second) hızları arasındaki mermi hızlarını ölçebilmektedir. Kronografin hız ölçüm limitleri m/s cinsinden yazıldığında 9,1 m/s ve 2.133,6 m/s hız değerleri arasında ölçüm yapabilmektedir

(1 fps=0,3048 m/s). Yapılan ölçümlerden son 10 tanesini hafızasında tutma özelliği vardır. Ölçüm için gerekli olan enerji 9 V'luk bir pil ile sağlanmaktadır.

Üretilen balistik panellerin testleri için önceden hazırlanmış bir sistem (kaide) üzerinde macunu ve paneli atış seviyesinde tutmak için metal destek monte edilmiştir. Ashby ve Jones (1998), özel durumlar dışında tabanca atışları için zırh plakası test namlusuna $5,0 \pm 1,0$ m mesafeye, tüfek atışları için ise $15 \pm 1,0$ m mesafeye yerleştirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Zırh plakasına çarpma ile aşırı sapma ve sekme olasılığını minimize etmek için atış koşullarında mesafe ayarlanabilir. Bütün atışlar, lisanslı profesyonel bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Atış alanında hava sıcaklığı $24 \pm 2^\circ\text{C}$, bağıl nem ise $\%60 \pm 5$ olarak ölçülmüştür. Testlerin gerçekleştirildiği alanda her türlü koruyucu ve önleyici güvenlik tedbirleri alınmıştır. Gerçekleştirilen atışlarda mermi hızları kronograf (Chrony Beta Model) ile ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Şekil 2.26'da balistik testlerin gerçekleştirildiği düzenek gösterilmiştir.



Şekil 2.26: Balistik testlerin gerçekleştirildiği düzenek.

2.5 Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Testleri

Dış ortam testleri, panelin yüzeyini kaplayan atık polipropilen örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 1 cm kalınlığında hazırlanan APP plakadan $7,5 \times 15$ cm

ölçülerinde örnekler, şerit testere kullanılarak kesilmiştir. Hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri toplam 5 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.27’de hızlandırılmış UV yaşlandırma testlerinde kullanılan örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.27: Hızlandırılmış UV yaşlandırma testlerinde kullanılan APP test örnekleri.

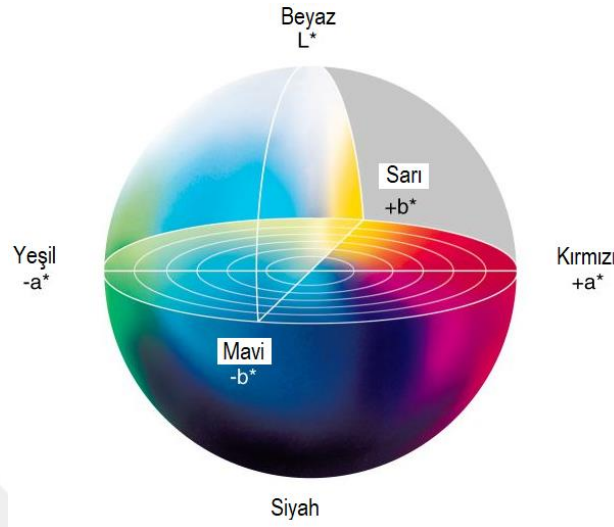
Hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri Q-LAB Corporation (USA) firması tarafından üretilen *QUV Accelerated Weathering Tester* isimli cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test süreci ASTM G154 (2006) standartlarında belirtilen şartlara uygun olarak yürütülmüştür. Hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri ile balistik panellerin güneş ışığı, yağmur ve çığ (şebnem) faktörlerine maruz kaldığında, meydana gelebilecek fiziksel değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. QUV accelerated weathering tester cihazında 20 dakika su sprej, 4 saat UV yaşlandırma ortam koşullarında (0,67 lux ışık şiddeti, 20 dakika su sprej, 4 saat UV ve 50°C ortam sıcaklığı) ve UV - A 340 floresan lambalarının etkisi altında 500 saat UV yaşlandırma etkilerine maruz bırakılmıştır.

2.5.1 Renk Ölçümü

Renk ölçüm analizi; *Konica Minolta CD-600* marka renk ölçüm cihazı ile Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi, Odun Koruma Teknolojisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan test örneklerinin hızlandırılmış UV yaşlandırma testi öncesinde ve sonrasında renk ölçüm analizi ISO 7724 (1984) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Test öncesinde alınan renk ölçümlerinden sonra test başlatılmış ve 100 saat aralıklarla toplamda 500 saatlik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için 2 farklı noktadan renk ölçümü alınarak bunların ortalaması alınmıştır.

CIELab (Commission International de l'Eclairage) sistemi üç değişkenden oluşmaktadır (ISO 7724). L*: Işık stabilitesi, a* ve b* kromotografik koordinatları ifade etmektedir. +a*

kırmızı, $-a^*$ yeşil, $+b^*$ sarı, $-b^*$ mavi renk için kullanılmaktadır (Can, 2018). Şekil 2.28’de $L^*a^*b^*$ renk sistemi koordinatları gösterilmiştir.



Şekil 2.28: $L^*a^*b^*$ renk sistemi (URL-4).

L^* , a^* ve b^* değerleri, farklı sürelerde dış ortam testine tutulan örneklerde belirlenerek meydana gelen renk değişiklikleri aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir (Eşitlik 4-7):

$$\Delta L^* = L_f^* - L_i^* \quad (4)$$

$$\Delta a^* = a_f^* - a_i^* \quad (5)$$

$$\Delta b^* = b_f^* - b_i^* \quad (6)$$

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (7)$$

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* başlangıç (i) ve değişik zaman aralıklarında (f) meydana gelen renk değişikliklerini belirtmektedir. ΔE^* toplam renk değişimini ifade etmektedir. Düşük ΔE^* değeri renk değişikliğini veya renk stabilitesini göstermektedir (Can, 2018).

2.6 Isı İletkenlik Testi

Isı iletkenliği (λ) testlerinin gerçekleştirilmesinde Quick Thermal Conductivity (QTM) - 500 ısı iletkenliği test makinesinde ASTM C1113-99 hot-wire metodu ve PD-11 sensör probu kullanılmıştır. Isı iletkenliği deneylerinde kullanılan QTM-500 cihazı Şekil 2.29’da gösterilmiştir. Gerçekleştirilen her ölçümden önce Şekil 2.30’da verilen referans plakalar ile kalibrasyon ölçümleri yapılmıştır. Testlerin gerçekleştirildiği ortamdaki sıcaklık 21-24 °C

arasında sabit tutulmuştur. Her bir örnek için balistik panelin iki farklı bölgesinden ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu iki ölçümün ortalaması W/mK cinsinden kaydedilmiştir.



Şekil 2.29: QTM-500 ısı iletkenliği test cihazı.



Şekil 2.30: Isı iletimi kalibrasyonunda kullanılan referans plakalar.

2.7 Verilerin İstatistik Değerlendirilmesi

Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ)'nün NIJ-STD-0101.06 numaralı standardına göre gerçekleştirilen balistik testlerde, arka yüzeyde bulunan macun üzerinde deformasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. OSB, metal plaka ve dokuma cam lifinin oluşan deformasyona etkileri SPSS paket programı (Statistical Package for the Social Sciences) içerisinde bulunan tek yönlü varyans analizi (ANOVA/Analysis of variance) ile belirlenmiştir. Duncan testi ile homojenlik grupları belirlenmiş ve farklılığın oluşmasında etkili olan faktörler analiz edilmiştir (Anonim, 2003).

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, atık polipropilen, dokuma cam lifi, OSB ve üç farklı metal sac kullanılarak oluşturulan panellerin balistik performansları, hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri ve ısı iletim testleri gerçekleştirilmiştir. Üç farklı varyasyondan oluşan panellere ait balistik testler, üç farklı başlık altında incelenmiştir. Balistik panellerin her iki yüzeyi de atık polipropilen ile kaplı olduğu için, hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri, sadece atık polipropilen üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen bütün panellerin ısı iletkenliği testleri, tek bir başlık altında ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1 Birinci (1.) Aşama Panellerin Balistik Testleri

Üretilen balistik paneller, Şekil 3.1’de gösterilen atış alanında koruyucu ve önleyici güvenlik tedbirleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Bütün atışlar, profesyonel bir kişi tarafından Bartın ilinde Ağustos ayında gerçekleştirilmiştir. Atış alanının sıcaklığı 24 ± 2 °C ve bağıl nemi $\%60\pm 5$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.1: Balistik testlerin gerçekleştirildiği alan.

1. aşama balistik panellere, NIJ standardı, Seviye IIA kategorisinde belirtildiği gibi, 9x19 mm parabellum FMJ RN (Full Metal Jacketed, Round Nose) tabanca mermisi kullanılmıştır.

Her panel için gereken 6 atıştan 3'ü ilk etapta yapılmıştır. Mermi hızları kronograf ile kayıt altına alınmış, balistik paneldeki ve macundaki deformasyonlar ölçüldükten sonra diğer 3 atışa geçilmiştir. Balistik panelin arkasına yerleştirilmiş olan ve insanı simule eden macun üzerindeki deformasyon miktarı 44 mm'den az ise test sonuçları “başarılı”, 44 mm'den fazla ise “başarısız” olarak kabul edilmektedir. Atışlar sonunda panel ve arkasında insanı simule eden 10 cm kalınlığındaki macun tamamen delindiye sonuçlar sadece “başarısız” olarak nitelendirilmiştir. Eğer panel delindikten sonra deformasyon miktarı 10 cm'den (macun kalınlığından) az ise, deformasyon miktarı belirtilerek, sonuçlar “başarılı” veya “başarısız” olarak verilmiştir. Metal plaka içeren balistik panellerin tamamında, metal plakanın bulunduğu yüzey, atış yapılan yüzey olarak seçilmiştir. Tablo 3.1'de 1. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1: 1. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları.

Panel Kodu	1. Atış hızı	2. Atış hızı	3. Atış hızı	Ortalama hız	Sonuç
D3	298	280	290	289	Başarısız
D3M1	323	307	292	307	Başarısız
D3/O	294	350	251	298	Başarısız
D3M1/O	283	289	308	293	Başarısız
D4	306	293	369	323	Başarısız
D4M1	317	301	286	301	82 mm / Başarısız
D4/O	315	271	346	310	Başarısız
D4M1/O	310	290	315	305	66 mm / Başarısız

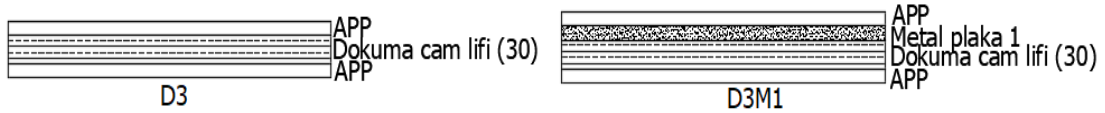
1. aşama panellerde ilk üç atışta tamamen delinmeler gerçekleştiği için sonraki üçer atışlar gerçekleştirilmemiştir. Atışlarda kullanılan merminin ağırlığı 124 gr, mermi çekirdeğinin ağırlığı ise 8 gr'dır. Atışlar sonucunda elde edilen kinetik enerji miktarları; $\frac{1}{2} mV^2$ formülünden faydalanılarak hesaplanmıştır. Kinetik enerji değerlerini joule (J) cinsinden elde etmek için mermi kütlelerinin ağırlığı kg olarak (0,008 kg) alınmıştır. Birinci aşama panellerin balistik testlerinde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: 1. aşama panellerde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri.

	D3	D3M1	D3/O	D3M1/O	D4	D4M1	D4/O	D4M1/O
Ortalama hız (m/s)	289	307	298	293	323	301	310	305
Kinetik enerji (J)	334	376	355	343	417	362	384	372

3.1.1 D3 ve D3M1 Panellerine Ait Balistik Testler

30 adet dokuma cam lifi (D3) ve buna ilave olarak atış yönü tarafına yerleştirilen 0,8 mm kalınlığındaki metal plaka ile oluşturulan (D3M1) panellerin yapısal görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Üretilen panellerin kalınlıkları 2 cm, yoğunlukları ise sırasıyla 0,86 gr/cm³ ve 1,05 gr/cm³’tür.



Şekil 3.2: D3 ve D3M1 panellerinin yapısal görünümü.

Şekil 3.3’te, 30 adet dokuma cam lifi içeren varyasyonların, atış öncesi görseli verilmiştir. Atışlardan sonra panellerin arka yüzeylerinde ve macunda meydana gelen deformasyon şekilleri incelenmiştir.



Şekil 3.3: 30 adet dokuma cam lifi içeren panellerin test öncesi görünümü.

30 adet dokuma cam lifi içeren (D3) ve 30 adet dokuma cam lifinin 0,8 mm kalınlığındaki metal plaka ile desteklendiği (D3M1) örneklerin atış sonrası arka yüzey görünümleri (D3’ ve D3M1’) Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4: D3 ve D3M1 panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.

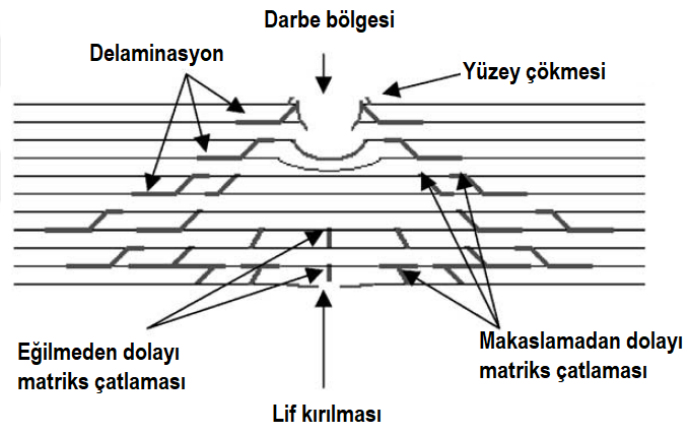
Atışlar sonrasında panellerin arkasına yerleştirilen dokuma cam liflerinde kopmalar (yırtılmalar) gözlemlenmiştir. D3 panelinde meydana gelen kopmalar panel içinde gerçekleşmiştir. D3M1 panelinde ise kopmalar ile birlikte gerilmeler/uzamalar da meydana gelmiştir. Bu durum, dokuma cam liflerinin levha dışına taşması olarak ortaya çıkmış ve gözlemlenmiştir. D3 ve D3M1 panellerinin balistik testleri sonunda arka yüzeye yerleştirilen macun tamamen delindiği için “başarısız” olarak nitelendirilmiştir (Şekil 3.5). İki panel arasındaki tek fark, D3M1 panelinin ön yüzeyinde (APP yüzeyinin altında) 0,8 mm kalınlığında, M1 ile kodlanan metal plakanın kullanılmasıdır. Arka yüzeyde kullanılan macun her iki panelde de tamamen deforme olduğu için karşılaştırmalar panel üzerinde gerçekleşen deformasyonlar üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3.5: Atış sonrası tamamen delinen macunun görünümü

Kompozit yapılarda düşük hızlardaki darbe dayanımları matrisin çatlamasına, deformasyona uğramasına ve liflerin kırılmasına neden olabilir. Darbe sonrası oluşan hasarların çıplak gözle belirlenmesi oldukça zordur. Bu hasar mekanizmaları yapının direnç ve sertlik değerlerinde azalmalara yol açar (Xu ve Chen 2013).

Shyr ve Pan (2003), 4 farklı yoğunlukta (295 g/m^2 , 276 g/m^2 , 283 g/m^2 ve 276 g/m^2) E-glass cam lifleri ve polyester iplikler ile çok yönlü (multiaxial) olarak örülmüş cam liflerinin darbe dayanımı ve hasar mekanizmalarını incelemişlerdir. 7 ve 13 tabakalı olarak üretilen kompozitlerin 8 ve 16 J'luk enerjiler karşısında etkili olduğunu, 24 J'luk enerjiler karşısında ise kompozitlerin tamamen deforme olduğunu bildirmişlerdir. Kompozitlerde oluşan hasar mekanizmalarında ise çatlamların ve kırılmaların etkili olduğunu Şekil 3.6'da verilen görsel ile açıklamışlardır.



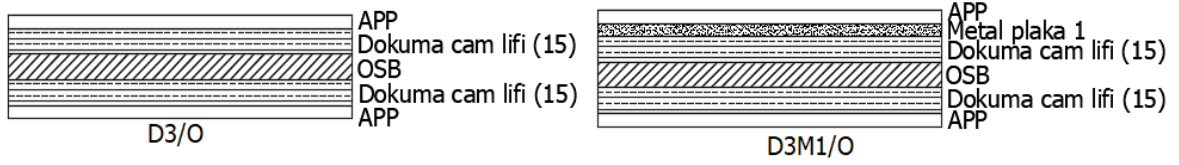
Şekil 3.6: Lamine kompozitlerde tipik hasar modu (Shyr ve Pan, 2003).

D3 ve D3M1 panellerinde bulunan cam liflerinin deformasyon şekilleri incelendiğinde, lif kırılmalarının (kopmalarının) daha fazla gerçekleştiği görülmektedir. Balistik testlerde mermi ağırlığı ve hızına bağlı olarak oluşan yüksek kinetik enerji miktarının, eğilme ve makaslama çatlamlarından çok lif kırılmalarına neden olduğu düşünülmektedir.

3.1.2 D3/O ve D3M1/O Panellerine Ait Balistik Testler

Dokuma cam lifinin 30 adet kullanıldığı ve OSB ile desteklenen paneller için, aynı üretim yöntemi kullanılmıştır. OSB panel, balistik panelin çekirdek (orta) kısmına yerleştirilmiş, dokuma cam liflerinin 15 adedi OSB'nin altına, 15 adedi de üstüne yerleştirilmiştir. D3/O

ve D3M1/O panellerinin yapısal görünümü Şekil 3.7’de gösterilmiştir. D3/O ve D3M1/O panellerinin yoğunlukları sırasıyla, 0,94 gr/cm³ ve 1,06 gr/cm³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7: D3/O ve D3M1/O panellerinin yapısal görünümü.

Bu iki varyasyonda OSB bulunduğu için panellerin üretiminde 3 cm kalınlığındaki kalıplar kullanılmıştır. Çalışmanın tamamında OSB içeren paneller 3 cm kalınlıktaki kalıplarla üretilirken, OSB içermeyen varyasyonlarda 2 cm kalınlığındaki demir kalıplar kullanılmıştır. Şekil 3.8’de, 30 adet cam lifi ve çekirdekte OSB kullanılan (D3/O) balistik panel ile aynı panelin 0,8 mm kalınlığındaki metal plaka ile desteklendiği (D3M1/O) panelin atış sonrası arka yüzey deformasyon görüntüleri verilmiştir.



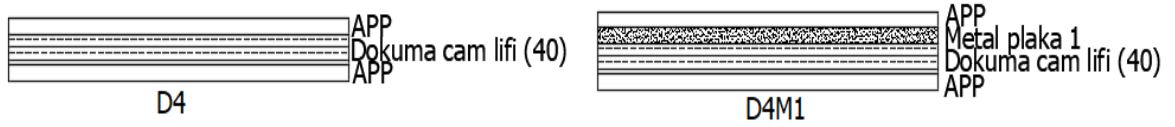
Şekil 3.8: D3/O ve D3M1/O panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.

30 adet dokuma cam lifinin OSB paneller ile desteklendiği balistik panellerde gerçekleştirilen atışlar incelendiğinde, panellerin arkasında bulunan macun tamamen delinmiştir. Bu durum, panellerin ilgili standart ve kategoride başarısız olduğunu göstermektedir. 30 adet cam lifi ile oluşturulan balistik panellerde OSB kullanılması, bir katkı sağlamamıştır. Aynı oranda OSB içermeyen (D3 ve D3M1) örnekler ile benzer deformasyonlar göstermişlerdir. Metal plaka mermi ilk hızını absorbe etmekte etkili olmuş, fakat sınır olan 44 mm deformasyon miktarının altına düşmesi için yeterli katkıyı

sağlayamamıştır. Testler sonucunda 30 adet 500 gr/m² dokuma cam lifi kullanımının ilgili standart değerlerine ulaşmak için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Gerçekleştirilen atışlar sonrası D3 ve D3M1 panellerinin ön yüzlerinde kullanılan 0,8 mm kalınlıktaki metal plaka incelendiğinde, Zukas vd., (1992)'nin belirttiği hasar oluşum modellerinden taç yaprağı oluşumu görülmüştür.

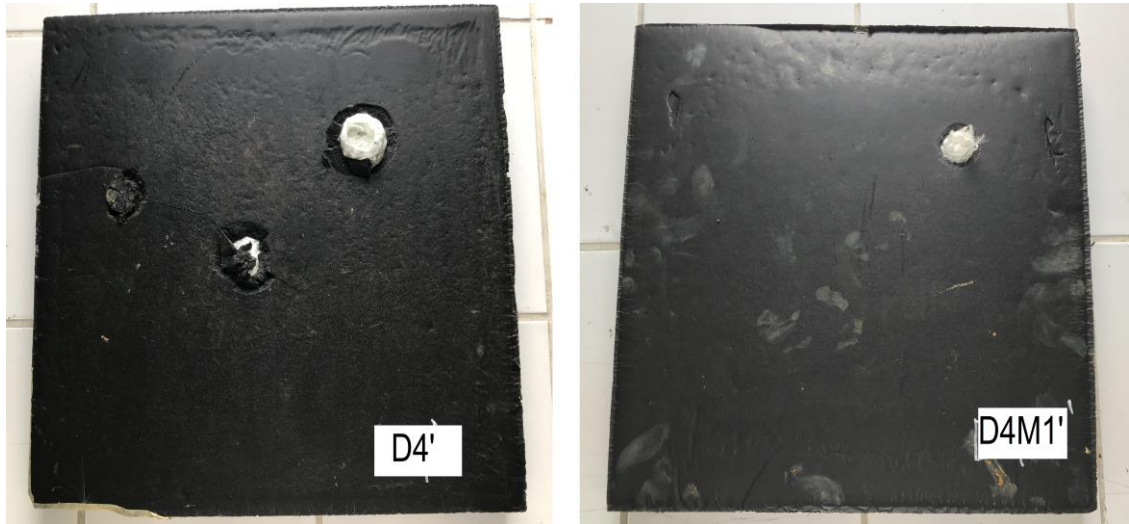
3.1.3 D4 ve D4M1 Panellerine Ait Balistik Testler

D4 ve D4M1 panelleri 2 cm kalınlıkta ve yoğunlukları sırasıyla, 1,56 gr/cm³ ve 1,62 gr/cm³ olarak üretilmiştir. Şekil 3.9'da ilgili panellerin yapısal görünümü verilmiştir.



Şekil 3.9: D4 ve D4M1 panellerinin yapısal görünümü.

Balistik panel üretiminde, dokuma cam lifinin 40 adet kullanıldığı varyasyonlarda metal plaka (M1) ile oluşturulan örneklerin performansında artışlar gözlemlenmiştir. Şekil 3.10'da 40 adet dokuma cam lifi (D4) ve üst yüzeyinde metal ile desteklenen (D4M1) panellerin atış sonrası arka yüzey deformasyon görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.10: D4 ve D4M1 panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.

Çekirdek kısmında sadece 40 adet dokuma cam lifi kullanılan balistik panelde oluşan deformasyonlar, 30 adet dokuma cam lifi kullanılabilecek oranla farklılık göstermiştir. Her iki panelin de test sonuçlarının başarısız olmasına karşın, 40 adet dokuma cam lifi içeren panelde cam liflerinde topaklanma (kümelenme) görülmüştür.

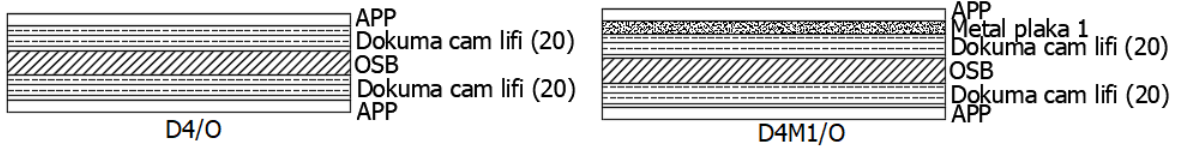
Atış yapılan ön yüzeyinde metal bulunan panelde (D4M1) ise cam liflerinde uzamalar görülmüştür. Bu paneller de NIJ standart Seviye IIA kategorisine göre başarısız olmuştur. Fakat arka yüzeyde bulunan macundaki deformasyon miktarı 82 mm'dir. İlgili standart ve kategoriye göre başarılı olması için bu değerin 44 mm veya daha az olması gerekmektedir. Elde edilen bu sonuçlara, göre M1 metali ile desteklenen panellerde 40 adet cam lifi kullanımının, 30 adet cam lifi kullanımından daha etkili sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Literatürde katman sayısının balistik performansı arttırdığına dair çalışmalar yapılan çalışmalardan birinde Deka vd., (2008) 8, 12 ve 16 tabakalı E-glass lamine kompozitleri polipropilen ile termoset olarak muamele ederek balistik etki altında enerji absorbe etme kabiliyetlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda 8 tabakalı lamine kompozitte 376 J olarak ölçülen enerji absorbe etme kabiliyeti, 16 tabakalı lamine kompozitte 543 J olarak belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise Elanchezhian vd., (2014) farklı oranlarda cam lifi ve karbon fiber ile güçlendirdiği lamine malzemelerin farklı sıcaklıklarda mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Gerçekleştirdiği testler sonucunda cam lifi kalınlığının artmasına paralel olarak, enerji absorpsiyon miktarlarının da arttığını bildirmişlerdir. Yine başka bir çalışmada Evci, (2009) 800gr/m² yoğunluktaki dokuma cam liflerini polimer reçine ile muamele ederek %46 lif oranına sahip kompozit malzeme üretmiş ve V₅₀ hız limitlerini belirlemiştir. Gerçekleştirdiği balistik testler sonucunda, 16 adet dokuma cam lifi içeren 10 mm kalınlığındaki kompozitin V₅₀ hız limitinin 321 m/s, 24 adet cam lifi içeren 15 mm kalınlığındaki kompozitin V₅₀ hız limitinin 372 m/s olduğunu bildirmiştir.

3.1.4 D4/O ve D4M1/O Panellerine Ait Balistik Testler

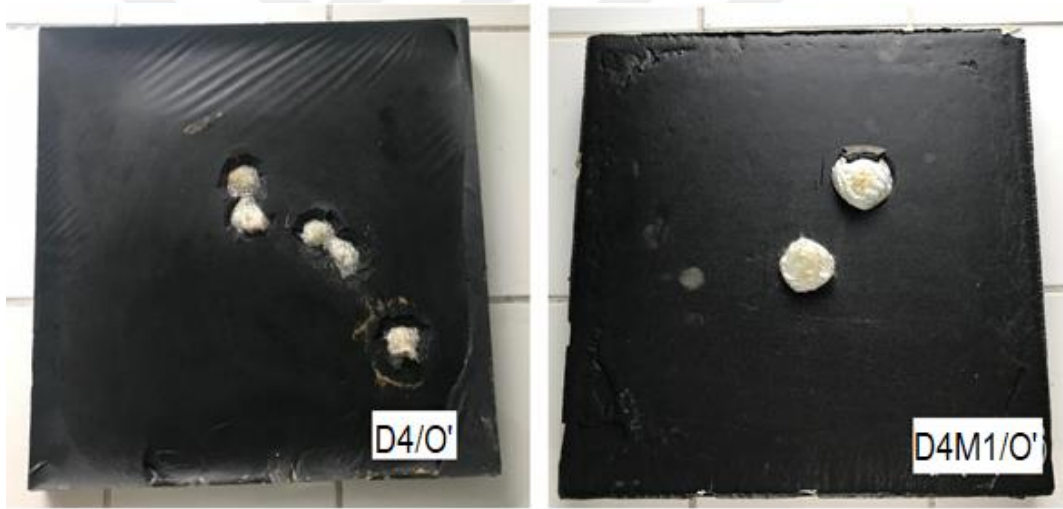
1. aşamada üretilen son iki varyasyonu 40 adet dokuma cam lifi ve OSB (D4/O) kullanılan balistik panel ve bu materyallere ilave olarak 0,8 mm kalınlığındaki M1 kodlu metalin kullanıldığı (D4M1/O) paneller oluşturmaktadır. Bu iki varyasyonda da OSB kullanıldığı için üretilen paneller 3 cm kalınlıktadır. Dokuma cam lifleri 20 adet OSB'nin altında, 20 adet OSB'nin üstünde olacak şekilde yerleştirilmiştir. M1 kodlu metal plakanın kullanıldığı

varyasyonda, metal plaka diğer varyasyonlarda olduğu gibi atış yapılacak yüzey tarafına yerleştirilmiştir. D4/O ve D4M1/O panellerinin yapısal görünüşleri Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11: D4/O ve D4M1/O panellerinin yapısal görünüşleri.

9x19 mm parabellum FMJ RN mermi ile 5 m uzaklıktan yapılan atışlar sonucunda D4/O ve D4M1/O balistik panellerinin arka yüzeylerinde meydana gelen deformasyonlar Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: D4/O ve D4M1/O panellerinin atış sonrası arka yüzey görünümü.

Yapılan atışlar sonucunda, çekirdek kısmında 1 cm kalınlığında OSB, altında ve üstünde 20’şer adet olmak üzere toplam 40 adet dokuma cam lifi kullanılan panel (D4/O) başarısız olmuştur. Panelin arkasında bulunan macun tamamen delinirken, paneli oluşturan dokuma cam liflerinde yırtılmalar (kopmalar) görülmüştür. D4/O panelin ön yüzeyine (APP plakanın altına) 0,8 mm kalınlığındaki galvanizli metal plaka (M1) yerleştirildiğinde yapılan atışlar sonrasında, panelin arkasında bulunan macundaki deformasyon miktarı 66 mm olarak ölçülmüştür. Bu deformasyon miktarı da NIJ standardını sağlamamaktadır.

1. aşamada üretilen balistik paneller incelendiğinde, 30 adet 500 gr/m² twill dokuma cam lifi kullanılarak oluşturulan panellerin, NIJ standart Seviye IIA kategorisinde belirtilen 124 gr 9x19 mm FMJ RN (Full Metal Jacketed, Round Nose) parabellum mermilerle yapılan atışlarda başarısız olduğu belirlenmiştir. Dokuma cam lifi miktarı 40 adede çıkartıldığında, metal içeren varyasyonların balistik dayanımında artışlar gözlemlenmiştir. Bu varyasyonlardan D4M1 paneline yapılan atışlarda, panel arkasına yerleştirilen macunda 82 mm derinlikte deformasyon oluşmuştur.

40 adet dokuma cam lifinin metal plakaya ek olarak OSB ile desteklenmesiyle oluşturulan panelde (D4M1/O) bu deformasyon 66 mm olarak ölçülmüştür. 1. aşamada yapılan testlerin sonuçları ile merminin ilk hızını absorbe eden materyal, panelin balistik performansında önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. OSB plakaların kullanımı ile kumaşlardan oluşturulacak panellere rijitlik sağlanmıştır. Balistik dayanımda ise OSB paneller, deformasyonun 16 mm azalmasına katkı sağlamıştır. Ancak, bu katkı da üretilen panellerin balistik dayanım standardı olan 44 mm'ye ulaşmasını sağlayamamıştır.

3.2 İkinci (2.) Aşama Panellerin Balistik Testleri

1. aşama panellerin üretim yöntem ve parametreleri aynı şekilde 2. aşama balistik panellerin üretiminde de uygulanmıştır. 2. aşama panellerde farklı olarak dokuma cam lifi ve metal plaka kullanımında değişikliğe gidilmiştir. Dokuma cam lifi oranları 40 ve 50 adet seçilmiştir. Metal plakalarda ise “M1” kodlu 0,8 mm metal ve “M2” kodu ile tanımlanan 1,2 mm kalınlığında metal kullanılarak varyasyonlar oluşturulmuştur. 1. aşama panellerde en iyi (66 mm deformasyon) performansı gösteren 40 adet dokuma cam lifi, M1 metal plaka ve OSB içeren (D4M1/O) panel, 2. aşamada M2 metali içeren panel ile karşılaştırılması için tekrar üretilmiştir. Tablo 3.3'te 2. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.3: 2. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve test sonuçları.

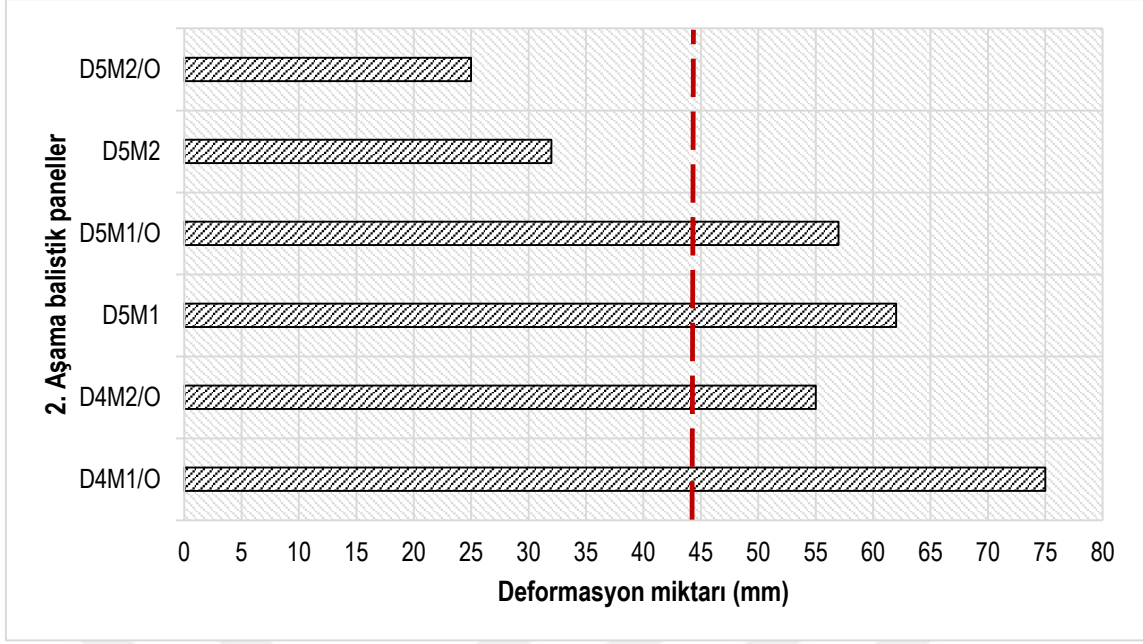
Panel Kodu	Atış sayısı ve hızları						Ortalama hız	Sonuç
	1.	2.	3.	4.	5.	6.		
D4M1/O	305	332	302	290	351	306	314	75 mm / Başarısız
D4M2/O	351	303	323	306	309	302	316	55 mm / Başarısız
D5M1	290	366	299	323	308	293	313	62 mm / Başarısız
D5M1/O	329	306	317	284	290	252	296	57 mm / Başarısız
D5M2	302	340	290	302	294	351	313	32 mm / Başarılı
D5M2/O	293	308	308	311	306	294	303	25 mm / Başarılı

Yapılan atışlar sonucunda mermi ağırlığı ve ortalama hızlar baz alınarak panele etki eden toplam kinetik enerji miktarları; $\frac{1}{2} mV^2$ formülünden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, 2. aşama panellerde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri başlığı ile Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: 2. aşama panellerde ortalama hız değerlerine ve mermi ağırlığına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri.

	D4M1/O	D4M2/O	D5M1	D5M1/O	D5M2	D5M2/O
Ortalama hız (m/s)	314	316	313	296	313	303
Kinetik enerji (J)	394	399	391	350	391	367

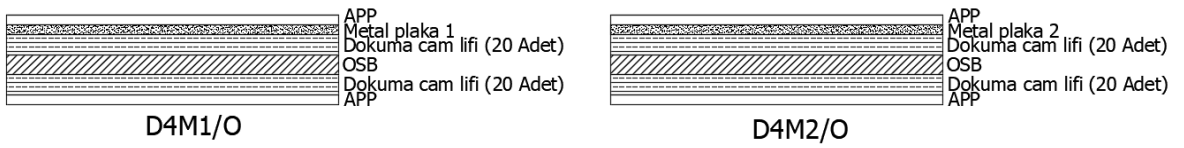
2. aşama panellerde gerçekleştirilen atışlar sonunda, 1. aşama panellere göre deformasyon miktarlarında azalmalar meydana gelmiştir. Ancak, balistik dayanım açısından başarılı sayılabilmesi için macundaki deformasyon miktarının 44 mm'den daha az olması gerekmektedir. Bu şartı, üretilen paneller içerisinde sadece D5M2 ve D5M2O panelleri sağlamıştır. Şekil 3.13'te, ikinci aşama panellerin ortalama deformasyon miktarları ve NIJ standardına göre sınır değeri (44 mm) gösterilmiştir.



Şekil 3.13: 2. aşama panellerin ortalama deformasyon miktarları ve NIJ standardına göre sınır değeri.

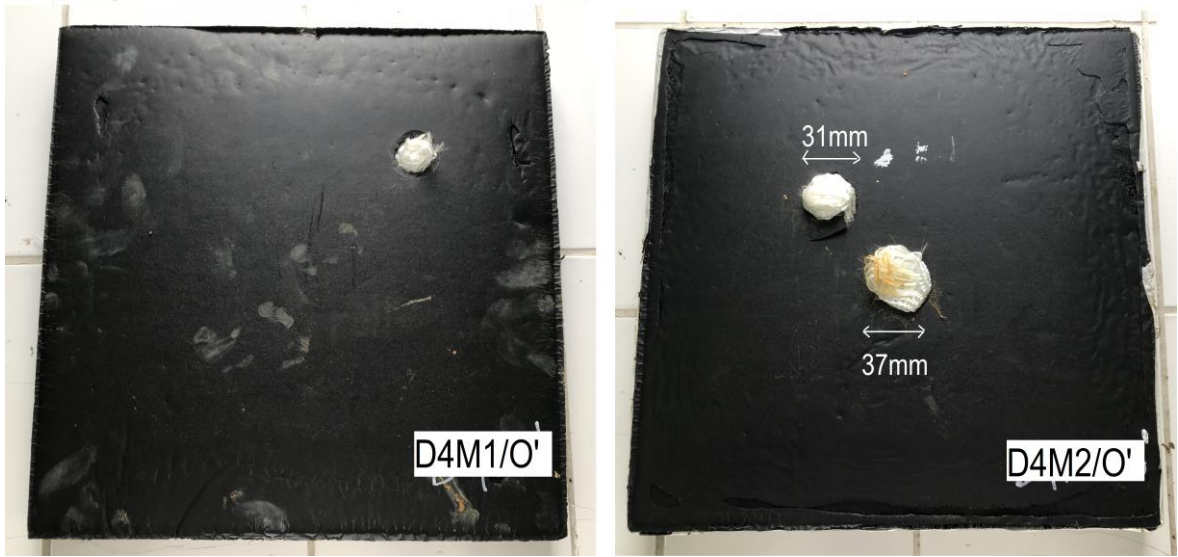
3.2.1 D4M1/O ve D4M2/O Panellerine Ait Balistik Testler

40 adet dokuma cam lifi, 1cm kalınlığında OSB panel ve iki farklı (metal plaka 1 ve metal plaka 2) kullanılarak dizayn edilen D4M1/O ve D4M2/O panellerinin yapısal görünümü Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Yapısal görünümünde üstte kalan kısım, yapılan bütün atışlarda ön yüzey olacak şekilde atışlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14: D4M1/O ve D4M2/O panellerinin yapısal görünümü.

İki balistik panel arasında tek fark metal plakaların farklı olmasıdır. M1, 0,8 mm kalınlıktaki plakayı, M2 ise 1,2 mm kalınlıktaki plakayı temsil etmektedir. Birinci aşama panellerin test sonuçlarına bağlı olarak merminin ilk hızını yavaşlatmak için sert bir tabaka kullanılması, balistik performansta önemli bir yer tuttuğu söylenebilir. D4M1/O ve D4M2/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görüntüleri Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.15: D4M1/O ve D4M2/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görünümleri.

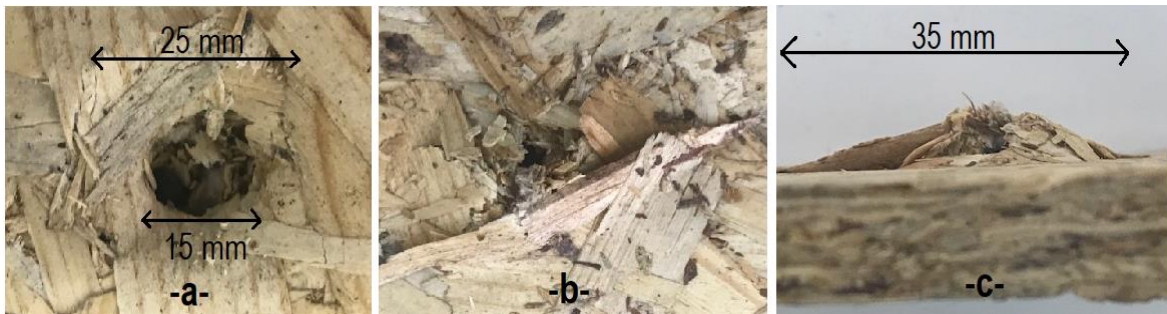
D4M1/O balistik paneli birinci aşamada testlerinde de başarısız sonuçlar vermiştir. Birinci aşamada arka yüzeydeki macun üzerinde 66 mm'lik bir deformasyon oluşmuşken, ikinci aşamada bu deformasyon 75 mm olarak ölçülmüştür. Aradaki farkın mermi hızlarındaki ortalama farktan (314 m/s -305 m/s) kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

D4M2/O panelinin atışlar sonrasında arka yüzeyde bulunan macundaki deformasyon miktarı, 55 mm olarak ölçülmüştür. Bu panelde kullanılan M2 metal plaka, macunda oluşan deformasyonu 75 mm'den 55 mm'ye düşürmüş, fakat standartta belirtilen maksimum deformasyon miktarının altına düşürememiştir. Panelin arka yüzeyindeki deformasyonlar incelendiğinde, arka yüzeyde oluşan deformasyon çapı atış hızına bağlı olarak 37 mm ile 31mm arasında değişmektedir. Dokuma cam liflerinde, gerilmelere bağlı uzamaların meydana geldiği görülmüştür. Ön yüzeyde bulunan 1,2 mm kalınlığındaki metal plakanın (M2) tokluk değerinin (556 J) 0,8 mm kalınlıktaki metal plakaya (M1) oranla (422 J) daha yüksek olması nedeniyle liflerde kopmalar değil, gerilmelerin meydana geldiği düşünülmektedir. Şekil 3.16'da D4M2/O panelindeki dokuma cam lifinde meydana gelen gerilmelere ait görsel sunulmuştur.



Şekil 3.16: D4M2/O panelindeki dokuma cam lifinde meydana gelen gerilmeler.

Özgültekin (2012), kevlar-49 (10 kat), çelik tel, epoksi ile işlenen polipropilen bal peteği ve 10 mm kalınlığındaki kontrplak kullanarak çeşitli kombinasyonlar hazırlamış ve balistik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda kontrplakların ön yüzeyde kullanıldığında başarılı sonuçlara ulaşamadığını, başarılı sonuçlara ulaşılan varyasyonlarda 10 kat kevlar tabakasının ön yüzeyde olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, balistik koruyucu ve vücut zırhlarında başarılı sonuçlara ulaşmak için mermi ile karşılaşacak ilk tabakanın, merminin oluşturduğu enerjiyi ve çarpma şiddetini maksimum düzeyde absorbe edecek nitelikte ve sert olması gerektiğini vurgulamıştır. Şekil 3.17’de, D4M2/O balistik panelde bulunan OSB’de atış sonrası ön, arka ve enine kesitte oluşan deformasyon görüntüleri verilmiştir.



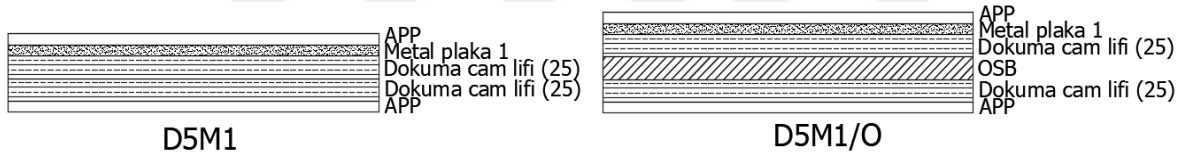
Şekil 3.17: D4M2/O balistik panelde bulunan OSB’de atış sonrası ön (a), arka (b) ve enine kesitte (c) oluşan deformasyon görüntüleri.

Balistik panel içerisindeki OSB’de meydana gelen deformasyonlar incelendiğinde, ön yüzeyde meydana gelen delinmenin çapı 15 mm olarak ölçülmüştür. Bu genişlik kullanılan merminin çapından (9 mm’den) daha büyüktür. Atışlarda kullanılan merminin çapından daha geniş çapta delinmenin oluşmasında, panelin ön yüzünde bulunan M2 kodlu 1,2 mm kalınlığındaki metal plakının etkisi olmuştur. Mermi bu metal plakaya çarptığında, mermi

çekirdeğinin ucunda genişleme meydana gelmiş ve daha geniş çapta (15 mm) deformasyon ortaya çıkmıştır. Ön yüzeyde oluşan 25 mm'lik deformasyon ise merminin balistik panel içerisinde ilerlerken mermiye karşı koyan dokuma cam liflerinden kaynaklanmıştır. OSB panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyon (Şekil 3.17-c) 35 mm olarak ölçülmüştür. Bu durum ise OSB'yi oluşturan yongaların ebatlarından, dolayısıyla OSB'nin esnekliğinden kaynaklanmıştır.

3.2.2 D5M1 ve D5M1/O Panellerine Ait Balistik Testler

Dokuma cam lifi miktarının 50 adet kullanıldığı bu varyasyonlarda, OSB içeren ve içermeyen örneklerin karşılaştırılması yapılmıştır. OSB içeren örneklerde dokuma cam lifleri OSB'nin alt ve üst kısmına 25'er adet elle döşenmiştir. Metal plaka diğer metal içeren varyasyonlarda olduğu gibi atış yapılacak ön yüzeye, atık polipropilen tabakasının alt kısmına yerleştirilmiştir. Şekil 3.18'de D5M1 ve D5M1/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri verilmiştir.

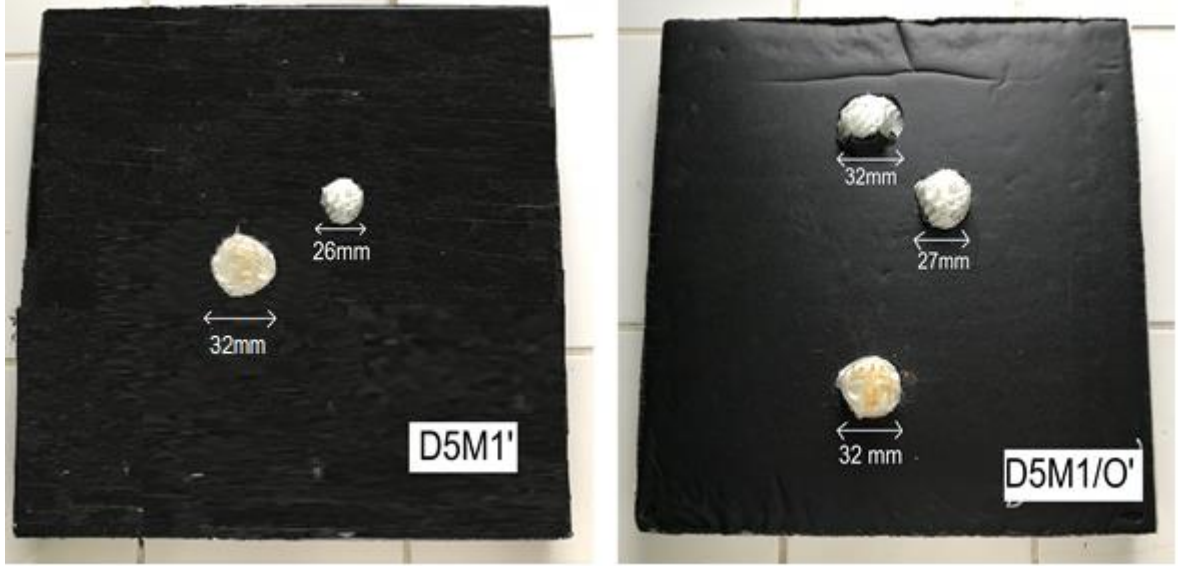


Şekil 3.18: D5M1 ve D5M1/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri.

50 adet dokuma cam lifi, 0,8 mm metal plakadan oluşan varyasyonda, OSB içeren (D5M1/O) ve içermeyen (D5M1) paneller test edilmiştir. OSB bulunmayan panellerde atışlar sonrası oluşan ortalama deformasyon 62 mm olarak ölçülürken, aynı varyasyona OSB eklenmesiyle bu değer 57 mm olarak ölçülmüştür. Ortalama mermi hızları ise sırasıyla 313 m/s ve 296 m/s olarak hesaplanmıştır. Mermi hızları ve macundaki deformasyon miktarları incelendiğinde OSB'nin, balistik alanında metal ve dokuma cam lifleriyle birlikte kullanıldığında katkı sağladığı görülmüştür.

Dokuma cam lifi miktarının 40 adetten 50 adede çıkmasıyla balistik panelin performansında meydana gelen değişimi karşılaştırmak için D4M1 ve D5M1 panelleri karşılaştırılmıştır. Bu panellere yapılan atışlar sonrası panelin arkasına yerleştirilen macun tabakasında oluşan deformasyonlar sırasıyla 82 mm ve 62 mm'dir. Dokuma cam lifi tabaka sayısının 10 adet artırılması ile 20 mm'lik bir kazanım sağlandığı söylenebilir. Ancak, bu kazanımların elde

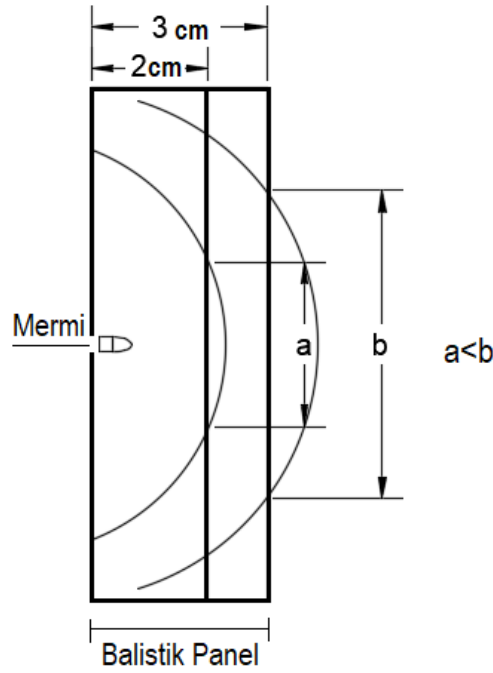
edildiği materyallerin özellikleri ve kullanılan test metodunun yapılacak çalışmalarda dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3.19’da, atışlar sonrası panellerin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon görünümleri verilmiştir.



Şekil 3.19: D5M1 ve D5M1/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görünümleri.

50 adet dokuma cam lifi ve M1 metal plakadan oluşan varyasyona (D5M1) OSB ilave edilmesiyle (D5M1/O), panelin arka yüzeyine yerleştirilen macunda oluşan deformasyonda 5 mm’lik bir azalma sağlanmıştır. Diğer taraftan panelin arka yüzeyindeki ortalama deformasyonlar incelendiğinde, OSB içeren varyasyonda oluşan deformasyon çapı, OSB içermeyen varyasyondan daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durumun panelin kalınlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında OSB içeren tüm paneller 3 cm kalınlığında, diğer paneller ise 2 cm kalınlığında üretilmiştir. Bu kalınlıklar merminin panele giriş ve çıkışını etkilediği gibi, mermiyi durdurmaya çalışan materyallerin (cam lifi, metal ve OSB) davranışını da etkilemektedir. Merminin darbesiyle karşılaşan cam liflerinde, zamana ve direnç özelliğine bağlı olarak deformasyonlar oluşmaktadır. Direnç özelliğinin düşük olması durumunda kopmalar, yüksek olması durumunda ise gerilmeler meydana gelmiştir. Bu gerilmeler merminin ince panelde daha az, kalın panelde ise daha fazla yol almasına bağlı değişmektedir. Şekil 3.20’de, panel kalınlığına bağlı olarak panelin arka yüzeyinde oluşan deformasyonun oluşumu gösterilmiştir.



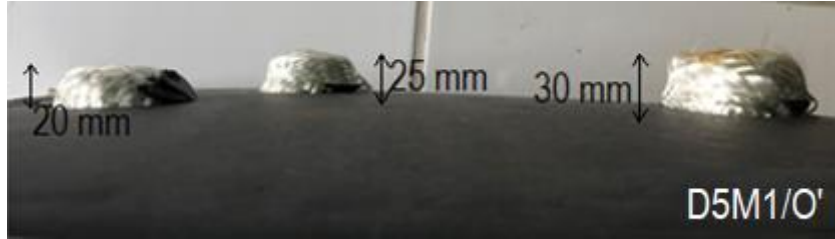
Şekil 3.20: Panel kalınlığına bağlı olarak panelin arka yüzeyinde oluşan deformasyon.

Şekil 3.20’de balistik panelin 2 cm kalınlıkta olmasına bağlı olarak oluşan arka deformasyon miktarının çapı a , 3 cm olması halinde ise oluşan deformasyon miktarı ise b , olarak ifade edilmiştir. Merminin paneli terk etme mesafesi daha fazla olan 3 cm’lik panelde, giderek büyüyen dokuma cam lifleri daha geniş ($a < b$) arka deformasyon oluşumuna neden olmuştur.

Cantwell ve Morton (1989) farklı kalınlıklarda CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) ve GFRP lamine malzemelerin darbe testi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiş ve kalınlıklardaki değişikliklerin malzemenin kırılma modunu etkilediğini tespit etmiştir. Kalın hedeflerde hasar başlangıcının oluşmasında, mermi tarafından oluşturulan yüksek temas gerilmelerinin etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Panellerin arka yüzeylerinde oluşan deformasyonun diğer bir yönü ise derinliktir. Testler sonucunda başarısız olan panellerde tamamen delinme olduğu için bu panellerde deformasyon derinliği ölçülmemiştir. Diğer bir deyişle, mermi çekirdeğinin paneli tamamen delerek terk ettiği panellerde deformasyon ölçümü yapılmamıştır. Panel arka yüzeylerinde oluşan deformasyon derinliklerinde farklılıkların olduğu görülmüştür. Aynı panelde farklı deformasyon derinliklerinin oluşmasında en büyük etken mermi hızıdır. Aynı panele, farklı hızlarla isabet eden mermilerin oluşturduğu deformasyon derinliklerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Deformasyon derinliğini etkileyen diğer bir faktör ise panele atılan merminin

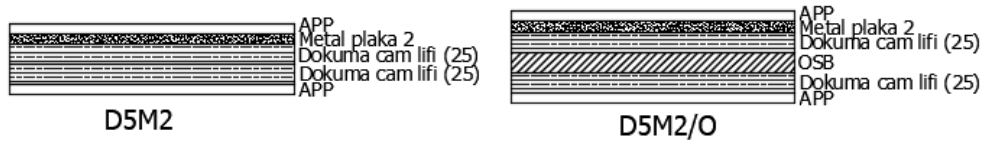
atış sayısıdır. Aynı panele atılan ilk merminin oluşturduğu derinlik, bir sonraki mermiden daha fazla olmuştur. Bunun nedeni ise ilk merminin materyallerde meydana getirdiği yıkım, kopmalar ve gerilmelerdir. Şekil 3.21’de, 3 cm kalınlığında olan D5M1/O panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyonun üstten görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.21: Arka yüzey deformasyonunun üstten görünüşü.

3.2.3 D5M2 ve D5M2/O Panellerine Ait Balistik Testler

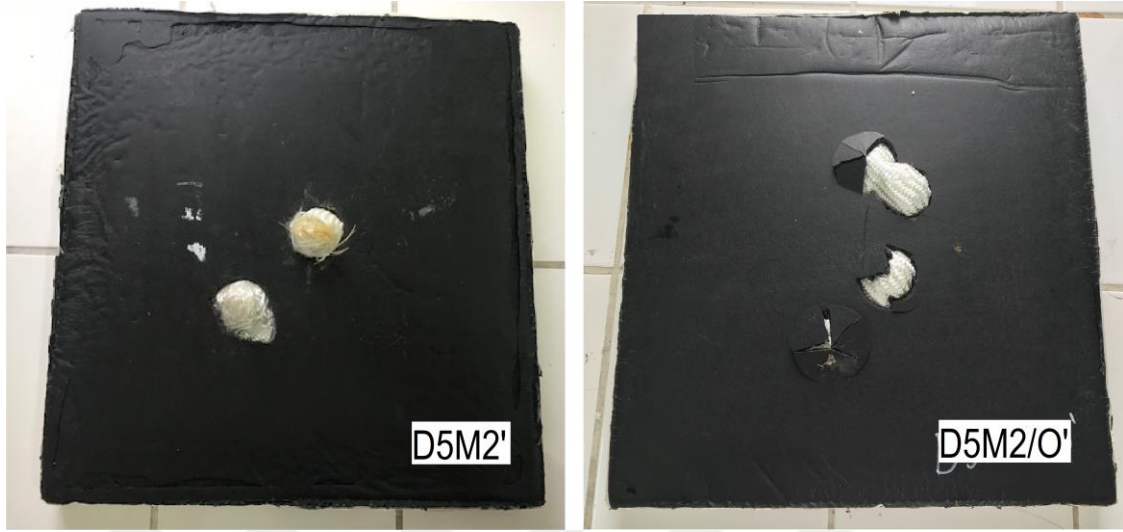
50 adet dokuma cam lifi ile M2 kodlu metal plakanın, OSB içermeyen (D5M2) ve içeren (D5M2/O) varyasyonları oluşturularak balistik testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.22’de, D5M1 ve D5M1/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 3.22: D5M2 ve D5M2/O balistik panellerinin yapısal görünüşleri.

Metal plaka içeren diğer panellerde olduğu gibi, bu varyasyonlarda da metal plakalar atış yapılan yüzeye gelecek şekilde yerleştirilmiştir. OSB bulunmayan panelde 50 adet dokuma cam lifi üst üste, OSB içeren varyasyonda ise, 25 adet dokuma cam lifi OSB’nin üstünde, 25 adet dokuma cam lifi OSB’nin altında olacak şekilde elle dizilmiştir. İlgili standarda uygun olarak gerçekleştirilen balistik atışlar sonrasında, arka yüzeye yerleştirilen macunda standardın sınır değeri olan 44 mm’den daha az travma (deformasyon) olduğu ölçülmüştür. D5M2 ve D5M2/O panelleri için ölçülen travma derinlikleri sırasıyla 32 mm ve 25 mm’dir. Bu değerler doğrultusunda D5M2 ve D5M2/O panellerinin NIJ standart Seviye IIA standardını sağladığı belirlenmiştir. D5M2 paneli, D5M1 paneli ile karşılaştırıldığında 30 mm deformasyon farkı olduğu görülmektedir. Bu farkın oluşmasında M2 kodlu, 1,2 mm kalınlığındaki metal plakanın etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.23’te, atışlar sonrasında

D5M2 ve D5M2/O balistik panellerinin arka yüzeylerinde meydana gelen deformasyon görüntüleri verilmiştir.



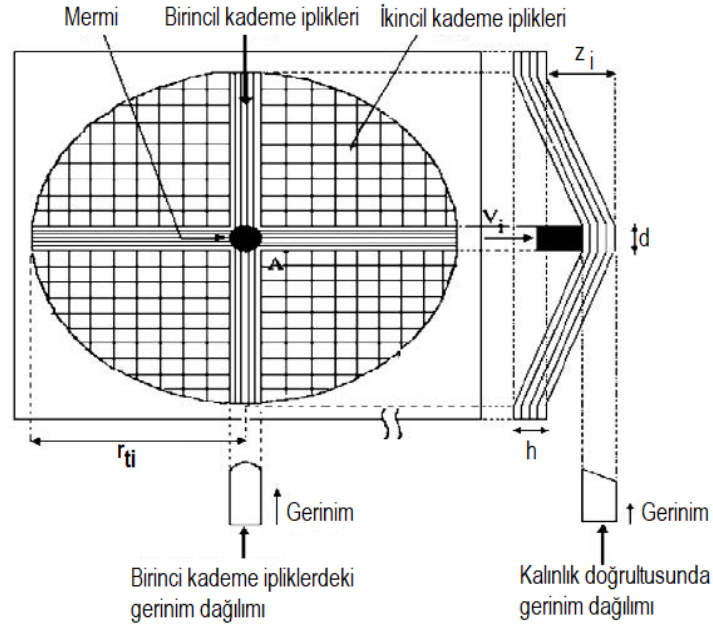
Şekil 3.23: D5M2 ve D5M2/O panellerinin test sonrası arka yüzey deformasyon görüntüleri.

50 adet dokuma cam lifi ve 1,2 mm kalınlıktaki M2 kodlu metal plaka ile oluşturulan balistik panele OSB ilavesiyle (D5M2/O) macunda oluşan travma derinliği 32 mm'den 25 mm'ye düşmüştür. Bu varyasyonlarda kullanılan M2 metalinin daha yüksek tokluk dercesine sahip olması mermi ilk hızını M1 metaline göre daha fazla düşürmektedir. Mermi ilk hızının düşürülmesine bağlı olarak da dokuma cam lifi ve OSB materyallerinin performanslarında artış gözlemlenmiştir. D5M2 balistik panelinin arka yüzeyinde (D5M2') oluşan deformasyon, önceki varyasyonlarla benzer özellikler (deformasyon çapı ve derinliği) göstermiştir. Bu deformasyonların oluşumunda, dokuma cam liflerinde kopmalardan daha çok gerilmelerin meydana geldiği görülmüştür. Şekil 3.24'te D5M2 panelinin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon derinliğine ait görsel sunulmuştur



Şekil 3.24: D5M2 panelinin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon derinliği.

Aynı varyasyona OSB ilavesiyle (D5M2/O) elde edilen panelin arka yüzeyinde (D5M2/O') ise deformasyon derinliği 3 mm ile 8 mm arasında değişmektedir. Bu durumun arka yüzey deformasyon çapında olduğu gibi panel kalınlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Darbe etkisine maruz kalan materyallerde direnç kabiliyetlerine göre gerilmeler veya kopmalar meydana gelmektedir. Gerilmelere maruz kalan materyallerde bu gerilmeler etki mesafesine (panel kalınlığına) bağlı olarak daha geniş alanlara yayılmaktadır. Şekil 3.25'te, balistik etki sırasında kompozit malzemelerin arka yüzündeki deformasyon ve koni oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.25: Balistik etki sırasında kompozit malzemelerin arka yüzündeki deformasyon ve koni oluşumu (Naik vd., 2006).

Şekil 3.25'te, mermi çapı d , kompozit kalınlığı h , oluşan koninin yarıçapı r_{ti} , merminin belirli bir zamandaki hızı v_i , merminin kat ettiği mesafe z_i ile ifade edilmiştir. Morye vd., (2000) Nylon, Dyneema ve Aramid kumaşları reçinelerle destekleyerek ürettiği kompozit malzemelerin balistik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, arka yüzeyde oluşan deformasyonu koni olarak isimlendirmişlerdir.

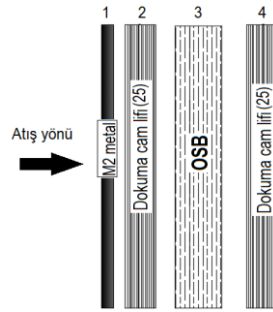
D5M2/O balistik paneli, üretilen varyasyonlar içinde en yüksek performansı göstermiştir. Ortalama 303 m/s hıza karşılık arka yüzeye yerleştirilen macunda oluşan ortalama deformasyon miktarı 25 mm olarak ölçülmüştür. Bu miktar OSB içermeyen D5M2 panelinde 32 mm olarak gerçekleşmiştir. OSB içeren panellerin OSB içermeyen panellerden

1 cm daha kalın olması bu farkın oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Panel arka yüzey performansında da D5M2/O paneli en yüksek performansı (en düşük deformasyonu) göstermiştir. Şekil 3.26'da arka yüzeyde oluşan deformasyonlar ve derinlikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.26: D5M2/O panelinin arka yüzeyinde meydana gelen deformasyon derinliği.

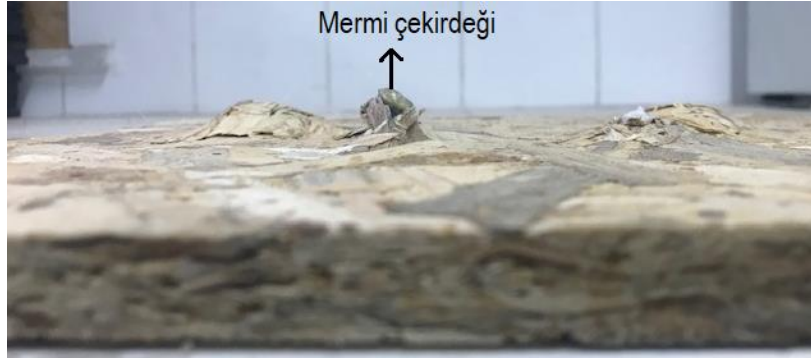
Şekil 3.27'de D5M2/O panelini oluşturan materyallerin boyuna yönde kesit görünümü verilmiştir. D5M2/O balistik panelinin içinde bulunan materyaller balistik atışlardan sonra incelenmiştir. M2 metal plakada, M1 metal plakanın kullanıldığı diğer kombinasyonlarda olduğu gibi taç yaprağı oluşumu gözlemlenmiştir. Cam liflerinde ise ilk 25 adetlik cam lifleri (Şekil 3.27-2) tamamen delinirken, ikinci 25 adetlik cam liflerinde (Şekil 3.27-4) sadece gerilmeler oluşmuştur.



Şekil 3.27: D5M2/O panelini oluşturan materyallerin boyuna yönde kesit görünümü.

D5M2/O balistik panelinde bulunan OSB'nin (Şekil 3.27-3) ön yüzeyinde deformasyonlar oluşmuş, arka yüzeyine ise altı atıştan sadece bir mermi çekirdeği geçebilmiştir. 40 adet dokuma cam lifi içeren (D4M2/O) örneğinde oluşan deformasyonlar ile D5M2/O örneği karşılaştırıldığında, kullanılan dokuma cam lifi miktarının 40 adetten 50 adede çıkarılmasının etkili olduğu söylenebilir. OSB'yi oluşturan yonga boyutları ve buna bağlı olarak merminin enerjisini daha geniş alanlara yayma potansiyeli de başarılı sonuçların

alınmasında etkili olmuştur. Şekil 3.28’de D5M2/O varyasyonunda bulunan OSB panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyonlar ve mermi çekirdeği gösterilmiştir.



Şekil 3.28: D5M2/O varyasyonundaki OSB panelinin atışlar sonrası arka yüzey görünümü.

Çalışma kapsamında üretilen panellerde en düşük arka yüzey deformasyonu D5M2/O panelinde elde edilmiştir. Deformasyon derinlikleri en fazla 7 mm olarak ölçülmüştür. Atış hızına ve atış sırasına bağlı olarak daha az deformasyonların oluştuğu da gözlemlenmiştir. Diğer varyasyonlarda meydana gelen koni oluşumu, bu varyasyonda tam olarak oluşmamıştır. Şekil 3.29’da D5M2/O panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyon şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 3.29: D5M2/O panelinin arka yüzeyinde oluşan deformasyon şekilleri.

Atışlar sonrası balistik panelin yüzeylerinin kaplandığı APP tabakasında kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. Kırılmalara bağlı olarak APP tabakalarının bazıları panel yüzeyinden koparken, bazı APP parçalarının panel arka yüzeyinden ayrılmadığı görülmüştür. Dokuma cam liflerinde ise gerilmelerin oluştuğu fakat herhangi bir kopmanın gerçekleşmediği belirlenmiştir.

İkinci aşamada üretilen balistik paneller içerisinde sadece D5M2 ve D5M2/O panelleri NIJ standardına göre macunda oluşabilecek maksimum 44 mm sınır deformasyonundan daha az deformasyon oluşmasını sağlamıştır. Oluşturulan kombinasyonlar arasında farkın anlamlı olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA/Analysis of Variance) ile incelenmiştir. Tablo 3.5'te 2. aşama panellere ait tek yönlü varyans analizi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 3.5: 2. aşama panellere ait tek yönlü varyans analizi sonuçları.

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Sig.
Gruplar arası	10856,472	5	2171,294	635,501	,000
Gruplar içi	102,500	30	3,417		
Toplam	10958,972	35			

Analiz sonucunda dokuma cam lifi miktarı, metal plaka ve OSB'nin, arka yüzeye yerleştirilen macunda oluşan deformasyon üzerine etkisi istatistiki anlamda önemli çıkmıştır ($F=635,501$; $p=0,000<0,05$). Varyasyonların önem derecelerinin belirlenmesi için yapılan Duncan testi sonuçları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6: İkinci aşama panellere ait Duncan testi sonuçları.

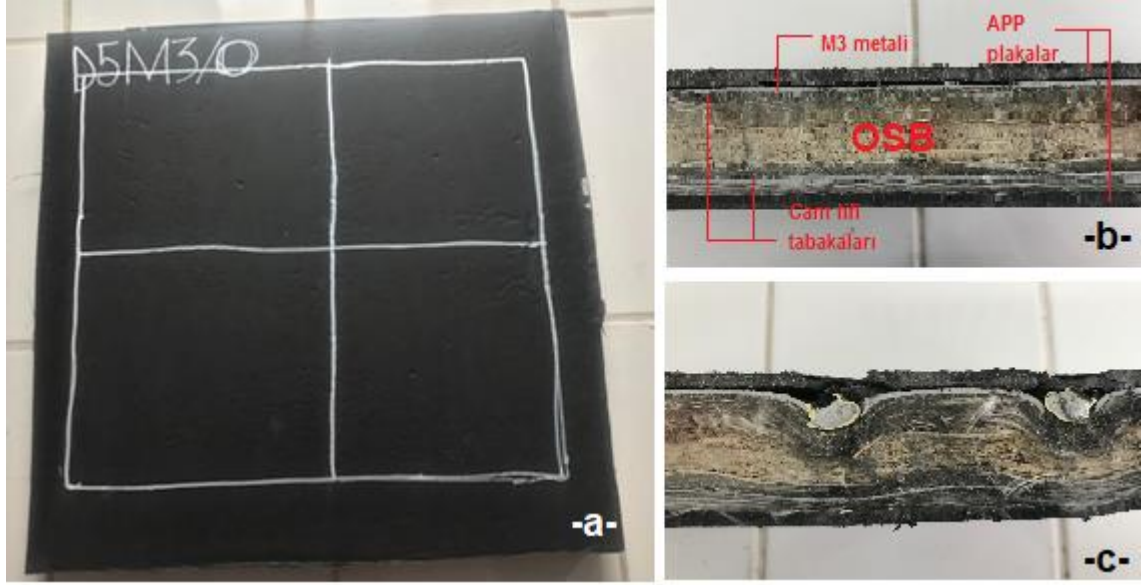
Örnek kodu	Örnek sayısı	Gruplar				
		A	B	C	D	E
D5M2/O	6	24,5				
D5M2	6		32,3			
D4M2/O	6			55,0		
D5M1/O	6			56,5		
D5M1	6				62,3	
D4M1/O	6					75,1

Duncan testi sonuçlarına göre, altı varyasyon için toplam beş grup oluşmuştur. Balistik testler sonucunda, en az deformasyon oluşan D5M2/O paneli A grubunda yer almıştır. Aynı panelin OSB içermeyen varyasyonu ise 32,3'lük deformasyon miktarı ile B grubunu oluşturmuştur. Bu durumda OSB'nin kullanılan materyaller ve uygulanan test yöntemine bağlı olarak ilgili test üzerinde etkili olduğu görülmüştür. C grubunu oluşturan iki panel (D4M2/O ve D5M1/O) incelendiğinde 40 adet dokuma cam lifi ve M2 metal plakanın

gösterdiği performansın, 50 adet dokuma cam lifi ve M1 metal plakanın gösterdiği performansa yakın olduğu tespit edilmiştir. D5M1 paneli D grubunu oluşturmaktadır. Aynı panelin OSB içeren (D5M1/O) varyasyonu ise C grubundadır. OSB'nin belirtilen şartlar (materyal ve testler) altında etkili olduğu A ve B grubunda yapılan karşılaştırmalar sonucunda anlaşılmıştır. C ve D grubundaki karşılaştırmalar da bu durumu desteklemektedir. En son grubu (E) oluşturan D4M1/O paneli, D5M1/O paneli (C) ile karşılaştırıldığında 10 adet dokuma cam lifinin 1 cm kalınlığındaki OSB'den daha etkili olduğu görülmektedir. Metal plakalar açısından incelendiğinde, ilk üç grubu (A, B ve C) 1,2 kalınlığındaki M2 kodlu metal içeren varyasyonlar oluştururken, son üç grubu (C, D ve E) 0,8 mm kalınlığındaki M1 kodlu metal plaka içeren varyasyonlar oluşturmaktadır. Bu fark kalınlığa bağlı olarak değişen tokluk değerlerinden kaynaklanmaktadır. M2 metalinin tokluk değerinin (556 J) 0,8 mm kalınlıktaki metal plakaya (M1) oranla (422 J) daha yüksek olması, merminin ilk hızının yavaşlatılmasında daha etkili olmuştur.

3.3 Üçüncü (3.) Aşama Panellerin Balistik Testleri

Bu aşamada üretilen balistik panelde 50 adet dokuma cam lifi, OSB ve 1,5 mm kalınlığında galvanizli metal (M3) kullanılmıştır. OSB panelin çekirdek kısmını oluşturmakta, 50 adet dokuma cam lifinin 25'i OSB'nin altına, 25'i üstüne dizilmiştir. 1,5 mm kalınlığındaki galvanizli metal ise atış yapılacak yüzeye (APP plakasının altına) yerleştirilmiştir. Bu aşamada üretilen panel yukarıda verilen materyallere ve diğer aşamadaki kodlamalara bağlı olarak D5M3/O olarak kodlanmıştır. Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ)'nin NIJ-STD-0101.06 nolu standardında belirtildiği gibi 6 adet panele, 6 adet atış yapılmış ve mermi hızları kaydedilmiştir. Panelin atış öncesi ve sonrası kesitleri alınarak merminin ve panelin davranışları incelenmiştir. Atışlar sonrasında merminin metal plakayı delerek bir alt tabaka olan dokuma cam lifine ulaştığı görülmüştür. Dokuma cam lifi tabakasında da deformasyon oluşmuş ve bu deformasyon OSB'ye kadar ilerlemiştir. OSB içerisinde absorbe olan merminin enerjisi alt kısımda bulunan cam lifi tabakasına ulaşmamış ve panelin arka yüzeyinde herhangi bir deformasyon oluşmamıştır. D5M3/O panelinin genel görünüşü, atış öncesi ve atış sonrası kesiti Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30: D5M3/O panelinin genel görünüşü (a), atış öncesi (b) ve atış sonrası kesiti.

Üçüncü aşamada üretilen D5M3/O paneline gerçekleştirilen atışlar sonucunda, mermilerin panel içinde kaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak panelin arkasına yerleştirilen macunda da herhangi bir deformasyon da oluşmamıştır. Elde edilen bulgular neticesinde D5M3/O paneli, Ulusal Yargı Enstitüsü (NIJ)’nün NIJ-STD-0101.06 nolu standardında belirtilen Seviye IIA kategorisinde başarılı olmuştur. Tablo 3.7’de, 3. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve mermi hızlarına bağlı olarak oluşan kinetik enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 3.7: 3. aşama panellere ait atış hızları, ortalama hız ve kinetik enerji değerleri.

	Atış No	Ortalama hız (m/s)	Kinetik Enerji (J)
Atış sayısı ve hızları	1	315	398
	2	320	409
	3	385	592
	4	330	435
	5	365	532
	6	371	550
	Ortalama	347	481

3.4 Balistik Panellerin Maliyetleri

Balistik koruyucu ve zırhlardan beklenen balistik performans, hafiflik ve maliyet parametrelerinin belirli bir öncelik sıralaması yoktur. Bu sıralamanın oluşmasında karşılanmak istenen talep, bu talep için ayrılan bütçe önemli bir yer tutmaktadır. Çalışma

kapsamında kullanılan atık polipropilen, OSB, dokuma cam lifi ve metal plaklar özellikle maliyet açısından oldukça avantajlıdır. Yüksek koruma seviyesi istenmeyen ve hafif silahlara karşı koyabilecek balistik panellerde maliyet yönü ağırlık kazanmaktadır. 0,16 m² (40x40 cm) olarak üretilen NIJ Seviye IIA standardını sağlayan D5M2/O balistik panelde kullanılan materyallerin birim fiyatları Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: D5M2/O balistik panelde kullanılan materyallerin birim fiyatları.

Materyal	Birimi/Fiyatı	D5M3/O panelinde bulunan miktar	Toplam (TL)
Atık polipropilen	1,6 TL/kg	2,3 kg	3,68
Dokuma cam lifi	12 TL/m ²	5,12 m ²	61,44
Galvanizli sac	5,4 TL/kg	1,2 kg	6,48
10 mm OSB	75 TL/m ²	0,10 m ²	2,50
Genel toplam			74,10

D5M2/O balistik panelini oluşturan materyallerin boyutları 32x32 cm olduğu için balistik panel olarak kullanılacak toplam alan 0,10 m²’dir. Bu durumda üretilen panelin m² fiyatı (74,10/0,10) 741 TL olmaktadır. Eğer paneller daha büyük presler kullanılarak daha büyük ebatlarda üretilirse 8 cm olan sabit kenar boşluklarından dolayı birim maliyet daha da düşecektir.

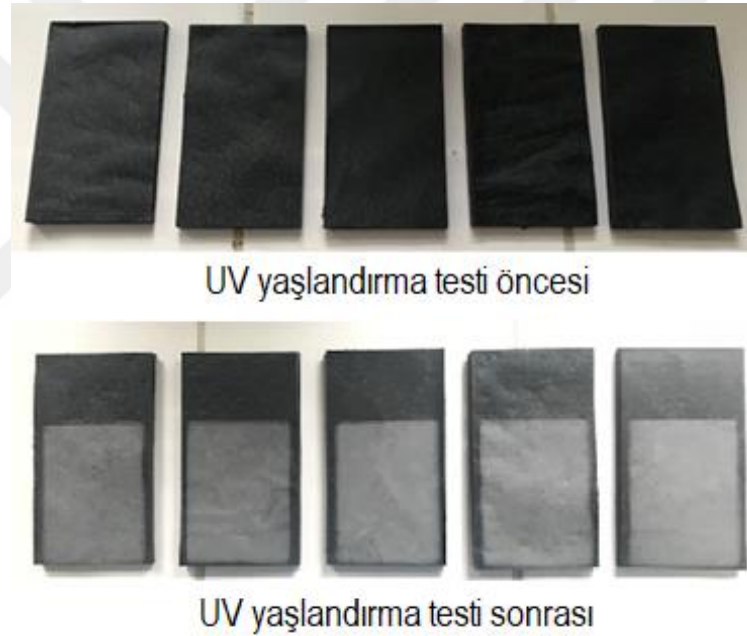
Üretilen balistik panele muadil olarak satılan panellerin birim fiyatı 1100 TL/m² dolaylarındadır (URL-5). Koruma seviyesine göre üretilen panel üzerinde fayda/maliyet değerlendirmesi yapılarak farklı kumaş türleri ile kombinasyonlar gerçekleştirilebilir. Evci, (2009) aramid kumaşların E-glass kumaşlardan yoğunluk olarak düşük olmasına karşın, balistik performans bakımından iki kat daha yüksek performans sergilediğini belirtmiştir. Bununla birlikte maliyetinin yüksek olması, yurtdışı kaynaklı olmasından dolayı tedarik edilmesinin zor olduğunu, belirli bir ömrünün olduğunu ve soğuk depolama yapılması gerektiği gibi dezavantajlarının da bulunduğunu bildirmiştir.

Balistik alanında koruma seviyesine bağlı olarak üretilen koruyucuların yoğunlukları değişmektedir. Çalışma kapsamında üretilen ve NIJ standardında belirtilen Seviye IIA kategorisine göre başarılı olan D5M2/O panelinin alansal yoğunluğu 40,6 kg/m²’dir. Alansal yoğunluk balistik koruma seviyesine ve kullanılan materyallere göre değişmektedir. Evci, (2009) polimer reçinelerle destekleyerek ürettiği 50 mm kalınlığında ve 99,22 kg/m² alansal

yoğunluğa sahip E-glass kompozitlere 7,62 mm AP (Armor Piercing) zırh delici mermi ile yaptığı atışların başarısız olduğunu bildirmiştir.

3.5 Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Testi

Balistik paneller genellikle dış ortam koşullarında kullanılmaktadır. Bu nedenle balistik alanında kullanılan materyallerin dış ortam koşullarına ve UV ışınlarına karşı dayanımını belirlemek için yapılmış birçok çalışma (Zhang vd., 2011; Chen vd., 2013; Zhou vd., 2008) mevcuttur. Çalışma kapsamında üretilen balistik paneller üzerinde de hızlandırılmış yaşlandırma testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.31’de yaşlandırma testi öncesi ve sonrası atık polipropilen örneklerin görünümü verilmiştir.



Şekil 3.31: Yaşlandırma testi öncesi ve sonrası atık polipropilen örneklerin görünümü.

Hızlandırılmış yaşlandırma testlerinde örnekler, UV ışınlarına ve suya tabi tutulmaktadır. UV ışınları ile materyal üzerinde parçalanmalar gerçekleşmekte, ardından uygulana su ile de bu parçalar yıkanmaktadır. Bu işlemler için 5 adet örnek hazırlanmış ve 100 saat aralıklarla renk değişimleri ölçülmüştür. Renk ölçümleri her bir örnek üzerinde iki farklı noktadan ölçülen L, a ve b değerleri ile belirlenmiştir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32: APP örnekler üzerinde renk ölçümü.

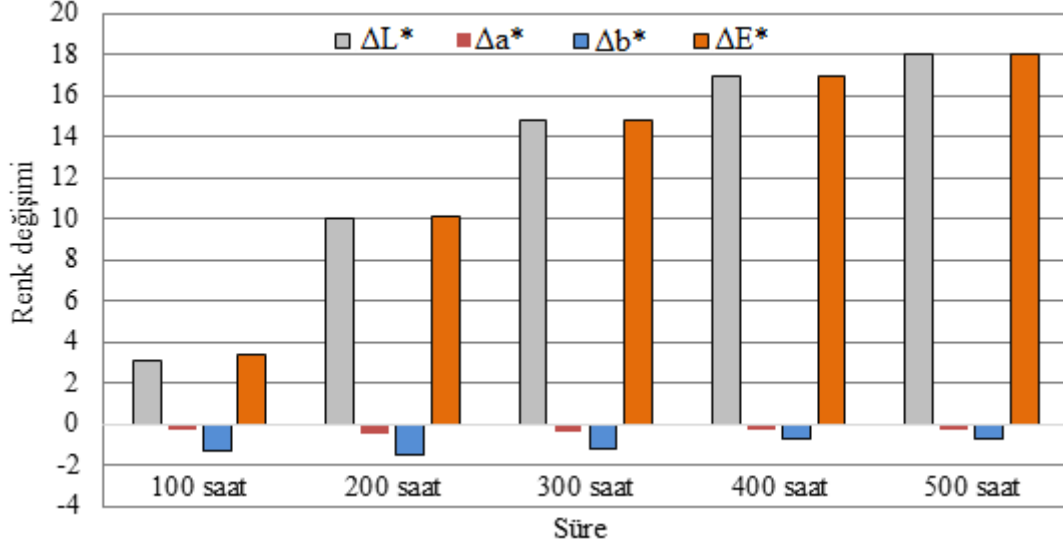
1 cm kalınlığındaki APP levhalar hızlandırılmış yaşlandırmaya tabi tutulmadan önce L, a ve b değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Yapılan bu ilk ölçümler kontrol değeri olarak alınmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemi başlatılan örnekler üzerinde her 100 saatte bir olmak üzere, toplam 500 saatlik renk değişim değerleri ölçülmüştür. Renk ölçümlerine ait ortalama değerler Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9: Yaşlandırma testi süresince renk değişim değerleri.

	Kontrol	100 saat	200 saat	300 saat	400 saat	500 saat
L	30,429	33,568	40,458	45,23	47,38	48,475
a	-0,012	-0,257	-0,493	-0,41	-0,331	-0,262
b	-0,647	-1,944	-2,158	-1,86	-1,403	-1,346

Yaşlandırma testi sonuçları incelendiğinde, APP örneklerin ışık stabilitesi (L) değerinde zamana bağlı artışlar ölçülmüştür. Bu artışlar ilk 300 saatlik periyotta daha fazla görülmüştür. 300 saatten sonra L değerinin artış hızının yavaşladığı söylenebilir. Toplam 500 saatlik renk değişimi, kontrol örneklerine oranla %59,3 olarak gerçekleşirken, bu oran ilk 300 saatte %48,6 olarak gerçekleşmiştir. Peng vd., (2014) UV ışınlarının polipropilen ve odun unu kullanarak elde ettiği odun polimer kompozitler üzerinde yüzey parlaklığına olan etkilerini incelediği çalışmada, saf polipropilenin parlaklık değerinde ilk 480 saatte yaklaşık %80 oranında değişimin meydana geldiğini bildirmiştir.

Saf polipropilenin renk deęişimlerinin atık polipropilenden daha geç oluřmasında materyallerin mevcut řeffaf renginin etkili olduęu dūřünülmektedir. řekil 3.33’de APP örneklerin ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* deęerleri gösterilmiřtir.



şekil 3.33: APP örneklerin ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔE^* değerleri.

2400 saatlik bir UV yaşlandırma işleminin yaklaşık 5 tekabül ettiği ifade edilmektedir (Anderson vd., 1991). Bu bilgi kapsamında çalışmada uygulanan 100 saatlik sürenin 2,5 aya, 200 saatlik sürenin 5 aya, 300 saatlik sürenin 7,5 aya, 400 saatlik sürenin 10 aya ve 500 saatlik sürenin 12,5 aya denk geldiği söylenebilir.

3.6 Isı İletkenlik Testleri

Üretilen balistik paneller korunma amaçlı üretildiği için dış ortamdaki sıcak/soğuk havaya karşı davranışını incelemek için ısı iletkenliği testleri gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenliği testleri şekil 3.34’te gösterildiği gibi balistik panelin ön yüzeyinden ve orta noktasından olmak üzere iki farklı bölgeden alınan değerlerin ortalaması ile belirlenmiştir.



Şekil 3.34: Üretilen paneller üzerinde ısı iletkenliği ölçümü

Üretilen panellerin balistik testlerinde olduğu gibi ısı iletkenliği testi sonuçları da 1. aşama ve 2. aşama olmak üzere 2 farklı tabloda verilecektir. Isı iletkenliğinin yoğunluk ile olan ilişkisi göz önüne alınarak ilgili tablolarda panellerin yoğun değerleri de verilmiştir. Tablo 3.10'da 1. aşama balistik panellere ait ısı iletim katsayısı değerleri ve yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 3.10: 1. aşama balistik panellerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları

Örnek Kodu	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (gr/cm ³)
D3	0,3512	0,86
D3M1	0,3837	1,05
D3/O	0,3619	0,94
D3M1/O	0,3606	1,06
D4	0,3215	1,56
D4M1	0,3243	1,62
D4/O	0,3535	1,13
D4M1/O	0,3850	1,18

1. aşama panellerde yoğunluğu düşük olan panellerin ısı iletkenliğinin de düşük olduğu genellemesi yapılabilir. Metal plaka içeren varyasyonlar, aynı özellikte metal içermeyen varyasyonlara göre daha yüksek ısı iletkenliği göstermiştir. OSB içeren panellerin ısı iletim katsayısı OSB içermeyen aynı varyasyondaki panellere göre daha yüksektir. Bu durumun OSB'nin sahip olduğu denge rutubetinden, dolayısıyla suyun ısı iletkenliğinden kaynaklandığı söylenebilir. TS 825'te belirtilen *yapı malzemesi* ve *ısı yalıtım malzemesi* tanımlarına göre üretilen paneller yapı malzemesi sınıfına girmektedir. Tablo 3.11'de 2. aşama balistik panellerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 3.11: 2. aşama balistik panellerin ısı iletim katsayıları ve yoğunlukları

Örnek Kodu	Isı iletim katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (gr/cm ³)
D4M1/O	0,3720	1,18
D4M2/O	0,3670	1,04
D5M1	0,3409	1,78
D5M1/O	0,3751	1,26
D5M2	0,4163	1,89
D5M2/O	0,4674	1,35

İkinci aşamada üretilen panellerde, birinci aşamada üretilen panellerin ısı iletim özelliklerine benzer özellikler belirlenmiştir. Artan yoğunluğa bağlı olarak artan ısı iletim katsayısı ve OSB kullanılan panellerde kullanılmayan aynı varyasyonlara göre daha yüksek değerler 2. aşamada üretilen balistik panellerde de ölçülmüştür. Metal plaka içeren varyasyonlara OBS'nin eklenmesi, balistik panelin yoğunluğunu düşürürken, ısı iletim katsayısını yükseltmektedir. OSB'nin yoğunluğu diğer materyallere oranla daha düşük olduğu için dahil olduğu panelin yoğunluğunu düşürmektedir. Yine OSB içeren panellerin yoğunluğun düşmesine rağmen ısı iletiminin artmasına OSB'de bulunan tutkalın neden olduğu düşünülmektedir.

Üçüncü aşamada üretilen D5M3/O panelinin ısı iletkenlik katsayısı ortalaması 0,4832 W/mK olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada üretilen D5M2/O paneline daha yüksek (1,41 gr/cm³) yoğunluğa sahip olması ısı iletkenliğini %3,38 arttırmıştır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen balistik testler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada üretilen paneller genel olarak başarısız olmuştur. Birinci aşama balistik testler kapsamında, panelin arka yüzeyine yerleştirilen 100 mm kalınlıktaki macun tamamen deforme olmuştur (mermi macun tabakasını delmiştir). Ancak, 40 adet dokuma cam lifi ve metal plaka ile desteklenen D4M1 ve D4M1/O panellerine yapılan atışlar sonucunda, macunda tamamen delinme gerçekleşmemiştir. Bu panellerde oluşan deformasyon miktarları sırasıyla, 82 mm ve 66 mm'dir. Birinci aşamada üretilen panellerden elde sonuçlara göre, en az 40 adet dokuma cam lifinin kullanımının başarıya ulaşmada etkili olacağı tespit edilmiştir. Bunun yanında, panelin ön yüzeyinde bulunan metal plaka kullanımının, merminin ilk darbe hızının yavaşlatılmasında etkili olduğu görülmüştür.

İkinci aşamada üretilen altı varyasyonda 25 mm ile 75 mm arasında değişen deformasyon miktarlarına ulaşılmıştır. Standartta belirtilen maksimum 44 mm sınır deformasyon miktarını, D5M2/O paneli 25 mm, D5M2 paneli 32 mm ile sağlamıştır.

İkinci aşama panellerin balistik testleri sonucunda oluşan deformasyon miktarlarına kullanılan materyallerin etkisi, tek yönlü varyans analizi ile anlamlı olarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki önem derecelerini belirlemek için yapılan Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek grubu (en düşük deformasyonu) D5M2/O paneli, en düşük grubu (en yüksek deformasyonu) D4M1/O paneli oluşturmuştur. 1,2 mm kalınlıktaki metal plakanın (M2) bulunduğu varyasyonlar en yüksek grupta yer almıştır. Balistik panellerde, ilk darbe hızını absorbe edecek materyalin balistik performansta başarılı sonuçlara ulaşmak için önemli olduğu belirlenmiştir. Üçüncü aşamada üretilen D5M3/O panelinde merminin balistik panel içerisinde kalması ve macunda herhangi bir deformasyon oluşmaması da bunu desteklemiştir.

Balistik panellerde OSB'nin kullanılması, balistik panelin arkasına yerleştirilen macunda oluşan deformasyonun düşürülmesinde etkili olmuştur. Balistik testler sonrasında, panel içerisinde bulunan OSB plakaların deformasyon şekilleri incelenmiş ve OSB'yi oluşturan

yonga boyutlarının, darbe etkisini daha geniş alanlara yayılmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durum, balistik panellerin arka yüzeyinde dokuma cam liflerinde oluşan gerilmeler (koni oluşumları) ve panel içerisindeki OSB'lerin arka yüzey deformasyon tipi ve deformasyon genişliği ile tespit edilmiştir.

Üretilen panellerin yoğunlukları ve performans ilişkileri hakkında genelleme yapmak mümkün olmamıştır. Bunun nedeni, materyallerin kütle ve hacmine bağlı olarak sahip oldukları bireysel yoğunlukların, oluşturulan panelin yoğunluğunu etkilemesidir. İkinci aşamada üretilen panellerden 1,35 gr/cm³ yoğunluğa sahip D5M2/O paneli, 1,89 gr/cm³ yoğunluğa sahip D5M2 panelinden daha iyi performans sergilemiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında OSB içeren D5M2/O panelinin kalınlığının 3 cm olması, dolayısıyla panelin hacmini artırıp, yoğunluğunu düşürmesi etkili olmuştur.

Balistik panel içerisinde tek başına *GW 500T Twill* E-glass dokuma cam liflerinin 30 adet (D3) ve 40 adet (D4) kullanımı, NIJ standart Seviye IIA kategorisinde başarısız sonuçlar vermiştir. 40 adet dokuma cam lifinin M1, M2 ve OSB ile desteklenmesi halinde performansının arttığı, fakat istenen limit değer olan 44 mm deformasyonu sağlamadığı görülmüştür. Başarılı sonuçlara 50 adet dokuma cam lifinin M2 ve M3 metali ve OSB ile desteklendiği balistik panellerle ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamında üretilen balistik panelleri oluşturan materyalleri bir arada tutmak için, belirtilen sıcaklık ve basınç altında preslenen atık polipropilen kullanımı başarılı olmuştur. Tedarik edilmesi kolay ve ucuz olan atık polipropilenin endüstriyel olarak kullanılabilirliği, gerçekleştirilen bu çalışma ile de desteklenmiştir.

Hızlandırılmış UV yaşlandırma testleri sonucunda atık polipropilenin ışık stabilitesi (L*) ilk üç yüz saatte %48,6'lık bir değişim göstermiştir. Bu oran beş yüz saat sonunda %59,3 olarak ölçülmüştür. Elde edilen verilere ışığında atık polipropilenin dış ortam şartlarına maruz kalacak endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılabileceği görülmüştür. Isı iletkenliği testleri sonucunda üretilen balistik panellerin TS 825'e göre "ısı yalıtım malzemesi" özelliklerini karşılamadığı, "yapı malzemesi" kategorisinde yer alabileceği tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak elde bilgiler ve bu bilgilerin yorumlanmasıyla bu alanda yapılacak çalışmalara katkı sağlayacak öneriler maddeler halinde sıralanmıştır.

- Yüksek tokluk değerine sahip materyallerin balistik panellerde merminin ilk temas edeceği yüzeyde kullanılması ile etkili sonuçlara ulaşılabilir.
- OSB panellerin merminin ilk hızını absorbe edebilecek seramik, demir, yeterli miktarda Ultra yüksek molekül ağırlığına sahip polietilen (UHMWPE) kumaşlarla kullanılmasının, belirli koruma seviyelerinde başarılı sonuçlara ulaşmak için etkili olacağı düşünülmektedir.
- Balistik panel üretiminde kullanılacak masif ahşabın yoğunlaştırılması veya ahşap kompozitlerin daha yoğun üretilmesi halinde, balistik panelin kalınlığı azaltılırken, performansının da artması sağlanabilir.
- Balistik panellerde performans/yoğunluk özelliklerini optimum seviyede tutmak için çalışmada kullanılan E-glass cam lifleri ile daha yüksek direnç özelliklerine sahip S-2 glass cam liflerinin birlikte kullanılmasının katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Kumaş katmanlarının kullanıldığı balistik panellerde, kumaşları bir arada tutmak için uygun reçineler ve yöntemler uygulandığında balistik dayanımın artmasına katkı sağlayacağı beklenmektedir.
- Katmanlı üretilen balistik panellerde, katmanların diziliş sırasında yapılacak değişiklikler merminin yön değiştirme kabiliyetini değiştireceği için balistik performans ve deformasyon oluşumlarında etkili olacağı düşünülmektedir.
- Plastik ürünler üretilirken bazı özellikleri kullanım yerine bağlı olarak destek materyalleri ile değiştirilmektedir. Bu nedenle atık plastiklerin kullanılacağı çalışmalarda, atık plastiğin spesifik (eğilme, çekme, darbe, erime vb.) özelliklerinin önceden belirlenmesi, yapılacak çalışmalarda zamandan tasarruf edilmesine ve sonuçların yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

- Atık polipropilenden üretilen ürünlere koruyucu ve görseelliği arttırıcı üst yüzey işlemleri uygulanarak dış ortam şartlarına uygunluğu atık yönetimine katkılar sağlayabilir.



KAYNAKLAR

- Akman, Y. (2012). Eskitmeye Tabi Tutulan Kompozit Başlıkların Balistik Testlerinin Yapılması ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 49 s.
- Anderson, E.L., Pawlak, Z., Owen, N.L. ve Feist, W.C. (1991). Infrared studies of wood weathering. Part I: Softwoods. *Applied Spectroscopy*, 45 (4): 641-647.
- Anonim, (2003). SPSS base 12.0 Usser's Guide, First edition, SPSS Institute Incorporated, pp.1-703, Chicago-USA.
- Ashby, M.F. ve Jones D.R.H. (1998). Engineering Materials 2, Chapter 25. In Composites: fibrous, particulate and foamed, Eds.; Ashby, M.F. ve Jones D.R.H; Butterworth Heinemann, s, 263-276.
- ASTM C1113-99 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique).
- ASTM G154. (2006). Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials, ASTM, USA, 2-8.
- Baucom, J.A. ve Zikry, M.A. (2005). Low-velocity impact damage progression in woven E-glass composite systems. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36 (5): 658-664.
- Behera, B.K. ve Dash, B.P. (2013). An experimental investigation into structure and properties of 3D-woven aramid and PBO fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 104 (12): 1337-1344.
- Bozkurt, A.Y. (1971). Önemli Bazı Ağaç Türleri Odunlarının Tanımı, Teknolojik Özellikleri ve Kullanış Yerleri, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No: 1653, Orman Fakültesi Yayın No: 177, İstanbul, s. 40-83.
- Bunsell, A.R. (1988). Fibre Reinforcements For Composite Materials, Elsevier Science Publishers, p. 537.
- Buytoz, S. ve Yıldırım, M. (2002). Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri. 9. *Denizli Malzeme Sempozyumu*, 8-10 Mayıs 2002, Denizli, s. 349-357.
- Can, A. (2018). Su İtici Maddeler İle Kombine Edilmiş Bazı Emprenye Maddelerinin Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 176 s.
- Candan, C. (2005). Zırh Teknolojilerindeki Gelişmeler. Zırh Teknolojileri Semineri, Milli Savunma Bakanlığı Arge ve Teknoloji Daire Başkanlığı, Ankara,
- Cantwell, W.J. ve Morton, J. (1989). Geometrical effects in the low velocity impact response of CFRP. *Composite Structures*, 12 (1): 39-59.
- Carlucci, D.E. ve Jacobson, S.S. (2008). Ballistics; Theory and Design of Guns and Ammunition. Taylor & Francis Group, New York, 3-429.
- Cavallaro, P.V. (2011). Soft Body Armor: An Overview of Materials, Manufacturing, Testing, and Ballistic Impact Dynamics, NUWC-NPT Technical Report.
- Chen, L., Hu, A.Z., Liua, A.L. ve Huang, Y. (2013). A facile method to prepare multifunctional pbo fibers: simultaneously enhanced interfacial properties and UV resistance, *RSC Advances* 3 (46): 24664-24670.
- Chen, X., Zhou, Y. ve Wells, G. (2014). Numerical and experimental investigations into ballistic performance of hybrid fabric panels. *Composites Part B: Engineering*, 58: 35-42.
- Chin, J., Forster, A., Clerici, C., Sung, L., Oudina, M. ve Rice, K. (2007). Temperature and humidity aging of poly (p-phenylene-2, 6-benzobisoxazole) fibers: Chemical and physical characterization. *Polymer Degradation and Stability*, 92 (7): 1234-1246.
- Ciliz, N.K., Ekinic E. ve Snape, C.E. (2004). Pyrolysis of virgin and waste polypropylene

- and its mixtures with waste polyethylene and polystyrene. *Waste Management*, 24: 173–181.
- Corradi, M., Speranzini, E., Borri, A. ve Vignoli, A. (2006). In-plane shear reinforcement of wood beam floors with FRP. *Composites Part B: Engineering*, 37 (4-5): 310-319.
- Çay, A., Süpüren G., Kanat Z.E., Gülümser T. ve Tarakçıoğlu, I. (2007). Balistik lifler (Bölüm 1). *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17 (4): 232-236.
- Çerkez, İ. (2007). Kolloidal Silika Dispersyonunun Polietilen Kumaşların Balistik Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 70 s.
- Dateraksa, K., Sujirote, K., Mc Cuiston, R. ve Atong, D. (2012). Ballistic performance of ceramic/S 2-glass composite armor. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 22 (2): 33-39.
- Deka, L.J., Bartus, S.D. ve Vaidya, U.K. (2008). Damage evolution and energy absorption of E-glass/polypropylene laminates subjected to ballistic impact. *Journal of Materials Science*, 43 (13): 4399-4410.
- Demir, T. (2008). Metal ve Katmanlı Zırh Malzemelerin 7,62 mm’lik Zırh Delici Meriler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 128 s.
- Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42 (11): 1357-1378.
- Deniz, H. (2009) Çift Fazlı Bir Çeliğin 7,62 mm’lik Zırh Delici Mermi Karşısında Balistik Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 105 s.
- Durmaz, T. (2017) Development of high strength aluminum matrix composite backing plates for ballistic armor. Master’s Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 208 pp.
- Elanchezhian, C., Ramnath, B. V. ve Hemalatha, J. (2014). Mechanical behaviour of glass and carbon fibre reinforced composites at varying strain rates and temperatures. *Procedia Materials Science*, 6: 1405-1418.
- EN 310 (1993). Wood-based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.
- EN 317 (1993). Particleboards and fibreboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water.
- EN 319 (1993). Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.
- Erdem, M. ve Türker, M. (2011). 7039 Alüminyum alaşımının kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (1): 17-26.
- Evcı, C. (2009). Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 271 s.
- Fedaravicius, A., Jonevicius, V. ve Ragulskis, M. (2007). Development of mortar simulator with shell-in-shell system–problem of external ballistics. *Shock and Vibration*, 14 (5): 371-376.
- Freitas, M., Silva, A. ve Reis, L. (2000). Numerical evaluation of the failure mechanisms on composite specimens subjected to impact loading”, *Composites: Part B*, 31: 199-207.
- Gooranorimi, O., Suaris, W., Dauer, E. ve Nanni, A. (2017). Microstructural investigation

- of glass fiber reinforced polymer bars. *Composites Part B: Engineering*, 110: 388-395.
- Gower, H.L., Cronin D.S. ve Plumtree A. (2008). Ballistic impact response of laminated composite panels. *International Journal of Impact Engineering*, 35 (9): 1000-1008.
- Guden, M., Yildirim, U. ve Hall, I.W. (2004). Effect of strain rate on the compression behavior of a woven glass fiber/SC-15 composite. *Polymer Testing*, 23 (6): 719-725.
- Gündüz, G., Aydemir, D., Sözen, E. ve Nemli, G. (2018). Comparison of mechanical and thermal properties of waste and neat polypropylene. *International Forest Products Congress*, 26-29 September 2018, Trabzon pp: 493-500.
- Holmes, G. A., Rice, K. ve Snyder, C. R. (2006). Ballistic fibers: a review of the thermal, ultraviolet and hydrolytic stability of the benzoxazole ring structure. *Journal of Materials Science*, 41 (13): 4105-4116.
- ISO/DIS 14876-2. (199). Protective clothin-Body armour-Part 2: Bullet resistance - Requirements and test methods.
- ISO 7724-1. (1984). Paints and varnishes, Colorimetry, Part 1: Principles
- Jacobs, M.J.N. ve Van Dingenen, J.L.J. 2001. Ballistic protection mechanisms in personal armour. *Journal of Materials Science*, 36 (13): 3137-3142.
- Kim, S. H. ve Watts, D. C. (2004). The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete dentures fabricated with high-impact acrylic resin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 91 (3): 274-280.
- Lowry, E.D. (1968). Interior Ballistics; How a Gun Converts Chemical Energy into Projectile Motion. Doubleday & Company, New York, 1-174.
- Mastral, F.J., Esperanza E., García P. ve Juste, M. (2002). Pyrolysis of high-density polyethylene in a fluidised bed reactor. Influence of the temperature and residence time. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63 (1): 1-15.
- MIL-STD-662 F (1997). Military Standard: V₅₀ Ballistic Test For Armor
- Morye, S.S., Hine, P.J., Duckett, R.A., Carr, D.J. ve Ward, I.M. (2000). Modelling of the energy absorption by polymer composites upon ballistic impact. *Composites Science and Technology*, 60 (14): 2631-2642.
- Nahil, M.A., Wu, C., ve Williams, P.T. (2015). Influence of metal addition to Ni-based catalysts for the co-production of carbon nanotubes and hydrogen from the thermal processing of waste polypropylene. *Fuel Processing Technology*, 130: 46-53.
- NIJ (2008). NIJ Standard-0101.06 Personel Korumasında Kullanılan Malzemelerin Balistik Dayanımları Dokümanı.
- Özgültekin, S.E. (2012). Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 61 s.
- Peng, Y., Liu, R., Cao, J. ve Chen, Y. (2014). Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin, and cellulose. *Applied Surface Science*, 317: 385-392.
- Shyr, T.W. ve Pan, Y.H. (2003). Impact resistance and damage characteristics of composite laminates. *Composite Structures*, 62 (2): 193-203.
- Sikkema, D.J., Northolt, M.G. ve Pourdeyhimi, B. (2003). Assessment of new high-performance fibers for advanced applications. *MRS Bulletin*, 28 (8): 579-584.
- Soykasap, O. ve Colakoğlu M. (2010). Ballistic performance of a Kevlar-29 woven fibre composite under varied temperatures. *Mechanics of Composite Materials* 46 (1): 35-42.
- Sözen E, Gündüz G. ve İmren E. (2016). Composite Materials and Fibers Used in Ballistic Panel and Protective Armor Production, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 18

- (2): 194-204.
- Sözen, E. ve Gündüz, G. (2017). Atık Polipropilen (APP) ve Dokuma Cam Lifi ile Desteklenen Kontrplakların Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi. *II. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu*, 06-08 Nisan 2017, Kırıkkale, s. 963-969.
- Tan, C.Y. ve Akil, H.M. (2012). Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core. *Composites Part B: Engineering*, 43 (3): 1433-1438.
- Tan, V.B.C., Lim C.T. ve Cheong C.H. (2003). Perforation of high-strength fabric by projectiles of different geometry. *International Journal of Impact Engineering*, 28 (2): 207-222.
- Tan, V.B.C., Tay, T.E. ve Teo, W.K. (2005). Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions. *International Journal of Solids And Structures*, 42 (5-6): 1561-1576.
- Temiz, S. (2005). Balistik Kumaş ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 107 s.
- Tiptipakorn, S., Damrongsakkul, S., Ando, S., Hemvichian, K.ve Rimdusit, S. (2007). Thermal degradation behaviors of polybenzoxazine and silicon-containing polyimide blends. *Polymer Degradation and Stability*, 92 (7): 1265-1278.
- TS 11164 (2013). Balistik koruyucu vücut zırhı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 825 (2013). Binalarda ısı yalıtım kuralları, TSE, Ankara.
- TS EN 300 (2008).Yönlendirilmiş lif levhalar (osb) - Tarifler, sınıflandırma ve özellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 6892-1 (2010). Metalik malzemeler-Çekme deneyi-Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turan, M., (2007) Tabakalı kompozit malzemelerde yüksek hızlı darbe hasarı, *Mühendis ve Makina*, 48 (575): 3- 8.
- ul Hassan M.I., Taimur S. ve Yasin T. (2017). Upcycling of polypropylene waste by surface modification using radiation-induced grafting. *Applied Surface Science*, 422: 720-730.
- URL-1 <http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>, Composites world, Articles, The making of glass fiber, (18.01.2014).
- URL-2 <https://www.surintrade.com/tr/petrokimyasal-urunler/polimerler/polipropilen/> Surin trade, Petrokimyasal ürünler, Polimerler, Polipropilen, (27.11.2018).
- URL-3 https://en.wikipedia.org/wiki/File:9x19mm_Parabellum.jpg, Wikipedia, Wiki, x19mm Parabellum, (20.11.2018).
- URL-4 <http://obsessive-coffee-disorder.com/digital-representation-of-color/> (26.10.2018)
- URL-5 <https://www.amazon.com/Bullet-Resistant-Fiberglass-Panels-BRF100/dp/B00QMNPPFY>, Amazon, Bullet Resistant Fiberglass Panels, (08.12.2018).
- Übeyli, M. ve Demir T. (2006) Hava araçları için seramik zırh uygulamaları. *VI Havacılık Sempozyumu*, 02-14 Mayıs 2006, Kayseri, s. 67-71.
- Valenza, A. ve La Mantia F.P. (1987). Recycling of polymer waste: Part I—Photo-oxidized polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 19 (2): 135-145.
- Valenza, A., ve La Mantia, F.P. (1988). Recycling of polymer waste: Part II—Stress degraded polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 20 (1): 63-73.
- Vinson, J.R., Zukas J.A. (1975). On the ballistic impact of textile body armor. *Journal of Applied Mechanics*, 42 (2): 263-268.
- Wallenberger, F.T., Watson, J.C. ve Li, H. (2001). Glass fibers. *Materials Park, OH: ASM International*, 2001, 27-34.

- WI, 2015. World Watch Institute, Global Plastic Production Rises, Recycling Lags. New World Watch Institute Analysis Explores Trends in Global Plastic Consumption and Recycling, January.
- Xu, S. ve Chen, P. H. (2013). Prediction of low velocity impact damage in carbon/epoxy laminates. *Procedia Engineering*, 67: 489-496.
- Yavaş, M.O. (2009). Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 167 s.
- Zhang, C., Huang, Y., Yuan, W. ve Zhang, J. (2011) UV aging resistance properties of PBO fiber coated with nano-ZnO hybrid sizing, *Journal of Applied Polymer Science*, 120: 2468–2476.
- Zhou, C., Wang S., Zhang Y., Zhuang Q. ve Han Z. (2008). In situ preparation and continuous fiber spinning of poly(P-Phenylene Benzobisoxazole) composites with oligo-hydroxyamide-functionalized multi-walled carbon nanotubes, *Polymer*, 49: 2520–2530.
- Zukas, J.A., Nicholas, T. ve Swift H.F. (1992) Impact Dynamics. Malabar: Krieger Publishing, Berlin, Germany.

BİBLİYOGRAFYA

- Girelli, C. M., Vieira, M. A., Singh, K., Cunha, A. G., Freitas, J. C., ve Emmerich, F. G. (2018). Recovery of latent fingerprints from brass cartridge cases: Evaluation of developers, analysis of surfaces and internal ballistic effects. *Forensic Science International*, 290: 258-278.
- Özgültekin, S.E. (2012). Balistik Zırhlarda Kullanılan Kompozit Malzeme Kombinasyonlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 61 s.
- Yumak, N., Pekbey, Y. ve Aslantaş, K. (2013). Zırh tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon karakteristiğinin araştırılması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10 (4): 1-21.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Eser SÖZEN
Doğum Yeri ve Tarihi : DEMİRKÖY / 01.01.1985

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bülent Ecevit Üniversitesi/Orman Endüstri Mühendisliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : Bülent Ecevit Üniversitesi / Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (İyi)

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : **Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI & SSC I& Arts and Humanities):**

1- Tankut N. Bardak T. Sozen E. Tankut A.N. 2016. The Effect of Different Nanoparticles and Open Time on Bonding Strength of Poly (vinyl acetate) Adhesive, Measurement, 81, 80–84.

2- Bardak T. Tankut A.N. Tankut N. Sozen E. and Aydemir D. 2016. The effect of nano-TiO₂ and SiO₂ on bonding strength and structural properties of poly (vinyl acetate) composites, Measurement, 93, 80-85.

3- Bardak T. Tankut A.N. Tankut N. Aydemir D. Sozen E. 2017. The Bending and Tension Strength of Furniture Joints Bonded with Polyvinyl Acetate Nanocomposites. Maderas. Ciencia y Tecnología 19 (1), 51-62

4- Sozen E., Aydemir D., Zor M. 2017. The Effects of Lignocellulosic Fillers on Mechanical, Morphological and Thermal Properties of Wood Polymer Composites. DRVNA INDUSTRIJA, 68 (3) 195-204

5- Sozen E., Zor M., Aydemir D. 2018. The Effect of Nano TiO₂ and Nano Boron Nitride on Mechanical,

Morphological and Thermal Properties of WF/PP Composites. DRVNA INDUSTRIJA 69 (1) 13-22

6- Bardak T., Sozen E., Kayahan K., Bardak S. (2018). The Impact of Nanoparticles and Moisture Content on Bonding Strength of Urea Formaldehyde Resin Adhesive. DRVNA INDUSTRIJA 69 (3) 247-252.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler):

1- Sözen E., Gündüz G. Determination of ballistic properties of plywood supported by waste polypropylene and woven glass fiber. II. International Defence Industry Symposium, 6-8 April 2017, Kırıkkale / TURKEY.

2- Sözen E., Bardak T., Aydemir D., Bardak S. Predicting Deformation of Nanocomposites in the Tension Strength Using Data Mining. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies. 15-17 May 2017, Nevşehir / Turkey

3- Dilek DOĞU, Davut BAKIR, Fatma Diğdem TUNCER, Eser SÖZEN and Nural YILGÖR. Microscopic Evaluation of a Historical Wood from Mudurnu in Turkey. Ecology 2017 International Symposium, 11-13 May 2017, Kayseri / Turkey

4- Alsan M., Aydemir D., Gündüz G., Sözen E. The effects of particle size on the mechanical and morphologic properties of heat-treated wood polypropylene composites. 13th International IUFRO Wood Drying Conference, 13-15 September 2017, İstanbul, TURKEY.

5- Sözen E., Aydemir D., Gündüz G. The Effects of Nano TiO₂ and Nano Boron Nitride (BN) on the Mechanical Properties of Wood Polymer Composites.

4th International Furniture and Decoration Congress, 19-21 October 2017, Düzce, TURKEY.

6- Sözen E., Bardak T., Peker H., Bardak S. Analysis of Factors Effecting Furniture Selection by Using Apriori Algorithm. 4th International Furniture and Decoration Congress, 19-21 October 2017, Düzce, TURKEY.

7- Can A., Özlüsoylu İ., Grzeskowiak W., Sözen E. Improvement of Fire Performance of Impregnated Wood with Copper Based Chemicals. 28th International Conference on Wood Science and Technology (ICWST), pp: 21-27. 7-8 December 2017. Zagreb/Croatia.

8- Gündüz G., Aydemir D., Sözen E., Nemli G. Comparison of Mechanical and Thermal Properties of Waste and Neat Polypropylene. International Forest Products Congress, pp: 493-500. 26-29 September 2018. Trabzon /TURKEY

9- Sözen E., Aydemir D., Gündüz G. The Effects of Nano-TiO₂ and Nano-Boron on the Thermal Properties of Wood Plastic Composites. International Forest Products Congress, pp:203-209. 26-29 September 2018. Trabzon /TURKEY

10- Sözen E., Aydemir D., Gündüz G. The Determination of Thermal (TGA) Properties of Some Wood Species of Impregnated with Stone Water (Firetex). 6th ASM International Congress of Agriculture and Environment, pp: 43-51. 11-13 October 2018. Antalya/ TURKEY

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

1- Sozen E., Tankut N., Tankut A.N. 2016. Determination of Shear Strength and Fire Performance of Plywood Supported by Woven E-Glass Fiber. Journal

of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, Vol. 3 Issue 2, 4063 - 4068

2- Sozen E., Gunduz G., Imren E. (2016). Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler, Journal of Bartın Faculty of Forestry, 18 (2): 194-204.

3- Sözen E., Gündüz G., Aydemir D., Güngör E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, Journal of Bartın Faculty of Forestry, 19 (1): 148-160.

4- Bardak T., Bardak S., Sözen E. (2017). Determination of strain distributions of solid wood and plywood in bending test by digital image correlation. Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty, 17 (2): 354-361

5- Sözen E., Bardak T., Aydemir D., Bardak S. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Nanokompozitlerde Deformasyonun Tahmin Edilmesi. Journal of Bartın Faculty of Forestry, 20(2), 223-231.

Aldığı Ödüller : COST Action FP1404 Logo Tasarımı

İş Deneyimi

Stajlar : Biat Möble/İstanbul (2004), Zytin Mobilya/Bartın (2005)

Projeler ve Kurs Belgeleri : LabView Eğitimi (2015),
CNC 5 Eksen Eğitim Belgesi (2016),
İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi (2016)
Temel Veri Bilimi (2018),
Veri Bilim Uzmanlığı (2018),

Çalıştığı Kurumlar : Bartın Üniversitesi (2012-.....)

İletişim

E-Posta Adresi : esozen@bartin.edu.tr

Tarih : 02/05/2019 (Tez Sınav Tarihi)



