

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYISI ÇEKİRDEĞİ VE KABUKLU MEYVELERİN
KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANIMI



Hüseyin Taner BAHÇE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MART 2019

Tezin Başlığı: Kayısı Çekirdeği ve Kabuklu Meyvelerin Kompozit Malzemelerde Kullanımı

Tezi Hazırlayan: Hüseyin Taner BAHÇE

Sınav Tarihi:

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Mahir UZUN

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

Fırat Üniversitesi

Prof Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Kayısı Çekirdeği ve Kabuklu Meyvelerin Kompozit Malzemelerde Kullanımı” başlıklı bu çalışmanın bilimsel, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yönetimine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Hüseyin Taner BAHÇE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYISI ÇEKİRDEĞİ

VE

KABUKLU MEYVELERİN KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANIMI

Hüseyin Taner BAHÇE

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

142+ xx sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ

Günümüzde bilim ve teknoloji alanında ilerlemekte olan Dünyamızda, yeni nesil malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda, geri dönüşümü kolay ve çevreye duyarlı yeni nesil kompozit malzemeler üretilmelidir. Bu çalışmada, vakum infüzyon yönteminde kayısı çekirdeği kabuğu tozunun kompozit malzemelere uygulanabilirliği araştırılmıştır. Tarımsal atıklardan katma değeri yüksek ürünlerin kullanımının yaygınlaştırılması ve bu türdeki bilimsel çalışmaları yapmak için gereken araştırma şartları sağlanarak bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada incelenen literatür çalışmalarına uygun olarak, kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin üretimi yapıldı. Daha sonra üretilen kompozit malzemeler uygun kesiciler kullanılarak kesim işlemi gerçekleştirildi. Kesim işleminden sonra, çekme cihazında deneyler yapıldı. Ayrıca çekme deneyine tabi tutulan numunelerin mikroskop görüntüleri alındı.

Çalışmanın son safhasında hibrit olarak üretilen kompozitlere balistik testler uygulanarak atıkların balistik üzerindeki etkisi gözlemlendi. Hata payları hesaplandı ve gözlemlenen sonuçlar literatüre göre yorumlandı. Çekme deneyi sonuçlarında dayanım kaybının yaklaşık %20 -50 değeri civarında olduğu görüldü. Ayrıca kayısı çekirdeği kabuğu tozunun ceviz kabuğu tozu, fındık kabuğu tozu ve grafen nanotozu ile olan etkileşimi incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, Kompozit malzeme, Tarımsal atıklar, Vakum infüzyon metodu

ABSTRACT

Master Thesis

THE USE OF APRICOT SEEDS

AND

SHELL FRUITS IN COMPOSITE MATERIALS

Hüseyin Taner BAHÇE

142+xx pages

2019

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ

Today, our world is progressing in science and technology, a new generation of materials are needed. In this context, recycling and environmentally friendly new generation of composite materials must be produced. In this study, vacuum infusion method apricot kernel shell applicability of the composite powder were investigated. Promote the use of high value added products from agricultural waste and providing the conditions needed to conduct scientific research studies of this kind was carried out in this study.

According to the literature mentioned in the study, apricot kernel shell was made the production of powder doped sample. Then, the produced composite materials were carried out using appropriate cutting process section. After the cutting process, experiments were performed in the tensile machine. Furthermore microscope images of the samples subjected to tensile test was taken.

Ballistic tests were applied to a hybrid composite produced in the last stage of the study effects were observed on ballistic waste. The margin of error were calculated and observed results were interpreted according to the literature. The loss of strength in the tensile test result was found to be about 20% -50 value. Also walnut shell powder of apricot shell powder, nut shell powder and interaction with graphene nanopowder were investigated.

KEYWORDS: Apricot kernel Shell, Agricultural waste, Composite materials, Vacuum infusion method



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında deneyimli tecrübesiyle her aşamada yardımlarını esirgemeyen Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ ‘e,

Literatür araştırması konusunda ve malzeme deneyleri konusunda yardımları olan, Dr. Öğr. Gör. Yaşar AYAZ ‘a,

Ayrıca bu tez çalışmaları konusunda yardımları olan Dr. Öğr. Gör. Tarkan KOCA ‘ya ve Öğr. Gör. A.Tunga ÖZGÜLER hocalarımıza,

Deney çalışmaları esnasında yardımları olan bölümümüz asistanı Araş. Gör. Engin Eren KORKMAZ ‘a,

Çalışmamda beni moral olarak destekleyen ve emeği geçen Aileme,

Bu tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen ve balistik denemeler konusunda yardımcı NANOĞRAFİ firması ve ekibine,

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu üretiminde yardımcı olan TERSUN firmasına,

FBA-2017-782 nolu proje ile desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne

teşekkür ederim.

Bütün Şehitlerimizi saygıyla ve rahmetle anıyorum.

Bu tez çalışmasındaki Balistik Kompozit Zırh Çalışmasını adına yapmış olduğum, Şehit Yüzbaşı Pilot Gökhan ERTAN’ ı, saygıyla anıyorum.

Hüseyin Taner BAHÇE

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Kaynak Özetleri.....	4
2.2. Çalışmanın Literatürden Farklılığı.....	10
2.3. Kuramsal Temeller.....	11
2.3.1. Kompozit Malzemeler.....	11
2.3.1.1. Uzay ve Havacılık Sanayi.....	12
2.3.1.2. Silah, Roket Ve Diğer Mühimmat Sanayi.....	12
2.3.1.3. Otomotiv ve Taşımacılık Sanayi.....	13
2.3.1.4. Kompozit Malzemelerin Bileşenleri	14
2.3.1.5. Takviye Elemanları.....	15
2.3.5.1.1. Dokuma Yapılar.....	15
2.3.5.1.2. Dokuma olmayan Yapılar.....	17
2.3.5.3. Takviye Elemanları Çeşitleri.....	18
2.3.5.3.1. Cam Elyafı.....	18
2.3.5.3.2. Karbon Elyafı.....	18
2.3.5.3.3. Aramid Elyafı.....	19
2.3.6. Matriks Malzemeler.....	20
2.3.6.1. Reçine Sistemlerine Giriş.....	20
2.3.6.2. Reçine Sistemlerinin Mekanik Özellikleri.....	21

2.7.6.3.	Reçine Sistemlerinin Yapışma Özellikleri.....	22
2.7.6.4.	Reçine Sistemlerinin Çevresel Özellikler.....	22
2.3.7.	Reçine Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	22
2.3.7.1.	Polyester Reçineler.....	22
2.3.7.1.1.	Kimyasal Yapı.....	23
2.3.7.1.2.	Polyester Reçine Karışımı.....	23
2.3.7.1.3.	Mekanik Özellikler	24
2.3.7.1.4.	Epoksi Reçine Sistemi.....	24
2.4.	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	25
2.4.1.	Takviye Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	25
2.4.1.1.	Tabakalı Kompozit Malzemeler.....	26
2.4.1.2.	Hibrit Kompozit Malzemeler.....	27
2.4.1.3.	Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler..	27
2.4.1.4.	Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	27
2.4.2.	Matriks Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	28
2.4.2.1.	Metal Matriksli Kompozit Malzemeler.....	29
2.4.2.2.	Seramik Matriksli Kompozitler.....	30
2.4.2.3.	Polimer Matriksler.....	30
2.4.2.3.1.	Termoplastikler.....	31
2.4.2.3.2.	Termosetler.....	31
2.4.2.3.2.1.	Fenolik Reçine Matriksli Kompozitler.....	31
2.4.2.3.2.2.	Vinilester Reçine Matriksli Kompozitler.....	31
2.4.2.3.2.3.	Polyester Reçine Matriksli Kompozitler.....	32
2.4.2.3.2.4.	Epoksi Reçine Matriksli Kompozitler.....	32
2.5.	Graphene	33
2.6.	Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemler.....	34
2.6.1.	El Yatırma Yöntemi.....	35
2.6.2.	Püskürtme Yöntemi.....	35
2.6.3.	Pultrüzyon Yöntemi.....	36
2.6.4.	Filaman Sarma Yöntemi.....	37
2.6.5.	Kapalı Döküm Yöntemi.....	38

2.7.	Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi.....	38
2.8.	Balistik.....	40
2.8.1.	İç Balistik.....	40
2.8.2.	Dış Balistik.....	41
2.8.3.	Terminal Balistik.....	42
2.8.4.	Balistik Performansa Etkiyen Parametreler.....	42
2.8.5.	Hedefin Malzeme Özellikleri ve Yapısı.....	43
2.8.6.	Merminin Özellikleri ve Yapısı.....	43
2.8.7.	Mermi Ağırlığı ve Mermi Uç Geometrisi.....	44
2.8.8.	Mermi Hızı.....	44
2.8.9.	Balistik Darbe Sonucu Oluşan Hasar Şekilleri.....	44
2.9.	Tarımsal Atıklar.....	45
2.9.1.	Bitkisel Üretim Sonucu Oluşan Atıklar.....	46
2.9.2.	Çalışmada Kullanılan Tarımsal Atıklar.....	46
2.9.2.1.	Malatya Kayısısı.....	46
2.9.2.1.1.	Malatya Kayısısı ve Tarihçesi.....	47
2.9.2.1.2.	Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar.....	48
2.9.2.1.3.	Fındık Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar.....	48
2.9.2.1.4.	Ceviz Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar.....	48
2.10.	Yapılan Bilimsel Çalışmanın Önemi.....	49
3.	MATERYAL VE METOT.....	50
3.1.	Materyallerin Hazırlanması.....	50
3.1.1.1.	Kabuk Tozu Materyallerinin Hazırlaması	50
3.1.1.1.1.	Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozunun Numunelerinin Hazırlanması....	50
3.1.1.1.2.	Fındık ve Ceviz Kabuğu Tozlarının Numunelerinin Hazırlanması... 50	
3.1.2.	Epoksi Reçine ve Epoksi Sertleştiricinin Özellikleri.....	52
3.2.	Kompozit Numunelerin Üretimi	53
3.2.1.1.	Çalışmada Kullanılan Karbon Elyafın Özellikleri.....	53
3.2.1.2.	Kompozit Numunelerin Üretimi İçin Hazırlık Yapılması.....	54
3.2.2.	Kompozit Numunelerin Üretim Aşamaları.....	55
3.2.2.1.	Kumaş Elyafının Ağırlığının Hesaplanması.....	56
3.2.2.1.1.	Reçine ve Sertleştirici Hesabı.....	57
3.2.3.	Vakum İnfüzyon Yöntemi	58
3.2.3.1.	Levhaların Üretimi İçin Vakum İnfüzyon Cihazının Kullanımı.....	62

2.3.2.	Epoksi Reçine ve Epoksi Sertleştiricinin Karıştırılması.....	68
3.2.3.3.	Epoksi Karışımının Karbon Elyafa Emdirilmesi ve Kürleşme İşlemi.....	69
3.2.3.4.	Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozuyla Vakum İnfüzyon Metodu.....	70
3.3.	Hibrit Tabakalı Kompozit Levha Üretimi.....	72
3.4.	Kompozit Numunelerin Konfigürasyonu.....	77
3.4.1.	Karbon Fiber Tabakalı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler.....	78
3.4.1.1.	5 Tabakalı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler.....	78
3.4.2.	Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu Katkılı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler.....	83
3.4.2.1.	20, 60 ve 80 °C 'de Kürlenmiş Kabuk Tozu Katkılı Numuneler....	85
3.4.2.1.2.	40 °C' de Kürlenmiş Kabuk Tozu Katkılı Numuneler.....	86
3.4.3.	Ceviz, Fındık ve Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozları ile Üretilen Numuneler.....	90
3.4.3.1.	GN Numunesinin Üretimi.....	90
3.4.3.2.	GNFK Numunesinin Üretimi	93
3.4.3.3.	GNFCK Numunesinin Üretimi	96
3.5.	Çekme Deneyi.....	102
3.6.	Balistik Deney.....	104
3.7.	Mikroskop Görüntülerinin Alınması.....	106
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	107
4.1.	Farklı Sıcaklıklarda Kürlenmiş Malzemelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	107
4.1.1.	20 °C 'de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	107
4.1.2.	40 °C 'de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçlar.....	109
4.1.3.	60 °C 'de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	113
4.1.4.	80 °C 'de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	116
4.2.	Balistik Deneylerin Sonucu.....	118
4.2.1.	GN Numunesinin Balistik Deney Sonuçları.....	119
4.2.2.	GNFK Numunesinin Balistik Deney Sonuçları.....	126
4.2.3.	GNFKC Numunesinin Balistik Deney Sonuçları.....	131
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	135
6.	KAYNAKLAR.....	137
	ÖZGEÇMİŞ.....	142

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	Santigrat Derece
dk	Dakika
gr	Gram
gr/cm ³	Gram/santimetreküp
kg	Kilogram
m/dak	Metre/Dakika
mm	Milimetre
m/sn	Metre/saniye
MPa	MPa
N	Newton
J	Joule
%	Yüzde
σ	Gerilme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen numuneler.....	4
Şekil 2.2.	Kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen agrega yapıları.....	5
Şekil 2.3.	Kayısı çekirdeği kabuğu ve pamuk sapının astrazon kırmızının renginin giderimi üzerine etkisi pH değerleri	6
Şekil 2.4.	Kayısı çekirdeği kabuğunun 10 °C/dk ısıtma piroliz ürün verimleri	7
Şekil 2.5.	Fındık kabuğundan karbon elde etme verimleri.....	8
Şekil 2.6.	Aktif karbon üretiminde elde edilen SEM görüntüsü.....	8
Şekil 2.7.	Kayısı çekirdeği aktif karbonu ile kurşun gideriminin zamanla Değişimi.....	9
Şekil 2.8.	Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	11
Şekil 2.9.	Kompozit malzemelerin kullanım alanlar.....	13
Şekil 2.10.	Kompozit malzemelerin temel oluşumunun ana omurga yapısı.....	14
Şekil 2.11.	Lif temel boyutlandırmasının ana omurgasının ayrıntılı gösterimi...15	
Şekil 2.12.	Üç boyutlu kompozit malzemeler iplik kesit görünüşü	16
Şekil 2.13.	Dokuma kumaşların örnek gösterimi.....	16
Şekil 2.14.a.	0° / ±45°/ 90° konumlu yapılar.....	17
Şekil 2.14.b.	0° / 90°/ 0° dokuma olmayan yapılar.....	17
Şekil 2.15.	Genel olarak seçilen herhangi bir reçineye ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	21
Şekil 2.16.	Kompozit malzemelerin takviye elemanlarına göre sınıflandırılması	25
Şekil 2.17.	Tabakalı kompozit malzemelerin dizilimi.....	26
Şekil 2.18.	Kompozit malzemelerin matriks elemanlarına göre sınıflandırılması	28
Şekil 2.19.	Grafen nanotozu.....	33
Şekil 2.20.	El yatırması yöntemi.....	35
Şekil 2.21.	Püskürtme ile üretim yöntemi.....	36
Şekil 2.22.	Pultrüzyon ile üretim yöntemi.....	37
Şekil 2.23.	Filaman sarma yöntemi.....	37
Şekil 2.24.	Vakum infüzyon metodu ile üretilen numune.....	39
Şekil 2.25.	Mermi üzerine etki eden kuvvetlerin gösterilmesi.....	41

Şekil 2.26.	Balistik darbe sonucu oluşan hasar şekilleri.....	44
Şekil 2.27.	Balistik darbe sonucu oluşan hasar şekillerinin ayrıntılı gösterimi	45
Şekil 3.1. a.	Bilyalı Tambur Öğütücü.....	51
Şekil 3.1. b.	Eleme Makinası.....	51
Şekil 3.2. a.	Yapıştırıcı.....	52
Şekil 3.2.b.	Sertleştirici.....	52
Şekil 3.3.	Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaş.....	53
Şekil 3.4.	Robuso Şarjlı Kesme Makası Seti.....	54
Şekil 3.5. a.	Aramid kumaş kesimi.....	54
Şekil 3.5. b.	Elyaf kumaş boyut ayarlama.....	54
Şekil 3.6.	Robuso Şarjlı Kesme makasıyla kesilen kumaşlar.....	55
Şekil 3.7.	Terazinin kalibrasyonun yapılması ve kesilen kumaşların tartılması	56
Şekil 3.8.	Vakum infüzyon prosesinde kullanılan elemanlar.....	59
Şekil 3.9.	Vakum infüzyon prosesinde kalıp oluşturmada kullanılan elemanlarının gösterimi	60
Şekil 3.10.	Etrafindan vakumlanıp reçinenin ortadan emdirildiği vakum infüzyon sistemi.....	61
Şekil 3.11.	Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi.....	62
Şekil 3.12.	Vakum infüzyon tezgah.....	63
Şekil 3.13.	Vakum infüzyon pompası ve kristal toplayıcı.....	63
Şekil 3.14.	Vakum naylonunun kesilmesi ve serilmesi.....	64
Şekil 3.15.	Kumaşların vakum naylona serilmesi ve sızdırmazlık bantlarının çekilmesi.....	64
Şekil 3.16.	Peel ply kumaş ve akış filesinin serilmesi.....	65
Şekil 3.17.	Hortumların etrafına sızdırmazlık bandı çekilmesi.....	66
Şekil 3.18.	Ayırarç filmi ve hortumların yerleşimi.....	67
Şekil 3.19.	Epoksi reçine ve epoksi sertleştirici karıştırılması.....	68
Şekil 3.20.	Epoksi reçine-sertleştirici karışımın kalıp içine emdirilmesi.....	69

Şekil 3.21.	Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulanması.....	70
Şekil 3.22.	Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulanması.....	70
Şekil 3.23.	Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı karbon elyaf numuneye epoksi reçine- sertleştirici karışımın kalıp içine emdirilmesi ve kürleşme prosesinin uygulanması.....	71
Şekil 3.24.	Sade numune üretiminin hazırlanması.....	72
Şekil 3.25.	Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun kumaşın üzerine serilmesi.....	73
Şekil 3.26.	Fındık kabuğu tozunun grafen ile kumaşın üzerine serilmesi.....	73
Şekil 3.27.	Ceviz kabuğu tozu ve fındık kabuğu tozunun tabakalara uygulanması.....	74
Şekil 3.28.	Ceviz kabuğu tozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozunun ve grafen tozunun tabakalara uygulanması.....	75
Şekil 3.29.	Aramid kumaşa kabuk tozlarının ve grafen malzemesinin uygulanması	75
Şekil 3.30.	Karbon fiber kumaşa kabuk tozunun ve grafen malzemesinin Uygulanması	76
Şekil 3.31.	Epoksi reçine-sertleştirici karışımının emdirilmesi işlemi.....	77
Şekil 3.32.	20 ve 40 °C’de kürlenmiş 5 kat tabakalı epoksi reçine matriksli numuneler.....	81
Şekil 3.33.	40 °C ‘de kürlenmiş 5 kat tabakalı numunenin Solidworks modeli.....	82
Şekil 3.34.	60 °C ve 80 °C kürlenmiş 5 kat tabakalı epoksi reçine matriksli numuneler.....	82
Şekil 3.35.	20 ve 80 °C değerlerinde kürlenmiş kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler.....	85
Şekil 3.36.	%10 ve % 20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler....	87
Şekil 3.37.	%30 ve % 40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler....	88
Şekil 3.38.	%50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numune.....	89
Şekil 3.39.	GN numunesi.....	92
Şekil 3.40.	GNFCK numunesi.....	94
Şekil 3.41.	GNFCK numunesi.....	96
Şekil 3.42.	Çekme numunelerinin dairesel testere ile kesilmesi.....	102
Şekil 3.43.	Çekme cihazı ve çekme numunelerine ait fotoğraflar.....	103

Şekil 3.44.	9 mm mermi.....	105
Şekil 3.45.	Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.....	105
Şekil 3.46.	9 mm FMJ merminin resmi.....	106
Şekil 3.47.	Malzeme ışın mikroskobu.....	106
Şekil 4.1.	20 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kabuk tozu katkılı Numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği	107
Şekil 4.2.	Çekme numunesi ve 5X mikro yapı fotoğrafı.....	108
Şekil 4.3.	Çekme numunesi ve 5X mikro yapı fotoğrafı.....	108
Şekil 4.4.	40 °C ‘de kürlenmiş sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği.....	109
Şekil 4.5.a.	40°C’deki çekme numuneleri.....	110
Şekil 4.5.b.	Sade numunenin 5X mikro yapı fotoğrafı.....	110
Şekil 4.6.	40°C ‘deki sade numunenin 5X mikro yapı fotoğrafları.....	110
Şekil 4.7.	40°C ‘de kürlenmiş ve % 10 kabuk tozu katkılı 5X mikro yapı fotoğrafı.....	111
Şekil 4.8.	% 20 ve % 30 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin 30X mikro yapı fotoğrafları.....	112
Şekil 4.9.	60 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği.....	113
Şekil 4.10.	60 °C ‘de kürlenmiş sade numuneye ait 5X mikro yapı fotoğrafları.....	114
Şekil 4.11.	60 °C ‘de kürlenmiş kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait 5X mikro yapı fotoğrafları.....	115
Şekil 4.12.	80 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği.....	116
Şekil 4.13.	80 °C ‘de kürlenmiş sade numunenin 20X mikro yapı fotoğrafı.....	117
Şekil 4.14.	80 °C ‘de kürlenmiş %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin 5X mikro yapı fotoğrafları.....	117
Şekil 4.15.	Sarsılmaz B6 tabancanın fotoğrafı.....	118

Şekil 4.16.	Balistik atış sonuçları.....	119
Şekil 4.17.	Balistik çöküntü miktarlarının ölçülmesi.....	119
Şekil 4.18.	Grafen nanotozlu (GN) numuneye ait mermi çarpma hızı – çöküntü miktarı grafiği.....	121
Şekil 4.19.	Grafen nanotozlu (GN) numuneye ait kinetik enerji – çöküntü miktarı grafiği.....	122
Şekil 4.20.	GN ve GNFKC balistik atış sonuçları.....	123
Şekil 4.21.	GN- GNFKC numunelerine ait mermi çarpma hızı- çöküntü miktarı grafiği.....	124
Şekil 4.22.	GN- GNFKC numunelerine ait kinetik enerji - çöküntü miktarı grafiği.....	125
Şekil 4.23.	GNFK numunesine ait atış sonuçları.....	126
Şekil 4.24.	GNFK -GNFKC numunelerine ait atış sonuçlar.....	129
Şekil 4.25.	GNFKC numunesine ait atış sonucu.....	130
Şekil 4.26.	GNFKC numunesinin atış sonuçları.....	131
Şekil 4.27.	GNFKC numunesinin mermi çarpma hızı- çöküntü miktarı grafiği.....	134
Şekil 4.28.	GNFKC numunesinin kinetik enerji – çöküntü miktarı grafiği....	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Kayısı çeşitlerine göre çekirdek boyut özellikleri.....	10
Çizelge 2.2.	Cam elyafların mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 2.3.	Bazı karbon elyafların mekanik özellikleri.....	19
Çizelge 2.4.	Bazı kevlarların mekanik özellikleri.....	20
Çizelge 2.5.	Polyester reçinelerin bazı mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 2.6.	Mermi ve hedeflenen malzeme bakımından balistik performans parametreleri.....	42
Çizelge 3.1.	LY 5052 Huntsman marka reçinenin özellikleri.....	52
Çizelge 3.2.	LY 5052 Huntsman marka sertleştiricinin özellikleri.....	52
Çizelge 3.3.	20 °C ‘de kürlenmiş numuneye ait veriler.....	81
Çizelge 3.4.	40 °C ‘de kürlenmiş numuneye ait veriler.....	81
Çizelge 3.5.	60 °C ‘de kürlenmiş numuneye ait veriler.....	83
Çizelge 3.6.	80 °C ‘de kürlenmiş numuneye ait veriler.....	83
Çizelge 3.7.	20 °C’de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler.....	85
Çizelge 3.8.	60 °C’de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler.....	86
Çizelge 3.9.	80 °C’de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler.....	86
Çizelge 3.10.	%10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler...	87
Çizelge 3.11.	% 20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler...	87
Çizelge 3.12.	% 30 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler...	88
Çizelge 3.13.	% 40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler...	88
Çizelge 3.14.	% 50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler....	89
Çizelge 3.15.	Deneyde kullanılan takviye malzemeleri.....	90
Çizelge 3.16.	Deneyde kullanılan takviye malzemelerinin miktarları.....	91
Çizelge 3.17.	GN numunesine ait veriler.....	92
Çizelge 3.18.	Deneyde kullanılan takviye malzemelerinin miktarları.....	93
Çizelge 3.19.	GNFK numunesine ait veriler.....	95
Çizelge 3.20.	GNFKC numunesine ait veriler.....	97
Çizelge 3.21.	Gökhan zırhının numunesine ait veriler.....	101
Çizelge 3.22.	Kullanılan 9 mm merminin teknik özellikleri.....	104
Çizelge 4.1.	Sarsılmaz B6 tabancasının teknik özellikleri.....	118

Çizelge 4.2.	GN numunesine ait balistik sonuç verileri.....	120
Çizelge 4.3.	Merminin balistik levhaya ait çarpma hızları ve kinetik enerjiler.....	120
Çizelge 4.4.	GN ve GNFKC numunelerine ait balistik sonuçları.....	124
Çizelge 4.5.	GN-GNFKC numunesine ait çarpma hızları.....	125
Çizelge 4.6.	GNFK numunesine ait veriler.....	127
Çizelge 4.7.	GNFK numunesine ait çarpma hız verileri.....	127
Çizelge 4.8.	GNFK – GNFKC numunelerine ait mermi atış hızları.....	128
Çizelge 4.9.	GNFK –GNFKC numunelerine ait mermi atış hızları.....	128
Çizelge 4.10.	GNFK numunesine ait hızlar ve enerjiler.....	129
Çizelge 4.11.	GNFKC numunesine ait atış sonuçları.....	129
Çizelge 4.12.	GNFKC numunesine ait mermi atış hızları.....	132
Çizelge 4.13.	Gökhan zırhının balistik çarpma hız sonuçları.....	132

1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler; en az iki farklı malzemenin makro boyutlarda birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni malzemelerdir. Kompozit malzemelerin günlük yaşama katkı sunacak biçimde üretilmesindeki amaç, kullanım alanlarına göre istenen şartları sağlayabilecek malzemelere yeni özellikler kazandırmaktır.

Kompozit malzemeler insanoğlunun yaşamındaki her alanda önemli bir yere sahiptir. Günümüzde kompozit malzemeler mühendislik, kimya, fizik ve tıp gibi bilim dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır Kompozit malzemeler aynı zamanda diğer bilim alanlarında bileşik malzeme olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, kompozit malzemeler maliyet, dayanım, uzun ömür, esneklik ve hafiflik gibi özelliklerden dolayı geniş bir kullanım yelpazesine sahiptirler.

Kompozit malzeme sadece günümüze ait olan bir malzeme olarak görülmemelidir. Bu kavram, Tarih Bilimi içerisinde değerlendirildiğinde, geçmiş zamanda ilk kerpiç yapının inşasından, asfalt ve betonarmeye kadar uzanan bir zaman dilimine dayanmaktadır.

Savunma ve askeri alanlarındaki ilk kompozit örnekleri plastik materyaller halinde 2.Dünya Savaşı sırasında üretilmiştir. Bu türdeki malzemeler ancak 1946'dan sonra tüm dünyada rağbet görebilecek şekilde ticari boyut halini almıştır. Kompozit malzeme bilimindeki gelişmeler göz önünde bulundurulursa, dünyamızda sürekli yenilenen bir malzemedir. Kompozit malzemelerde geçmişten günümüze kadar geçen zaman içerisinde gerek takviye malzemelerinde, gerekse de matris malzemelerinde sayılamayacak kadar bir nitelikte yeniliklere gidilmiştir. Geçmiş ile günümüz zaman dilimi içerisinde incelediğinde kompozit malzemeler kendiliğinden bir çağrışım niteliği oluşturma haline sahiptir. Farklı özellikler açısından yeni kombinasyonlar uygulanarak, istenen özelliklerden daha fazla yüksek verimlilik değerlerine sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. Bileşik malzemeler, son yıllarda hızlı ilerleyen bir gelişme göstermiş ve bu hızlı gelişmeyi sürdürmeye devam etme niteliğine sahip olan bir malzemedir.

Yaşadığımız çağda, yeni nesil kompozit malzemeler kısa zamanda gelişme göstererek, oldukça yüksek bir oranda kullanım potansiyeline sahip olmuştur. Çağımız içerisinde kompozitlerin kullanım alanları oldukça ilerlemiş ve çağımızın ilerisine çağrışım yapabilecek bir duruma gelmiştir. Teorik açıdan değerlendirildiğinde, sonsuz ömürlü olma kazanma potansiyeli ve neredeyse sonsuz kullanım alanına göre üretilen kompozit malzemeler, bu özellikler sayesinde malzeme bilimine daha iyi katkılar sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerde, matriks reçinesinin ve sertleştiricisinin özellikleri, takviye malzemesinin türü ve yerleştirme biçimi oldukça önemlidir. Bu durum kompozitin kimyasal, mekanik, ısı ve fiziksel özelliklerini etkileyebilmektedir. Ayrıca kompozitler konvansiyonel imalat malzemelerine göre, malzeme bilimini çok farklı bir boyuta taşımaktadır. Daha önceki yapılan bilimsel araştırmalar göz önünde bulundurulduğunda ve bu araştırma sonuçları kıyaslamalar neticesinde, kompozit malzemelerin konvansiyonel mühendislik malzemelerine göre daha ciddi bir rakip konumuna gelmesi kaçınılmazdır.

Kompozit malzemeler, sahip oldukları üstün nitelik özellikleri sayesinde anlamsal açıdan yeni olma özelliği kavramı yüklenmektedir. Gezegenimizde, yaşayan 7.3 milyar insanın her birine düşen sayısal kompozit tüketimi, nitelikten niceliğe dönüşen bir ölçüt halini almıştır. Nitekim çağımızda gelişme olan ülkelerde kişi başına olan kompozit kullanım miktarı, ülkemizdekine oranla 9.98 kat daha fazladır. Kompozit malzemelerin kullanımının dünya ortalaması % 3 mertebesinde iken, Türkiye 'de bu oran yaklaşık %13 mertebesinde. Ülkemizde bu oranın artması, gelecek 10 yıl içerisinde ülkemizin gelişmiş ülkeler arasında önemli bir yere sahip olacağının kanıtıdır.

Kompozit malzemeler, çok farklı üstün niteliklere sahip olabilmesinden dolayı, standart nitelikteki özellikleri olan konvansiyonel malzemelere göre, bir tartışmayı da beraberinde getirmektedir. Konvasiyonel malzemelerde, çağımızda fiziksel ve kimyasal özellikler test edilebilir ve tanımlanabilir durumdadır. Ancak kompozit malzemelerde, çeşitliliğin ve karakter farklılıkları henüz tanımlanmamıştır. Bileşik malzemelerde ölçümlenememiş özelliklerin bulunması, malzemeyle ilgili özelliklerde yanıt bulunamayan problemler meydana getirmektedir. Kompozit malzemeler araştırmaya ve gelişmeye açık bir alan haline gelmiştir.[1]

Türkiye’de kompozit malzeme teknolojsinin başlangıcı “Anadol” marka otomobilin kaportası ile olmuştur. Uzun yıllar boyunca süren, el yatırması olarak tabir edilen en ilkel yapılan kompozit ürünlerin, makinalar yardımı ile üretimi oldukça zaman almıştır. [1]

Hızlı kentleşme ve aşırı insan nüfusunun artışıyla birlikte sanayileşme, tarım alanlarının sınırlandırılması ve çevrenin tahrip edilmesi gibi etmenler insan yaşamında etkili olmaktadır. İnsanlar doğadaki tarımsal atıkların geri dönüşümünü ve bu atıkların kullanılabileceği yeni alanlar aramaya yönelmektedir. Bu sebepler neticesinde, insanların tarımsal atıkları kompozit malzemeler sınıfına dahil etmesi son derece önemli bir rol oynamıştır. Bu kapsamda çalışmada Malatya Kayısısının çekirdek kabuğunun tozundan faydalanılarak tarımsal atıkların niteliğinin kapsamı araştırılmasıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaynak Özetleri

Kayısı çekirdeği ile yapılan çalışmalar çeşitli alanlarda karşımıza çıkmaktadır. İlk aşamada kayısı çekirdeği kabuğunun araştırmalarından olan Adıyaman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümündeki önemli çalışmalardan biri olarak yalıtım malzemesi olarak Vahdettin Koç ve İbrahim Sancar tarafından yapılmıştır. Çalışmanın amacı, kayısı çekirdeğinin yalıtım malzemesinin kullanılabilirliğinin araştırılması ve tarımsal malzemelerin geri dönüşümünün olduğu kanıtlanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen numunelerin fotoğrafları Şekil 2.1 'de gösterilmiştir. [2]



Şekil 2.1. Kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen numuneler [2].

İkinci çalışma ise yine bu alanda kayısı çekirdeği kabuğunun beton malzemelere uygulanması ve araştırılması olmuştur. Prof. Dr. Servet Yıldız tarafından Fırat Üniversitesi Yapı Anabilim dalında “Kayısı Çekirdeği Kabuğu İlave Edilmesi İle Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin Araştırılması” şeklinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada amaç olarak kayısı çekirdeğinin beton numune üzerindeki etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Beton içerisine agrega yerine hacimce %5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında kayısı çekirdeği kabuğu katılarak hafif beton elde edilmeye çalışılmış ve numunelerin mikroskopik çalışmaları yapılmıştır. [3]

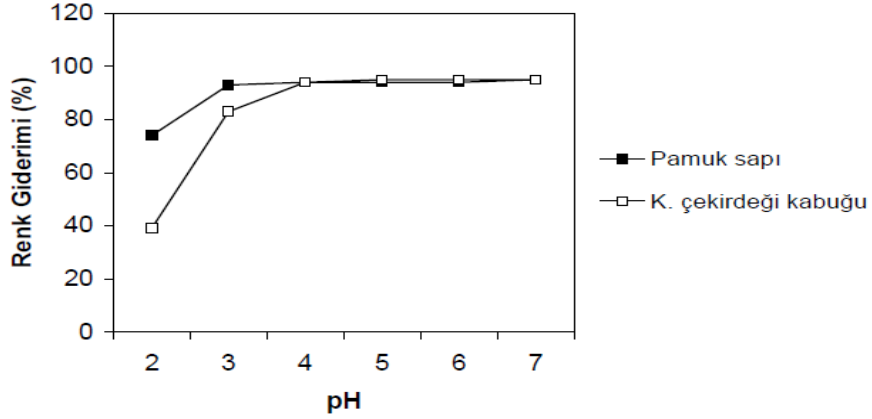
Basınç presinde kırılan numuneleri kırılma yüzeylerinden alınan parçalar, çimento harcı ile kayısı çekirdeği kabuğu arasındaki bağ kuvvetlerinin değerlendirilmesi amacıyla, SEM ve EDX analizlerine tabi tutulmuşlardır. Kayısı çekirdeği kabuğundan, üretilen agreg a yapıları Şekil 2.2 'de verilmektedir. [3]



Şekil 2.2. Kayısı çekirdeği kabuğundan üretilen agreg a yapıları [3]

Bu çalışmada, sıvı çözeltilerden boya ları (Astrazon mavi, kırmızı, siyah ve sarı) gidermek için pamuk sapı ve kayısı çekirdeği kabuğu biyosorbent olarak kullanılmıştır. Boya giderimi üzerine başlangıç pH'sı ve boya konsantrasyonu, adsorbent miktarı, adsorbent partikül büyüklüğü ve çalkalama hızı gibi çeşitli deneysel parametrelerin etkisi çalışılmış ve optimum deneysel koşullar belirlenmiştir. Sonuçlar, adsorbent miktarının artmasına ve adsorbent partikül büyüklüğünün azalmasına bağlı olarak boya giderim oranının arttığını göstermektedir.

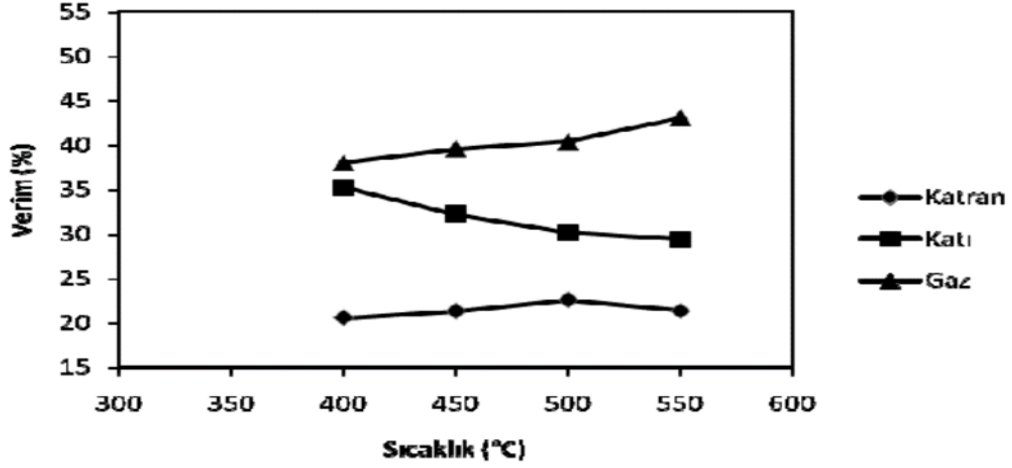
İki tarımsal atık ile boyaların renginin giderimi başlangıç boya konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Kayısı çekirdeği kabuğu ve pamuk sapının astrazon kırmızısının renginin giderimi üzerine etkisi pH değerleri Şekil 2.3 'de gösterilmektedir. [4]



Şekil 2.3. Kayısı çekirdeği kabuğu ve pamuk sapının astrazon kırmızısının renginin giderimi üzerine etkisi pH değerleri [4]

Bu alanda yapılan en önemli çalışmalardan biri olarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalında “Kayısı Çekirdeği Ve Kestane Kabuklarının Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi” bir çalışma yapılmıştır. Bu bilimsel çalışmada, kayısı çekirdeği kabuğu ve kestane kabuğu artıklarının alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğu ve kestane kabuğunun enerji kullanımı açısından araştırılması için sabit yatak reaktöründe pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz deneyleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, ısıtma hızı (10, 50 °C/dk), piroliz sıcaklığı (350, 400, 450, 500, 550, °C), sürükleyici gaz akış hızı (50, 100, 150, 200 cm³/dk) gibi piroliz parametrelerinin piroliz ürün verimlerine etkisi incelenmiştir. [5]

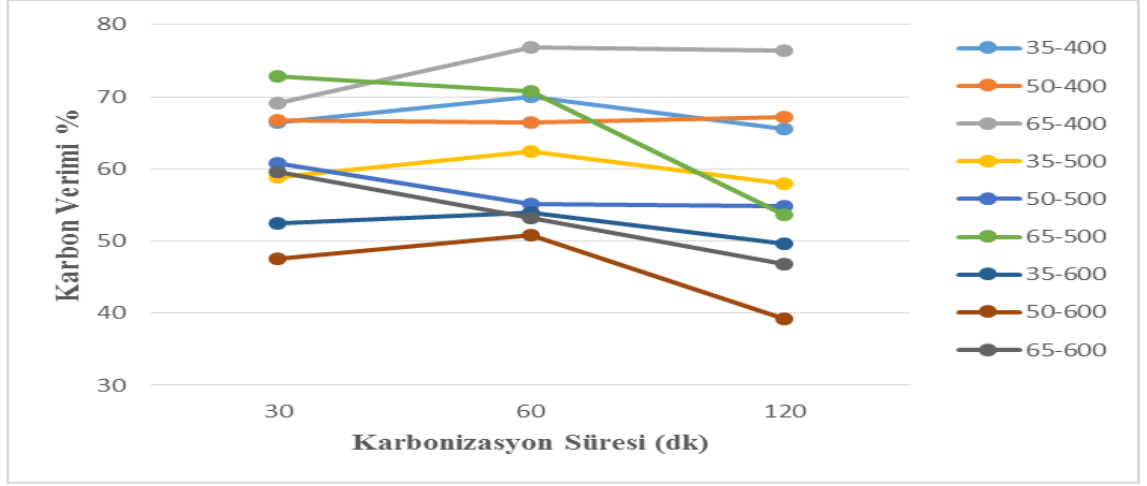
Çalışmada kayısı çekirdeği kabuğunun ve kestane kabuğunun pirolizi gerçekleştirilerek, elde edilen katranların biyoyakıt olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu bilimsel çalışmadaki, kayısı çekirdeği kabuğuna ait 10 °C/dk ısıtma hızında piroliz ürün verimleri Şekil 2.4 ‘te görülmektedir. [5]



Şekil 2.4. Kayısı çekirdeği kabuğunun 10 °C/dk ısıtma hızında piroliz ürün verimleri [5]

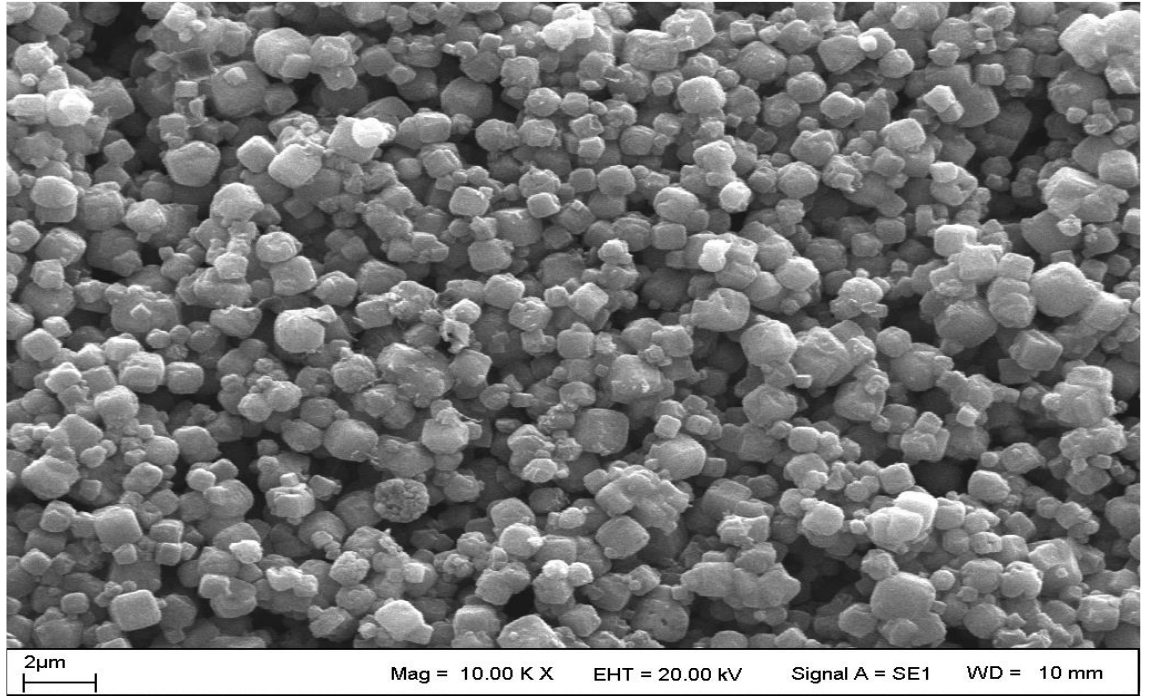
Çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesinde yetiştirilen fındığın kabuğundan aktif karbon üretmek için hammadde olarak kullanılmıştır. Aktif karbon üretiminde kimyasal aktivasyon prosesi uygulanmıştır. Kimyasal aktivasyon prosesinde H₃PO₄ ve H₃PO₄ + Borik asitin etkisi fındık kabuğu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kimyasal aktivasyon deney seçilen parametreler doğrultusunda farklı sıcaklıklarda, asit konsantrasyonu derişimlerine ve süreye bağı olarak yapılmıştır. Bu kapsamda, fındık kabuğunun adsorpsiyon özelliklerine, yüzey alanına ve uygun gözenekli boyut dağılımına sahip aktif karbon üretimi gerçekleştirilmiştir. [6]

Çalışmada ayrıca, üretilen fındık kabuklarının sabit karbon miktarı, gözenek boyutu, yüzey alanı ve hacmi, kül, sabit karbon miktarı gibi analizleri yapılmış uygun aktif karbon prosesi belirlenmiştir [6]. Şekil 2.5 ‘te fındık kabuğundan karbon elde etme verileri gösterilmiştir.



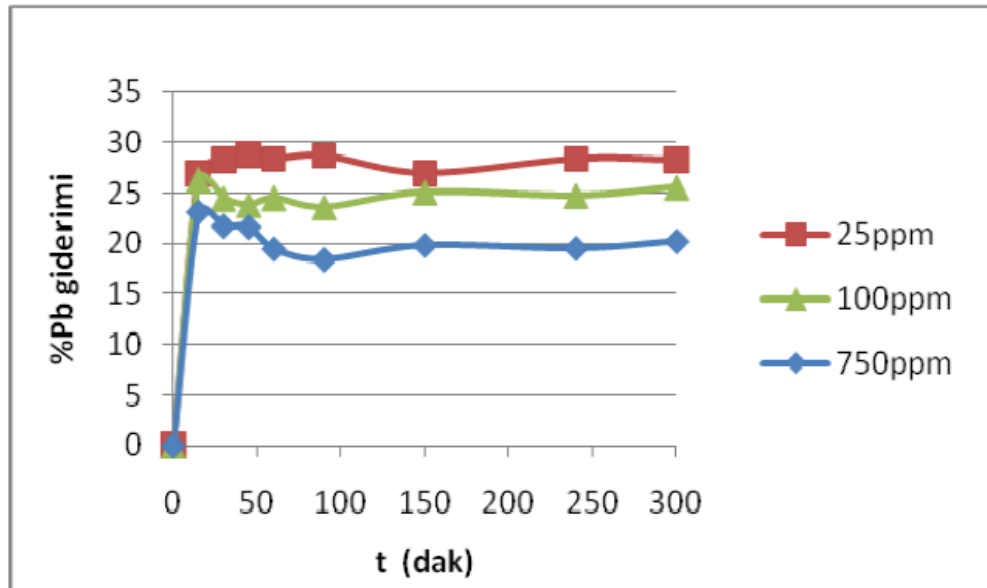
Şekil 2.5. Fındık kabuğundan karbon elde etme verimleri [6]

Bu tez çalışmasında yenilenebilir bir biyokütle olan kayısı çekirdeği kabuğundan 21. yüzyıl materyali olan karbon nano tüpün en etkin yöntem olan kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile sentezi incelenmiştir. Çalışmada; karbon nano tüp büyümesine biriktirme materyallerinin, taşıyıcı gaz akış hızının, reaksiyon sıcaklığının ve süresinin etkisi, farklı tip reaktörlerde, araştırılmıştır. Elde edilen karbon ürünün yapısal/morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir[7]. Çalışmaya ait mikrosop görüntüsü Şekil 2.6 'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Aktif karbon üretiminde elde edilen SEM görüntüsü [7]

Bu bilimsel çalışmada, bitkisel artıklardan ucuz olarak elde edilen adsorbanlar ile önemli derecede çevreyi kirletme özelliği olan kurşunun endüstriyel atık sulardan giderilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmada Bursa ilinden temin edilen kestane kabukları ve Malatya ilinden temin edilen kayısı çekirdeklerinden üretilen aktif karbonlar adsorban olarak kullanılmıştır. Yapılan deneylerde öncelikle optimum adsorpsiyon süresi ve uygun adsorpsiyon koşullarını belirlenmiştir. Çalışmada sulu çözeltideki kurşun iyonlarının derişimi ve sıcaklık gibi parametrelerin adsorpsiyon sürecine olan etkileri incelenmiştir. Son olarak adsorpsiyon öncesi ve sonrası elde edilen SEM mikroyapı görüntüleri karşılaştırılarak yorumlanmıştır [8]. Kayısı çekirdeği aktif karbonu ile kurşun gideriminin zamanla değişimi Şekil 2.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kayısı çekirdeği aktif karbonu ile kurşun gideriminin zamanla değişimi [8]

Materyal olarak, Malatya ve çevresinde yetiştirilen kayısı çekirdekleri kullanılmıştır. Kayısı çekirdeklerinin en, boy ve yükseklik boyutları vardır. Boyun enine oranına da indeks denilmektedir.[9]

Türkiye'de yaygın olarak üretilen kayısı çekirdeklerinin boyut özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. Çizelge 2.1' de de görüldüğü gibi kayısı çekirdek çeşitleri değişik boyutlardadır. Farklı kayısı çekirdek çeşitlerinin boyutları farklı olduğu gibi, aynı çeşit kayısı çekirdeklerinin boyutları da farklılık göstermektedir.[10]

Çizelge 2.1. Kayısı çeşitlerine göre çekirdek boyut özellikleri

Kayısı Çeşitleri	En (mm)	Yükseklik (mm)	Boy (mm)	İndeks (Boy/Yükseklik)	Ağırlık (kg)
Kadıoğlu	17.12	11.60	25.46	1.48	2.57
Soğanlı	19.78	14.20	23.81	1.19	2.90
Çataloğlu	14.66	10.52	23.40	1.59	1.61
Kabaaşı	19.10	12.62	30.20	1.58	3.29
HacıHaliloğlu	16.19	11.03	25.53	1.57	1.94
Çöloğlu	17.26	12.52	25.27	1.46	2.53

2.2. Çalışmanın Literatürden Farklılığı

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında vakum infüzyon yöntemi yardımıyla, kayısı çekirdeği kabuğu tozundan yeni nesil malzemeler üretimi prosesi yapılmıştır. Tarımsal atıkların hammadde girdisi olarak oranı düşük olup ve günümüzde gelişen hızlı kompozit malzeme teknolojisine katkı sağlayacak biçimde olması hedeflenmiştir. Bu çalışmada da Dünya Kayısı Başkenti olan Malatya ilimizin kayısı meyvesinin çekirdeğinden elde edilen ve tarımsal atık ürünü olarak değerlendirilen kayısı çekirdeği kabuğunun, kompozit malzemelere uygulanmıştır. Bu uygulamalardaki amaç, doğayla uyumlu yeni bileşik malzemelerin geliştirilmesidir.

2.3. Kuramsal Temeller

2.3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri sahip olan iki malzemenin birleştirilmesi sonucu meydana gelen malzeme grubuna denilir. Farklı özellikteki maddeleri bir araya getirmenin amacı, kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenlerin içermediği üstün bir özelliği sahip malzemelerin elde edilmesi içindir. Diğer bir deyişle, üretimi yapılacak olan kompozit malzemenin bileşenlerinden daha kapsamlı üstün özelliklere sahip olması amaçlanmıştır. Kompozit malzemelerin kullanım alanları Şekil 2.8 'de gösterilmiştir.[11]



Şekil 2.8. Kompozit malzemelerin kullanım alanları [11]

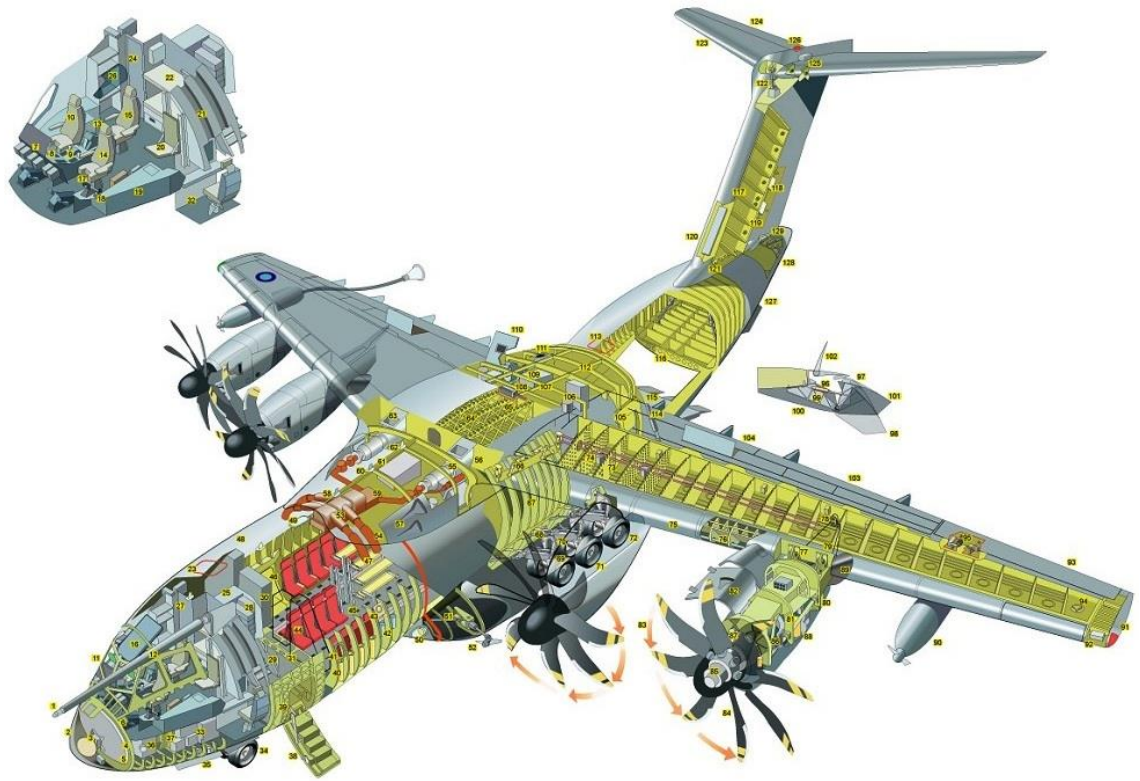
Günümüzde, günlük hayatta karşımıza çıkan kompozit malzemelerin gösterdiği yüksek mukavemet, rijitlik ve hafiflik gibi özelliklerden dolayı bilimsel alandaki uygulama alanları oldukça geniş bir yelpazeye hitap etmektedir. Bundan dolayı kompozit malzemelerin kullanım alanları insan yaşamında bisiklet lastiğinden balıkçılık malzemelerine kadar her alanda görülmektedir.[11]

2.3.1.1. Uzay ve Havacılık Sanayi

Kompozit malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde tercih edilmesinin sebebi hafif, dayanıklı ve sağlam karaktere sahip olmasındandır. Bileşik malzemeler uzay ve hava araçlarında yakıt tasarrufu, yüksek hız ve verimliliği sağlamak için kullanılır. Aynı zamanda birleşik malzemelerin kullanım amacı kapsamında stratejik performanslar ve ucuz maliyetler de göz önünde bulundurulmaktadır. [12]

2.3.1.2. Silah ve Mühimmat Sanayi

Birleşik malzemelerin savunma sanayinde kullanımı yaygın değildir. Savunma sanayinde küçük çaptaki havan topları için çalışma yapılmıştır. Savunma sanayinde 3000 bara kadar dayanabilen silahlar için kompozit malzemelerin kullanımları yeni bir boyut kazanmıştır.[13]. Şekil 2. 9’da Kompozit malzemelerin mühimmat sanayisinde kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Kompozit malzemelerin mühimmat sanayisinde kullanım alanları [13]

2.3.1.3. Otomotiv ve Taşımacılık Sanayi

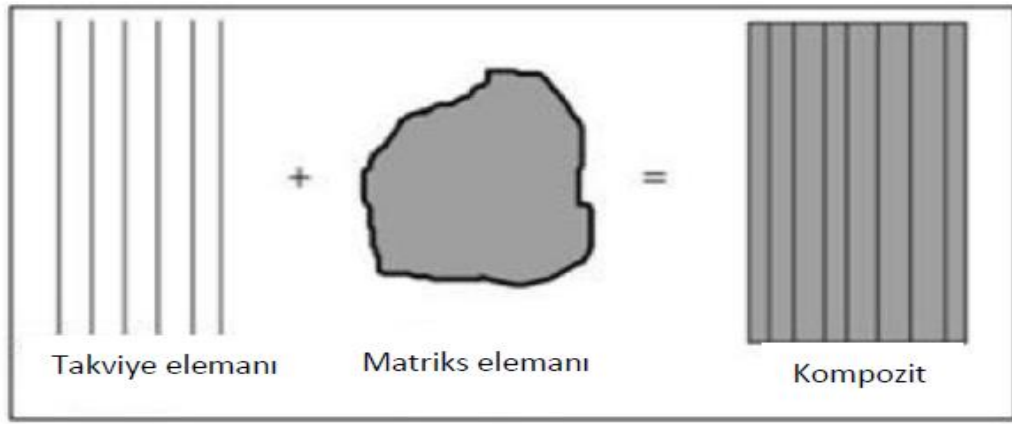
Otomotiv sanayisinde yakıt tasarrufu önemli bir problem olduğundan, otomobil üreticileri otomobil ağırlığını azaltacak yeni malzeme araştırılmasına ihtiyaç duymaktadırlar. Petrol yakıtlarına alternatif olarak üretilen hibrit araçların motorları daha az güç sağladığından, aracın ağırlığı oldukça önemlidir. Bu yüzden hafif araçların üretilmesinde yeni nesil kompozitlerin üretilmesi de zorunlu hale gelmiştir.[14]

Kompozit malzemeler, çelik ve alüminyum gibi malzemelerle mukayese edildiğinde, katılığın özgül ağırlığa oranı bakımından sayısal değer olarak birkaç kat daha fazladır [15].Bu nedenle kompozit malzemelerde ağırlığın azaltılması kaçınılmazdır.[16]

2.3.1.4. Kompozit Malzemelerin Bileşenleri

Kompozit malzemeler, matriks elemanı ve takviye elemanı olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Bu iki malzeme grubundan, takviye malzemesi kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini belirler.[17]

Matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Şekil 2.10 'da kompozit malzemelerin temel oluşumunun ana omurga yapısı verilmektedir.[18]



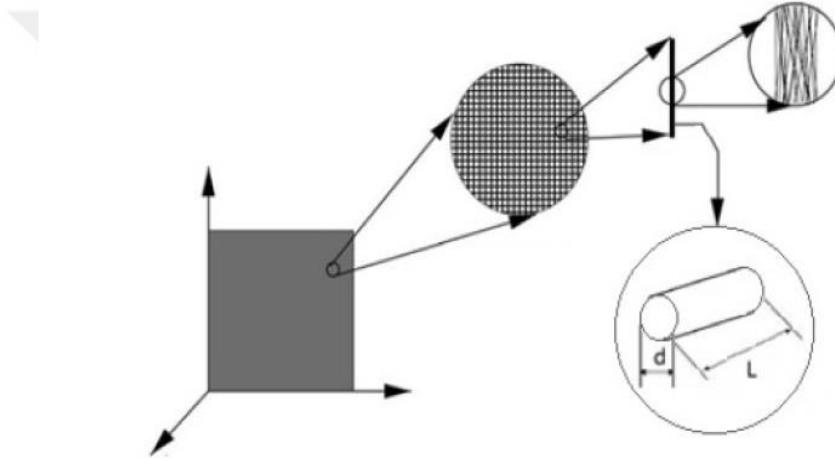
Şekil 2.10. Kompozit malzemelerin temel oluşumunun ana omurga yapısı[18]

2.3.1.5. Takviye Elemanları

Bileşik malzemelerin ana omurgasını oluşturan takviye elemanı dokuma yapılar ve dokuma olmayan yapılar olmak üzere iki şekilde gruplandırılmaktadır.[19]

2.3.5.1.1. Dokuma Yapılar

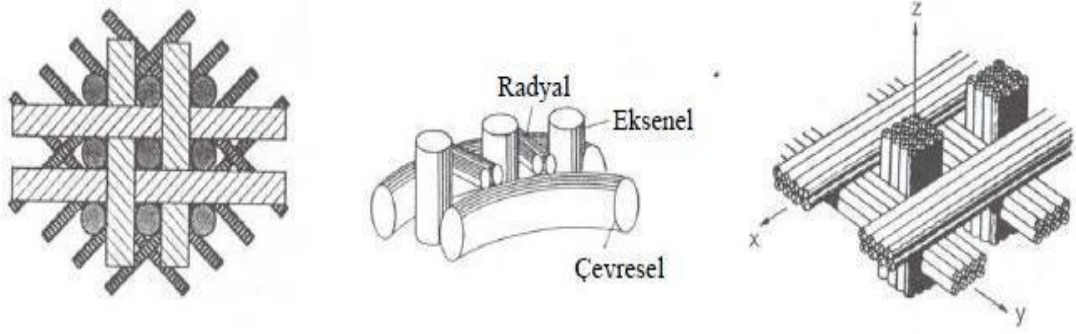
Kompozit bir tabakada farklı yönlerde eşit bir dayanım özellikleri sağlayabilmek için kumaş şeklinde dokunmuş elyaf lar kullanılır. Dokunmuş elyaf lif kelimesinin sayıca daha fazlası anlamına gelmektedir. Lif çaplarının ortalama olarak sayısal değeri 0,01 mm civarındadır (Şekil 2.11). Lif yapılarının narinlik oranlarının ise yaklaşık 10000'e kadar bir değere ulaşabilmektedir. $(L/d \leq 10^4)$ [20]



Şekil 2.11. Lif temel boyutlandırmasının ana omurgasının ayrıntılı gösterimi[20]

Elyaf dokumalar 2 boyutlu ve 3 boyutlu olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Üç boyutlu kompozit malzemelerde üç çeşit mevcuttur. Dikey, açılı interlok ve tabakalı yapıdır.

Bunların iplik kesit görünüşü Şekil 2.12 'de ve Şekil 2.13'de dokuma kumaşların örnek olarak gösterilmektedir. Lif yapısı arasındaki farklılık, kalınlık yönü (bağlayıcı) plakaların diğer yapıları birbirini bağlama biçimiyle ilgilidir. [21]



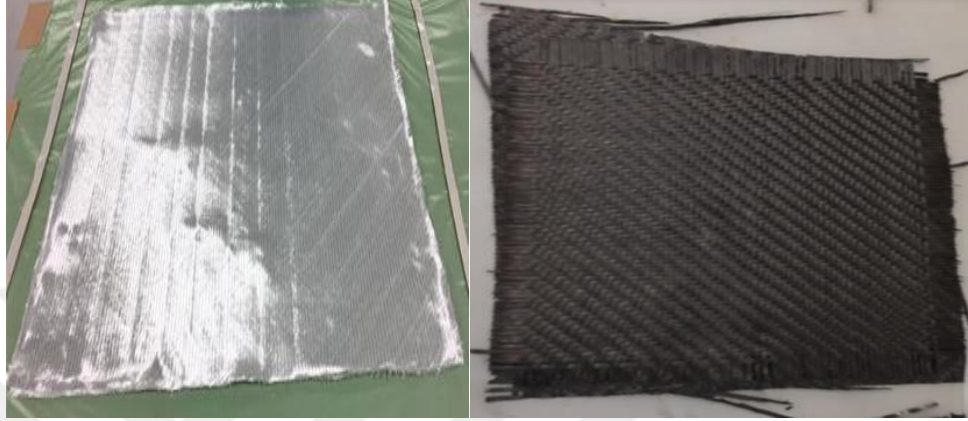
Şekil 2.12. Üç boyutlu kompozit malzemeler iplik kesit görünüşü [21]



Şekil 2.13. Dokuma kumaşların örnek gösterimi

2.3.5.1.2. Dokuma Olmayan Yapılar

Dokuma olmayan yapılar bir tabakanın aynı özelliklere sahip diğer bir tabaka ile Şekil 2.14' de gösterildiği gibi 0° , 30° , 45° , 60° veya 90° konumda ve bunların birleşimi olacak şekilde bağlayıcı kullanılarak bir reçine yardımıyla birleştirilmesi sonucu üretilen yapılardır.[22]



(a)

(b)

Şekil 2.14.a) $0^\circ / \pm 45^\circ / 90^\circ$ konumlu, b) $0^\circ / 90^\circ / 0^\circ$ dokuma olmayan yapılar

2.3.5.3. Takviye Elemanları Çeşitleri

Polimer matrisli kompozit yapılarda kullanılan farklı özelliklere sahip olan muhtelif elyaf grupları mevcuttur.[23]

2.3.5.3.1. Cam Elyaflar

Cam elyafın esasını silisyum dioksit (SiO_2) oluşturmaktadır. Bununla birlikte belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerini de içerebilmektedir. Plastik esaslı kompozitlerde yaygın biçimde kullanılır ve ucuz bir takviye malzemesi olarak tercih edilir.[24]

Yapılan daha önceki araştırmalar ışığında, matriks malzemelerinin değişik amaçlara yönelik kullanılması sonucunda birçok cam elyaf çeşidi geliştirilmiştir. Bunlar A (Alkali) cam, C (Korozyon) camı, E (Elektrik) camı ve S (Mukavemet) camı şeklindedir [25]. Cam elyafların çeşitlerine ait özellikler Çizelge 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Cam elyafların mekanik özellikleri [25]

Özellik	A	C	E	S
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	2.50	2.49	2.48	2.54
Elastisite Modülü (GPa)	-	69	87	72
Çekme Mukavemeti(MPa)	3033	3033	4585	3448

2.3.6.3.2. Karbon Elyaflar

Karbon elyaf, günümüz teknolojisinde kritik uygulamalarda kullanılmakta olup bir kumaş formunda üretilmektedir. Karbon elyafların en önemli özelliği; düşük yoğunluklarının sahip olmasının yanı sıra yüksek darbe dayanımı ve tokluk değerleri sayabiliriz. Bu kapsamda sürünme, aşınma ve yorulma dayanımlarının da yüksek olduğu bilinmektedir.[26]

Karbon fiber veya karbon elyaf, teknoloji ürünü olan ipliksi türü bir maddedir. Ana bileşimleri karbonlaşmış akrilik elyaf (orlon), katran ve naylondan oluşur. Karbon fiberler yapısal bakımdan, çelikten 5 kat daha hafif olup, çeliğe göre 3 kat daha dayanıklı haldedir.

Karbon elyaf naylon türevi özelliğine sahip malzemeler gibi daha dayanıklı değildir. Ancak, diğer malzemelere göre oldukça daha sert ve daha fazla dayanıklıdır. Karbon elyaf, kelimesinin kökeni Arapça 'dan gelmekte olup , molekül yapısı ise bal peteği biçimindedir. Bu molekül yapısından olduğu için parçacıklar birbirini bırakmamaktadır. Karbon elyaf malzemelerle, bir insanın normal saç telinden 10 kat daha ince malzemeler yapmak mümkündür [27]. Bazı karbon elyafların özellikleri Çizelge 2.3 'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı karbon elyafların mekanik özellikleri[27]

Ürün Kodu	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Thornel P25	1,90	160	1400
T300 3K	1,79	231	3650

Karbon elyaflar dayanıklı bir malzeme olmasına rağmen, bazı dezavantajlarında bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi liflerinin sınırlı uzama özelliğidir. Liflerin sınırlı olması özelliği, karbon elyafın darbe dayanımı sorunlarına neden olmaktadır. Karbon elyaflardaki darbe dayanımı gidermek için, daha yüksek uzama özellikli elyaf araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.[28]

2.3.6.3.3. Aramid Elyaflar

Aramid, poliamid (naylon) sınıfından bir polimerdir. Kevlar adı ile de bilinir. Çeliğe yakın bir sertliği vardır.

Aramid lifi, yüksek dayanım özelliklerine, yüksek ısı ve sıcaklığa karşı dayanıklı olan bir lif türüdür. Savunma sanayinde askeri balistik zırh ve giysi bileşimlerinde kullanılmaktadır. Aramid ismi, aramid ve poliamid terimlerinin birleşiminden meydana gelir. [29]

Aramid, naylon türevi bir maddedir. Diğer naylon türevlerine göre daha yüksek dayanıma ve modüle sahip ilk organik elyafıdır. Aramid lifleri, ilk olarak çelik tellerin yerine kullanılması için 1965 yılında icat edilmiştir. [29]. Çizelge 2.4 ‘de bazı aramid (kevlar) mekanik özellikleri verilmiştir. Aramidler meta aramid ve para aramid olmak üzere iki ana elyaf türünde sınıflandırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan türleri para aramidler olup, bu tür kevlarların kimyevi bileşimi poli para fenilen terepitemamiddir.

Çizelge 2.4. Bazı kevlarların mekanik özellikleri [29]

Aramid Türü	Yoğunluk (gr/cm ³)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Kevlar 29	1,44	70	3600
Kevlar 49	1,44	131	3800
Kevlar 149	1,47	186	3400

2.3.6. Matriks Malzemeleri

2.3.6.1. Reçine Sistemlerine Giriş

Birleşik malzemelerde kullanılacak olan herhangi bir reçine sisteminden aşağıdaki özelliklerin olması gerekmektedir:

- İyi yapışma özellikleri
- İyi mekanik özellikler
- İyi mukavemet özellikleri
- Çevresel etkenlere karşı dirençli ve kararlı olma hali.

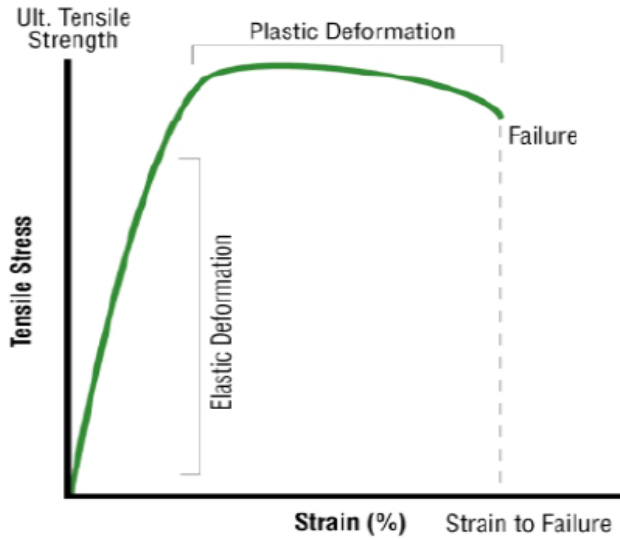
Fiber takviyeli kompozitlerde kullanılan reçineler, bazen ‘polimerler’ olarak adlandırılmaktadır. Tüm polimerler, birbirini tekrar eden basit birimlerin uzun zincir moleküllerinden oluşma özelliğine sahiptir. Bu şartlarda yaygın olan karakteristik sergiler. İnsan yapımı olan polimerlere genellikle ‘sentetik reçine’ veya temel olarak ‘reçine’ adı verilir. Polimerler, ısının özelliklerine etkisi bakımından, temel olarak ‘termoplastik’ ve ‘termoset’ olarak iki gruba sınıflandırılabilir.[30]

Termoplastik; polyester reçineden üretilen bir plastik türüdür. Bu tür malzemeler, ısıtıldığında homojen bir sıvı haline gelir. Aynı zamanda soğutulduklarında ise sertleşen bir yapıya sahiptirler. Ancak termoplastikler dondurulduklarında cama benzer bir yapı oluştururlar ve çatlamaya elverişli bir hale gelirler. Malzemeyi meydana getiren bu nitelikli özellikler tersine çevrilebilmektedir. Termoplastikler sahip olduğu nitelikli özellikler sayesinde geri dönüştürülmesi kolay olup, malzemeler tekrar ısıtılıp, yeniden şekillendirebilir ve dondurulabilmektedir. [31]

Termoset plastikler, ısıtıldıklarında ve şekil verildiklerinde yeniden işlenemeyen ve geri dönüşü olmayan malzemelerdir. Termoset plastikler, işlendikten sonra üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturarak kimyasal değişime maruz kalan sentetik yapıdaki malzemelerdir. [31]

2.3.6.2. Reçine Sistemlerinin Mekanik Özellikleri

Şekil 2.15’de ‘ideal’ reçine sistemleri için gerilme-şekil değiştirme eğrisi görülmektedir. Bu eğrideki kullanılan herhangi bir reçine için yüksek mukavemet, yüksek rijitlik (eğri eğiminden) ve yüksek kırılma uzaması gibi özellikler sıralanabilmektedir. Bu eğriden bu reçinenin öncelikli olarak rijit, ancak aynı zamanda kırılkan olmadığı yorumu sonucu çıkarılabilmektedir.[32]



Şekil 2.15. Genel olarak seçilen herhangi bir reçineye ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı [32]

2.6.6.3. Reçine Sistemlerinin Yapışma Özellikleri

Bir reçinenin fibere yapışma kabiliyeti mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu kapsamda mukavemet bir malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Ayrıca kompozit bir malzeme içerisinde dayanımın doğruluk payının kesin olarak elde edilebilmesi güçtür. Bir reçine sisteminin gerilme-şekil değiştirme eğrisi tek başına malzemenin mukavemet özellikleri hakkında bazı ipuçları vermektedir. Genel olarak reçine kırılma öncesi ne kadar çok deformasyona uğrarsa, o ölçüdeki dayanımı ve kırılmaya karşı olan direnci de yükselecektir.[32]

2.6.6.4. Reçine Sistemlerinin Çevresel Özellikleri

Reçinelerin birtakım çevresel etkilere suya, ultraviyole ışınalara, kimyasallara ve agresif maddelere karşı dirençlerinin yüksek özelliklere sahip derecelerde olması istenir. Özellikle kompozit malzeme bilimi açısından, deniz ortamındaki çalışılan kompozitler için kaçınılmaz bir hal alacaktır.

2.3.7. Reçine Sistemlerinin Sınıflandırılması

2.3.7.1. Polyester Reçineler

Polyester reçine, organik asitler ve alkoller arasındaki reaksiyonla üretilen sentetik bir malzemedir. Sıvı, jel ve film gibi çeşitli formları alabilir ve birçok endüstride yararlı bir malzeme haline getiren farklı özelliklere sahiptir. Mimarlar, inşaatçılar, mühendisler ve tasarımcılar, çeşitli uygulamalarda polyester reçinesinin hafif, hava koşullarına dayanıklılık avantajından yararlanmaktadır. Polyester reçineler, iyi mekanik özellikler, korozyon direnci ve düşük ağırlık avantajlarından yararlanılabilecek bir dizi uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviye edilmemiş versiyonlar en yaygın olarak; dökme reçineleri, kaplamaları, düğmeleri, hacim doldurucularını, çalışma yüzeylerini (polyester mermer gibi), polyester beton (yol drenajı gibi uygulamalar için) ve jel katları (kompozit materyallerin yüzey bitirmesini iyileştirmek için) gibi alanlarda görülmektedir.[32]

2.3.7.1.1. Kimyasal Yapı

Polyester reçinelerin belirli bir süre içerisinde raf ömrü vardır, çünkü uzunca bir sürenin sonunda kendi kendilerine jelleşme adı verilen bir hale geçerler. Çoğu kez bu jelleşmeyi yavaşlatmak için, üretim işlemi süresi içerisinde belirli miktarda inhibitörler kullanılır.[32]

2.3.7.1.2. Polyester Reçine Karışımı

Polyester reçine karışımlar, genellikle denizcilik endüstrisinde kullanılırlar. Bu türdeki reçine karışımları koyu kıvamlı, nerdeyse renksiz ve oldukça zor akan sıvılardır. Polyester reçine karışımları iki bileşenli bir reçinedir. Reçine karışımının sertleşmesi için MEKP(Metil Etil Keton Peroksit) adıyla bilinen katalizör etkisi gösteren organik peroksitlerin % 1-2 oranında ilavesi edilmesi gerekir. Hazırlanan reçine karışımının sertleşme süresi hem ortam sıcaklığına bağlı olup hem de sertleştirici olarak da adlandırılan katalizörlerin karışımdaki oranına bağlıdır. Reçinenin normal oda koşullarında sertleşmesini sağlamak için 3. bir malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır.[32]

Bir üretici reçine karışımını, hızlandırıcı adı verilen malzemeyi tedarik ederek reçineyle birlikte piyasaya sürebilmektedir. Polyestere hızlandırıcı karıştırmak oldukça dikkat isteyen bir durumdur. Karışım hazırlama esnasında oluşabilecek kimyasal reaksiyon patlama meydana getirebilir. Polyester reçinelerin ana maddesi olan Stiren reaksiyon sırasında buharlaşabilen, hafif zehirleyici ve bulunduğu ortamdaki diğer malzemeleri tepkimeye girebilen bir malzemedir.[32]

Polyester reçine karışımları genellikle dolgu malzemeleri ile birlikte kullanılmaktadırlar. Çünkü dolgu malzemelerinde kalıplama maliyetini düşürme bakımından ve istenen özelliklerdeki kalıplama işlemleri için kalıplama özelliklerini verme açısından önemlidir.

2.3.7.1.3. Mekanik Özellikler

Polyesterin mekanik özellikleri büyük ölçüde literatürdeki formülasyonlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak aşağıdaki çizelgede polyester reçinenin literatürden alınan bazı mekanik özellikleri Çizelge 2.5 'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Polyester reçinelerin bazı mekanik özellikleri [32]

Özellikler	Rijit Döküm
Çekme Dayanımı (MPa)	72.7
Basma Dayanımı (MPa)	156
Darbe Dayanımı (Nm/m)	21.4
Burkulma Dayanımı (MPa)	115

2.3.7.1.4. Epoksi Reçine Sistemi

Günümüzde, endüstride kullanılan termoset reçine arasında en yüksek verimliğe sahip olan ve en çok kullanılan reçineler epoksilerdir. Diğer reçine türleri kıyaslandığında çevresel etkilere karşı olan dirençleri oldukça yüksektir. Epoksi reçineler yapışma kabiliyetleri ve su etkisi bozunmalarından dolayı yat ve tekne gibi deniz araçlarında kullanılabilecek en ideal reçine türüdür. Epoksi reçinelerin mekanik performansları oldukça yüksektir. Yat yapımında ana matriks malzemesi kullanıldıkları gibi, gövdeyi sudan korumak için polyesterlerle birlikte kılıf şeklinde de kullanılmaktadır. [32]

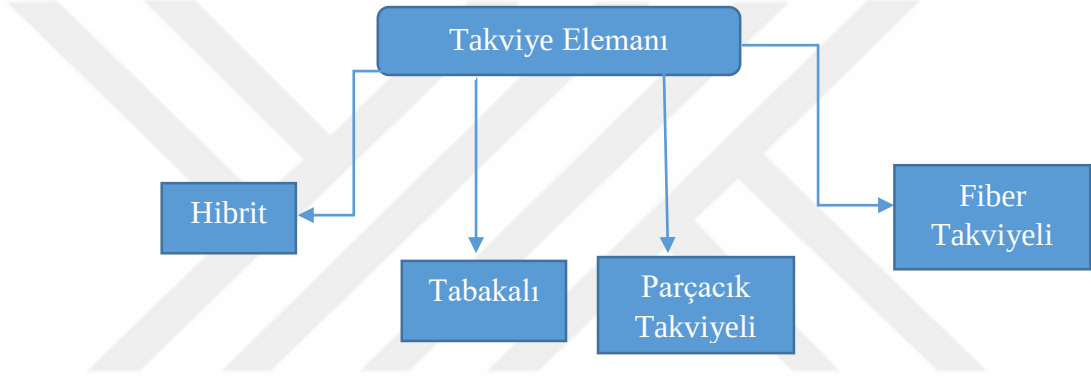
‘Epoxy’ terimi tanım olarak, “oksijen”atomu ve iki “karbon” atomundan oluşan bir kimyasal gruba verilen addır [32].Epoksi reçineler kür katkısına bağlı olarak, 5 C° ile 150 C° arasındaki sıcaklıklarda kolay ve hızlı olarak kür edilebilmektedir. Epoksi reçinelerinin büyük avantajlarından biri olan ve aynı zamanda yapının iç stresini minimize eden özellik, kür işlemi süresince gösterdikleri düşük büzülme oranlarıdır.[33]

2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda malzeme içeren birleşik malzemeler doğru bir gruplandırmanın sınırı olmamakla birlikte, kompozit malzemeleri takviye elemanlarına ve matriks elemanlarına göre iki ana gruba inceleyebiliriz.

2.4.1. Takviye Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Takviye elemanlarına göre kompozit malzemeler dört gruba ayrılırlar. Kompozit malzemelerin takviye elemanlarına göre sınıflandırılması Şekil 2.16'da verilmiştir.

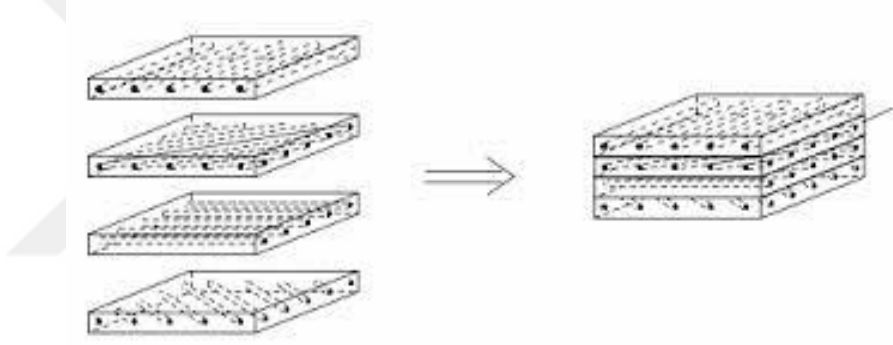


Şekil 2.16. Kompozit malzemelerin takviye elemanlarına göre sınıflandırılması

2.4.1.1. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler; geometrik yapısal özellikleri bakımından tabakalı yapıya sahip olan ve fonksiyonel bakımdan verimliliği yüksek olan malzemelerdir. Tabakalı kompozitlerde, farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. (Şekil 2.17).

Tabakalı kompozitler geçmişten beri yaygın kullanım alanları olan ve en geniş yelpazeye sahip kompozit yapı türüdür. (Şekil 2.17). Tabakalı kompozitler ısıya, sıcaklığa, neme ve çevresel dirençlere karşı dayanıklı yapılardır. Bu tür malzemeler metallerle kıyaslandığında daha hafif ve daha mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilirler. Katmanlı kompozitler diğer kompozitlere kıyasla daha yüksek dayanımlı ve daha düşük maliyetlidir. Ayrıca katmanlı kompozitler, aşınmaya karşı dirençli ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerine sahiptir [34]



Şekil 2.17. Tabakalı kompozit malzemelerin dizilimi[34]

2.4.1.2. Hibrit Kompozit Malzemeler

Hibrit kompozit malzemeler; aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla güçlendirici lif kombinasyonuna sahip olan malzemelerdir. Hibrit kompozit malzemeler yeni nesil türdeki kompozitlerin geliştirilmesinde önemli bir alandır. En yaygın olarak bilinen hibrit kompozit türleri arasında, cam- karbon takviyeli epoksi ve karbon-aramid takviyeli epoksidir. Hibrit kompozitler, genel olarak daha iyi mekanik performansların gerekli olduğu ve daha kaliteli numunelerin elde edilmesinde tercih edilir. [34]

2.4.1.3. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler; kompozit malzeme türlerinde en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Elyaf takviyeli kompozitlede en iyi takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam almaktadır. Matriks malzemesi olarak ise, plastik reçineler en fazla kullanılan türdür. Plastik reçineler, polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırada yer almaktadır. Lif takviyeli kompozit malzemelerdeki bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdır. Ayrıca bileşen malzemeleri mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. [34]

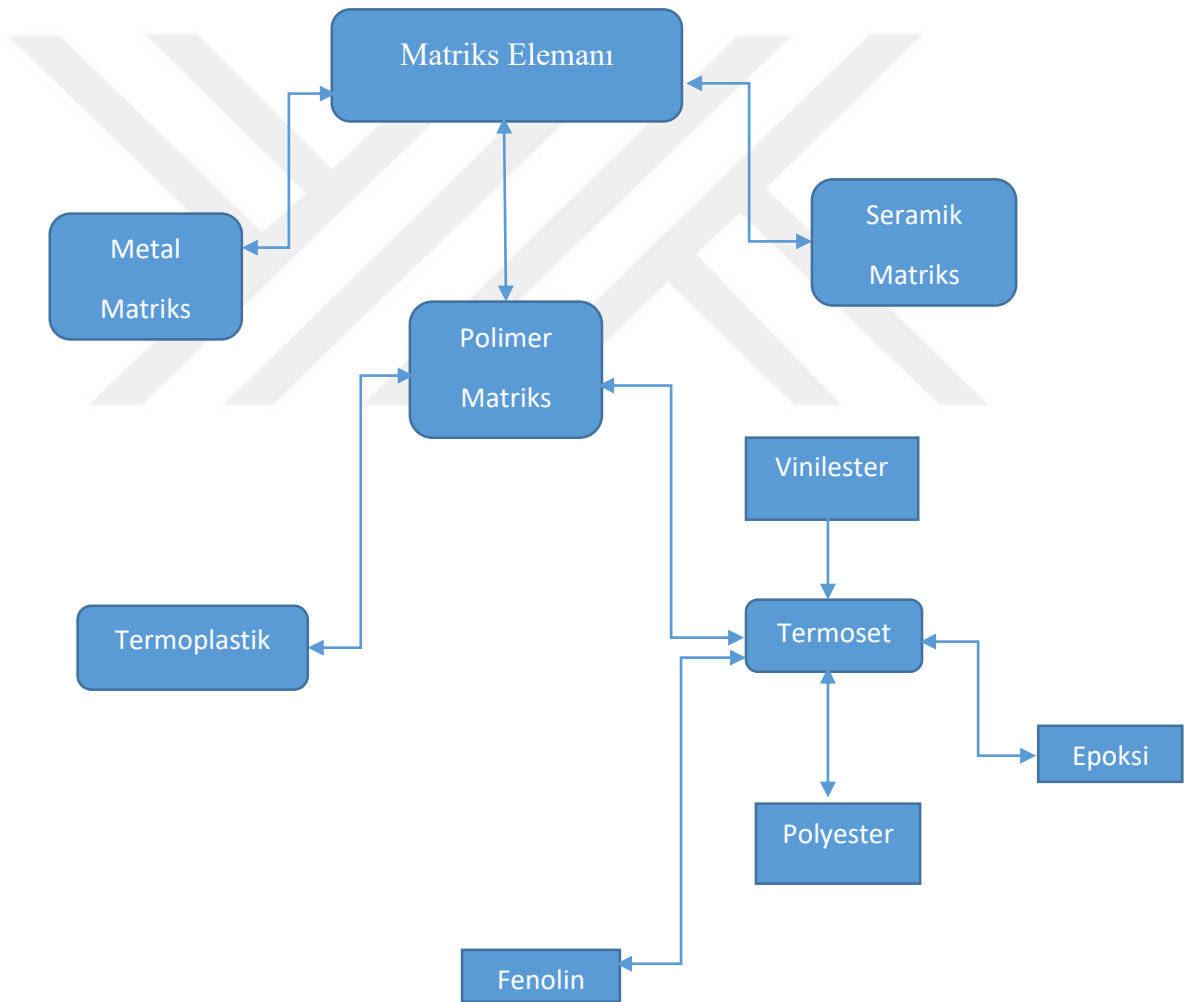
2.4.1.4. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

Parçacık takviyeli kompozitlerde, parçacıklar genellikle kompozitin sertliğini artırmada etkilidir. Fakat parçacıklar kompozit malzemenin dayanımını artırmaya yönelik bir etkide bulunmazlar. Parçacıklar kompozit malzemede takviye elemanın özelliklerinin ve boyutlarının, kompozit malzemeye olan katkısını belirlemede en önemli faktördür. Parçacık dolgular, kompozit malzemenin mekanik özellikleri artırmak için kullanılsa da, aslında maliyeti azaltmak için tercih edilirler.[34]

2.4.2. Matriks Elemanlarına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Matriks malzemeler, kompozit malzemelerin kullanım amaçlarına ve üretim tekniklerine göre seramik, metal ve polimer malzemelerden oluşur. Matrikslerin görevi kompozit sistem içinde elyafları bir arada tutmak ve malzeme üzerine gelen yükleri elyaflara dağıtmayı sağlar. Matriksin diğer bir önemli görevi elyafları çevresel etkilere karşı muhafaza etmektir. [34]

Kompozit malzemelerin matriks elemanlarına göre sınıflandırılması Şekil 2.18.'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Kompozit malzemelerin matriks elemanlarına göre sınıflandırılması

Kompozit malzemenin iki temel bileşiminden ana bileşenin omurgasını meydana getiren matriks, malzemeye sağladığı katkılar aşağıda sıralanmıştır:

- Kompozit malzemelerde çatlaklar oluşmasını engeller.
- Kompozit malzemenin tokluğunu ve mukavemetini artırır.
- Liflerin ortamdaki etkilerden ve darbelerden korunmasını sağlar.
- Kompozit malzeme yüzeyinde meydana gelen çatlakların ilerleyişini durdurur.
- Kompozit malzemelere gelen yükleri liflere iletmekle ve düzgün dağılımını sağlamakla görevlidir.

2.4.2.1. Metal Matriksli Kompozit Malzemeler

Metal matriksli kompozit malzemeler uzay, otomotiv, savunma gibi alanlarda kullanılmaktadır. Metal matriksli kompozitlerin ana malzemeleri çeşitli metal alaşımları ve çeşitli metallerdir. Metal matriksli kompozitlerde magnezyum, nikel, kobalt, bakır, çinko, titanyum alaşımları hafif olduklarından dolayı tercih edilmektedirler. Metal esaslı kompozitler takviye edildikleri malzemelere göre hem dayanıklı hem de üstün özelliklere sahiptir.[34]

Seramik malzemelerle ile metallerin bir araya getirilmesiyle, aşınmaya dayanıklı ve çekme dayanımı yüksek malzemeler üretilebilir. Üstün nitelikli malzemeler seramiklerin yüksek elastisite modülü ve metallerin yüksek plastik şekil değiştirme kombinasyonlarının bir araya getirilmesinin sonucudur.[34]

Metal matriksli kompozit malzemelerde, metal matrisler her elyafla ara yüzey oluşturmaları için bu malzemelerin üretimi zor ve oldukça pahalıdır. Metal matriks uygulamalarda mukavemetin yüksek olması istendiğinde, whisker katkılı kompozit malzemeler kullanılır. Metal matriksli kompozitler, rijitlik ve mukavemetin en yüksek olduğu malzemelerdir. [35]

2.4.2.2. Seramik Matriksli Kompozitler

Uygarlığın tarihi kadar eski olan seramik; çok yüksek sıcaklıkta pişirilmiş torak anlamına gelmektedir. Seramikler, bir veya birden fazla metalin, metal olamayan elementlerle birleştirilmesi veya sinterlemesi sonucu elde edilen organik olmayan bileşiklerdir. Seramikler optik sanayi ve elektrik- elektronik sanayi dallarında, kullanılmaktadır. Ayrıca savunma alanında balistik yelek ve zırh kaplamalarında kullanılmaktadırlar. [35]

Seramikler matris olarak kullanılmaları halinde, kompozit malzemeler 1300 °C 'ye kadar kullanabilmektedirler. Bu alanda SiC elyaf ile takviye edilmiş SiC seramikleri tercih edilebilir. Seramikler alümiatlar, silikatlar, alkali ve toprak alkali bileşiklerden meydana gelmektedir. Seramikler grubuna nitritler, oksitler, silikatlar ve karbitler girmektedir. Seramikler birçoğunda iyonik bağ ve kısmen ise kovalent bağ bulunur. [35]

Karbon elyafın kullanıldığı seramik matrikslerde, elyafın görevi malzemenin tokluğunu artırmaktır. Karbon elyaf ile üretilen kompozitler 4000 -4500 °C'ye kadar dayanabilirler. Bu tür kompozitler, yüksek sıcaklıklarda çok iyi mekanik özelliklere sahiptirler. [35]

2.4.2.3. Polimer Matriksler

Polimer matriksli kompozit malzemeler; mühendislik yapı malzemeleri olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer matrisler, çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir. Polimetrik kompozitler korozyona karşı oldukça dirençli ve uzun süreli kullanıma uygundur. Polimer matriksli kompozitler termoplastik ve termoset matriksli kompozitler olmak üzere iki grupta sınıflandırabilir. [36]

2.4.2.3.1. Termoplastikler

Termoplastik matriksler, tekrar şekil verebilen ve yeniden işlenebilen özellikteki malzemelerdir. Bu malzemeler genellikle sünek ve ısıtılarak eritilebilir, soğutulduklarında ise katılaşır. Termoplastikler yarı kristal ya da amorf yapıda olabilirler. Amorf yapıdaki termoplastiklerde, moleküller gelişigüzel düzenlenmiş yapıdadır. Kristal yapısındaki termoplastiklerde ise moleküller sıkı paketlenmiş düzenli bir yapıdadır. Özgül ısıları seramiklerin 4 katı, metalleri ise 2 katıdır. [36]

2.4.2.3.2. Termosetler

Termosetler, lastik sanayinde, boyacılıkta ve metallerde korozyona karşı korucu olarak kullanılır. Ayrıca, bu malzemeler ahşap malzemelerde neme karşı koruyuculuk görevi yapar. İnşaat sektöründe yapı panelleri ve denizcilik sektöründe gemi iskeleti geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. [36]

2.4.2.3.2.1. Fenolik Reçine Matriksli Kompozitler

Fenolik reçine matriksli kompozitlerin viskoziteleri yüksek olup, katı ve sıvı olarak üretilirler. Bu tür reçineler, fenol formaldehit kondenzasyon ürünüdür. Ülkemizde sıvı türleri üretilmektedir. Gözenek oluşması tehlikesi yüksek olduğundan uygulamalarda yüksek kalıplama basınçları gerekir.[37]

2.4.2.3.2.2. Vinilester Reçine Matriksli Kompozitler

Vinilester reçinelerin molekül yapısı polyesterlere benzer şekildedir. Vinilester reçineler elyaf ve matriks arasında iyileştirilmiş bir bağ kuvvetine sahiptir. Reaktif bölgelerde farklılıklar vardır. Korozif ortamlardaki kullanımlar için donatılı plastik bileşenlerinin üretiminde tercih edilirler. Kimyasal tesislerde ve depolama tanklarında kullanılırlar.[37]

2.4.2.3.2.3. Polyester Reçine Matriksli Kompozitler

Polyester reçineler kullanımı kolay ve maliyeti düşük olan reçinelerdir. El yatırma gibi basit kalıplama tekniklerinden, en ileri düzeydeki kalıplama tekniklerine kadar kullanılabilir. Cam elyafını iyi ıslattığından ve viskozitesi düşük olduğundan cam elyaf ile iyi bir kompozit oluşturur. [37]

2.4.2.3.2.4. Epoksi Reçine Matriksli Kompozitler

Genellikle iki komponentli olan epoksiler, uzay ve havacılık teknolojilerinde, medikal otomotiv ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Epoksilerin kimyasal yapıları farklı formüllerle özellikleri değiştirilebilir. Epoksiler, termoseler grubundan yapıştırıcı bir türdeki kimyasal reçinedir. Epoksi reçine matriksli kompozitler, reçine-sertleştirici karışımında kullanılan sertleştiricinin türüne bağlı olarak meydana gelen bileşik malzemelerin özellikleri değişir. Epoksi reçinelerin suya, yağa ve kimyasallara karşı olan dirençleri çok iyidir. [37]

2.5. Graphene

Yaşadığımız evrende rastladığımız malzemelerin hepsi nerdeyse üç boyutludur. Bilim insanları malzemelerin özellikleri, iki boyutlu düzende incelenmesine dair çok az bilgiye sahiptirler. Grafen bu malzemelerin başında gelmektedir.

Grafen malzemesi, elmasta ve grafiite olduğu gibi bir karbon allotropudur. Daha detaylı incelemeler yapılırsa, grafen malzemesi sp^2 bağlı karbon atomlarından oluşmuştur. Grafenin atomları arasında 142 nanometrelik molekül bağ uzaklığı vardır. Grafen malzemesi altıgen bir bal peteği örgüsüne sıkıca bağlanmış, tek yapılı bir karbon atomu tabakasıdır.

Son yıllarda gelişen nanomalzeme teknolojisi alanında kullanılan grafen, çelikten 100-300 kat daha sağlamdır. Grafen kompozit malzemeler içerisinde bilinen en ince, saydam ve en hafif malzemedir. Ayrıca grafen hem iyi bir iletken olan hem de esnek olan bir malzemedir. Grafen nanotozuna ait fotoğraf Şekil 2.20’de gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Grafen nanotozu

2.6. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

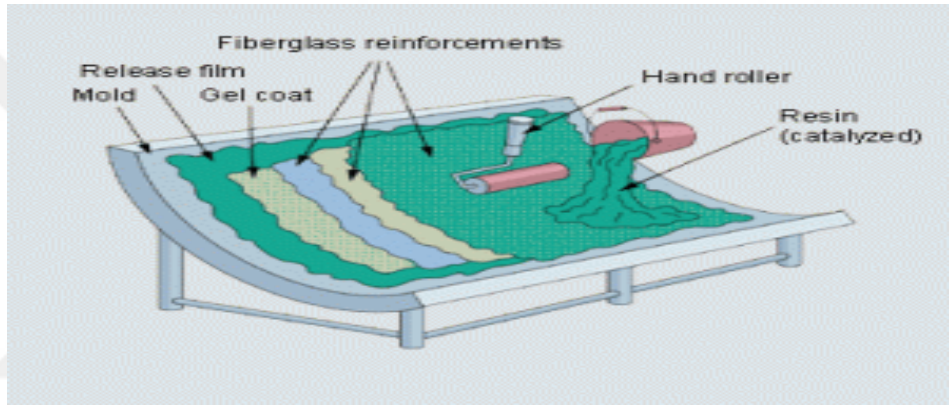
Kompozit malzeme üretiminde en önemli aşamalarından biri üretim maliyetidir. Üretim maliyeti istenilen özellikteki bir kompozit malzeme üretiminde verimlilik, tasarım, malzeme seçimi ve istenen türde sağlanacak şekil verme yöntemi önemli bir husustur.

Birleşik malzemeyi oluşturan temel ögeler uygun şekilde seçimi, üretim maliyetini önemli ölçüde düşürebildiği ortaya konulmuştur. Kompozit bir malzemenin tasarım ve öncelikli olarak maliyetin düşürülmesi sürekliliği olan bir metot olup, oldukça dikkate alınması gereken önemli bir parametredir.

Kompozit malzemenin düşük ağırlık ve yüksek sıcaklıkta kullanılabilir olması yanında, korozyon dayanımı ve onarım kolaylıkları gibi etmenler de göz önünde bulundurulduğunda; iyi bir performansa sahip kompozit üretim planı yapılması uygun değer düzeylerinde olması fayda gösterecektir. Kompozit malzemelerin dayanımını ve tokluğunda oldukça önemlidir. Bununla birlikte, malzemenin yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirliği de zorunluluk kazanmaktadır. Birleşik malzemelerin üretiminde, el yatırması, vakum infüzyon, pultrüzyon, filaman sarma ve reçine transfer gibi çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir.[37]

2.6.1.El Yatırma Yöntemi

El yatırma prosesinde, kalıp tasarımı diğer üretim proseslerine göre daha basit olan üretim yöntemidir. Bu proses genellikle oda sıcaklığında ve düşük kürleşme sıcaklıklarında gerçekleştirilmektedir. Ticari boyutta el yatırma aprosesi, dokuma biçimli elyafın, daha önceden hazırlanan kalıp içerisine yerleştirilmesi ve matriksi meydana getiren reçine-sertleştirici karışımının fırça gibi el aletleriyle elyafın üzerine sürülmesi işlemidir. İstenilen kalınlıktaki tabakalı kompozit numune elde edilinceye kadar el yatırma prosesi tekrarlanır. Bu prosesin sonunda tabakalı kompozit elde edilir. El yatırma yönteminde üretim maliyetleri çok yüksek olduğundan, parça üretimi çok az sayıda yapılmaktadır. El yatırma yöntemi protatip imaline uygundur. Şekil 2.20’de el yatırması yönteminin uygulaması gösterilmiştir [37].

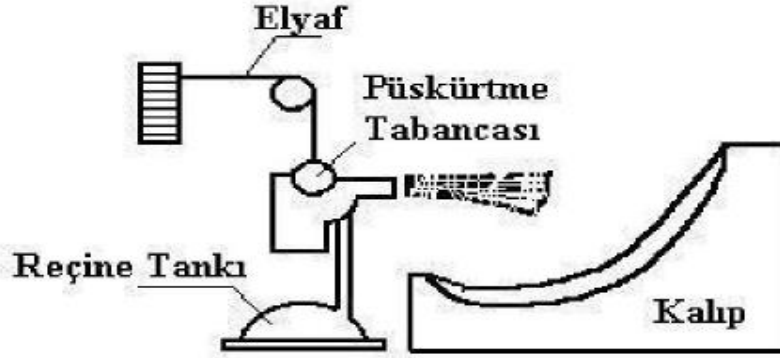


Şekil 2.20. El yatırması yöntemi [37]

2.6.2. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yönteminde elle yatırma metodundan farklı olarak reçine bir sprey tabancası kullanılarak yapılır. Daha fazla ürün ve istenen kalınlıktaki malzememin zaman açısından tasarruf sağlamak için tasarruf sağlamada kullanılır. Püskürtme tabancası yardımı ile kırılmış elyaf ve reçine karışımı kalıba püskürtülerek numunenin kalıbın şeklini alması sağlanır (Şekil 2.21).

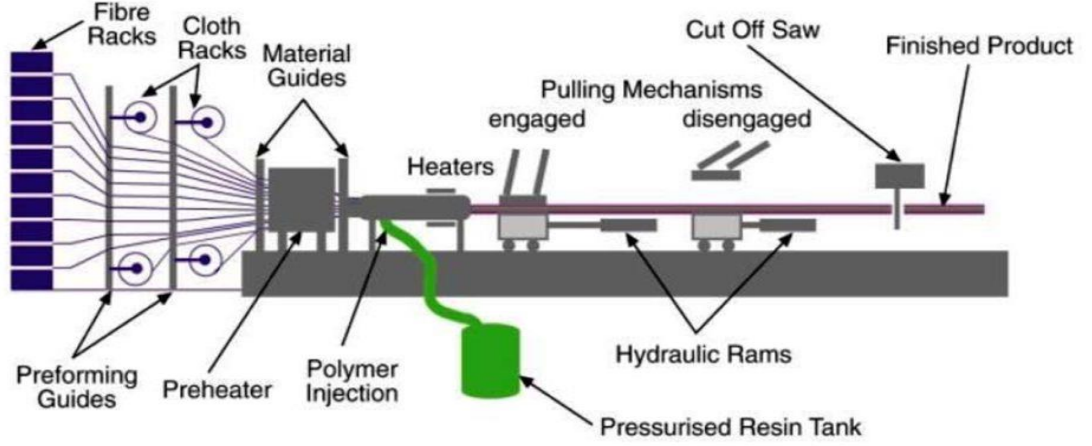
Bu işlemde dikkat edilmesi gereken önemli faktörlerden biri malzeme israfının önlenmesi için püskürtme yüzeye dik olarak yapılmalıdır. Püskürtme işleminden sonrasında reçine içindeki havayı çıkarmak için rulolama uygulanır. Püskürtme ile üretim yönteminde elle yatırma yöntemine göre sayıca daha fazla ve daha hızlı parça üretimi yapılabilir. [37]



Şekil 2.21. Püskürtme ile üretim yöntemi[38]

2.6.3. Pultrüzyon Yöntemi

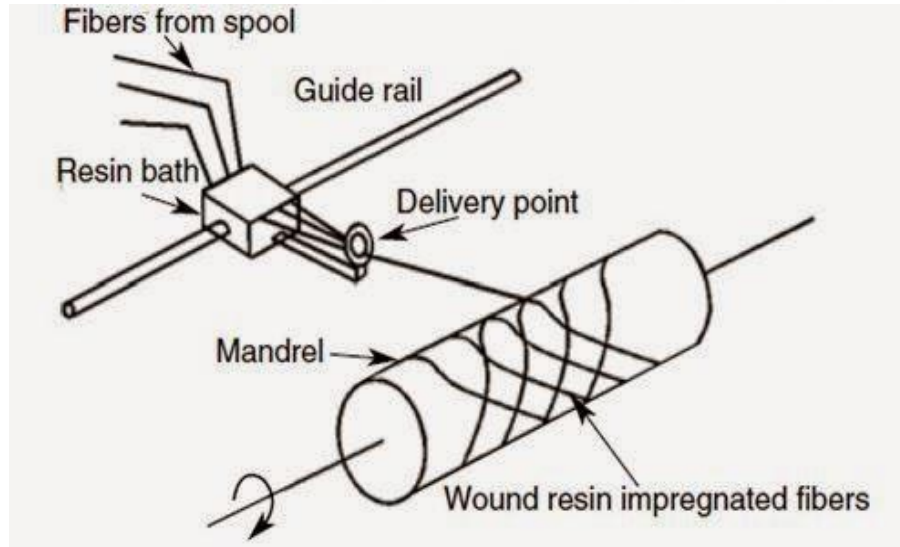
Pultrüzyon yöntemi, takviye malzemesinin bir reçine matriksi ile birleştirilerek sıcak çekilmesi ile profil imalatıdır. Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) kalıplamasında inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde cam elyafından üretilen malzemeler oldukça fazladır. Son zamanlarda inşaat sektöründe kullanılmaya başlayan bu yöntem masrafları azaltamaya dayalı bir yöntemdir.[38]. Şekil 2.22 'de pultrüzyon ile üretim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Pultrüzyon ile üretim yöntemi [37]

2.6.4. Filaman Sarma Yöntemi

Filaman Sarma yöntemi, silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, dairesel basınç tankları için kullanılan üretim metodudur (Şekil 2.23). Sıvı ve gaz yakıtların iletiminde kullanılan boru hatlarının üretiminde kullanılmaktadır. 700 bar basınca kadar dayanıklı yapılar üretilebilmektedir. [38]



Şekil 2.23. Filaman sarma yöntemi [38]

2.6.5. Kapalı Döküm Yöntemi

Bu yöntem geniş ve karmaşık parça imalatı üretimde kullanılır. Döküm kapalı iki kalıp arasında gerçekleştirilir. Üretim sonunda elde edilen her iki yüzeyi de pürüzsüz olduğundan herhangi bir ek proses ihtiyaç yoktur. [38]

2.7. Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi

Vakum İnfüzyon Prosesi (VIP), reçineyi bir tabakaya sürmek için vakum basıncı kullanan bir tekniktir. Kuru materyaller kalıba dökülür ve reçinenin yerleştirilmesinden önce vakum uygulanır. Tam bir vakum elde edildikten sonra, reçine tam olarak yerleştirilmiş borulama yoluyla, kompozit tabakanın içine tam olarak emilir. Bu süreç, malzeme ve malzeme çeşitliliği ile desteklenir.[39]

Tipik bir el döşemesinde, takviyeler bir kalıba dökülür ve fırçalar, merdaneler veya başka yollarla manuel olarak ısıtılır. Bu yönteme göre bir gelişme, fazla reçineyi tabakadan emmek için bir vakum torbası kullanmaktır. Vakum torbalama, lif-reçine oranını büyük ölçüde geliştirir ve daha güçlü ve daha hafif bir ürün ile sonuçlanır.[39]

Vakum infüzyon metodu, vakumlu torbalamadan daha iyi bir lif-reçine oranına sahiptir. Tipik bir el yatırması genellikle reçineyle% 100 fazla kumaş ağırlığına neden olur. Tek başına reçine çok kırılmalıdır, dolayısıyla fazlalık aslında parçayı zayıflatacaktır. Vakum torbalama bu sayıyı önemli ölçüde azaltabilir. Bununla birlikte, hala ideal değildir ve ek sorunlara yol açabilir.[39]

Vakum infüzyon yönteminde, diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine göre daha az reçine israfı meydana gelmektedir. Vakum infüzyon yöntemi oldukça temiz bir yöntemdir. Vakum infüzyon prosesinde, iyi havalandırılan bir alanda çalışmak gereklidir. Güvenlik önlemlerinin alındığı bir ortamdaki vakum infüzyon prosesi, daha temiz ve daha kaliteli numune üretimi yapabilmeyi olanak sağlar [39]. Vakum infüzyon metodunda hazırlanan kalıbın fotoğrafı Şekil 2.24 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Vakum infüzyon metodu ile üretilen numune

2.8. Balistik

Dünyamızdaki balistik biliminin geçmişı 19. Yüzyılın ikinci yarısına dayanmaktadır. Bu tarihlerde bazı kabuller ve basit prensipler sayesinde silah ayırımına uygulanmıştır. Kabul edilen prensipler daha sonraki yıllarda giderek genişlemiştir.

20. yy'ın başlarından itibaren balistik bir bilim dalı olarak ortaya çıkmıştır. Balistik bilimine son yaşadığımız yüzyıl içerisinde teknolojinin gelişmesiyle büyük bir önem kazanmaktadır.

Balistik deneyi yapılırken namludan çıkan merminin belirlenen hedefe ulaşmaya kadar geçen zamandaki kompleks olayı açıklayan bir araştırma bilim dalıdır.

Balistik, kelime anlamı mermilerin itme kuvvetini, uçuşunu ve çarpma etkisini inceleyen bilim dalıdır. Balistikte silah ile birlikte mermi çekirdeğinin, mermi çekirdeği parçalarının veya saçma tanelerinin incelenmesi esas alınır. Balistiğin aşamaları 3 şekilde incelenebilir:

1. İç Balistik
2. Dış Balistik
3. Terminal Balistik

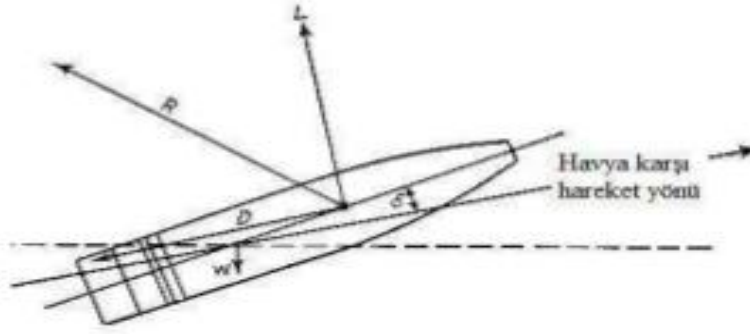
2.8.1. İç Balistik

İç balistik, mermilerin ve füzelerin etki alanlarıyla birlikte kapsamda silahtaki hareketlerini inceleyen balistik bilim dalıdır. Gazların genişlemesi, kimyasal enerji kaynakları bu balistik kolunun inceleme konularıdır. Askeri kullanılan silahlar ile normal şahsi silahların çalıştırılması birbirinden farklı olmaktadır. [40]

Silah ateşlendiğinde merminin silah içerisindeki hareket işlemi silahtaki gazın mermiyle olan etkisine bağlıdır. İlk olarak namluya basınç gerçekleşir ve burada sürtünme hareketi başlar. Aynı zamanda yüksek sıcaklıkta gaz namluyu ısıtırken burada kimyasal bir reaksiyon oluşmaktadır. Araba motorlarının çalışma şekliyle, silahların çalışma şekilleri birbirine oldukça benzemektedir. Bu iki sistem arasındaki tek fark, genişlemiş olan gazın, pistonlar yerine mermileri hareket ettirmesidir.

2.8.2. Dış Balistik

Mermi ve yanan barut gazları silah namlusunu terk ettikten sonra, hedefe ulaşmaya kadar geçen sürede merminin uçuş hareketini ve bu harekete etki eden faktörleri inceleyen bölümle ilgili bilim dalına dış balistik adı verilir (Şekil 2.25).[41]



Şekil 2.25. Mermi üzerine etki eden kuvvetlerin gösterilmesi[41]

Merminin namludan çıktıktan sonraki hareket yönü ile Şekil 2.25’de δ açısı yapan bir eksene sahip olan bu hareket yönüne farklı kuvvetler etki etmektedir. Bu hareket, yerçekimi w ’ye (dikeyde aşağı doğru), mermini hızına, hava akımlarına ve merminin üretim özelliklerine göre, merminin hareket ettiği yöne ve atış yapılan ortamdaki bağlı bir hava kuvveti adı verilen R ’ye bağlıdır.[41]

2.8.3. Terminal Balistik

Merminin silah namlusundan çıktıktan sonra vücuda olan etkilerini inceleyen balistik dalıdır. Merminin hızının ve kütlesinin yarattığı enerjiyi vücuda aktararak vücut içerisinde geçici kavileri (boşlukları) inceler. Merminin vücut içerisinde ilerlemesi kalıcı kavite etkilerini meydana gelir. Merminin vücut içerisindeki kinetik enerjinin oluşturduğu genleşme ve darbe etkisine geçici kavite adı verilir. Merminin vücut içerisinde izlediği yola boyunca dokuda meydana getirdiği kalıcı hasara kalıcı kavite denir. Bu boşluklar merminin vücut içerisinde yarattığı basınç etkisinden dolayı dokularda yırtma meydana getirir. [42]

2.8.4. Balistik Performansa Etkiyen Parametreler

Balistik performansını etkileyen parametreler arasında hedef olarak seçilen malzeme özellikleri ve merminin fiziksel özellikleri etkili olmaktadır. Buna ilaveten, merminin atıldığı durumdaki ortam koşulları da balistik performansını etkileyecektir. Çizelge 2.6 'da mermi ve hedeflenen malzemeye ait balistik performans parametreleri verilmiştir.

Çizelge 2.6. Mermi ve hedeflenen malzeme bakımından balistik performans parametreleri

Merminin Fiziksel Özellikleri		Hedef Olarak Seçilen Malzeme Özellikleri	
Ağırlık	Kalibre	Tabaka Sayısı	Kayma Modülü
Uç Geometrisi	Mermi Hızı	Kalınlık	Yapıştırıcı / Sertleştirici Oranı
Sertlik	Vuruş Açısı	Mukavemet	Alansal Yoğunluk
Mermi Kovanı	Merminin Çapı	Elastisite Modülü	Malzemenin Ağırlığı

2.8.5. Hedefin Malzeme Özellikleri ve Yapısı

Kompozit sistemler hangi türdeki kumaş olursa olsun, bu türdeki sistemlerin balistik koruyucu özellikleri maddelerin fiziksel özellikleriyle tamamen bağlıdır. Balistik deneylerde kullanılan hedef kompozit sistemlerin merminin sisteme çarpma anındaki gösterdiği direnç lifin elastisite modülünün ve kopma uzamasının bir ölçüsüdür. Sistemdeki üzerindeki kompozit liflerin alansal yoğunluğu ve kullanım şekli bu durumda önemli bir durum kazanacaktır.[43]

İdeal özelliklere sahip bir kompozit sistem hedefi zırh malzemesi dayanıklı ve mümkün olduğunca hafif olmalıdır. Aynı zamanda zırh paneli yüksek akma dayanımına ve kırılmaya karşı da dayanıklı özelliklerini sağlamalıdır. Birleşik malzeme sistemleri, enerji absorbe etmenin yanında, yüksek dinamik çekme dayanımına sahip olmalıdır. Tasarlanan hedef zırhın kolay üretilebilir yapıda ve kolay monte edilebilir yapıda olmalıdır.

2.8.6. Merminin Özellikleri ve Yapısı

Balistik deneylerde ve farklı alanlarda kullanılan birçok mermi türü olup, teknolojinin gelişmesiyle birlikte değişik çapta belirli mermiler bulunmaktadır. Kinetik enerjiye sahip bir merminin hedef üzerinde bulunan bir balistik zırhı delme etkisi, merminin kütlesine, hedefe vuruş açısına, merminin enerjisine, namludaki çıkış hızına bağlıdır. Mermi ile zırh malzemesinin yapısı da önemli faktörler arasındadır. Merminin kütlesi (m) ve çarpma anındaki hız (V_m) olduğunda merminin kinetik enerjisi;

$$E_k = \frac{1}{2} m V_m^2$$

şeklindedir.

2.8.7. Mermi Ağırlığı ve Mermi Uç Geometrisi

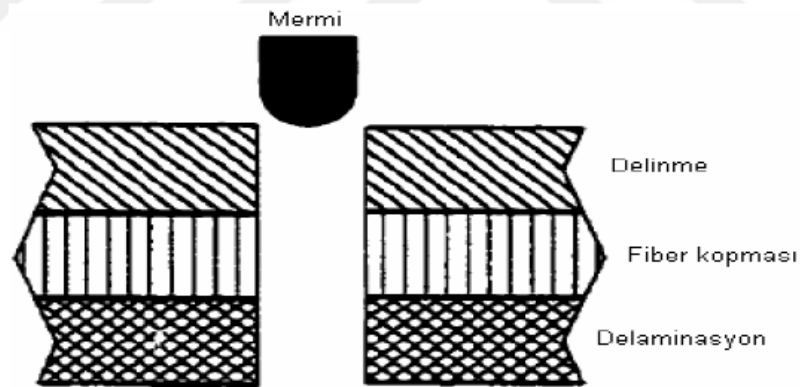
Mermi ağırlığı mermiyi oluşturan malzemenin türüne bağlı olarak doğrudan çapının bir ölçüsüdür. Bir merminin hareket enerjisi ile mermi ağırlığı doğru orantılıdır. Mermi uç geometrisi kompozit yapıda çökmeyi ve delinmede doğrudan etkili olan temel unsurlardandır.[33]

2.8.8. Mermi Hızı

Mermi hızı balistik deneylerde en önemli unsurların başında gelir. Bu kapsamda balistik koruyucu malzemelerin merminin hareket hızına bağlı olarak enerjiyi absorbe etme özelliğini sağlaması gerekir.[33]

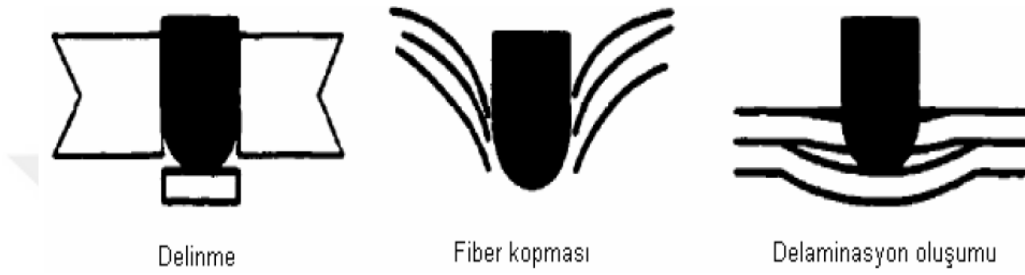
2.8.9. Balistik Darbe Sonucu Oluşan Hasar Şekilleri

Balistik deneyinde kompozit tabakalarda darbe esnasında fiber kopması, matriks kırılması, delaminasyon gibi bazı hasar mekanizmaları meydana gelir. Balistik darbe sonucunda meydana gelen hasar şekilleri Şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Balistik darbe sonucu oluşan hasar şekilleri [43]

Balistik darbenin başlangıcı safhasında tabaka boyunca tabakaların kalınlığı boyunca dayanımı, kompozite nüfuz eden mermi tarafından yenilmektedir. Kompozit malzemeler mermi altında sıkıştırılmakta ve oluşan çukur kısmında kalınlık boyunca meydana gelen kesme gerilmelerinden dolayı deformasyonlar oluşmaktadır. Kalınlık boyunca meydana gelen sıkıştırma; malzemenin ön kısmında ezilme oluşurken, kalınlık boyunca oluşan kesme deformasyonu ise mermi ile birlikte hareket eden kesilmiş kısmın oluşmasına neden olmaktadır [43]. Balistik darbe sonucu oluşan hasar şekillerinin ayrıntılı gösterimi Şekil 2.27 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Balistik darbe sonucu oluşan hasar şekillerinin ayrıntılı gösterimi[43]

2.9. Tarımsal Atıklar

Bitkisel ve hayvansal ürünlerin elde edilmesi ve bu ürünlerin işlenmesi sonucunda meydana gelen atık ve artıklardır. Üretilen katı atıkların özelliklerine miktarları toplumların gelenekleri, bulunduğu coğrafi konum, meslekler, ekonomik özellikler gibi şartlara bağlıdır. Tarımsal atıklar hayvansal ve bitkisel atıklar olmak üzere iki grupta incelenebilir. Ölçü birimi ise, belirlenmiş bir alandaki oranlanmış olan yaş veya kuru atık kütlelerin miktarı olarak kabul edilmektedir. [44]

Tarımsal atıklar üç grupta incelenebilir:

- Bitkisel üretim sonucunda arta kalan atıklar.
- Hayvansal üretim sonucunda arta kalan atıklar.
- Tarım ürünlerinin işlenmesi sonucu oluşan atıklar.

2.9.1. Bitkisel Üretim Sonucu Oluşan Atıklar

Bitkisel atıklar, ekili alan, orman ve nadas alanlarında yapılan bitkisel üretimler sonucunda ürün olarak nitelendirilemeyen atıklar bitkisel kütle atık olarak değerlendirilir. Bitkisel atıklar saman, sap, kabuk, çekirdek ve budama atıkları olarak gruplandırılabilir.[45]

Ülkemizin sahip olduğu 213 bin 188 kilometre tarımsal alanla dünyada 14.sırada yer almamaktadır. Kişi başına düşen tarım alanı oranı bakımından 3 dekar ile Türkiye dünyada 40. sıradadır. Bu oranlar esas alındığında Türkiye, sahip olduğu yüzölçümü oran göre en fazla tarımsal alan sahip 15 ülke arasında 4. sırada bulunmaktadır. [46]

2.9.2. Çalışmada Kullanılan Tarımsal Atıklar

2.9.2.1. Malatya Kayısı

Ülkemizde kayısı meyvesinin en çok yetiştiği il Malatya 'dır. Malatya ilimizin kayısı meyvesi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu meyveden elde edilen kayısı çekirdeği kabukları da endüstride tank zırhlarının boyanmasında ve ilaç üretiminde tercih edilmektedir.

2.9.2.1.1. Malatya Kayısı ve Tarihçesi

Araştırılan tarihi kaynaklara göre, kayısı meyvesinin kökeni Orta Asya ve Türkistan'a kadar dayanmaktadır. Günümüzden 500 yıl öncesine kadar kayısının bu bölgede olduğu bilinmektedir. Büyük İskender'in seferleri sırasında kayısı M.Ö. IV yüzyılda Anadolu'ya getirilmiştir. Yetiştirilmesi için uygun iklim ve toprakları Anadolu 'da bulunduğundan Anadolu kayısının ikinci vatanı olmuştur. [47]

Kayısı, coğrafik anlamda dünyanın her yerine dağılmış olsa da, daha çok Akdeniz'e yakın olan ülkelerde Afrika, Avrupa, Orta Asya ve Amerika kıtalarına yayılmıştır.

Dünya yaş kayısı üretiminde Türkiye birinci sıradadır. Türkiye 'yi İtalya, İspanya gibi ülkeler izlemektedir. Türkiye 'nin yaş kayısı üretimi yılda 50.000 tondur. [48]

2.9.2.1.2. Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar

Tarımsal atık kullanılarak kompozit malzeme üretimi pek nadirdir. Kompozit üretimlerindeki maliyeti en aza indirmek ve kullanılan materyali en etkin şekilde kullanmak için değişik uygulamalar yapılmaktadır. Kompozit sistemlerde verimlilik önemli bir uygulamadır. [49]

2.9.2.1.3. Fındık Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar

Fındık, ülkemizde Ordu yöresinde ağaçta yetişen kabuklu bir meyve türüdür. Fındık ve kabuğu yıllardır her alanda kullanılmaktadır. Fındık kabuğu, besi çiftliklerinde ısıtma hammaddesi şeklinde tercih edilmektedir. Sanayi tesislerinde ise yüksek kalorili yakıt olarak kullanımı son zamanlarda artmaktadır. Bununla birlikte, fındık kabuğu otomotiv endüstrisi, sanayi kömürü ve aktif karbon olarak kimya sanayisinde kullanımı da mevcuttur. [50]

2.9.2.1.4. Ceviz Kabuğu Tozunun Kullanıldığı Alanlar

Ceviz ülkemizin pek çok bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen kabuklu bir meyve türüdür. Ceviz kabuğu tozu en çok tekstil sanayinde kök boya hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ilaç sanayinde krem ve merhem üretiminde, plastik ve kauçuk endüstrisinde ise malzeme kaplamasında silikatlarla birlikte kullanım alanları da mevcuttur.

Ceviz ve kabuğu da Uzak Doğu 'da çok eski zamanlardan günümüze kadar bazı önemli hastalıkların tedavileri için ilaç yapımında tercih edilmiştir. Ceviz kabuğu tozu son zamanlarda tarımsal atıkların geri dönüşümü kapsamında uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır. [51]

2.10. Yapılan Bilimsel Çalışmanın Önemi

Çağımızda oldukça hızlı ilerleyen bilimsel yöntemler ve teknolojik gelişmeler sayesinde, insanoğlunun çevresindekileri sorgulama ve merak içgüdüsünü kullanmaya daha açık bir hale getirmiştir. Meydana gelen gelişimsel olaylarda yeni birleşik malzemelerin arayışı günümüzde önemli bir kapsama dönüşmüştür. Bu nedenle doğanın kirlenmesini engellemek ve küresel ısınmanın önüne geçmek amacıyla yeni nesil malzeme çalışmalarının yapılması zorunlu bir şart olmuştur.

Bu durumda da doğru yöntemlerle doğayla uyumlu malzemelerin üretimi oldukça önemlidir. Yeni nesil malzemeler sayesinde, tarımsal atıkların geri dönüşümü de kapsam alanı genişletilerek yeni nesil çözüm yolları bulunmalıdır.

Tarımsal atık materyallerinin yeni nesil malzemelere uygulanabilirliğinin araştırılması büyük bir çaba gerekmektedir. Üretilen numuneler hızla artan nüfus, hızlı sanayileşme ve artan tüketim yoğunluğu gibi taleplerin karşılanabilmesini gerektirmektedir. Atılan doğru adımlar doğru hedefe ulaşmayı sağlayacağından, tarımsal atıkların da kompozit malzemelerle olan ilişkilerinin araştırılması yadsınamayacak derecede önemlidir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyallerin Hazırlanması

3.1.1.1. Kabuk Tozu Materyallerinin Hazırlaması

3.1.1.1.1. Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozunun Numunelerinin Hazırlaması

Bu çalışmada kullanılan kayısı çekirdeği kabukları, Malatya yöresinde yetiştirilen kayısıların fabrikalarda kurutulması sonucu ortaya çıkan organik kayısı çekirdeği kabuklarından elde edilmiştir. Kükürtleme prosesi sonunda elde edilen kayısı çekirdeği kabuklarının, kompozit malzemelerde kullanılması uygun değildir. Bu nedenle deney öncesi kabuklar fabrikada yıkanarak yüzeyleri kükürtten arındırılmış ve TERSUN firması tarafından hazır hale getirilmiştir. Fabrikadaki kırıcılar ve elekler yardımıyla, sırasıyla 0-200,200-250,250-400,400-641 ve 400-850 mikron aralıklarına sahip kayısı çekirdeği kabuğu tozu numuneleri elde edilmiştir.

3.1.1.1.2. Fındık ve Ceviz Kabuğu Tozlarının Numunelerinin Hazırlaması

Fındık ve ceviz kabuklu meyvelerinden elde edilen tarımsal kabuk atıkları öğütme işlemleri İnönü Üniversitesi Malatya Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Kabuk öğütme işlemi için kabuk atıkları, bilyeli tambura konulmuştur. Bilyeli tambur içerisindeki bilyeli yataklar yardımıyla öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütme prosesi, ortalama 5000-7500 devir aralığında olmuştur. Kabukların öğütülme süresi ortalama 3 saatlik bir sürede tamamlanmıştır.

Öğütme ve eleme prosesinde kullanılan, bilyalı tambur öğütücünün ve eleme makinasına ait fotoğraflar Şekil 3.1.a ve Şekil 3.1.b’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Bilyalı Tambur Öğütücü, b)Eleme Makinası

Öğütme işleminden sonra elde edilen kabuk tozları eleme makinasına yerleştirilmiştir. Eleme cihazında gerçekleşen eleme prosesi süreci 1 saatte tamamlanmıştır. Bu süreç sonunda kabuk tozları sırasıyla 0-75, 75-300, 300-425, 425-625 ve 625-825 μm aralıklarında elde edilmiştir. Ceviz kabuğu tozları ve fındık kabuk tozları bu mikron aralıklarında elde edilmiştir. Eleme süreci tamamlandıktan sonra, kabuk tozlarının nemlerinin giderilmesini sağlamak amacıyla, ideal özelliklere sahip külleme fırınına konularak 40 °C ‘de bir saat küllenmiştir.

3.1.2. Epoksi Reçine ve Epoksi Sertleştiricinin Özellikleri

Çalışmada kullanılan LY 5052 epoksi reçine ve LY 5052 epoksi sertleştiricinin fotoğrafları Şekil 3.2.a ve Şekil 3.2.b ‘de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.2. a) Yapıştırıcı, b) Sertleştirici

Deneylerde kullanılan LY 5052 epoksi reçine ve LY 5052 epoksi sertleştiricinin özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 ‘de verilmiştir.

Çizelge 3.1. LY 5052 Huntsman marka reçinenin özellikleri

Çalışma Sıcaklığı	-180 °C / 320°C
Özellikleri	Yüksek ısı mukavemeti, çok iyi mekanik ve ısı özellikler 0.25 saatten 192 saate kadar çalışma süresi
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.16- 1.18
Vizkosite (mPa·s)	1000-1500
Elastisite Modülü (MPa)	360-490
Kopma Uzaması (%)	1.6 – 3.9

Çizelge 3.2. LY 5052 Huntsman marka sertleştiricinin özellikleri

Yoğunluk (gr/cm ³)	0.94
Sıcaklık	110°C
Vizkosite (mPa·s)	40-60

Deneylerde kullanılan Hunstman LY5052 marka epoksi reçine ve Hunstman LY5052 marka epoksi sertleştiricinin karışım oranları ağırlıkça 100: 38 ve hacimce 100: 42 oranındadır.

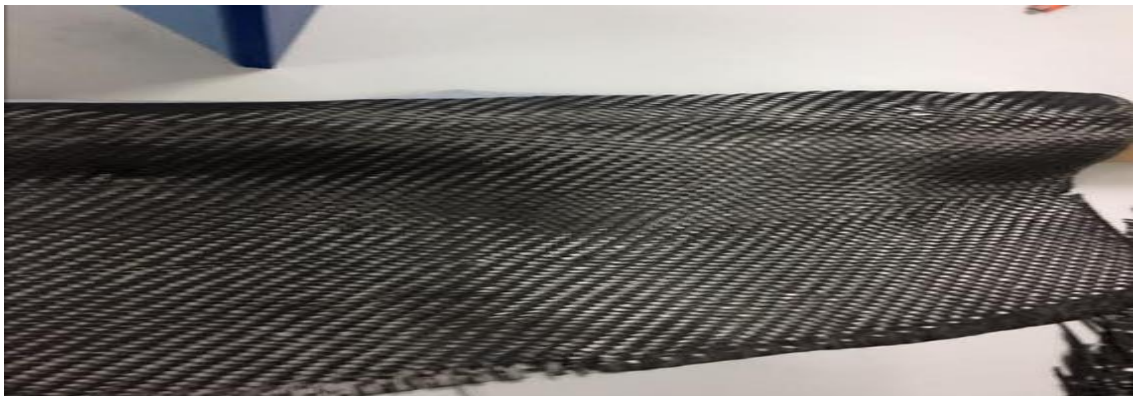
3.2. Kompozit Numunelerin Üretimi

3.2.1.1. Çalışmada Kullanılan Karbon Elyafın Özellikleri

Yüksek Lisans Tez çalışmasında vakum infüzyon yöntemiyle üretilen numunelerin elde edilmesinde kullanılan karbon elyafın fotoğrafı Şekil 3.3 'de verilmiştir. Karbon elyaf kumaşı, balistik kompozit malzeme üretiminde ve uzay endüstrisinde alanlarında kullanılmaktadır.

Çalışmada kullanılan karbon elyafın özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek dayanımlı olması,
- Düşük yoğunluk, $1,8 \text{ g/cm}^3$,
- İyi ısı iletkenlik, 20 W/mk
- Yüksek Elastisite Modülü; $220\text{-}240 \text{ GPa}$,
- Çekme Dayanımı; $3450 - 4850 \text{ Mpa}$,
- Düşük lif çapı, $5\text{-}8 \text{ }\mu\text{m}$,
- Elektriksel öz direnç, $1650 \text{ }\mu\Omega$,
- Kopma uzaması , % $1.6 - 2.2$,
- Sınırsız raf ömrü,
- Korozyona karşı dayanım, inorganik asit ve bazlardan etkilenmeme.



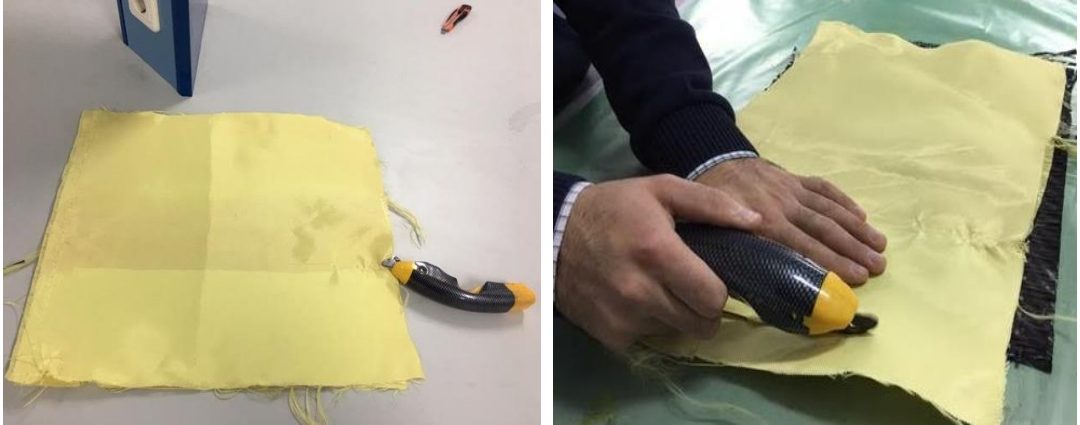
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaş

3.2.1.2. Kompozit Numunelerin Üretimi İçin Hazırlık Yapılması

Karbon fiber kumaştan sade 5 tabakalı levha ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlu 9 katmanlı levha üretmek için 330x340 ve 330x330 mm boyutlarında karbon elyaf kumaş elektrikli fiber malzeme kesme makası ile kesilip yerleştirilmiştir. Elyaf kumaşların kesilmesinde kullanılan makasın fotoğrafı Şekil 3.4 gösterilmiştir. Elyaf kumaşların kesilmesi işlemi Şekil 3.5.a ve Şekil 3.5.b’de gösterildiği gibidir. Kesilme işleminden sonrasında, elyaf kumaşlara ait görüntü Şekil 3.6 ‘da gösterilmiştir.



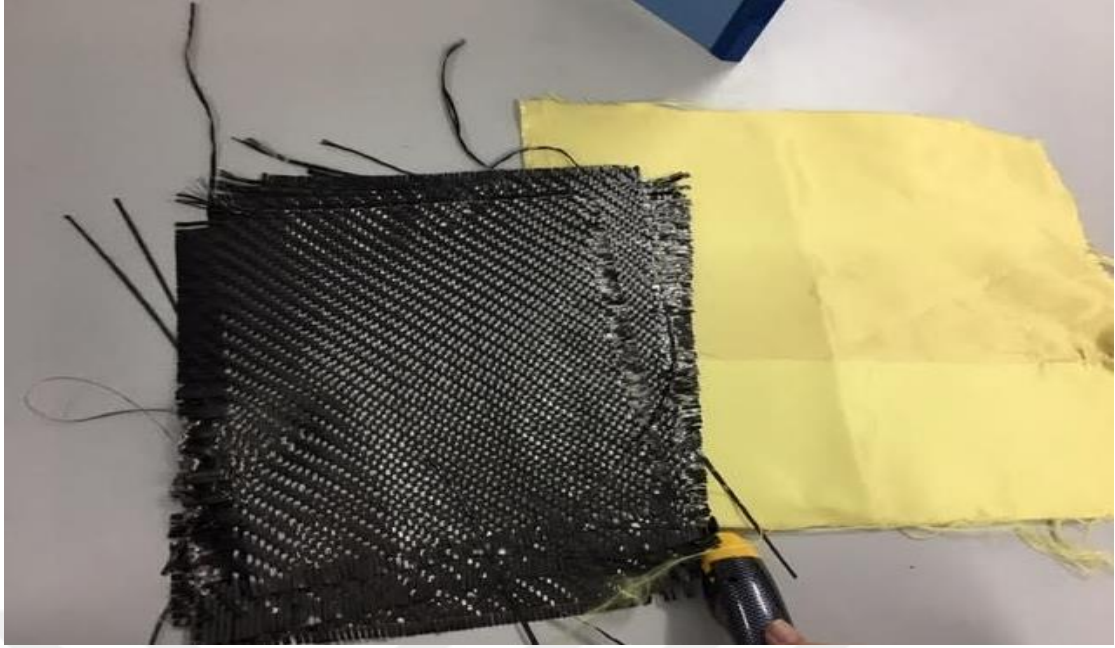
Şekil 3.4. Robuso Şarjlı Kesme Makası Seti



(a)

(b)

Şekil 3.5. a) Aramid kumaş kesimi, b) Elyaf kumaş boyut ayarlama



Şekil 3.6. Robuso Şarjlı Kesme Makasıyla kesilen kumaşları

3.2.2. Kompozit Numunelerin Üretim Aşamaları

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneysel çalışmada kullanılan kompozit plakalar İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Mekanik Laboratuvarında vakum infüzyon cihazında üretilmiştir

3.2.2.1. Kumaş Elyafların Ağırlığının Hesaplaması

Karbon fiber kumaştan sade 5 katmanlı levha ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlu 9 katmanlı levha üretmek için 330x340 mm ve 330x330 mm boyutlarında kesilen kumaşlar Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi ilk aşamada hassas terazinin kalibrasyonu yapılarak, kumaşların ağırlığı tartılmıştır.



Şekil 3.7. Terazinin kalibrasyonun yapılması ve kesilen kumaşların tartılması

Karbon elyafın ağırlık hesaplaması aşağıdaki gibidir:

Karbon Elyaf → 5 kat → 0.85 mm → 207 gr

Karbon elyaf terazide ölçülen kumaş ağırlığı 207 gr 'dır. Bununla birlikte hesaplama yapılırsa yapıştırıcı ve sertleştirici (100: 30) oranı esas alınarak hesaplama yapılmıştır.

3.2.2.1.1. Reçine ve Sertleştirici Hesabı

Reçine hesabı yapılırken epoksi reçine için reçinenin içine katılacak sertleştirici oranı belli bir orandır. Bu oran 100 gr reçineye 30 gr sertleştirici kullanılması gereklidir. Toplam reçine ve sertleştirici karışımının kütlesi, reçine oranı %73 ve sertleştirici oranı %27 olacak şekilde hesaplanmıştır.

207 gr toplam kumaş ağırlığı % 30 numune hacmi

X gr toplam ağırlığı % 70 numune hacmi

X=483 gr

Yapıştırıcı ve sertleştirici miktarları %73 olarak aşağıda hesaplanmıştır

$$Y = 483 \cdot (73/100)$$

$$Y = 352.59 \text{ gr}$$

Sertleştirici miktarı ise şöyle bulunur:

$$Z = 483 - 352.6 = 130.41 \text{ gr}$$

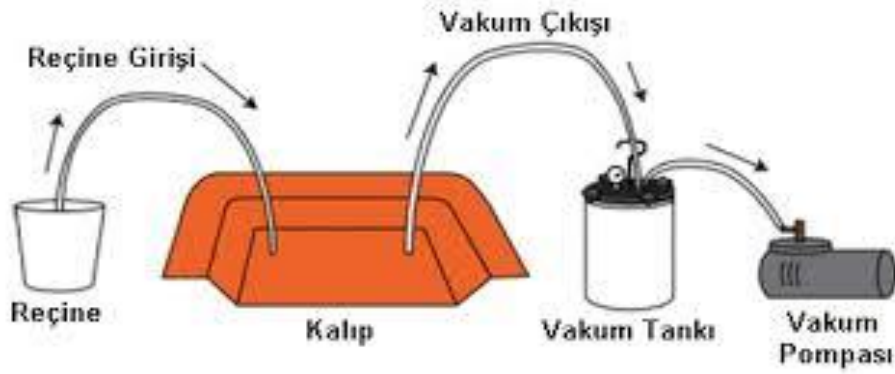
$$Z = 130.41 \text{ gr}$$

3.2.3. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Vakum İnfüzyon Prosesi (VIP), yüksek kaliteli kompozit parçalar üretmek için uygun maliyetli bir süreçtir. VIP'in avantajları arasında daha yüksek kalite, daha iyi tutarlılık, daha iyi homojen içeriğine sahip (daha yüksek özgül mukavemet ve sertlik), iyi iç kaplama, daha hızlı döngü süresi ve daha düşük maliyet bulunmaktadır.[51]

Vakum İnfüzyon Prosesinde (VIP), tabakaların içine reçine infüze etmek için vakum kullanır. İlk adım kumaş liflerini ve çekirdek malzemelerini kalıba dökmektir. Vakum infüzyon işlemi, hafif malzeme üretiminde oldukça kapsamlı bir yöntemdir. Vakum infüzyon prosesi son derece güçlü olan elyaf takviyeli plastiklerden üstün ürünler elde etme kabiliyeti sunan bir işlemdir. Vakumlu reçine infüzyonu, kapalı kalıp sistemi ile atmosferik basınç arasında ana işlem parametresi olarak diferansiyel basınç ve reçineyi tam anlamıyla tabakanın içine emmek için itici güç kullanır. Bu işlem daha az kaynak israfına yol açar. Bununla birlikte, epoksi malzemeler ile çalışırken, insan sağlığına zararlı olmasından dolayı ve çevreye karşı olan negatif etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Epoksi katkılı malzemelerle yapılan çalışmalarda, gerekli önlemlerin alınması ve bu türdeki malzemelere insanların minimum düzeyde maruz kalması gerekir.

Vakum infüzyon yönteminde genel anlamda hazırlanan sistemler aynı olmakla beraber, uygulama alanları açısından farklılıklar gösterebilmektedir. Kapalı bir ortam içinde reçinenin vakum deliğine doğru ilerlemesi olan infüzyon yöntemi dört temel elemandan meydana gelir. Bu elemanlar; vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası dört bölümden oluşur. Bu dört temel elemanın bağlantı biçimleri değişebilmektedir. Ancak bütün sistemlerin oluşturulma mantığı aynıdır. Proseste kullanılan elemanlar Şekil 3.8’ de gösterilmiştir.[52]

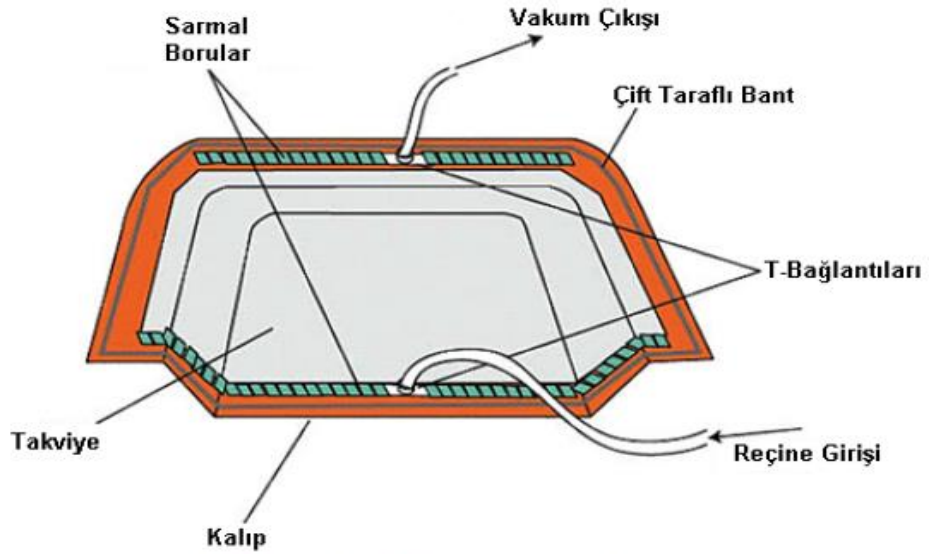


Şekil 3.8. Vakum infüzyon prosesinde kullanılan elemanlar[52]

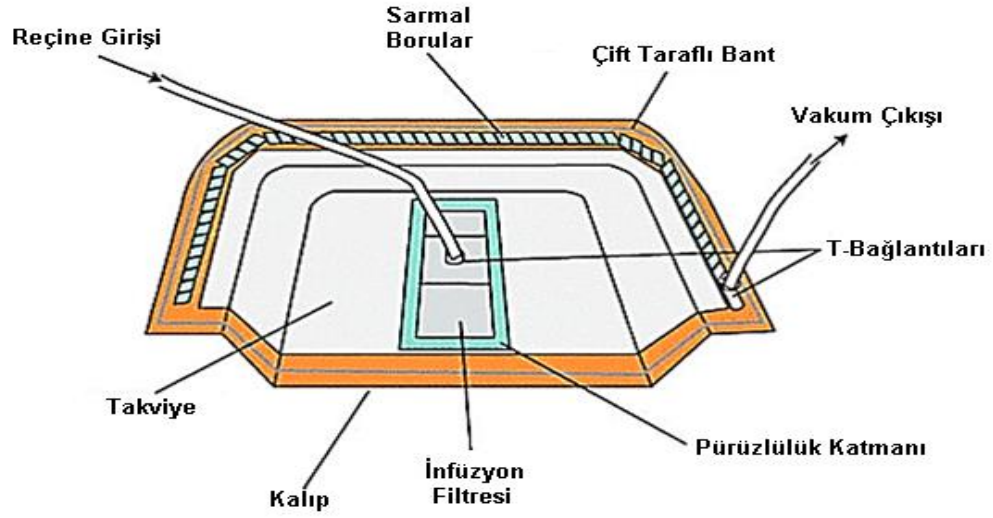
Vakum infüzyon yönteminde süreç, kuru takviye malzemelerinin kalıp yüzeyine yerleştirilmesiyle başlar. Reçine akışını kolaylaştırmak için spesifik akış ortamı türleri kullanılır. Tüpler yerleştirilir ve tabakanın üstünde bir vakum torbası kalıpların çevresine kapatılır, bu da kapalı bir kalıp sistemi oluşturur. Daha sonra reçineyi boşluğa ve tabaka boyunca atmosferik basınç koşullarında sürmek için bir vakum pompası kullanılır. Bu aşama sırasında tabaka sıkıştırılır ve reçineyi tamamen doyana kadar gözenekli malzemeye iter. Yüksek vakum pompası boşluğun içindeki havanın tümünü çıkarmak ve lif ve çekirdek malzemelerini birleştirmek için kullanılır [53].

Vakum infüzyon yönteminin önemli avantajları arasında daha az reçine kaybından dolayı, elde edilen tabakada minimum boşluklar olmasıdır. Ayrıca, bu proseste istenen ebatlara sahip parçalar elde etme yelpazesi oldukça geniştir. Bu proseste, en aza indirilmiş stiren emisyonları sayesinde (kapalı bir ortamda reçine kürlenmesinden dolayı), yüksek verimliliğe sahip ürünler elde edilir. [56]

Vakum infüzyon yönteminde iki türlü üretim prosesi vardır. Bu çalışmada, Şekil 3.10 'da etrafından vakumlanıp, ortasından reçine emdirilen bir ürün imalatı görülmektedir. Şekil 3.11 'de ise aynı ürün farklı bir yolla imal edilmekte olup, vakum ve reçine hatları karşılıklı olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Etrafından vakumlanıp reçinenin ortadan emdirildiği vakum infüzyon sistemi [54]



Şekil 3.11. Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi[54]

3.2.3.1. Levhaların Üretimi İçin Vakum İnfüzyon Cihazının Kullanımı

Bu çalışmada kullanılan numunelerin üretiminde vakum infüzyon yöntemi (VİY) kullanılmıştır. Vakum infüzyon yönteminin tercih edilmesinin en önemli sebebi, diğer yöntemlere göre daha üstün verimli özellikleri ve daha kaliteli numunelerin elde edilmesindendir.

Vakum tezgâhında düz plaka kompozit levha üretimi yapılacağı için tezgâhın yüzeyi kalıp işlevi olarak kullanılmıştır. Düz plaka üretiminde kalıp olarak kullanılan infüzyon tezgahına ait görüntü Şekil 3.12’de görülmektedir. Vakum infüzyon prosesinde ilk adım olarak, tezgâhın yüzeyi tamamen temizleme işlemi uygulanarak toz, kir ve ufak tanecikli artıkların tezgâhtan arındırılması sağlanmıştır. Numune üretiminde, hazırlanmış olan kalıpta vakumlamayı yapan ve reçinenin emdirilmesini sağlayan vakum infüzyon pompası ve kristal toplayıcı Şekil 3.13 ‘te gösterilmiştir. Kristal toplayıcının esas görevi, sistemdeki fazlalık olan epoksi reçine – sertleştirici karışımının toplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.12. Vakum infüzyon tezgahı

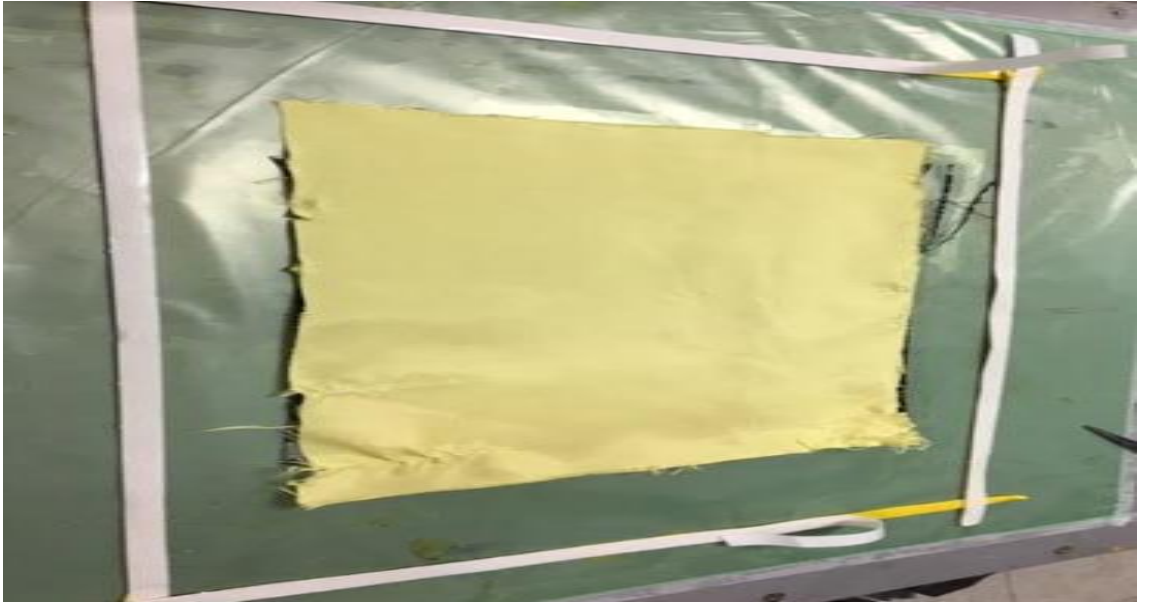


Şekil 3.13. Vakum infüzyon pompası ve kristal toplayıcı

İkinci adımda tezgâhta fiber kumaş elyafların serileceği bölgeye kalıp ayırıcı film, Şekil 3.14. 'de görüldüğü üzere, üretilecek numune boyutlarına uygun biçimde kesilmiştir. Kesilen kalıp ayırıcı flim, vakum infüzyon tezgâhının üzerine yapışkan bant yardımı ile sabitlenmiştir (Şekil 3.12). Kalıp ayırıcı filmin sabitlenmesinin amacı, düz plaka üretimi için oluşturulan kalıbın vakumlama işlemi esansında zarar görmemesi içindir. Vakum naylonunun çevresi çift taraflı sızdırmazlık bandı ile yapıştırılmıştır. Daha sonra elyaflar ayırıcı vakum naylonunun üzerine konularak yerleştirilmiştir. Elyaflar açısı 0° - 90° - 0° olacak durumda Şekil 3.15 'de gösterildiği gibi serilmiştir.

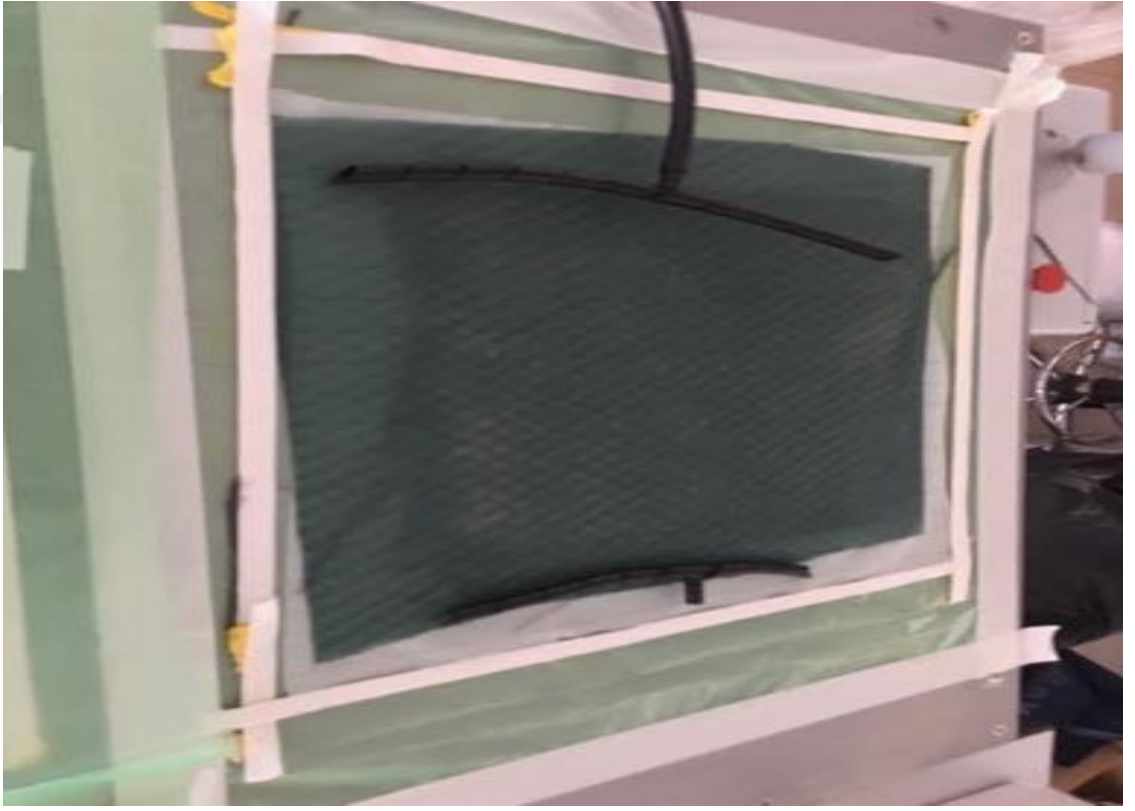


Şekil 3.14. Vakum naylonunun kesilmesi ve serilmesi



Şekil 3.15. Kumaşların vakum naylona serilmesi ve sızdırmazlık bantlarının çekilmesi

Bantlar dikkatli yapıştırıldıktan sonra ve 5 kat elyaf vakum naylonunun üzerine teker teker serilmiştir. Üçüncü adımda, serilen elyaf tabakaların üzeri, kalıp boyutlarına göre hazırlanan peel ply kumaşla kaplanmıştır. Peel ply kumaşın amacı hem reçineyi kolaylıkla geçirebiliyor olması hem de karbon kumaşın üzerinden kolayca ayrılabilen bir yapıda olabilmesindendir. Dördüncü adımda peel ply kumaş elyafların üzerine serilip sabitlendikten sonra, flow mesh (akış filesi) peel ply kumaşın üzerine serilmiş ve mesh tam ortalanmıştır[57]. Peel ply kumaş ve akış filesinin serilmesi Şekil 3.16 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Peel ply kumaş ve akış filesinin serilmesi

Beşinci adımda ayıraç filmi serilmeden önce spiral hortuma yerleştirilmiş olan T bağlantılarının uçlarına, vakum hortumları monte edilip hortumların çevresi sızdırmazlık bantları ile bantlanmıştır. Şekil 3.17 'de hortumların sızdırmazlık bantları ile sabitlenmesi görülmektedir.



Şekil 3.17. Hortumların etrafına sızdırmazlık bandı çekilmesi

Altıncı adımda ayıraç filmi serildikten sonra spiral hortuma yerleştirilmiş olan T bağlantılarının uçlarına vakum hortumları sabitlenmiştir. Daha sonra sızdırmazlık bandı ile ayıraç filmi bantlanmıştır. Spiral hortumların bantlanması işlemi dikkatli bir şekilde ve hortum uçlarından yapılmalıdır. Spiral hortumların bantlanmasının amacı, spiral hortum kenarlarının keskinliği üzerine gelecek olan vakum emme basıncının, kalıp filminin yırtmaması içindir. Spiral hortumlar sabitlendikten sonra, üst ayıraç filmi sızdırmazlık bantlarının üzerine yapıştırılarak kalıp hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

Vakum hortumlarının bir tanesi reçinenin sisteme emdirilmesini sağlayan, diğeri de sistemden reçinenin çıkacağını sağlayan hortumdur. Reçineyi sisteme veren hortumun ucu sistemdeki sızdırmazlığı sağlamak için havayla temasını kesmek amacıyla kapatılmıştır. Reçineyi sistemden çıkaracak diğer hortumun ucu ise vakum tezgâhının vakum vanasına monte edilmiştir. Ardından tezgâh çalıştırılarak vakum işlemi gerçekleştirilip, sistem içindeki kalan havanın tamamı vakumlanmıştır.

Yedinci adımda son olarak vakumlama işleminden sonra tezgâhın basınç göstergesinden sistemde sızdırma olup olmadığı kontrol edilmiştir. Eğer sızdırma varsa, sızdırmanın olduğu yer belirlenerek sızdırmazlık sağlanmalıdır. Hazırlanan kalıpta sızdırmazlığın sağlanabilmesi için vakumlama işlemi birkaç kez tekrarlanmalıdır. Ayrıca kalıp içerisinde sızdırmazlık olup olmadığının anlaşılabilmesi için 10-15 dakika beklenilmelidir. Sistemdeki sızdırma olasılığına karşılık sızdırmazlık kontrolleri yeniden uygulanmalıdır. Hazırlanan kalıp sistemindeki ayıraç filmi ve hortumların yerleşimi Şekil 3.18 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Ayıraç filmi ve hortumların yerleşimi

3.2.3.2. Epoksi Reçine ve Epoksi Sertleştiricinin Karıştırılması

Bu aşamada, reçine ve sertleştirici karışımı yapılmıştır. Daha sonra Şekil 3.19'da görüldüğü gibi karışım hazırlanarak, 15-30 dk arasında karıştırma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.19. Epoksi reçine ve epoksi sertleştirici karıştırılması

3.2.3.3. Epoksi Karışımının Karbon Elyafa Emdirilmesi ve Kürleşme İşlemi

Kürleşme işleminden önce, karbon elyafın hazırlanan karışımı ile iyice doyurulması gerekmektedir. Cihazın sıcaklığı, elyafın hazırlanan reçine- sertleştirici karışımını emmesi sırasında, cihaz çalıştırılarak 40 °C ye ayarlanmıştır. Cihazın bu sıcaklık değerinde ayarlanmasının amacı reçine-sertleştirici karışımının emme işleminde karışımın viskozitesinin artırılmasını sağlar. Emme işleminden sonra reçine-sertleştirici karışımının, karbon elyafa nüfuz etmesi sağlanarak, doyurma işlemlerinden sonra kürleşme prosesi uygulanmıştır. Kürleşme prosesi sıcaklık değerlerinde sırasıyla 20 °, 40 °, 60 ° ve 80 °C olarak numune üretimi yapılmıştır. Kürleşme prosesi 2 saatlik bir zaman diliminde meydana gelmiştir. Bu kapsamda emme ve kürleşme işlemlerin uygulandığı numune kalıbı Şekil 3.20 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Epoksi reçine-sertleştirici karışımın kalıp içine emdirilmesi

Cihaz soğuduktan sonra, üretilen levhadan üzerindeki ayırıcı kumaş, dağıtıcı file ve diğer kullanılan malzemeler ayrılmıştır. Emdirme işleminden önce epoksi reçine-sertleştirici karışımın viskozitesine mümkün olduğunca dikkat edilmesi gerekmektedir. Viskozitenin düşük olması, reçine karışımının karbon elyafa hızlı biçimde hareket etmesine sebep olur. Bu da elyafın uygun bir şekilde doymasını engelleyebilecek durumlara sebep olabilir. Bununla birlikte, viskozitenin fazlalığı, elyafa reçine-sertleştirici karışımının homojen olarak dağılmasında ve optimum doymada sorun yaratabilir.

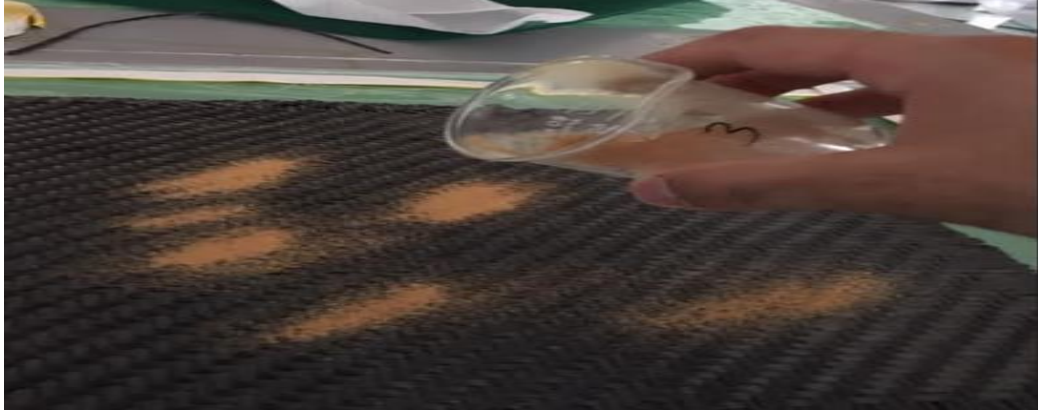
3.2.3.4. Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozuyla Vakum İnfüzyon Metodu

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin üretim aşamaları bir önceki başlıkta bahsedilen yöntem adımları izlenerek yapılmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, toplam matris ve fiber oranlarının toplam ağırlığının % 10 kadar uygulanmıştır.

Şekil 3.21‘ de kayısı çekirdeği kabuğu tozunun kompozitlere uygulanması görölmektedir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu beher yardımıyla tabakalar arasına eşit bir şekilde Şekil 3.22 ‘de göröldüğu serilmiştir.



Şekil 3.21. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulanması



Şekil 3.22. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulanması

Vakumlama işleminden sonra, epoksi reçine-sertleştirici karışımının emdirilmesi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, kürleşme prosesi uygulanmıştır. Bu kapsamda 20 °C, 40, 60 ve 80 ° C ‘de sıcaklık değerlerinde numune üretimleri yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar kapsamında, optimum kürleşme sıcaklığı 40 °C olarak belirlenmiştir. 40 °C kürleşme prosesinde yüzde olarak sırasıyla 10, 20, 30, 40 ve 50 değerlerinde kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numune üretilmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu uygulanan katkılı karbon elyaf numuneye, epoksi reçine-sertleştirici karışımının emdirilmesi esnasında cihaz çalıştırılarak, cihazın sıcaklığı 40 °C ‘ye ayarlanmıştır. Reçine-sertleştirici karışımının emdirilmesi ve kürleşme prosesinin gerçekleşmesi Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

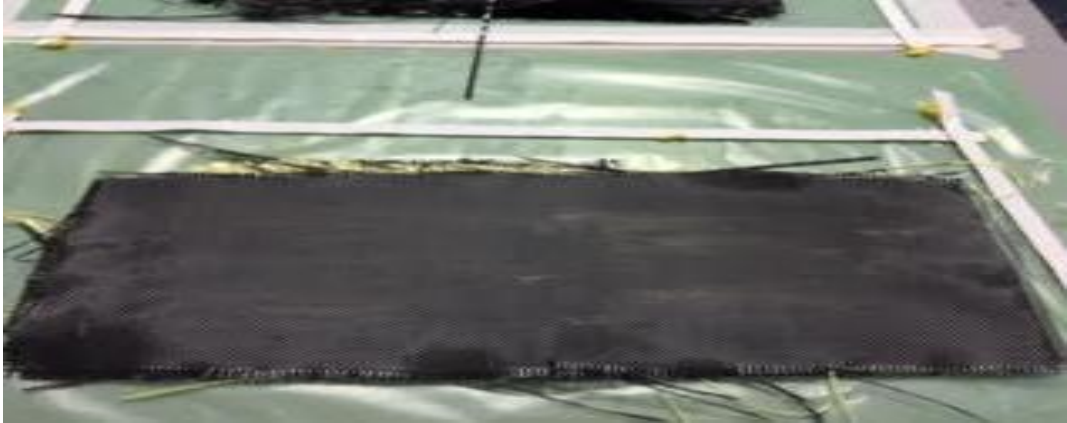


Şekil 3.23. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı karbon elyaf numuneye epoksi reçine-sertleştirici karışımın kalıp içine emdirilmesi ve kürleşme prosesinin uygulanması

3.3. Hibrit Tabakalı Kompozit Levha Üretimi

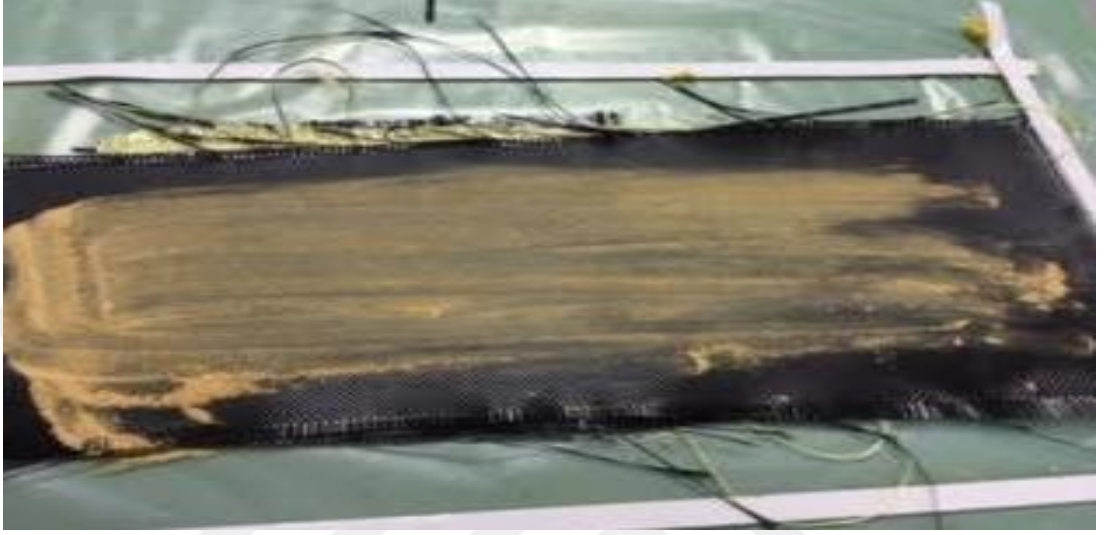
Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozu kullanılarak hibrid kompozit tabakalı malzeme üretimi yapılmıştır. Bu muhtevada, vakum infüzyon yöntemindeki önceki adımlar uygulanarak üç numune üretimi yapılmıştır. Birinci numune kabuk tozu katkısız olarak üretilmiştir. İkinci numunede grafen nanotozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve fındık kabuğu tozu katkılı olarak üretilmiştir. Üçüncü numunede ise grafen nanotozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozu katılarak farklı oranlarda tabakalara uygulanmıştır. Üretilen levhaların boyutları 250x400 mm, 250x440 mm ve 440x440 mm boyutlarındadır. Levhaların farklı boyutlarda üretilmesinin sebeplerinden birincisi atış yapılacak mermi sayısı, ikinci ise kabuk tozu katkılı numunelerin balistik malzemelerle olan ilişkisini araştırmak içindir. Bu kısımdaki çalışma hazırlanırken, toplam uygulanacak kabuk yüzdesi %7 ve %10 olarak belirlenmiştir. Sade numunede grafen nanotozu kullanılmıştır. Diğer numunelerde grafen nanotozu kabuk tozlarıyla belirlenen oranlarda karıştırılıp elyaf kumaşlar üzerine serilmiştir.

Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, her tabakaya kabuk tozları grafen nanotozu ile değişik oranlarda karıştırılmıştır. Grafen nanotozu uygulanarak, bu doğrultuda sade numunenin üretimi Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sade numune üretiminin hazırlanması

İkinci numunenin üretiminde fındık kabuğu tozu ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları belirlenen oranlar arasında grafen tozu ile birlikte karıştırılarak tabakalar üzerine serilmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun, elyaf tabakalar üzerine serilmesi Şekil 3.25 'te gösterdiği gibidir. Daha sonraki elyaf tabakaların üzerine fındık kabuğu ve grafen nanotozunun serilmesi Şekil 3.26 'da görülmektedir.

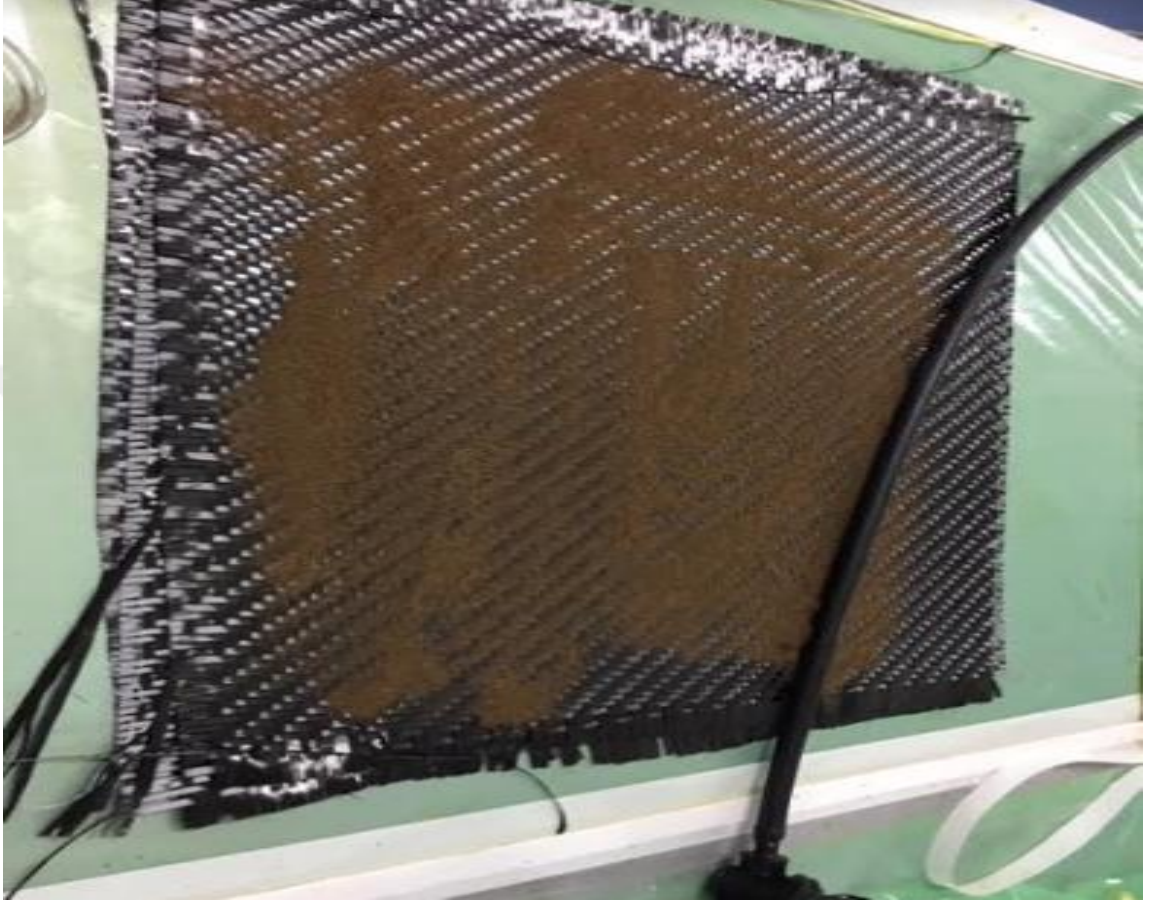


Şekil 3.25. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun kumaşın üzerine serilmesi



Şekil 3.26. Fındık kabuğu tozunun grafen ile kumaşın üzerine serilmesi

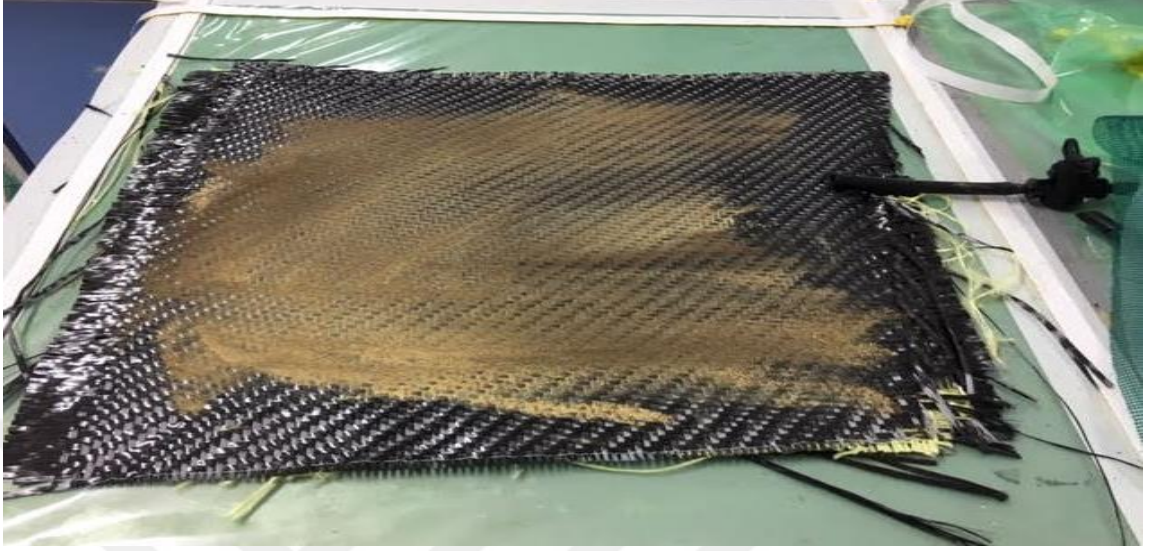
Üçüncü numunenin üretimine başlanmıştır. Belirlenen oranlarda, kumaş tabakaları üzerine kabuk tozlarının ağırlıkları tartılarak, toz numunelerin serilmesi aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.27 'de görüldüğü gibi , fındık kabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozlarının elyaf üzerine serilmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.27. Ceviz kabuğu tozu ve fındık kabuğu tozunun tabakalara uygulanması

Sıradaki kompozit elyaf tabakaya grafen tozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, ceviz kabuğu tozu ve fındık kabuğu tozu belirli oranlarda karıştırılarak uygulanmıştır. Yapılan literatür araştırması neticesinde, bu elyaf tabaka üzerine ,%30 kayısı çekirdeği kabuğu tozu, %30 fındık kabuğu tozu, %25 ceviz kabuğu tozu ve %15 oranında grafen nanotoz malzemesinden oluşan toz karışımı uygulanmıştır.

Şekil 3.28 'de görüldüğü gibi bu elyaf tabaka üzerine , bir önceki tabaka değerleri esas alınarak, %40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu, %40 fındık kabuğu tozu, %25 ceviz kabuğu tozu oluşan toz karışımı uygulanmıştır.



Şekil 3.28. Ceviz kabuğu tozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozunun ve grafen tozunun tabakalara uygulanması

Aramid kumaş tabakaya malzemeye sadece fındık kabuğu tozu ,ceviz kabuğu tozu ve grafen tozu karıştırılarak Şekil 3.29'da uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Aramid kumaşa kabuk tozlarının ve grafen malzemesinin uygulanması

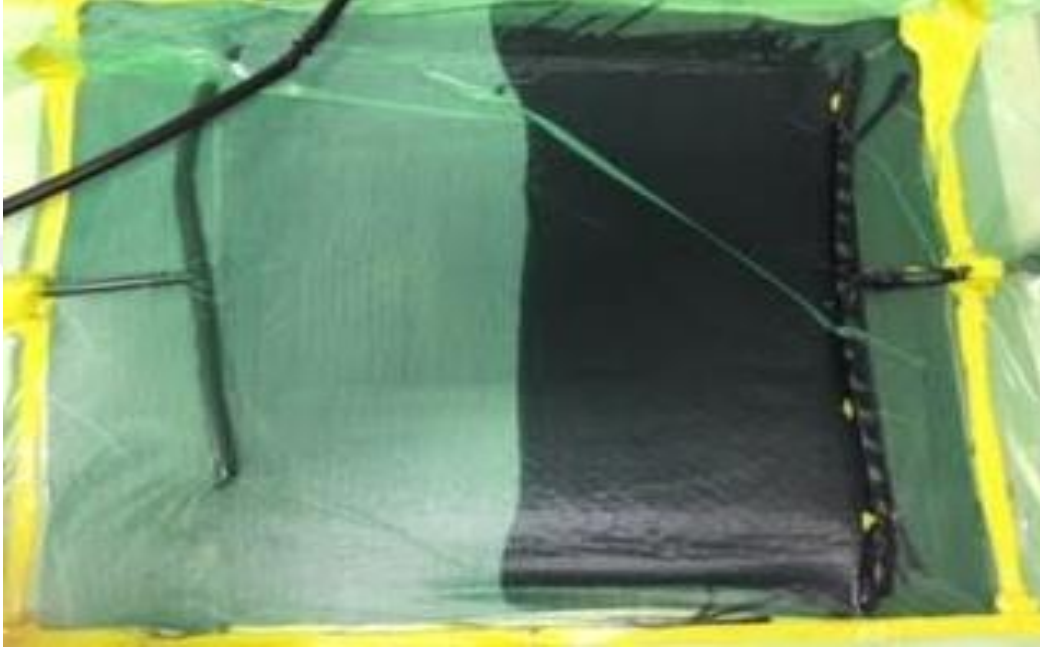
Şekil 3.30’da görüldüğü gibi, karbon fiber elyaf tabaka üzerine kütsel olarak , % 80 kayısı çekirdeğı kabuğı tozu ve %20 grafen nanotozu hazırlanan karışım, düzenli şekilde tabaka üzerine serilmiştir. Düzenli şekilde tabaka üzerine karışımın serilmesinin amacı, homojen ve rijit bir özelliğı sahip olan numunenin elde edilmesi içindir.



Şekil 3.30. Karbon fiber kumaşa kabuk tozunun ve grafen malzemesinin uygulanması

Bu aşamadan sonra son tabakalara grafen tozu, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, findık kabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozu karıştırılmıştır. Daha sonra son tabakaya findık kabuğu tozu yerine ceviz kabuğu tozu kullanılmıştır. Toplam numunede grafen nanotozu oranı 0,044 civarında uygulanmıştır.

Son aşamada sızdırmazlık kontrolleri yapılarak, epoksi reçine –sertleştirici karışımı emdirme uygulaması Şekil 3.31 ‘de görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 3.31. Epoksi reçine-sertleştirici karışımının emdirilmesi işlemi

3.4. Kompozit Numunelerin Konfigürasyonu

Deneylerde kullanılmak üzere üretilen numuneler, kabuk tozu katkılı ve kabuk tozu katkısız olmak üzere, karbonfiber tabakalı kompozit malzemeler olarak üretilmiştir. Matriks malzemesi olarak ise yüksek sıcaklığa dayanıklı ve güçlü mukavemet özellikleri olan epoksi reçine kullanılmıştır.

3.4.1. Karbon Fiber Tabakalı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler

Deneylerde kullanılan 5 katlı numunelerde 0°, 90°, 0° plain ve 12 k twill olmak üzere kumaş tipinde karbon elyaf kullanılmıştır. Bu kapsamda 20 °C kürlenmiş numune için reçine hesabı bu bölümdeki reçine ve sertleştirici hesabından faydalanılarak yapılmıştır. Numunelerin, üretim aşamasından sonraki kütleleri hassas terazi ile tartılmıştır. Üretim sonraki kütleler esas alınarak, numuneler için hesaplamalar yapılmıştır.

Malzeme üretimine ait ilişkin bilgiler şu şekildedir:

m_e (gr) : Kumaş elyaf ağırlığı	v_t (cm ³): Numunenin toplam hacmi
m_m (gr) : Numunenin matriks kütlesi	ρ_e (gr/cm ³) : elyaf yoğunluğu
m_t (gr) : Numunenin toplam kütlesi	ρ_m (gr/cm ³) : matriks yoğunluğu
v_e (cm ³) : Numunenin elyaf hacmi	ρ_t (gr/cm ³) : numunenin yoğunluğu
v_m (cm ³): Numunenin matriks hacmi	h (mm) : numunenin kalınlığı

Numunenin kalınlığı 4.25 mm olup diğer hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

h: 4.25 mm

a: 330 mm

b: 330 mm

$$v_t = a*b*h \quad (3.1)$$

$$v_t = 330*330*4.25 = 462825 \text{ mm}^3 \text{ dür.}$$

Üretim öncesince kumaşların kütleleri tartılmıştır. Üretim sonrası numune ağırlığından bu ağırlık çıkarılarak numunenin matris ağırlığı tespit edilmiştir.

$$m_t = 650 \text{ gr}$$

$$m_e = 207 \text{ gr}$$

$$m_m = m_t - m_e \quad (3.2.)$$

$$m_m = 443 \text{ gr 'dır.}$$

Numunenin yoğunluğu ise şöyle bulunur:

$$\rho_t = \frac{m_t}{v_t} \quad (3.3)$$

$$\rho_t = \frac{650}{462.825} = 1.405 \text{ gr/cm}^3$$

ρ_m matriks yoğunluğu, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'den faydalanılarak şöyle bulunmuştur. Matriks oluştururken seçilen orana bağlı olarak ($73/27=2.70$) hacimsel olarak 2.70 birimlik epoksi reçineye 1 birimlik epoksi sertleştirici oranına göre matris yoğunluğu esas alınmıştır. Buna göre;

$$\rho_m = d_m = \frac{m_{\text{karışım}}}{v_{\text{karışım}}} \quad (3.4)$$

$$m_{\text{karışım}} = m_{\text{reçine}} + m_{\text{sertleştirici}} \quad (3.5)$$

$$v_{\text{karışım}} = v_{\text{reçine}} + v_{\text{sertleştirici}} \quad (3.6)$$

$$\rho_{\text{reçine}} * v_{\text{reçine}} = m_{\text{reçine}} \quad (3.7)$$

$$\rho_{\text{sertleştirici}} * v_{\text{sertleştirici}} = m_{\text{sertleştirici}} \quad (3.8)$$

olduğundan değerler formülde yerine yazılırsa,

$$\rho_m = ((1.17*2.70)+(1*0.94))/(2.70+1)$$

$$\rho_m = 1.108 \text{ gr /cm}^3 \text{ 'dür.}$$

$\rho_m = 1.108 \text{ gr /cm}^3$ matriks yoğunluğu olup, matriks numunesinin hacmi;

$$v_m = \frac{m_m}{d_m} \quad (3.9.)$$

$$v_m = \frac{443}{1.108} = 399.8 \text{ cm}^3$$

bulunur. Buna göre elyaf hacmi;

$$v_e = v_t - v_m \quad (3.10.)$$

$$v_e = 462.825 - 399.8 = 63.025 \text{ cm}^3 \text{ 'dır.}$$

Buradan hareketle elyaf yoğunluğu ise;

$$\rho_e = \frac{m_e}{v_e} \quad (3.11)$$

$$\rho_e = \frac{207}{63.025} = 3.285 \text{ gr/ cm}^3 \text{ 'dir.}$$

Bu hesaplamalar sonucunda numunenin;

Matriks ve takviye elemanının boyutsuz kütle oranı (w_m , w_e) ise;

w_m : Matriks elemanının boyutsuz kütle oranı

w_e : Takviye elyaf elemanının boyutsuz kütle oranı

$$w_m = \frac{m_m}{m_m + m_e} \quad (3.12)$$

$$w_m = \frac{443}{650} = 0.681$$

$$w_e = \frac{m_e}{m_m + m_e} \quad (3.13)$$

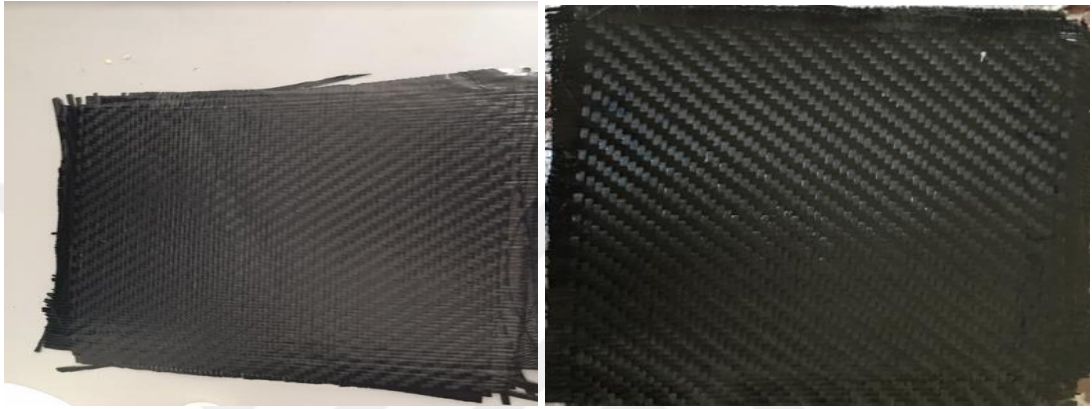
$$w_e = \frac{207}{650} = 0.319$$

olarak bulunur. Buna bağlı olarak;

$$w_m + w_e = 1 \text{ 'dir.} \quad (3.14)$$

3.4.1.1. 5 Tabakalı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler

Kürleşme sıcaklıkları 20 ve 40 °C değerlerinde 2 saat kürlenmiş numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.32 'de gösterilmiştir. 40 °C 'de kürlenmiş tabakalı epoksi reçine matriksli numunenin, Solidworks programında katı modeli oluşturularak Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Üretilen numuneler 330x330 ve 320 x 320 mm boyutlarında üretilmiştir. Literatürde vakum infüzyon yönteminde, üretim yapılan ideal kürleşme sıcaklığı 40 °C 'dir.



Şekil 3.32. 20 ve 40 °C'de kürlenmiş 5 kat tabakalı epoksi reçine matriksli numuneler

20 ve 40 °C sıcaklık değerlerinde, 2 saat kürlenmiş olan numunelere ait veriler Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. 20 °C 'de kürlenmiş numuneye ait veriler

$m_t(\text{gr})$	650 gr	$v_t (\text{cm}^3)$	462.5 cm ³	$\rho_t(\text{gr/cm}^3)$	1.405 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	207 gr	$v_e (\text{cm}^3)$	63.025 cm ³	$\rho_e(\text{gr/cm}^3)$	3.285 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	443 gr	$v_m (\text{cm}^3)$	399.8 cm ³	$\rho_m(\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$h (\text{mm})$	4.25 mm	w_m	0.681	w_e	0.319

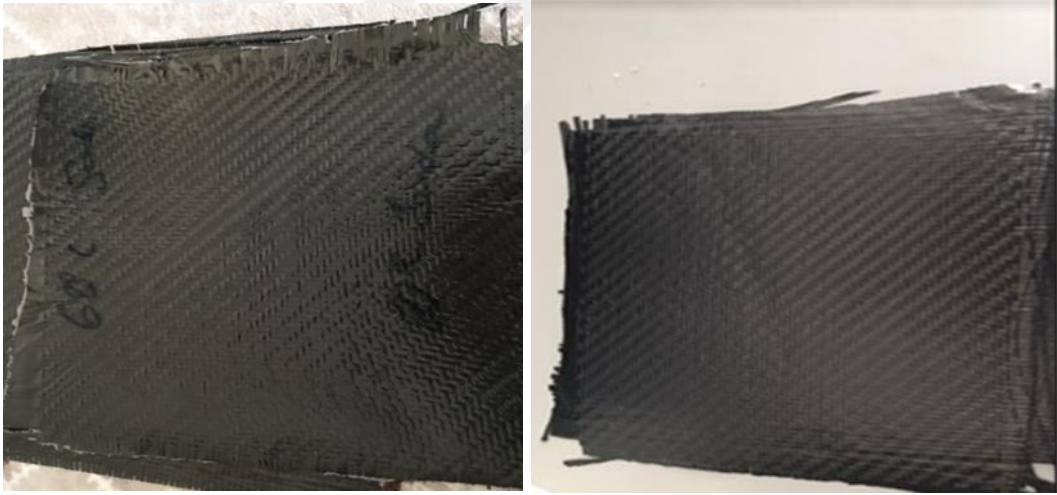
Çizelge 3.4. 40 °C 'de kürlenmiş numuneye ait veriler

$m_t(\text{gr})$	600.067 gr	$v_t (\text{cm}^3)$	435.250 cm ³	$\rho_t(\text{gr/cm}^3)$	1.379 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	192.020 gr	$v_e (\text{cm}^3)$	66.563 cm ³	$\rho_e(\text{gr/cm}^3)$	2.885 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	408.045 gr	$v_m (\text{cm}^3)$	368.637 cm ³	$\rho_m(\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$h (\text{mm})$	4.25 mm	w_m	0.679	w_e	0.321



Şekil 3.33. 40 °C ‘de kürlenmiş 5 kat tabakalı epoksi reçine matriksli numune modeli

Kürleşme sıcaklıkları 60 ve 80 °C değerlerinde,2 saat kürlenmiş numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.34 ‘te gösterilmiştir. Üretilen numunelerin boyutları 320x320 ve 340 x340 mm boyutlarında üretilmiştir.



Şekil 3.34. 60 °C ve 80 °C ‘de kürlenmiş 5 kat tabakalı epoksi reçine matriksli numuneler

60 °C ve 80 °C 'de 2 saat kürlenmiş numunelere ait veriler  izelge 3.5 ve 3.6 'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. 60 °C 'de kürlenmiş numuneye ait veriler

$m_t(\text{gr})$	600 gr	$v_t (\text{cm}^3)$	435.2 cm ³	$\rho_t(\text{gr/cm}^3)$	1.378 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	192 gr	$v_e (\text{cm}^3)$	66.97 cm ³	$\rho_e(\text{gr/cm}^3)$	2.877 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	408 gr	$v_m (\text{cm}^3)$	368.23 cm ³	$\rho_m(\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$h (\text{mm})$	4.25 mm	w_m	0.680	w_e	0.320

Çizelge 3.6. 80 °C 'de kürlenmiş numuneye ait veriler

$m_t(\text{gr})$	666.66 gr	$v_t (\text{cm}^3)$	491.30 cm ³	$\rho_t(\text{gr/cm}^3)$	1.357 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	212 gr	$v_e (\text{cm}^3)$	80.96 cm ³	$\rho_e(\text{gr/cm}^3)$	2.619 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	454.66 gr	$v_m (\text{cm}^3)$	410.34 cm ³	$\rho_m(\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$h (\text{mm})$	4.25 mm	w_m	0.682	w_e	0.318

3.4.2. Kayısı  ekirdeği Kabuğu Tozu Katkılı Epoksi Reçine Matriksli Numuneler

Bir  nceki başlıkta verilen formüller esas alınmıştır. Bu sadece bölümde kayısı çekirdeği kabuğu tozunun yoğunluğundan faydalanarak, numunelere ait veriler hesaplanmıştır. Buna göre, kayısı çekirdeği kabuğu tozuna ait bilgiler aşağıdaki gibidir:

$\rho_k (\text{gr/cm}^3)$: Kayısı  ekirdeği kabuğu tozunun yoğunluğu

$v_k (\text{cm}^3)$: Kayısı  ekirdeği kabuğu tozunun hacmi

$m_k (\text{gr})$: Kayısı  ekirdeği kabuğu tozunun kütlesi

$m_f (\text{gr})$: Numunenin toplam fiber kütlesi

İlk aşamada karbon elyaf ağırlığı 193.6 gr olarak hassas terazide tartılmıştır. İkinci aşamada reçine ve sertleştirici miktarı hesaplanmadan önce kabuk yüzdesi hesaplanmıştır. Malzemenin yapıştırıcı emdirilmeden önceki kalınlığı ölçülmüştür.

Karbon Elyaf → 5 kat → 0.85 mm → 193,6 gr

Kabuk tozu miktarı, elyaf kumaş ağırlığının yüzde 10'u kadar uygulanmıştır. Bu kapsamda kabuk tozu miktarı şöyle hesaplanmıştır.

$$\% \text{ kabuk tozu miktarı} = (X * \text{yüzde miktarı}) / (100) \quad (3.15)$$

$$\% \text{ kabuk tozu miktarı} = ((451.73) * 10) / (100)$$

$$\% \text{ kabuk tozu miktarı} = 45.173 \text{ gr}$$

Yapıştırıcı ve sertleştirici miktarları kabuk tozu miktarı hesaplandıktan sonra aşağıda hesaplanmıştır.

$$Y = X - (\% \text{ kabuk tozu miktarı}) \quad (3.16)$$

$$Y = 451.73 - 45.173$$

$$Y = 406.557 \text{ gr}$$

Buradan hareketle kayısı çekirdeği kabuğu tozunun yoğunluğu literatüre uygun olarak, $\rho_k = 1.336 \text{ gr/ cm}^3$ 'dür. Buna göre;

$$\rho_k = \frac{m_k}{v_k} \quad (3.17)$$

$$v_k = \frac{m_k}{\rho_k} = \frac{45.137}{1.336} = 33.786 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

3.4.2.1. 20, 60 ve 80 °C 'de Kürlenmiş Kabuk Tozu Katkılı Numuneler

20, 60 ve 80 °C değerlerinde kürlenmiş, kumaş elyaf ağırlığının %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.35 'te gösterilmiştir. Numune boyutları 330x340 mm'dir. Kürleşme prosesi, 2 saatlik bir zaman diliminde meydana gelmiştir.



Şekil 3.35. 20 , 60 ve 80 °C değerlerinde kürlenmiş kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler

20, 60 ve 80 °C değerlerinde kürlenmiş ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait ilişkin veriler Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.7. 20 °C'de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	640.33 gr	v_t (cm ³)	615.285cm ³	ρ_t (gr/cm ³)	1.040 gr/cm ³
m_e (gr)	193.60 gr	v_e (cm ³)	178.287 cm ³	ρ_e (gr/cm ³)	1.085 gr/cm ³
m_m (gr)	446.73 gr	v_m (cm ³)	403.186cm ³	ρ_m (gr/cm ³)	1.108 gr/cm ³
m_k (gr)	45.173gr	v_k (cm ³)	33.812cm ³	ρ_k (gr/cm ³)	1.336 gr/cm ³
h (mm)	5.65 mm	w_m	0.698	w_f	0.302

Çizelge 3.8. 60 °C’de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	662.780 gr	$v_t(\text{cm}^3)$	637.296 cm ³	ρ_t (gr/cm ³)	1.072 gr/cm ³
m_e (gr)	212.790 gr	$v_e(\text{cm}^3)$	238.816 cm ³	ρ_e (gr/cm ³)	0.891gr/cm ³
m_m (gr)	400.339 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	361.316 cm ³	ρ_m (gr/cm ³)	1.108 gr/cm ³
m_k (gr)	49.651 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	37.164 cm ³	ρ_k (gr/cm ³)	1.336 gr/cm ³
h (mm)	5.68 mm	w_m	0.604	w_f	0.396

Çizelge 3.9. 80 °C’de kürlenmiş kabuk tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	680.88 gr	$v_t(\text{cm}^3)$	635.052cm ³	ρ_t (gr/cm ³)	1.072 gr/cm ³
m_e (gr)	215 gr	$v_e(\text{cm}^3)$	190.10cm ³	ρ_e (gr/cm ³)	1.130 gr/cm ³
m_m (gr)	451.503gr	$v_m(\text{cm}^3)$	407.402cm ³	ρ_m (gr/cm ³)	1.108 gr/cm ³
m_k (gr)	50.168 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	37.550cm ³	ρ_k (gr/cm ³)	1.336 gr/cm ³
h (mm)	5.66 mm	w_m	0.663	w_f	0.334

3.4.2.1.2. 40 °C’ de Kürlenmiş Kabuk Tozu Katkılı Numuneler

40 °C’ de kürlenmiş olan kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin üretimi, kumaş elyafların ağırlıkları esas alınarak sırasıyla % 10, 20, 30, 40 ve 50 değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin boyutları 320x320 mm şeklindedir. Kürleşme prosesi, 2 saatlik bir zaman diliminde meydana gelmiştir. 40 °C ‘de kürlenmiş , %10 ve %20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.36 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. % 10 ve % 20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler

%10 ve % 20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere ait veriler

Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11 'de verilmiştir.

Çizelge 3.10. %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	614.88 gr	$v_t(\text{cm}^3)$	593.920 cm^3	ρ_t (gr/ cm^3)	1.035 gr/ cm^3
m_e (gr)	198.00 gr	$v_e(\text{cm}^3)$	225.340 cm^3	ρ_e (gr/ cm^3)	0.879 gr/ cm^3
m_m (gr)	370.680gr	$v_m(\text{cm}^3)$	334.00 cm^3	ρ_m (gr/ cm^3)	1.108 gr/ cm^3
m_k (gr)	46.200gr	$v_k(\text{cm}^3)$	34.580 cm^3	ρ_k (gr/ cm^3)	1.336 gr/ cm^3
h (mm)	5.80 mm	w_m	0.603	w_f	0.397

Çizelge 3.11. %20 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	620.88 gr	v_t (cm^3)	641.421 cm^3	ρ_t (gr/ cm^3)	0.968 gr/ cm^3
m_e (gr)	198 gr	v_e (cm^3)	273.992 cm^3	ρ_e (gr/ cm^3)	0.723 gr/ cm^3
m_m (gr)	330.48 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	298.268 cm^3	ρ_m (gr/ cm^3)	1.108 gr/ cm^3
m_k (gr)	92.40gr	v_k (cm^3)	69.161 cm^3	ρ_k (gr/ cm^3)	1.336 gr/ cm^3
h (mm)	5.89 mm	w_m	0.533	w_f	0.467

%30 ve % 40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere ait fotoğraflar Şekil 3.37’de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. %30 ve % 40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneler

40 °C ‘de, 2 saat kürlenmiş ve %30 ve %40 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere ait veriler Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13 ‘de verilmiştir.

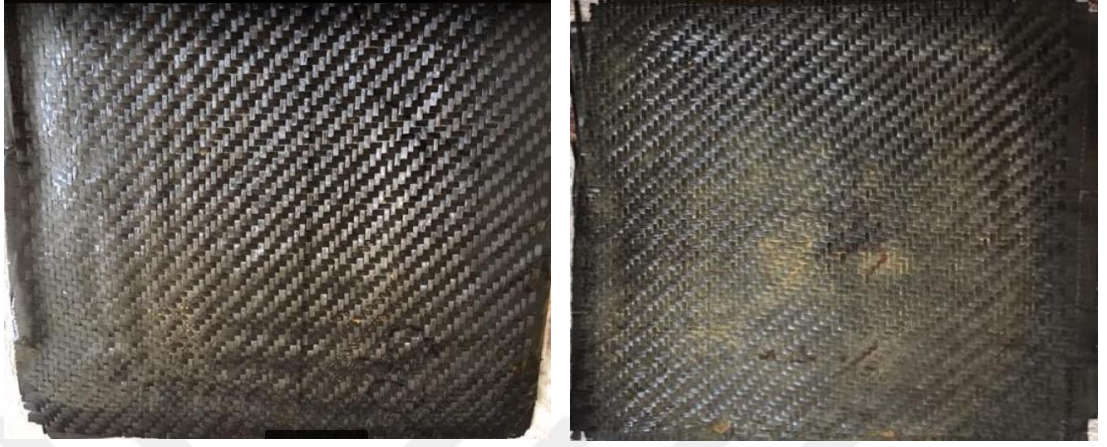
Çizelge 3.12. %30 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	638 gr	$v_t \text{ cm}^3$	653.400 cm^3	ρ_t (gr/ cm^3)	0.976 gr/ cm^3
m_e (gr)	195 gr	$v_e \text{ cm}^3$	242.067 cm^3	ρ_e (gr/ cm^3)	0.806 gr/ cm^3
m_m (gr)	318.50 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	287.455 cm^3	ρ_m (gr/ cm^3)	1.108 gr/ cm^3
m_k (gr)	136.50 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	123.878 cm^3	ρ_k (gr/ cm^3)	1.336 gr/ cm^3
h (mm)	5.89 mm	w_m	0.499	w_f	0.501

Çizelge 3.13. %40 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	640.667 gr	$v_t \text{ cm}^3$	666.648 cm^3	ρ_t (gr/ cm^3)	0.976 gr/ cm^3
m_e (gr)	196.400 gr	$v_e \text{ cm}^3$	300.126 cm^3	ρ_e (gr/ cm^3)	0.806 gr/ cm^3
m_m (gr)	260.961 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	229.316 cm^3	ρ_m (gr/ cm^3)	1.108 gr/ cm^3
m_k (gr)	183.360 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	137.206 cm^3	ρ_k (gr/ cm^3)	1.336 gr/ cm^3
h (mm)	5.89 mm	w_m	0.407	w_f	0.593

40 °C ‘de, 2 saat kürlenmiş ve %50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait fotoğraflar şekil 3.38 ‘de ve bu numuneye veriler ise  izelge 3.14 ‘te verilmiştir.



şekil 3.38. %50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numune

Çizelge 3.14. % 50 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait veriler

m_t (gr)	640 gr	$v_t \text{ cm}^3$	680.625 cm^3	ρ_t (gr/ cm^3)	0.940gr/ cm^3
m_e (gr)	196.500 gr	$v_e \text{ cm}^3$	301.901 cm^3	ρ_e (gr/ cm^3)	0.651 gr/ cm^3
m_m (gr)	229.500 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	207.130 cm^3	ρ_m (gr/ cm^3)	1.108 gr/ cm^3
m_k (gr)	229.25 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	171.594 cm^3	ρ_k (gr/ cm^3)	1.336 gr/ cm^3
h (mm)	5.89 mm	w_m	0.358	w_f	0.641

3.4.3. Ceviz, Fındık ve Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozları ile Üretilen Numuneler

Bu bölümde ceviz, fındık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile üretilen numuneler, balistik deneylere uygun olarak üretilmiştir. Bu bölümde sadece üçüncü numune için hesaplama yapılmıştır. Numunelerin, üretim aşamasından sonraki kütleleri hassas terazi ölçülmüştür. Üretim sonraki kütleler esas alınarak, numuneler için hesaplamalar yapılmıştır. Kürleşme prosesi bu bölümde farklı sıcaklıklarda yapılmasının amacı, literatürdeki çalışmalardan farklı kürleşme sıcaklık etkilerinin gözlemlenmesindendir.

3.4.3.1. Grafen Nanotozlu Numunenin Üretimi (GN Numunesi)

Bu numuneye ait kullanılan kumaşlar ve ağırlıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Yapılan sıralama kumaş elyafların literatürdeki kullanımlara göre yapılmıştır. Deneyde ki kullanılan takviye malzemeler Çizelge 3.15 'te verilmiştir. Numune boyutları 250x400 mm olarak üretilmiştir. Kürleşme işlemi prosesi 44°C 'de 8 saat, daha sonra 88 °C 'de 4 saat olarak meydana gelmiştir.

Çizelge 3.15. Deneyde kullanılan takviye malzemeleri

Sıra	Malzeme Adı	Türü	Kütlesi
1	Karbon Elyaf Balistik Amaçlı Kumaş	12k-twill	420 gr/m ²
2	Karbon Elyaf Kumaş	Dikişli 0°	300 gr/m ²
3	Karbon Elyaf Kumaş	12k-twill	420 gr/m ²
4	Aramid Kumaş	plain	200 gr/m ²

Çizelge 3.14'de verilen karbon elyaf kumaşlar arasında birim metrekaredeki kütleleri aynı olup, dayanım özellikleri ve kullanım alanları bakımından farklı özelliklere sahiptir.

Deneyde kullanılan takviye malzemelerinin miktarı Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Deneyde kullanılan takviye malzemelerinin miktarları

Kullanılan Elyaf Türü	Tabaka Sayısı	Malzeme kütlesi
Karbon Elyaf Balistik Amaçlı Kumaş	4	144.56(gr)
Aramid Kumaş	2	47.28 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş 300 gr/m ²	3	68.15 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş	2	48.15 (gr)
Grafen Nanotoz	7	31.63(gr)

Çizelge 3.16 ‘da grafen nanotozu belirlenen elyaf tabakalar üzerine, 7 katman olacak şekilde serilmiştir. Bu numunede grafen nanotozunun elyaf tabakalar üzerine serilmesi, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak yapılmıştır.

Bu balistik zırhta grafen nanotozu değer olarak 0.044 uygulanmıştır. Grafen nanotoz malzemesine ait ilişkin bilgiler şu şekildedir:

m_g (gr): Grafen nanotozunun kütlesi

ρ_g (gr/cm³): Grafen nanotozunun yoğunluğu

v_g (cm³) :): Grafen nanotozunun hacmi

bulunur. Nanografi Firmasından alınan bilgiler kapsamında $\rho_g = 0.1$ gr/cm³ olarak alınmıştır. Buna göre;

$$\rho_g = \frac{m_g}{v_g} \quad (3.18)$$

$$v_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{31.63}{0.10} = 316.300 \text{ cm}^3 \text{ ‘dür.}$$

Numuneye ait fotoğraflar Şekil 3.39 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Balistik deneyi için sade grafen nanotozlu üretilen numune

Bu numuneyi oluşturan takviye ve matriks elemanlarının, ağırlıkça ve hacimce yüzdeleri hesaplanmıştır. Numuneye ait veriler Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. GN numunesine ait veriler

m_t (gr)	970 gr	v_t (cm ³)	950 cm ³	ρ_t (gr/cm ³)	1.141 gr/cm ³
m_e (gr)	308.12 gr	v_e (cm ³)	65.052cm ³	ρ_e (gr/cm ³)	4.736 gr/cm ³
m_m (gr)	630.25gr	v_m (cm ³)	568.818cm ³	ρ_m (gr/cm ³)	1.108 gr/cm ³
m_g (gr)	31.63 gr	v_g (cm ³)	316.300cm ³	ρ_g (gr/cm ³)	0.10 gr/cm ³
Takviye ağırlık yüzdesi		35.02	Matriks ağırlık yüzdesi		64.97
Takviye hacim yüzdesi		33.09	Matriks hacim yüzdesi		66.91
h (mm)	9.50 mm	w_m	0.649	w_f	0.351

3.4.3.2. Grafen Nanotozlu ve Fındık ile Kayısı çekirdeği Kabuğu Tozları Katkılı Numunenin Üretimi (GNFK Numunesi)

Bu numuneye ait kullanılan kumaşlar ve ağırlıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Yapılan sıralama kumaş elyafların literatürdeki kullanımlara göre yapılmıştır. Numune boyutları 250x440 mm olarak üretilmiştir. Kürleşme işlemi prosesi 44°C 'de 8 saat, daha sonra 88 °C 'de 4 saat olarak gerçekleşmiştir. Grafen nanotozu ve fındikkabuğu tozları belirlenen elyaf tabakalar üzerine serilmiştir. Numunede kullanılan toz karışımları, tabakalar meydana getirecek biçimde hazırlanmıştır. Bu numunedeki takviye malzemelerine ait özellikler Çizelge 3.14'den faydalanarak belirlenmiştir. Numunede kullanılan kullanılan takviye malzemelerinin miktarı Çizelge 3.18'de verilmiştir.

Çizelge 3.18. Deneyde kullanılan takviye malzemelerinin miktarları

Kullanılan Elyaf Türü	Tabaka Sayısı	Malzeme kütlesi
Karbon Elyaf Balistik Amaçlı Kumaş	3	134.63(gr)
Aramid Kumaş	2	52.93 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş 300 gr/m ²	2	67.08 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş	2	86.00 (gr)
Grafen Nanotoz	4	34.97(gr)
Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu Miktarı	6	33.189(gr)
Fındık Kabuğu Tozu	3	20 (gr)

Bu zırh numunesinde fındık kabuğu tozuna ait veriler hesaplanmıştır. İkinci zırhta kullanılan fındık kabuğu tozuna malzemesine ait ilişkin bilgiler şu şekildedir:

m_{fk} (gr): Fındık kabuğu tozunun kütlesi

ρ_{fk} (gr/cm³): Fındık kabuğu tozunun yoğunluğu

v_{fk} (cm³): Fındık kabuğu tozunun hacmi

Fındık kabuğu tozunun yoğunluğu literatür taramasında, $\rho_{fk}=0.54$ gr/cm³ olarak kabul edilmiştir.

$$\rho_{fk} = \frac{m_{fk}}{v_{fk}} \quad (3.19)$$

$$v_{fk} = \frac{m_{fk}}{\rho_{fk}} = \frac{20.00}{0.54} = 37.037 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

Numuneye ait ilişkin fotoğraf Şekil 3.40'da verilmiştir.



Şekil 3.40. Grafen nanotozlu ve kabuk tozlu numune

Bu numuneyi oluşturan takviye ve matriks elemanlarının, ağırlıkça ve hacimce yüzdeleri hesaplanmıştır. Numuneye ait veriler Çizelge 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.19. GNFK numunesine ait veriler

$m_t(\text{gr})$	1012 gr	$v_t(\text{cm}^3)$	1058.2 cm ³	$\rho_t(\text{gr/cm}^3)$	0.956 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	340.63 gr	$v_e(\text{cm}^3)$	97.676 cm ³	$\rho_e(\text{gr/cm}^3)$	3.487 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	618.181gr	$v_m(\text{cm}^3)$	557.925 cm ³	$\rho_m(\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$m_g(\text{gr})$	34.972 gr	$v_g(\text{cm}^3)$	340.720 cm ³	$\rho_g(\text{gr/cm}^3)$	0.100 gr/cm ³
$m_k(\text{gr})$	33.189 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	24.842 cm ³	$\rho_k(\text{gr/cm}^3)$	1.336 gr/ cm ³
$m_{fk}(\text{gr})$	20.00 gr	$v_{fk}(\text{cm}^3)$	37.037 cm ³	$\rho_{fk}(\text{gr/cm}^3)$	0.540 gr/ cm ³
$h(\text{mm})$	9.62 mm	w_m	0.610	w_f	0.389
Takviye ağırlık yüzdesi		38.91	Matriks ağırlık yüzdesi		61.08
Takviye hacim yüzdesi		47.27	Matriks hacim yüzdesi		52.72

3.4.3.3. Grafen Nanotozu ve Fındık, Ceviz ile Kayısı çekirdeği Kabuk Tozları Katkılı Numunelerin Üretimi (GNFKC numunesi)

Bu numuneye ait kullanılan kumaşlar ve ağırlıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Yapılan sıralama kumaş elyafların literatürdeki kompozit zırh üretim uygulamalarına göre yapılmıştır. Numune boyutları 440x440 mm olarak üretilmiştir. Kürleşme işlemi prosesi 44°C 'de 8 saat, daha sonra 88 °C 'de 4 saat olarak meydana gelmiştir.. Numunedeki kabuk tozları ve grafen nanotozu karıştırılarak hazırlanan karışımlar elyaf tabakalar üzerine serilmiştir.

Bu zırhın adı bu tez çalışmasının teşekkür kısmına istinaden “Gökhan” olarak adlandırılmıştır. Numuneye ait fotoğraflar Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Grafen nanotozlu ve kabuk tozlu karışimli numune

Numuneye ait veriler Çizelge 3.20’de verilmiştir. Çizelge 3.20 ‘daki veriler, Çizelge 3.15’den faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu numuneyi oluşturan takviye ve matriks elemanlarının, ağırlıkça ve hacimce yüzdeleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.20. Grafen nanotozlu ve kabuk tozları içeren numuneye ait veriler

Kullanılan Elyaf Türü	Tabaka Sayısı	Malzeme kütlesi
Karbon Elyaf Balistik Amaçlı Kumaş	6	348.63 (gr)
Aramid Kumaş	2	97.47 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş 300 gr/m ²	3	139.62 (gr)
Karbon Elyaf Kumaş	3	143.00 (gr)
Grafen Nanotoz	16	74.75 (gr)
Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu Miktarı	16	87.872(gr)
Fındık Kabuğu Tozu	16	35 (gr)
Ceviz Kabuğu Tozu	16	39.940 (gr)

Toplam kabuk tozlarının, grafen nanotozu ve reçine -sertleştirici karışımı ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

728.09 toplam kumaş ağırlığı % 30 numune hacmi

X gr toplam ağırlığı % 70 numune hacmi

X=1698.876gr

bulunur.

Buradan hareketle grafen nanotozu değeri olarak 0.044 seçilmiştir.

$$Y = 1698.876 \cdot (4.4/100)$$

$$Y = 74.750 \text{ gr}$$

$$Z = X - Y = 1624.126 \text{ gr'dır.}$$

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozunun toplam yüzdesi aşağıda bulunmuştur. Ayrıca tozlar sıralamaya göre kütleleri hesaplanmıştır.

$$T = 1624.126 \cdot 0.10 = 162.400 \text{ gr}$$

$$T = 162.400 \text{ gr}$$

$$L = 162.912 - 87.972 = 74.940 \text{ gr}$$

$$P = 39.940 \text{ gr}$$

$$R = 74.940 - 39.940 = 35 \text{ gr}$$

Yapıştırıcı ve sertleştirici miktarları aşağıda hesaplanmıştır.

$$M = Z - T = 1461.726 \text{ gr}$$

$$N = 1461.214 \cdot (73/100) = 1066.686 \text{ gr reçine}$$

$$K = M - N = 394.528 \text{ gr sertleştirici}$$

Ceviz kabuğu tozuna ait ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir:

m_{ck} (gr): Ceviz kabuğu tozunun kütlesi

ρ_{ck} (gr/cm³): Ceviz kabuğu tozunun yoğunluğu

v_{ck} (cm³): Ceviz kabuğu tozunun hacmi

Numunenin kalınlığı 9.94 mm olup diğer hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

h: 9.94 mm

a: 440 mm

b: 440 mm

$$v_t = a \cdot b \cdot h$$

$v_t = 44 \cdot 44 \cdot 0.994 = 1924.384 \text{ cm}^3$ dir. Buna göre numunenin yoğunluğu,

$$\rho_t = \frac{m_t}{v_t} = \frac{1678.800}{1924.384} = 0.956 \text{ gr/cm}^3$$

bulunur. Grafen oranı 0.044 olarak seçilip hesaplaması yapılmıştır.

$$m_t = 1678.800 \text{ gr}$$

$$m_e = 728.090 \text{ gr}$$

$$m_g = 74.750 \text{ gr}$$

olarak bulunur. Buna göre matrisin kütlesi

$$m_m = m_t - (m_e + m_g) - (m_k + m_{fk} + m_{ck}) \quad (3.20)$$

$$m_m = 713.560 \text{ gr}$$

bulunur. $\rho_m = 1.108 \text{ gr/cm}^3$ matriks yoğunluğu olup, matriks numunesinin hacmi;

$$v_m = \frac{m_m}{\rho_m} = \frac{713.560}{1.108} = 644.007 \text{ cm}^3 \text{ dir.}$$

Bu grafen tozunun yoğunluğu literatüre uygun olarak, $\rho_g = 0.30 - 0.1 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. Firmadan alınan bilgiler kapsamında $p_g = 0.1 \text{ gr/cm}^3$ olarak alınmıştır. Buna göre;

$$\rho_g = \frac{m_g}{v_g}$$

$$v_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{74.750}{0.10} = 747.5 \text{ cm}^3 \text{ 'dür}$$

Ayrıca, fındık kabuğu tozunun yoğunluğu literatür taramasında, $\rho_{fk} = 0.54$ gr/cm³ olarak kabul edilmiştir.

$$\rho_{fk} = \frac{m_{fk}}{v_{fk}} \quad (3.21)$$

$$v_{fk} = \frac{m_{fk}}{\rho_{fk}} = \frac{39.940}{0.54} = 73.962 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun hacmi;

$$\rho_k = \frac{m_k}{v_k}$$

$$v_k = \frac{m_k}{\rho_k} = \frac{87.792}{1.336} = 65.712 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

Ceviz kabuğu tozunun hacmi literatürde $\rho_k = 0.48$ gr/cm³ olarak kabul edildiğinden dolayı;

$$v_{ck} = \frac{m_{ck}}{\rho_{ck}} = \frac{35}{0.48} = 72.917 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

Elyaf numunesinin hacmi ise;

$$v_e = v_t - (v_m + v_g) - (v_{ck} + v_{fk} + v_k) \quad (3.22)$$

$$v_e = 320.286 \text{ cm}^3$$

bulunur. Elyaf yoğunluğu ise;

$$\rho_e = \frac{m_e}{v_e} = 2.273 \text{ cm}^3 \text{ 'dür.}$$

Çizelge 3.21 'de numuneye ilişkin veriler görülmektedir.

Çizelge 3.21. Gökhan zırhının numunesine ait veriler

$m_t(\text{gr})$	1678.800 gr	$v_t(\text{cm}^3)$	1924.384 cm ³	$\rho_t (\text{gr/cm}^3)$	0.956 gr/cm ³
$m_e(\text{gr})$	728.090 gr	$v_e(\text{cm}^3)$	320.286 cm ³	$\rho_e (\text{gr/cm}^3)$	2.273 gr/cm ³
$m_m(\text{gr})$	713.560 gr	$v_m(\text{cm}^3)$	644.007 cm ³	$\rho_m (\text{gr/cm}^3)$	1.108 gr/cm ³
$m_g(\text{gr})$	74.750 gr	$v_g(\text{cm}^3)$	747.5 cm ³	$\rho_g (\text{gr/cm}^3)$	0.10 gr/cm ³
$m_k(\text{gr})$	87.792 gr	$v_k(\text{cm}^3)$	65.712 cm ³	$\rho_k (\text{gr/cm}^3)$	1.336 gr/cm ³
$m_{ck}(\text{gr})$	39.940 gr	$v_{ck}(\text{cm}^3)$	72.917 cm ³	$\rho_{ck} (\text{gr/cm}^3)$	0.48 gr/cm ³
$m_{fk}(\text{gr})$	35.00 gr	$v_{fk}(\text{cm}^3)$	73.962 cm ³	$\rho_{fk} (\text{gr/cm}^3)$	0.54 gr/cm ³
$h(\text{mm})$	9.94 mm	w_m	0.425	w_f	0.575
Takviye ağırlık yüzdesi		57.50	Matriks ağırlık yüzdesi		42.50
Takviye hacim yüzdesi		66.53	Matriks hacim yüzdesi		33.47

3.5. Çekme Deneyi

Testler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Shimadzu test cihazında (ASTM) D7264/D7264M standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Çekme deneyi belirli standartlara göre hazırlanmış olan deney numunesinin tek eksenli olarak, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılncaya kadar çekilmesi işlemidir. Deney esnasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunedeki uzama miktarı kaydedilir. Bu testte numune kırılncaya kadar tek çeneden tek yönlü artmakta olan çekme kuvvetine tabi tutulmaktadır. Çekme numuneleri, mobilyacı tezgâhında, ortalama 3000 devir/dk 'lık dairesel testere yardımıyla Şekil 3.42’de görüldüğü gibi kesilmiştir.



Şekil 3.42. Çekme numunelerinin dairesel testere ile kesilmesi

Çekme cihazına ait fotoğraflar ve çekme numunelerinin durumları Şekil 3.43’de gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Çekme cihazındaki çekme numunelerine ait fotoğraflar

Bir çekme deneyi ile ilgili temel fikir, malzemeyi birleştiren "tutamak" adı verilen iki fikstür arasında bir malzeme numunesi koymaktır. Malzeme, uzunluk ve kesit alanı gibi bilinen boyutlara sahiptir. Daha sonra diğer uç sabitken bir uçta tutulan malzemeye kuvvet verilmeye başlanır. Numunenin uzunluğundaki değişimi ölçerken aynı zamanda (genellikle yük veya kuvvet olarak adlandırılır) yük artmaya devam edecektir. Bu andaki yükleme, mekanik ya da hidrolik olarak gerçekleşir ve genel olarak bu deneyin sonuçları mühendislik gerilme- şekil değiştirme eğrisi şeklinde gösterilir.

Çekme testinden elde edilen sonuçlar genelde malzeme seçiminde kullanılmaktadır. Çekme deneyi, araştırma ve geliştirme sırasında uygun materyallerin seçilmesinde kritik öneme sahiptir. Ayrıca çekme deneyi, malzemelerin minimum dayanım ve uzama gereksinimlerine uyduğunu doğrulamak için de kullanılmaktadır.

3.6. Balistik Deney

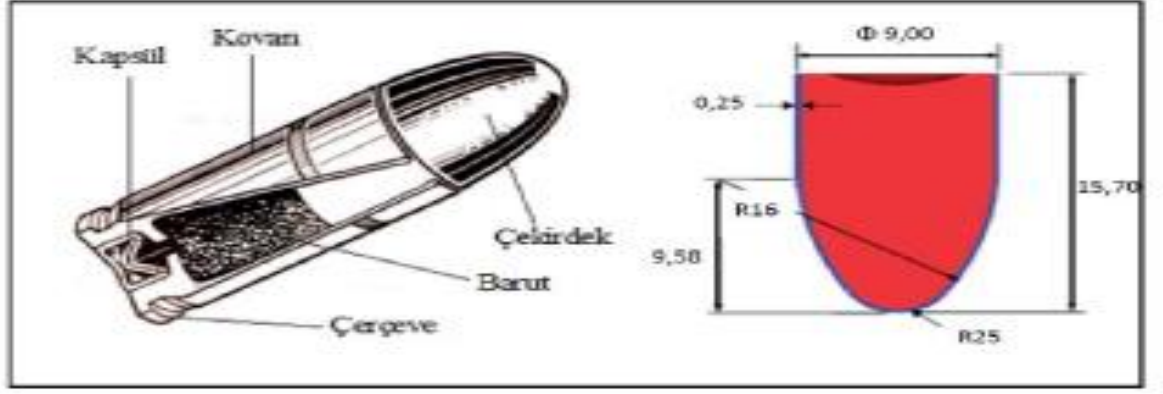
Yapılan balistik çalışmada yasal güvenlik tedbirleri ve etik uygunluk açısından sadece numunelerin deney sonuç fotoğraflarının paylaşılmasına izin verilmiştir. Mermi hızları özel cisim hızı ölçen koreograflarla hız verileri elde edilmiştir. Bu kapsamda atış yapılan silah ve mermilerin fotoğraflarının paylaşılmasına izin verilmiştir.

Balistik koruyuculuğu ölçmek amacıyla, National Institute of Justice (NIJ) çeşitli ve özel durumlara standartlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda, NIJ 0101.06'ya göre koruma seviyelerini belirleyen mermi özellikleri esas alınarak 10 m mesafeden atış yapılmıştır.

Deneydeki tabancadaki atışlar NIJ 0101.06 standartlarına göre 10 m mesafeden gerçekleştirilmiştir. Hız ölçer NIJ 0101.06 standardında belirtildiği gibi hedef ile tabanca arasında hedeften 3.5 m ve atış hedefine 6.5 m mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu atışlar sonucunda farklı hızlarda meydana gelen deformasyonlar ve oluşan çöküntü miktarları ölçülmüştür. Balistik testlerde 9 mm pirinç gövdeli, bakır kaplamalı mermi kullanılmıştır. Kullanılan 9 mm merminin teknik özellikleri Çizelge 3.22 'de, yapı resmi ve çekirdek ölçüleri Şekil 3.44'te verilmiştir.

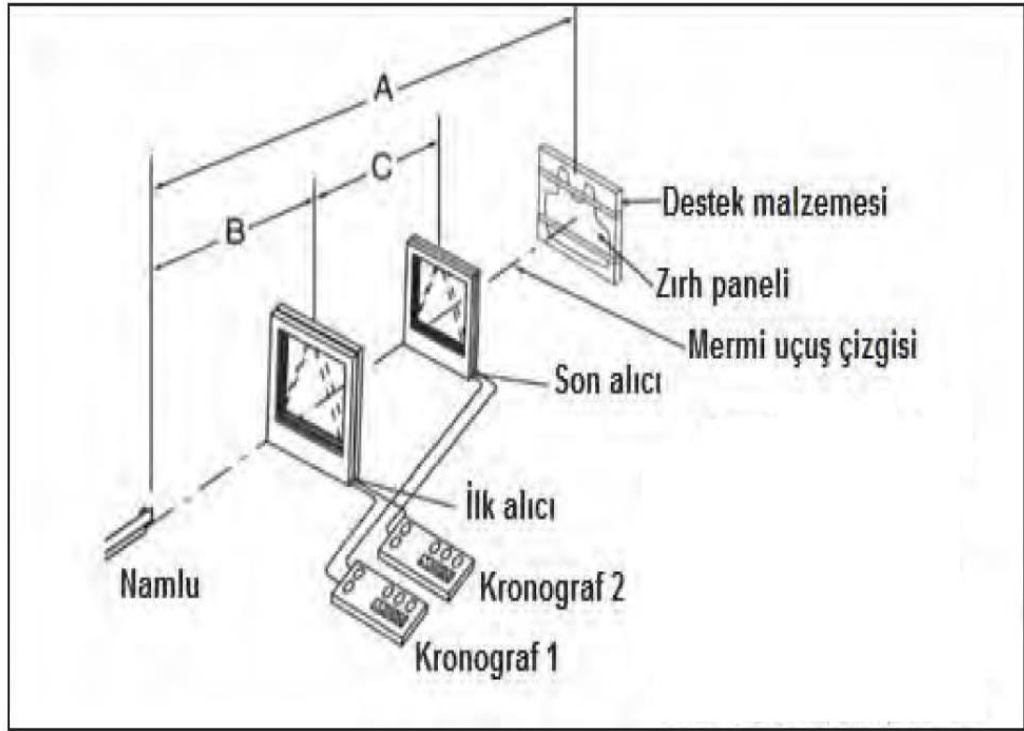
Çizelge 3.22. Kullanılan 9 mm merminin teknik özellikleri [58]

Çekirdek çapı (mm)	9.08
Çekirdek ağırlığı (gr)	7.43
Kovan ağırlığı (gr)	3.80
Çekirdek uzunluğu (mm)	15.70
Standart barut miktarı (gr)	0.41 ± 0.005



Şekil 3.44. 9 mm mermi[58]

Balistik deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.45 'te verilmiştir.



Şekil 3.45. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi [59]

Şekildeki A mesafesinin uzunluğu 10 m'dir. B mesafesi atış yapılan tabanca ile ilk kronografin arasındaki mesafedir. B mesafesinin uzunluğu 3m 'dir. İki kronograf arası mesafe 4 m' dir. Bu mesafe C ile ifade edilmiştir.

Balistik deneyler boyunca tüm numunelere yapılan atışlarda kullanılan 9 mm FMJ merminin resmi Şekil 3.46’ da verilmiştir.



Şekil 3.46. 9 mm FMJ merminin resmi

3.7. Mikroskop Görüntülerinin Alınması

Mikroskop görüntüleri İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Biyomedikal Mikroskobunda alınmıştır. Renkli mikroskop görüntüleri ise Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümündeki Şekil 3.47’de görülen malzeme ışın mikroskobunda alınmıştır.



Şekil 3.47. Malzeme ışın mikroskobu

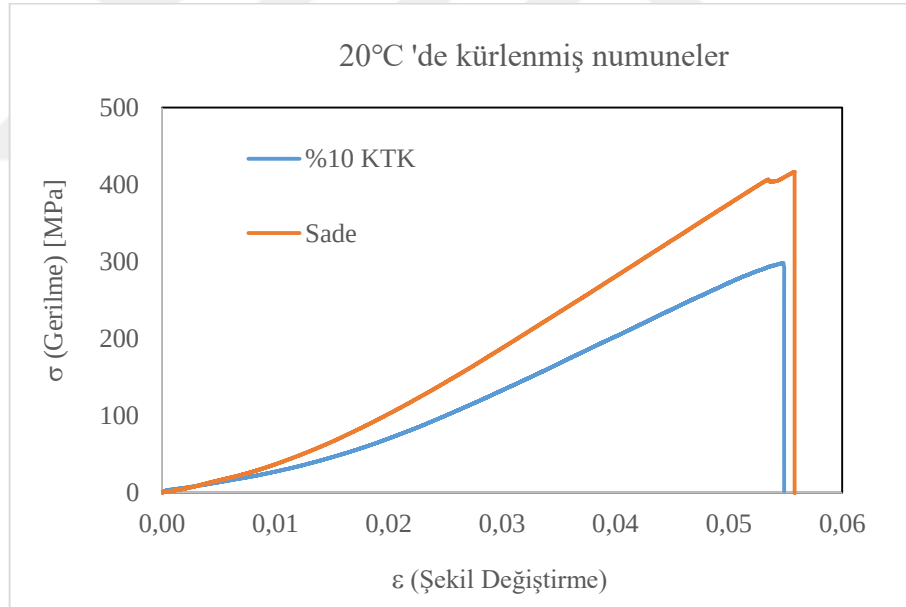
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan araştırma çalışması kapsamında çekme numuneleri, çekme cihazında deneyler yapıldıktan sonra grafikleri ve mikroskop görüntüleri alınmıştır. Daha sonraki aşamada atış yapılan numuneler karşılaştırılarak, fotoğrafları alınmış ve meydana gelen hasar tipleri incelenmiştir. Çekme deneyindeki numuneler için, cihazın hızı 3 mm/dak aralığına ayarlanmıştır.

4.1. Farklı Sıcaklıklarda Kürlenmiş Malzemelerin Çekme Deneyi Sonuçları

4.1.1. 20 °C ‘de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Yapılan çekme deneyi sonucunda kayısı çekirdeği tozlu ve sade numunelerin grafikleri elde edilmiştir. Aynı numunelerin mikroskop görüntüleri deneyden hemen sonra alınmıştır. Şekil 4.1 ‘de 20 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde hasar yükleri arasında önemli bir fark olduğu görülmektedir.

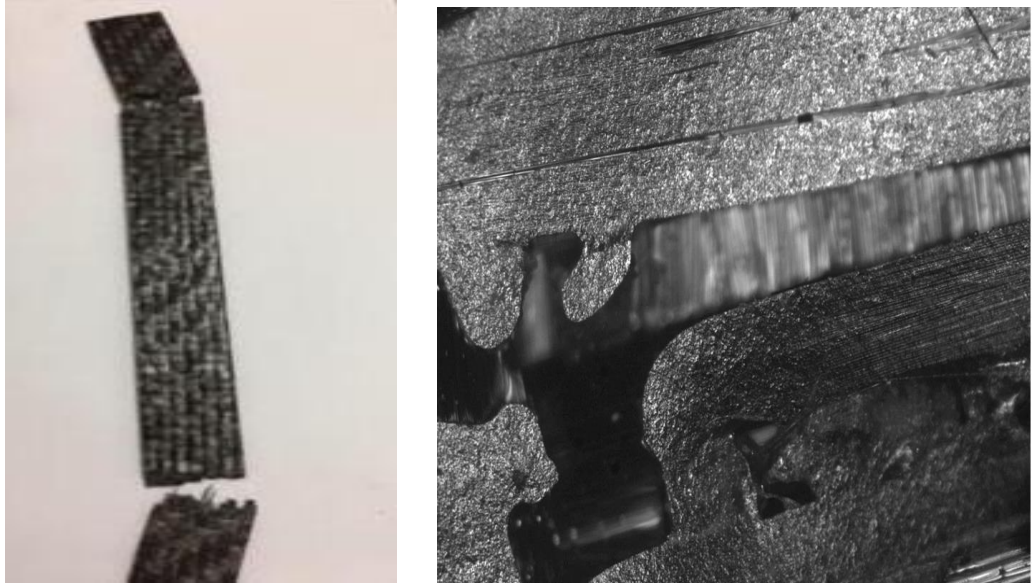


Şekil 4.1. 20 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kabuk tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.2. Çekme numunesi ve 5X mikro yapı fotoğrafı

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'te görüldüğü gibi eksenel yük etkisine maruz kalan numunelerin kırılması fiberin kopmasıyla meydana gelmiştir. Bu deneyde kırılma yüzeyinde tabakaların birbirinden ayrılması görülmemektedir. Nedeni ise çekme deneyinde bütün tabakalara eşit çekme yükün uygulanmasındandır. Tabakalar arasında gerilme oluşmaz. Bunun sonucu olarak malzemenin hasara uğramasında fiberlerin kopmasının daha etkin olduğu tespit edilmiştir.



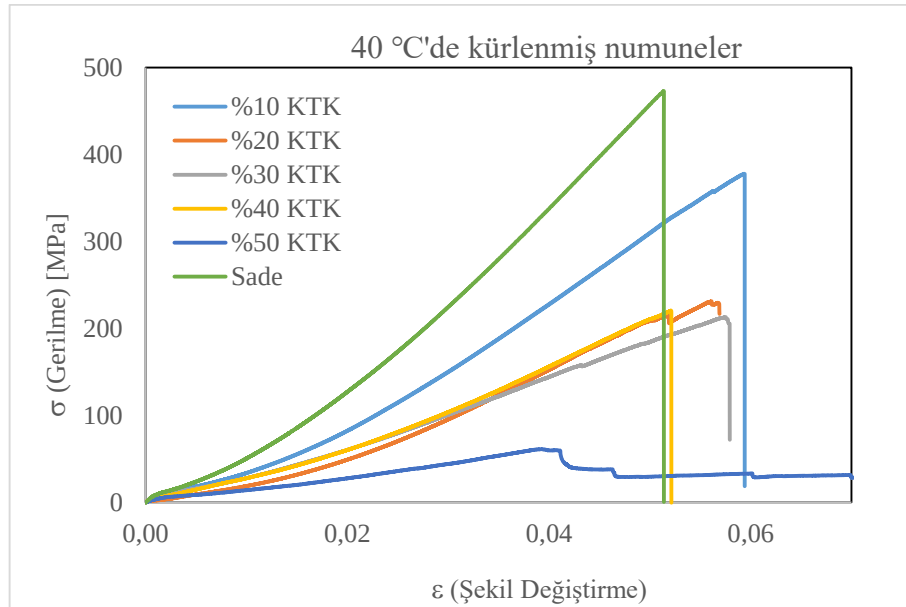
Şekil 4.3. Çekme numunesi ve 5X mikro yapı fotoğrafı

4.1.2. 40 °C ‘de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi yapılan kayısı çekirdeği tozlu ve sade numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Deneylerden hemen sonra aynı numunelerin mikroskop görüntüleri de alınmıştır. Şekil 4.4’te sırasıyla 40 °C ‘de kürlenmiş sade ve elyaf ağırlığının %10, 20, 30, 40, 50 ‘si kadar kayısı kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği verilmiştir.

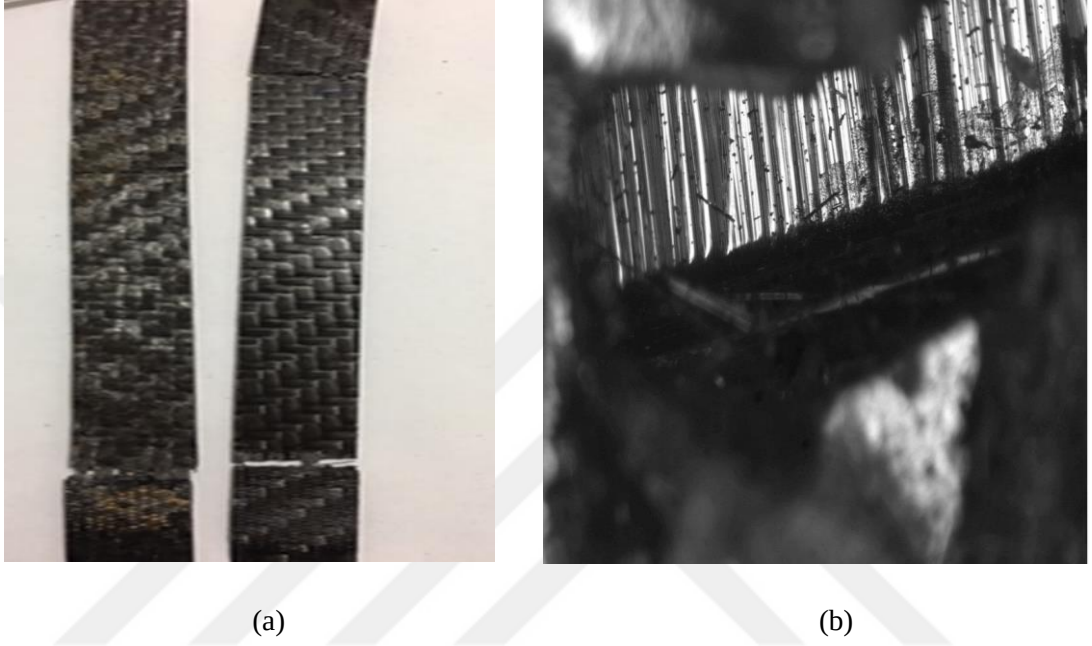
Grafikler incelendiğinde hasar yükleri arasında önemli bir fark olmasına karşın, 20 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı çekmeye maruz numunelerin hasar yükleri arasındaki fark kadar fark oluşmamıştır. Ayrıca çekme sonuçları incelendiğinde hem sade numunenin hem de kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin çekme hasar sonuçlarının 40 °C ‘de kürleşme sıcaklığında daha yüksek çıkması kürleşme sıcaklığı için 40°C ‘nin daha uygun olduğunu göstermektedir. Bu sonuç literatürle de uyumludur.

Bu sıcaklık değerinde, sıcaklığa uygun olarak % 50’ye kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu kullanılmıştır. Bu kapsamda grafikler birbiriyle kıyaslandığında kayısı çekirdeği kabuğu tozu oranı arttıkça dayanımı azalmaktadır.

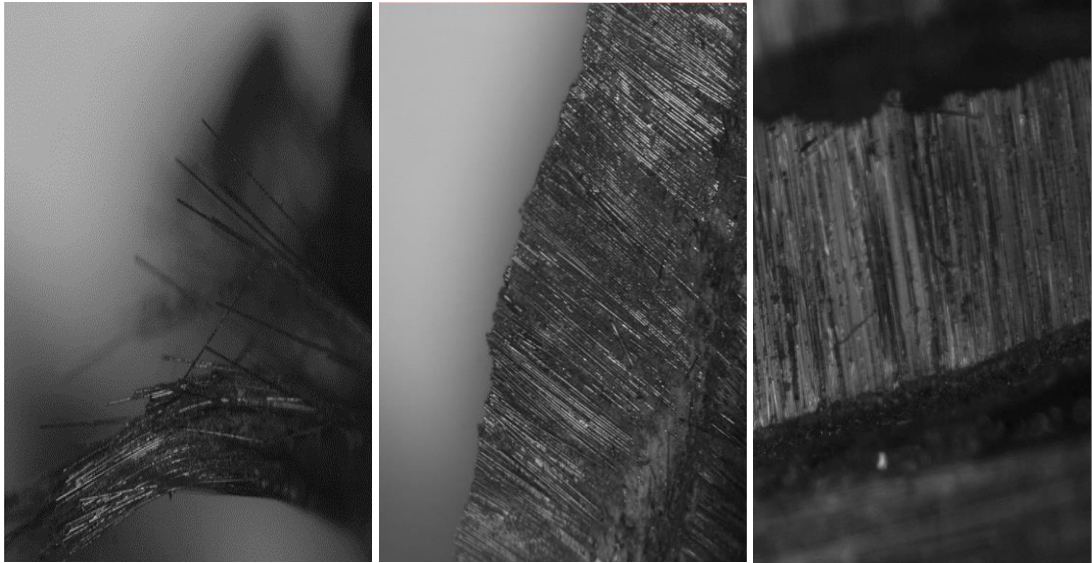


Şekil 4.4. 40 °C ‘de kürlenmiş sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği

Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı ve sade numunenin fotoğrafı birlikte Şekil 4.5.a’da gösterilmiştir. Şekil 4.5.b ve 4.6. ‘de 40°C sade numunenin mikroskop görüntüleri ve çekme numuneleri gösterilmektedir



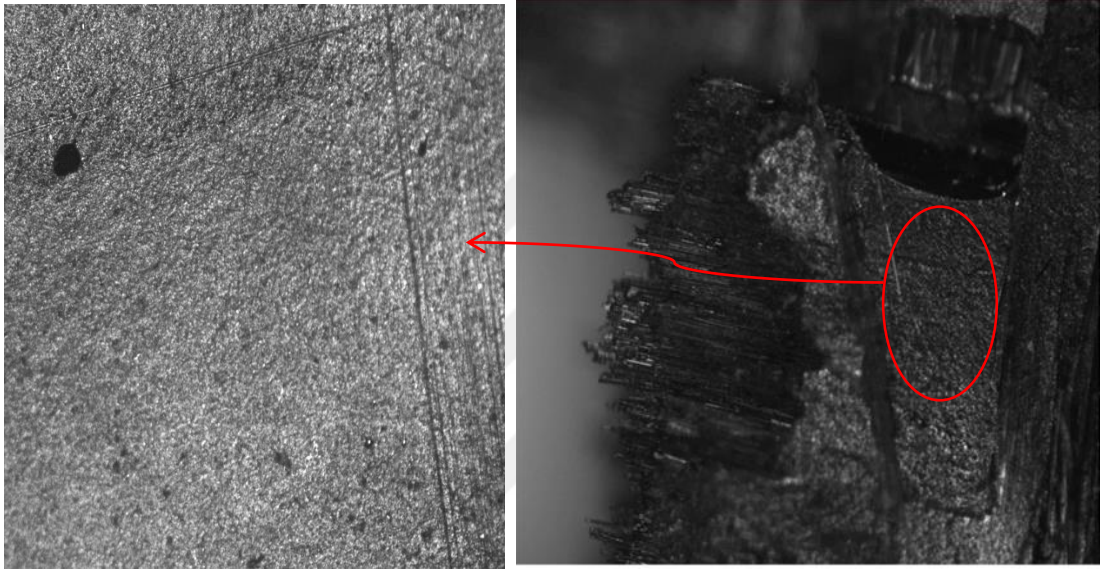
Şekil 4.5.a) 40°C’deki çekme numuneleri, b) Sade numunenin 5X mikro yapı fotoğrafı



Şekil 4.6. 40°C ‘deki sade numunenin 5X mikro yapı fotoğrafları

Şekil 4.5 'te görüldüğü gibi eksenel yük etkisine maruz kalan numunelerin kırılması fiberin kopmasıyla meydana gelmiştir. Bu deneyde kırılma yüzeyinde oluşan fiber kopmaları görülememektedir.

Şekil 4.6 'da verilen mikroskop görüntülerinde numunelerin açıkça görülen kırılmadan sonraki görüntüleri alınmıştır. Bu kapsamda fiberlerin, tabakalar arası kopmaları açıkça görülememektedir. Çünkü fiberlere tek eksenli bir kuvvet uygulandığında, sadece numunelerin kopma anından sonraki yüzeydeki fiberlerin birbirilerinden ayrılma halleri gözlemlenmiştir.



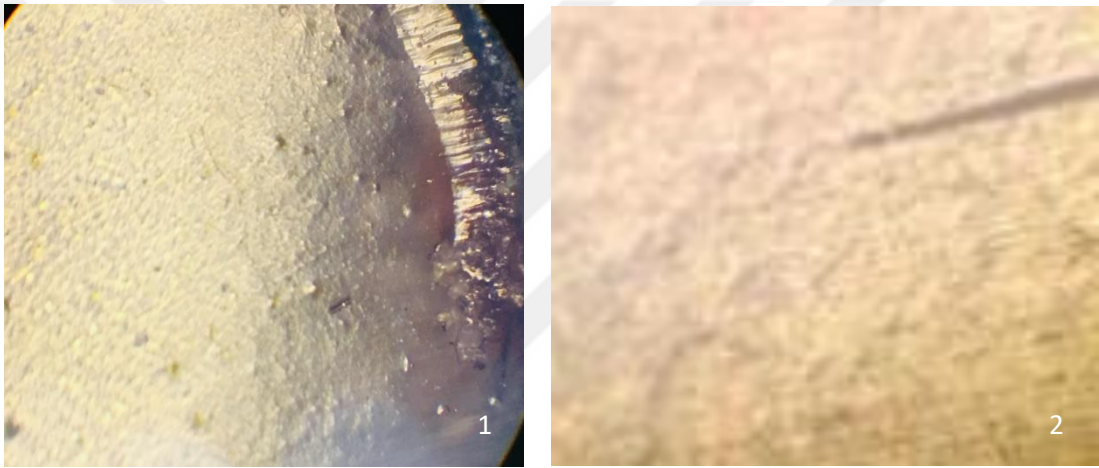
Şekil 4.7. 40°C 'de kürlenmiş ve % 10 kabuk tozu katkılı 5X mikro yapı fotoğrafı

40°C 'de kürlenmiş ve % 10 kabuk tozu katkılı numunenin mikroskop görüntüleri Şekil 4.7 'de verilmiştir. Mikroskop görüntüleri alınan, %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numunenin çekme kuvveti etkisi sonucunda kopması görülmektedir. Tozun homojen olarak dağılmaması, tozların belirli noktalarda yığılmaları da kırılmaların meydana gelmesinde etkili olan parametrelerden biridir.

Literatürde kullanılan 40°C sıcaklığa uygun olarak homojen ve rijit elde edilen % 20 ve % 30 kabuk tozu katkılı çekme numunelerine ait gerilme- şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.4 'de gösterilmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu yüzdesi arttıkça malzemenin mukavemet değerleri gittikçe azalmaktadır.

Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun, karbon fiber elyafa uygulama yüzdesi arttıkça, malzeme mukavemetinde kayıpların yüzde olarak artacağı açıkça görülmektedir.

% 20 ve % 30 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin mikroskop görüntüleri Şekil 4.8. 'de gösterilmiştir. 1 numaralı görüntü % 20 kayısı çekirdeği kabuk tozu katkılı numuneye, 2 numaralı görüntü ise % 30 kabuk tozu katkılı numuneye aittir

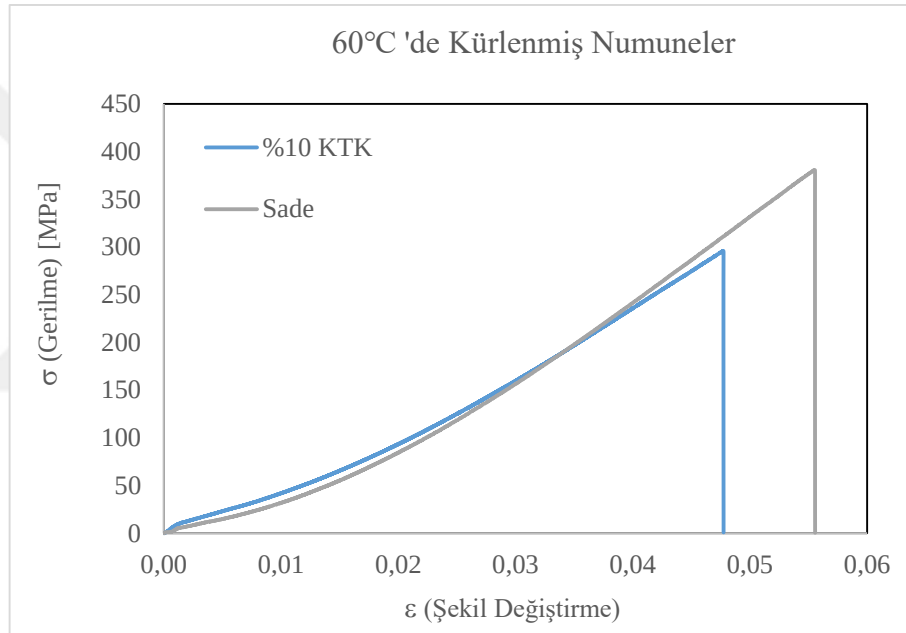


Şekil 4.8. % 20 ve % 30 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin 30X mikro yapı fotoğrafları

Şekil 4.8 'de mikroskop görüntüleri alınan çekme numunesinde tozların fiberler arasına homojen olarak dağılmadığı ve kırılma bölgelerinde meydana gelen yığılmaların olduğu açıkça gözlemlenmiştir.

4.1.3. 60 °C ‘de Kürlenmiş Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

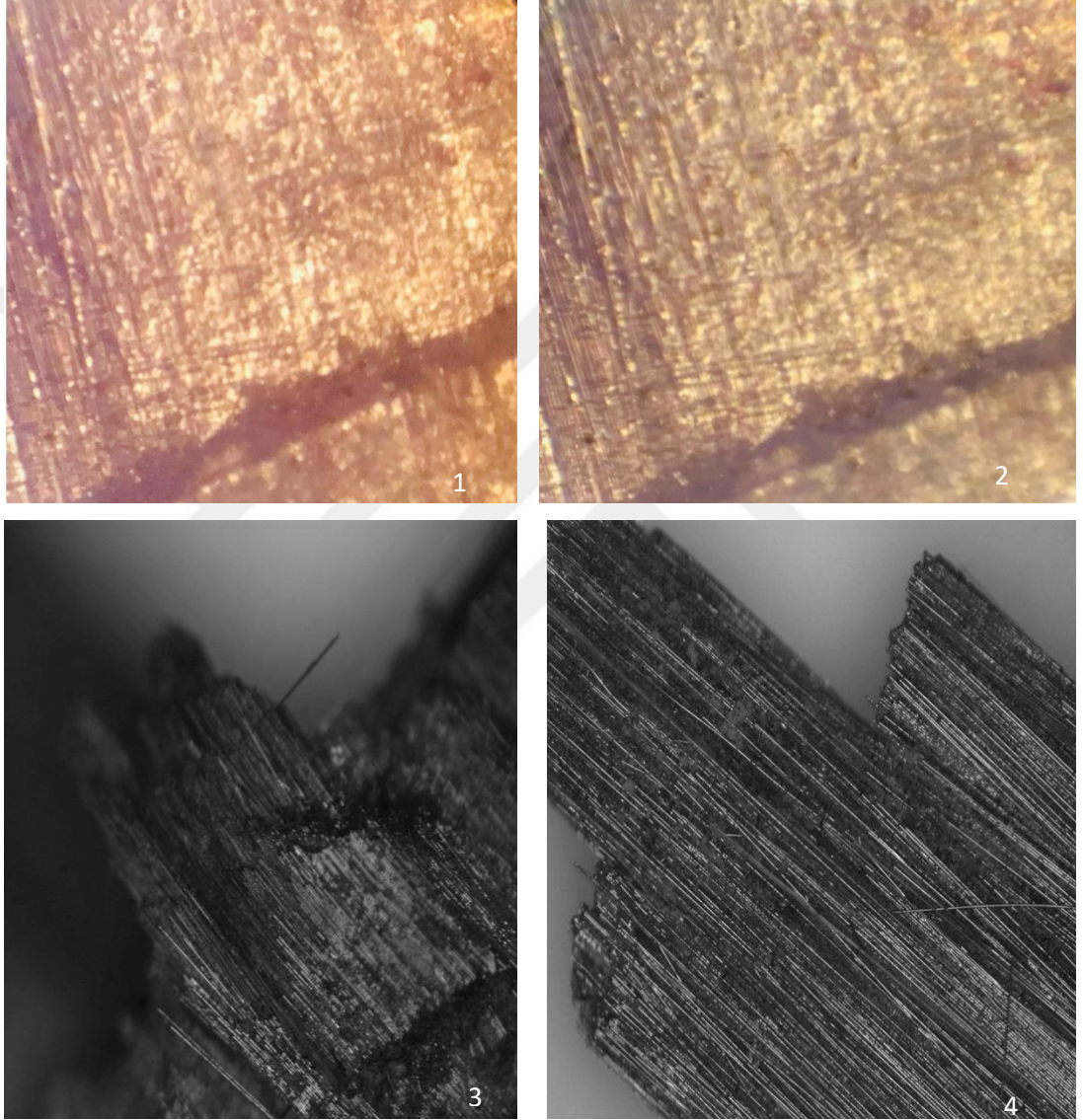
60 °C ‘de kürlenmiş olan sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numunenin gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 4.9 ‘da verilmiştir. 60 °C kürlenmiş olan sade numunenin, 20 ve 40 °C kürlenmiş olan sade numunelerle mukayese edildiğinde, mukavemet kaybı gözlemlenmiştir. 60 °C ‘de kürlenmiş olan sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerdeki çekme dayanımı kaybı, 20 °C kürlenmiş olan sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelere göre daha azdır. 40 °C kürlenmiş olan sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerle kıyaslama yapıldığında, 60 °C ‘de kürlenmiş olan sade ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerdeki mukavemet kaybı daha fazladır.



Şekil 4.9. 60 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu numunelerin gerilme – şekil değiştirme grafiği

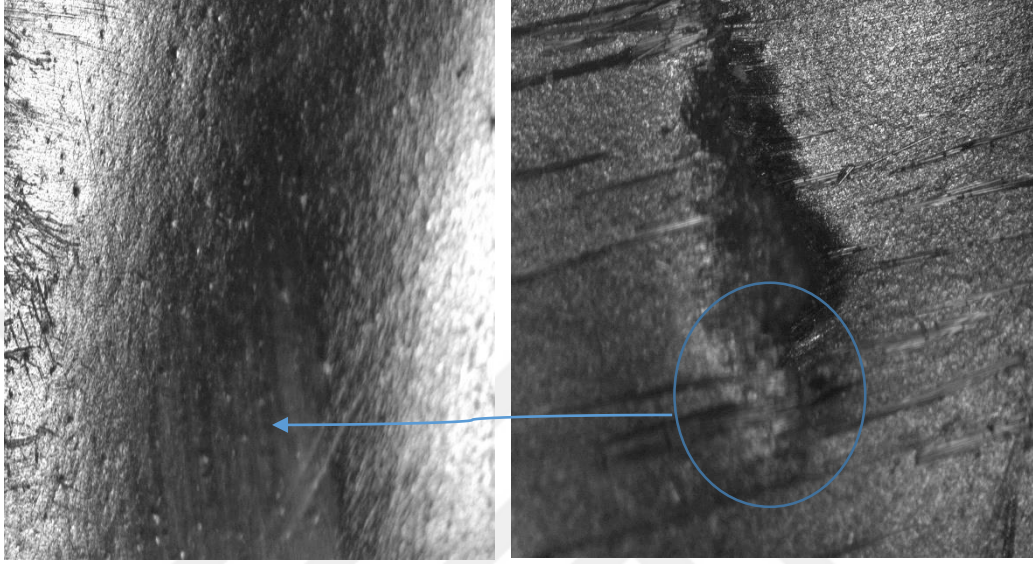
Şekil 4.10 'da 60 °C 'de kürlenmiş sade numuneye ait görüntüler 5X ve 20X mikro yapı fotoğrafları gösterilmiştir. 1 ve 2 numaralı görüntüler 20 X mikro yapısına, 3 ve 4 numaralı görüntüler ise 5 X mikro yapısına aittir.

Şekil 4.11 'de 60 °C 'de kürlenmiş kayısı çekirdeği kabuğu tozu katılı numuneye ait 5X mikro yapı fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.10. 60 °C 'de kürlenmiş sade numuneye ait 5X mikro yapı fotoğrafları

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi mikroskop görüntülerinde, kopan fiberlerin aslında sadece tabaka yüzeylerindeki kırılmalar gözlemlenmiştir. Bu kapsamda fiberlerin, tabakalar arası kopmaları açıkça görülememektedir. Fiberler uygulanan tek yönlü aksenal yük etkisinde, fiberlerin kırılmalarında sadece yüzeydeki kırılmalar görülmüştür.

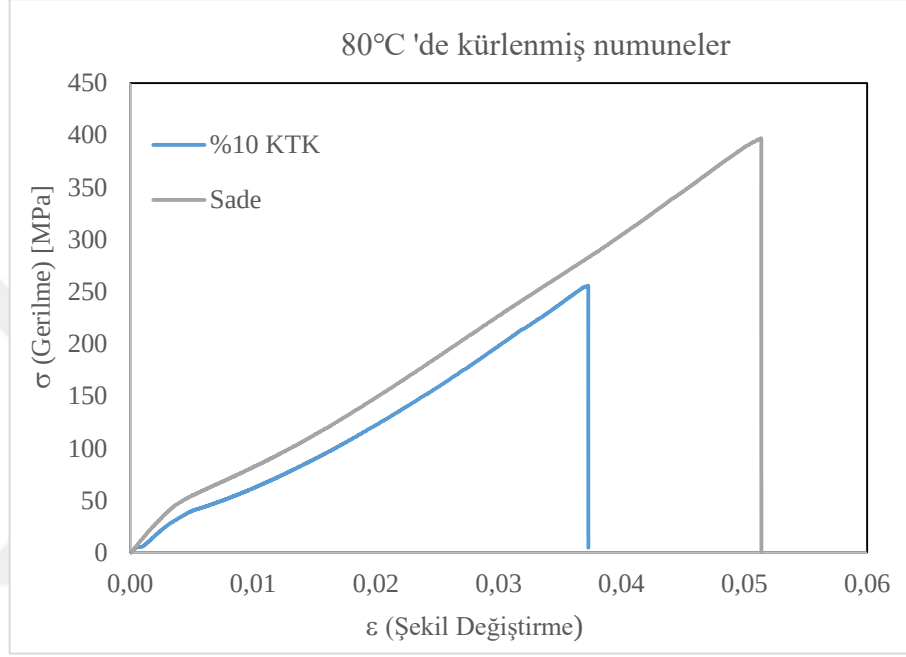


Şekil 4.11. 60 °C ‘de kürlenmiş kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numuneye ait 5X mikro yapı fotoğrafları

Şekil 4.11 ‘de görüldüğü gibi kayısı çekirdeği kabuğu tozu katılı numuneye ait görüntülerde, kayısı çekirdeği kabuğu tozunun bölgeler görülmektedir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin fiberlerdeki kopmalar ve kırılmalar gözlemlenmiştir.

4.1.4. 80 °C ‘de Kürlenmiş Numunelerin  ekme Deneyi Sonuçları

80°C’de kürlenmiş olan sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu uygulanmış çekme numunelerinin gerilme –şekil değiştirme grafikleri sırasıyla şekil 4.12’de Kayısı  ekirdeği kabuğu tozunun homojen dağılımı sağlansa bile mukavemet açısından kayıplara neden olacağı grafiklerde görülmektedir.



şekil 4.12. 80 °C ‘de kürlenmiş sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunelerin gerilme –şekil değiştirme grafiği

80°C 'de kürlenmiş olan sade numune ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı çekme numunerlerinin görüntüleri şekil 4.13 ve şekil 4.14'de görülmektedir.



şekil 4.13. 80 °C 'de kürlenmiş sade numunenin 20X mikro yapı fotoğrafı



şekil 4.14. 80 °C 'de kürlenmiş %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı numunenin 5X mikro yapı fotoğrafları

80 °C 'de kürlenmiş sade numunenin mikroskop görüntüsünde sadece çekme kuvvetinin ettiği yüzeylerdeki kırılmaları görmek mümkündür. Bu kapsamda, kopmalar sonucunda fiberlerin iç kısmı görülememektedir. Ancak, tozlu numunede tozların fiberler içine nasıl nüfuz ettiği ve toz numunelerin fiberlerin üzerinde tabakalar arası kırılmalar ve kopmalarda birbirinden ayrıldığı gözlemlenmiştir.

4.2. Balistik Deneylerin Sonucu

Balistik deneylerde materyal yönteminde açıklanan standartlara bağlı olarak 10 m’den 9x19 mm mermiler ile atış yapılmıştır. Bu kapsamda mermi kütlesi 8.1 gr olarak kuyumcu terazisinde ölçülmüştür. Atış yapılan numunelerin sonuç fotoğrafları alınarak bölgesel olarak gösterilmiştir. Atışlar Sarsılmaz Markalı B6 silah yapılmıştır. Silahın seri numarası güvenlik tedbirleri açısından kapatılarak fotoğraf alınmıştır. Silahın fotoğrafları Şekil 4.15 ‘de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.15. Sarsılmaz B6 tabancanın fotoğrafı

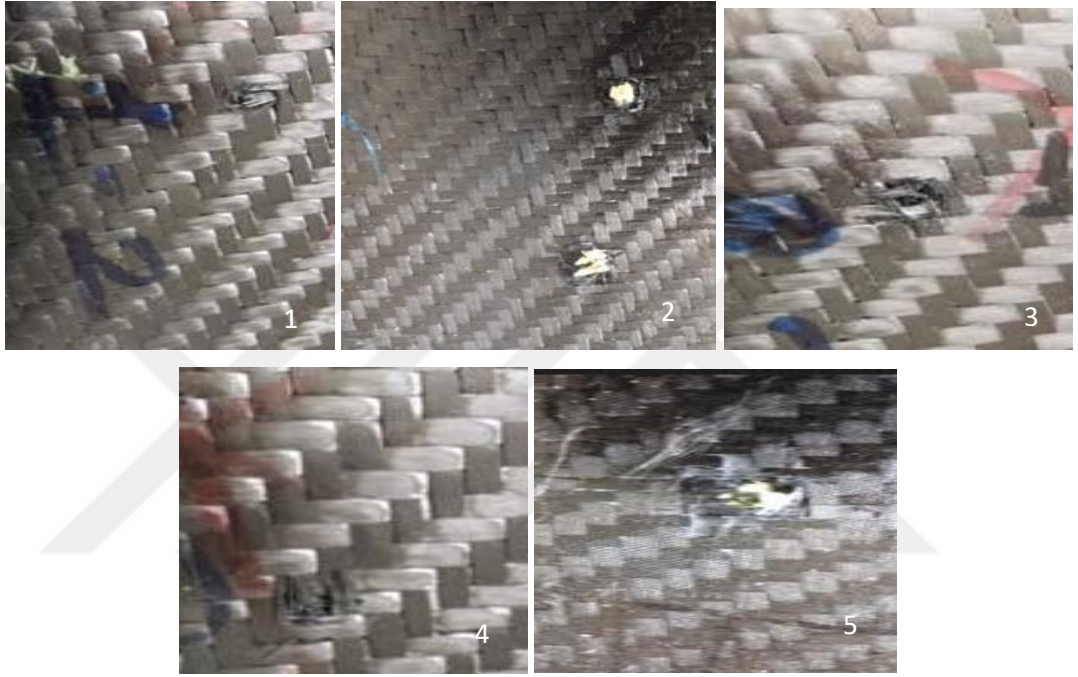
Silaha ait teknik özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sarsılmaz B6 tabancasının teknik özellikleri

Namlu Boyu (mm)	116 mm
Toplam Boy (mm)	207 mm
Toplam Yükseklik(mm)	140 mm
Mermi türü ve kapasitesi	9x19 / 15+1/17+1
Ağırlık (gr)	800 gr

4.2.1. GN Numunesinin Balistik Deney Sonuçları

Şekil 4.16’ daki fotoğraflarda atış testleri yapılan 18 tabakalı hibrit epoksi reçine matriksli numune gösterilmiş ve Çizelge 4.2’de yapılan atışlara ait mermi hızı, mermi kinetik enerjisi ve çöküntü değerleri verilmiştir. Çöküntü miktarları Şekil 4.17 ’de gösterildiği gibi bir kumpas yardımıyla ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Balistik atış sonuçları



Şekil 4.17. Balistik çöküntü miktarlarının ölçülmesi

Çizelge 4.2. GN numunesine ait mermi atış hızları

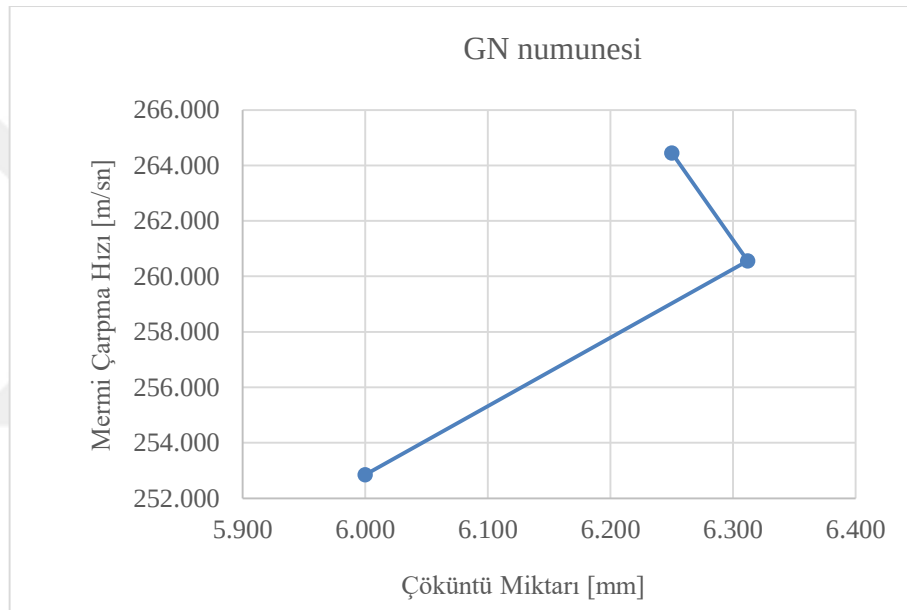
Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)
1	358.688	521.061
2	382.580	592.788
3	398.878	644.369
Ortalama	380.048	586.072

Grafen Nanotozlu (GN) adlı numunenin balistik limitinin 350 m/sn ile 400 m/sn aralığında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan tüm atışlar plaka içerisinde tutularak balistik testler başarı ile sonuçlanmıştır. Elde edilen ortalama çöküntü değeri 6.187 mm’ dir. Bu numune NIJ Seviye II-A standardına göre koruma sağlamaktadır. Bu kapsamda merminin numuneye çarpma hızları Çizelge 4.3. ‘de gösterilmiştir.

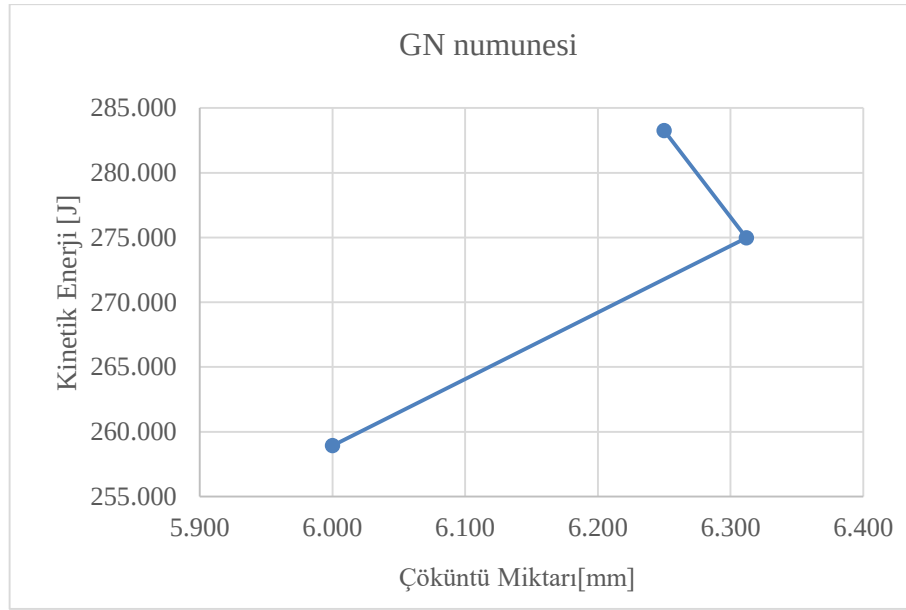
Çizelge 4.3. Merminin balistik levhaya ait çarpma hızları ve kinetik enerjiler

Numune Adı: GN numunesi				
Atış No	Çarpma Hızı (m/sn)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
1	252.850	258.929	6.000	Delinme Yok
2	260.560	274.960	6.312	Delinme Yok
3	264.450	283.250	6.250	Delinme Yok
Ortalama	259.286	272.059	6.187	

En yüksek atış hızı olan 3 numaralı atışta ve çökme miktarının en fazla olduğu atışta mermi çekirdeği çarpıp yere düşmüştür. Çökme durumları absorbe etme özelliğinin olduğunu ve standartları sağlandığının göstergesidir. 2 numaralı atışta çöküntü miktarının fazla olmasının sebebi, merminin levhada meydana getirdiği hasarın diğer atışlara göre daha fazladır. Bu kapsamda, çökme miktarları ve çarpma hızlarının grafiği GN numunesine ait veriler Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.19’da ise kinetik enerji ve çöküntü miktarı grafiği görülmektedir.

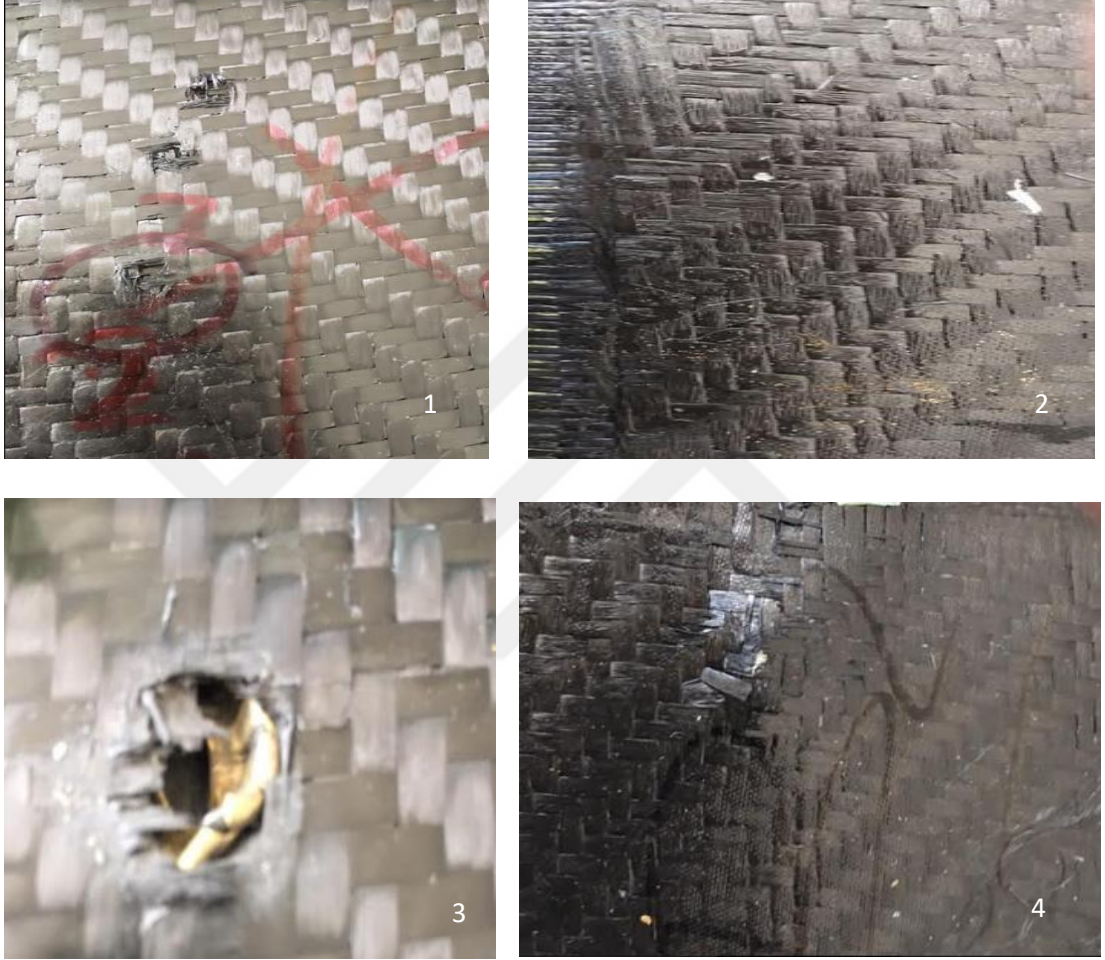


Şekil 4.18. Grafen nanotozlu (GN) numuneye ait mermi çarpma hızı-çöküntü miktarı grafiği



Şekil 4.19. Grafen nanotozlu (GN) numuneye ait kinetik enerji -çöküntü miktarı grafiği

İkili levha halinde yapılan atışların fotoğrafları ve çökme değerleri Şekil 4.20’de verilmiştir. GN numunesi öne, GNFKC numunesi ise arka tarafa konularak aralarında 5 cm boşluk olacak şekilde konulmuştur. GN ve GNFKC numunelerine ait balistik sonuçlar Çizelge 4.4 ’te verilmiştir.

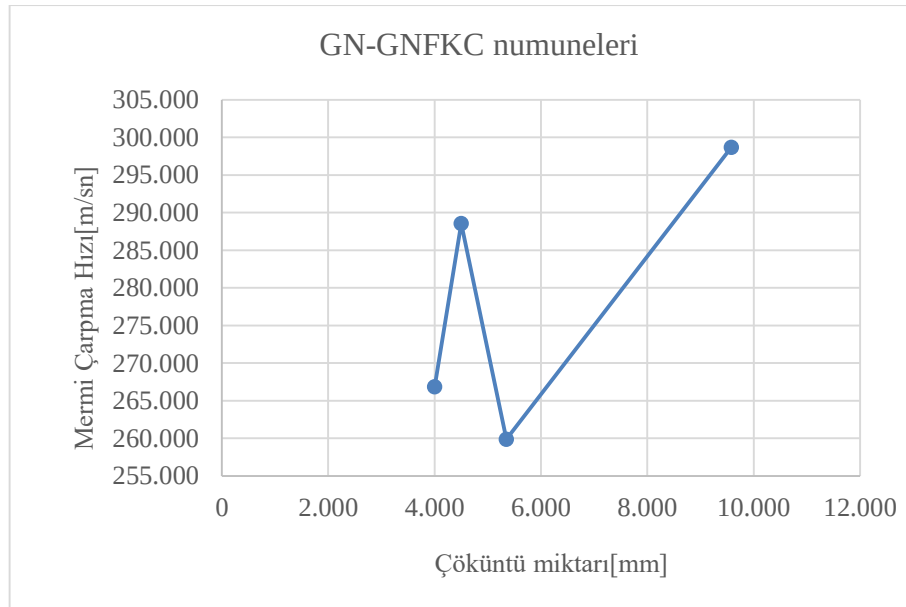


Şekil 4.20. GN ve GNFKC balistik atış sonuçları

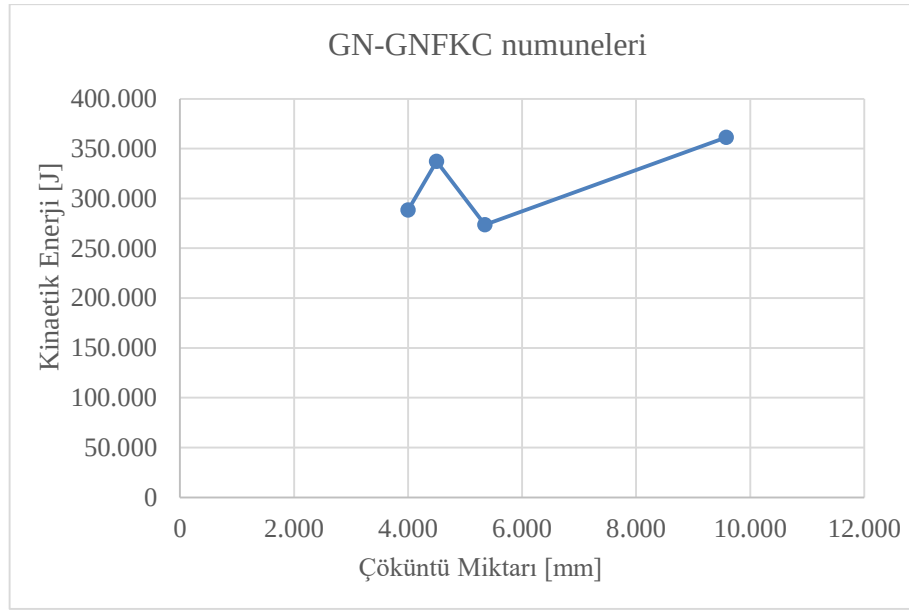
Çizelge 4.4. GN ve GNFKC numunelerine ait mermi atış sonuçları

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)
1	392.858	625.066
2	412.580	689.400
3	381.558	589.625
4	434.856	765.853
Ortalama	405.463	667.486

Balistik atış sonuçlarına göre Şekil 4.20 ‘deki 4 numaralı atışta mermi çekirdeği parçası balistik zırhta çökmenin en fazla meydana geldiği atıştır. Diğer mermilerde çökme miktarı sadece malzeme yüzeyinde olmuştur. Balistik levhanın atış hızı kapasite olarak 390 -500 m/sn aralığına kadar dayanıklı olduğu görülmüştür. Bu kapsamda balistik levha standartlara göre bir önceki test aşamasına göre daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Şekil 4.21’de mermi hızı-çöküntü miktarı grafiği ve Şekil 4.22 ‘de ise verilen gösterilmiştir.



Şekil 4.21. GN- GNFKC numunelerine ait mermi çarpma hızı- çöküntü miktarı grafiği



Şekil 4.22. GN- GNFKC numunelerine ait kinetik enerji - çöküntü miktarı grafiği

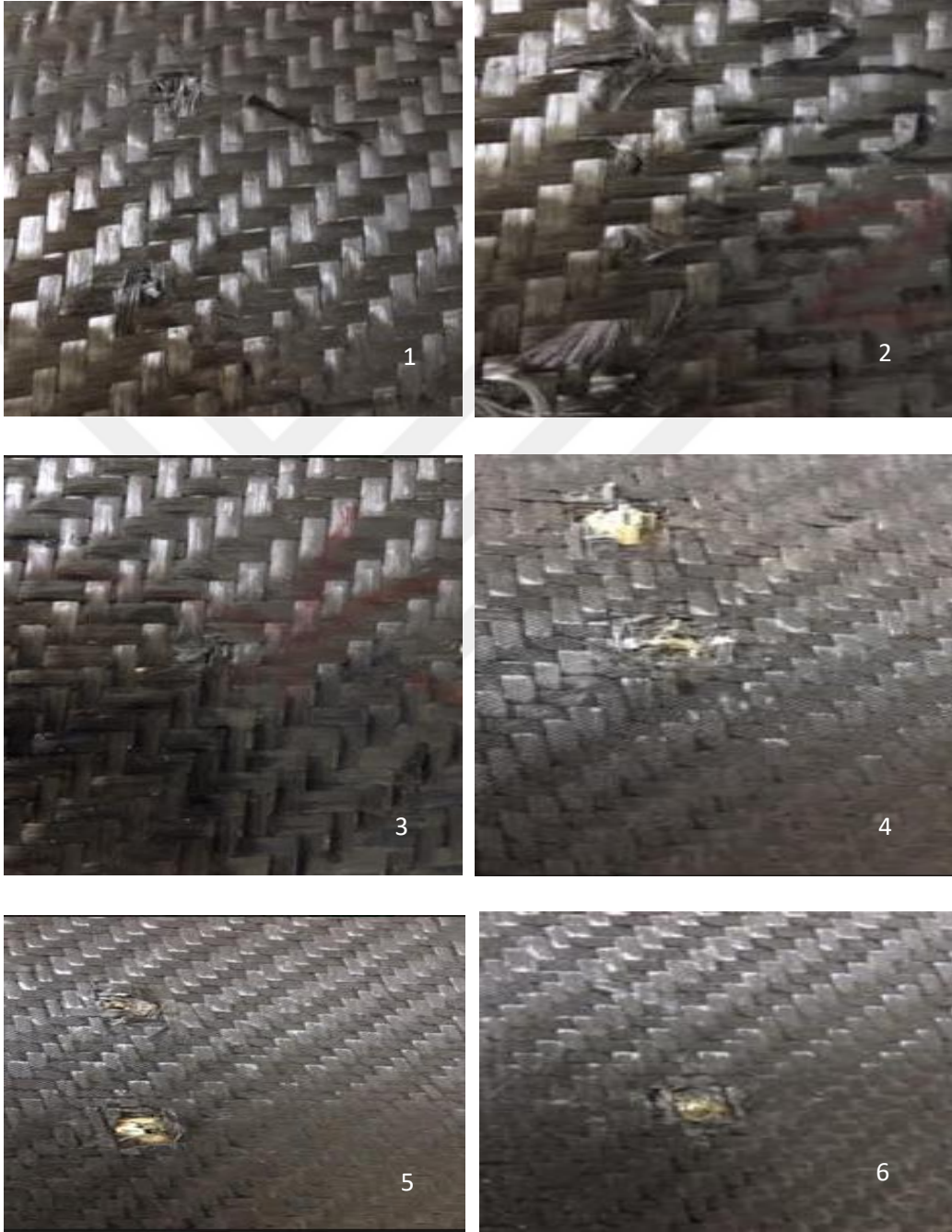
Çarpma hızları ve kinetik enerjileri Çizelge 4.5 'te verilmiştir. GN levhasında delinme olmadığından, GNFKC numunesine mermi ile etkileşimi olmamıştır.

Çizelge 4.5. GN - GNFKC numunelerine ait çarpma hızları

Atış No	Çarpma Hızı (m/sn)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
1	266.870	288.439	4.000	Delinme Yok
2	288.589	337.298	4.500	Delinme Yok
3	259.896	273.56	5.350	Delinme Yok
4	298.689	361.321	9.582	Delinme Yok
Ortalama	278.511	325.154	5.888	

4.2.2. GNFK Numunesinin Balistik Deney Sonuçları

GNFK numunesi olarak adlandırılan, 22 tabakalı hibrid epoksi reçine kompozit numuneye ait mermi atış hızları Çizelge 4.6’ da ve balistik deneye ait fotoğraflar Şekil 4.23 ‘de verilmiştir.



Şekil 4.23. GNFK numunesine ait atış sonuçları

Çizelge 4.6. GNFK numunesine ait veriler

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)
1	392.500	623.920
2	424.126	728.525
3	375.789	571.930
4	389.000	612.850
5	438.859	780.010
Ortalama	404.054	663.447

GNFK adlı numuneye yapılan atışlarda perforasyon meydana gelmemiş ve bu numune başarılı olmuştur. En arkada destek plakası olarak çalışan karbon fiber kumaşta hasarlar meydana gelmiştir. GNFK adlı numunenin balistik limitinin 360 m/sn ile 440 m/sn aralığında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan atışlar göz önüne alındığında ortalama 404.504 m/sn mermi hızına karşılık ortalama çöküntü değeri 5.816 mm'dir. GNFK numunesine 5 adet atış yapılmasının sebebi kabuk tozlarının homojen dağılım göstermemesi ve malzeme tabaka sayısının farklı olmasındandır.

GNFK numunesine ait çarpma hızları Çizelge 4.7 'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. GNFK numunesine ait çarpma hız verileri

Numune Adı: GNFK numunesi				
Atış No	Çarpma Hızı (m/sn)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
1	268.478	291.925	6.220	Delinme Yok
2	270.455	296.240	5.433	Delinme Yok
3	256.889	267.267	5.880	Delinme Yok
4	287.588	334.892	6.125	Delinme Yok
5	298.988	362.044	5.422	Delinme Yok
Ortalama	276.479	325.154	5.816	

İlerleyen aşamada GNFK ve GNFKC numuneleri arka arkaya konularak atış yapılmıştır. Bu kapsamda, levhalarda çıkış hızları alınarak GNFKC numunesine ait çarpma hızları ölçülmüştür. Çizelge 4.8 de mermi çarpma hızları verilmiştir.

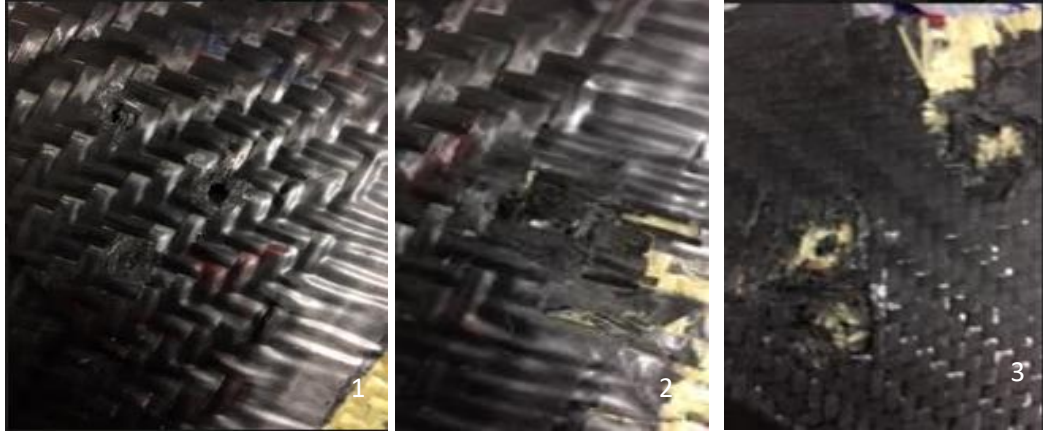
Numune Adı: GNFK –GNFKC numuneleri				
Atış No	Çarpma Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
1	268.584	292.156	5.100	Delinme Yok
2	298.565	361.028	5.788	Delinme Yok
3	312.867	-	-	Delinme Var
4	307.645	-	-	Delinme Var
Ortalama	404.054	663.447	5.444	

GNFK numunesine yapılan 4 atışta mermi hızları 378 m/sn ile 400 m/sn hızları arasındadır. Bu atışlardan 2 tanesi perforasyonla sonuçlanmış ve numune başarısız olmuştur. Atışların 2 tanesi hepsi perforasyonla sonuçlandığı için mermi hızı – çöküntü ve kinetik enerji –çöküntü değeri grafikleri çizilememiştir. Yapılan bu atışlar sonucunda elde edilen bulguların fotoğrafları Şekil 4.24 ‘de paylaşılmıştır.

Çizelge 4.9 ‘da GNFK –GNFKC numunelerine ait mermi atış hızları verilmiştir.

Çizelge 4.9. GNFK –GNFKC numunelerine ait mermi atış hızları

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (J)
1	378.500	580.212
2	412.880	690.400
3	438.789	779.769
4	425.258	732.419
Ortalama	404.054	663.447



Şekil 4.24. GNFK -GNFKC numunelerine ait atış sonuçlar

Levhadan çıkan mermilerin hızı kronograf yardımıyla ölçülmüştür. Bu kapsamda GNFK numunesinin çarpma hızları ve çıkış hızları Çizelge 4.10 'da, GNFKC numunesine ait değerler Çizelge 4.11 'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. GNFK numunesine ait hızlar ve enerjiler

Çarpma hızı (m/sn)	Çıkış Hızı (m/sn)	Çarpma Enerjisi (Nm)	Absorbe Ettiği Enerji Miktarı (J)
312.867	156.458	396.437	99.078
307.645	152.556	383.314	97.082

Çizelge 4.11. GNFKC numunesine ait atış sonuçları

Çarpma hızı (m/sn)	Çarpma Enerjisi (Nm)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
155.899	98.433	0.05	Delinme Yok
151.996	93.565	0.009	Delinme Yok

Malzemenin arka kısmında destekleyici panellerin hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi vakum infüzyon yönteminde tam homojenliğin sağlanamamasıdır. Bulgulara göre, kayısı çekirdeği kabuğu enerji absorbe etme etkisinin var olduğu kanıtlanmıştır. GNFKC numunesine ait atış sonucu Şekil 4.25 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.25. GNFKC numunesine ait atış sonucu

4.2.3. GNFKC Numunesinin Balistik Deney Sonuçları

Grafen nanotozu, fındık kabuğu tozu, ceviz kabuğu tozu ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu numunedeki kumaş elyaf ağırlığının %10 'u kadar uygulanmıştır. 30 tabakalı hibrit epoksi reçine matriksli GNFKC numunesine yapılan atış testleri sonuçlarının fotoğrafları aşağıdaki Şekil 4.26' da verilmiştir.



Şekil 4.26. GNFKC numunesinin atış sonuçları

Gökhan Zırhına (GNFKC numunesine)ait değerler Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. GNFKC numunesine ait mermi atış hızları

Atış No	Atış Hızı (m/sn)	Kinetik Enerji (Nm)
1	358.789	521.354
2	382.899	593.777
3	417.589	706.241
4	438.000	776.968
5	422.859	780.010
6	438.770	724.179
7	412.340	688.898
Ortalama	410.178	595.918

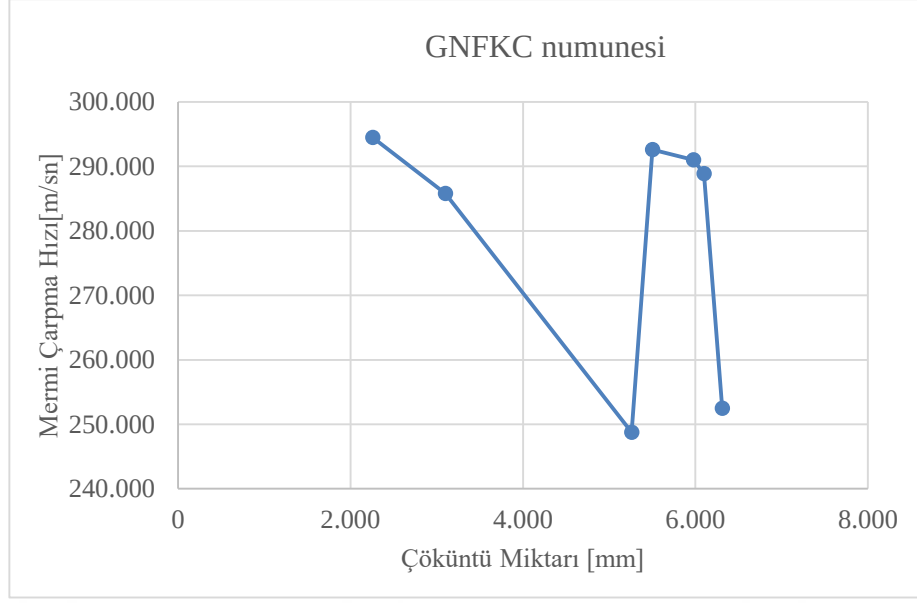
Gökhan Zırh numunesine yapılan 7 atışta mermi hızları 358 m/sn ile 440 m/sn hızları arasındadır. Bu atışlardan hiçbirinde perforasyonla sonuçlanma durumu görülememiştir. Bu nedenle numune başarılı olmuştur. Atışlardan sonra destek panellerinde ayrılmalar meydana gelmiştir. Yapılan bu atışlar sonucunda elde edilen bulgulara göre en ağır numune en yüksek atış verimliğinin elde edildiği numune GNFKC numunesidir.

GNFKC zırhına ait balistik çarpma hızları sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir.

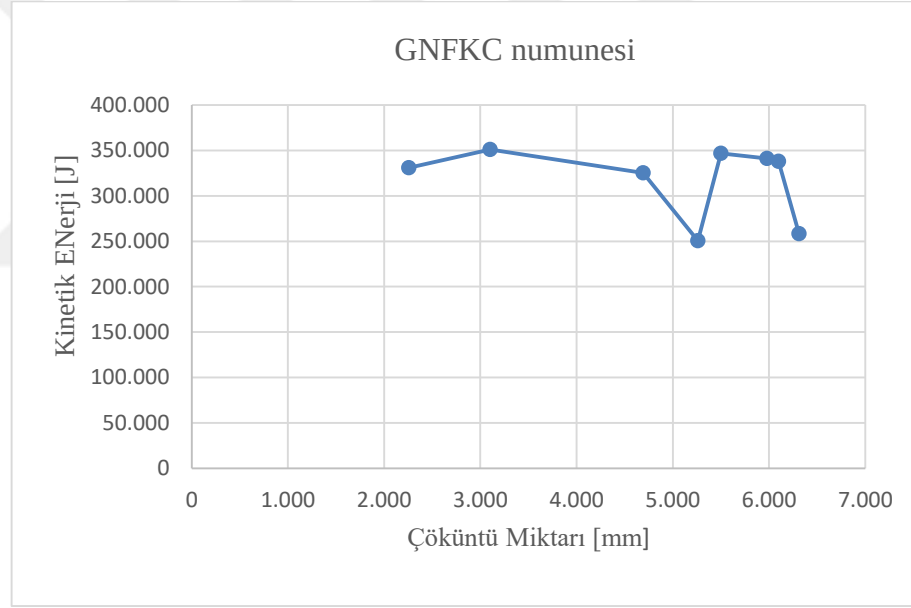
Çizelge 4.13. Gökhan zırhının çarpma hız sonuçları

Numune Adı: GNFKC numunesi (Gökhan Zırhı)				
Atış No	Çarpma Hızı (m/sn)	Absorbe Edilen Enerji (J)	Çöküntü Miktarı (mm)	Değerlendirme
1	248.756	250.612	5.259	Delinme Yok
2	252.488	258.188	6.312	Delinme Yok
3	288.889	338.000	6.100	Delinme Yok
4	292.588	346.711	5.500	Delinme Yok
5	290.977	341.255	5.978	Delinme Yok
6	294.455	351.150	3.100	Delinme Yok
7	285.787	330.780	2.258	Delinme Yok
Ortalama	276.479	325.154	4.691	

Çarpma hızlarına bakıldığında en uygun verimliğe sahip hızların olduğu zırh Gökhan Zırhı olarak adlandırılan GNFKC numunesine aittir. Ayrıca, enerji kapasitesi ve verimliliği en üst düzey bu deneydeki olan numunedir. Bu numune NIJ Seviye II-A standardına göre koruma sağlamaktadır. GNFKC zırhına Şekil 4.27’de mermi hızı-çöküntü miktarı grafiği ve Şekil 4.28 ‘de GNFKC numunesinin kinetik enerji – çöküntü miktarı grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.27. GNFKC numunesinin mermi çarpma hızı- çöküntü miktarı grafiği



Şekil 4.28. GNFKC numunesinin kinetik enerji – çöküntü miktarı grafiği

GNFKC numunesinin çöküntü miktarı bakıldığında absorbe ettiği enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Tarımsal atıklarla üretilen malzemelerle, yeni nesil kompozit zırhlara da uygulanabileceği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, yeni nesil kompozit malzemelerin vakum infüzyon metoduyla üretimi tanıtılmış ve tarımsal atıkların geri dönüşümünün sağlanması ortaya konmuştur. Tabakalı hibrid kompozitlerin tarımsal atıklarla ve grefen nanotozuyla desteklenerek, yeni nesil birleşik malzemelerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada %50 değerine kadar kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındık kabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozu uygulanmıştır. Buna ilaveten, üretilen numunelerin çekme deneyi yapılarak farklılıklar ortaya konmuştur.

- Çekme deneyinde numunelerin davranışları eksenel yük altında incelenmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun karbon fiber elyaftaki uygulama miktarının artmasıyla çekme mukavemeti neredeyse düzenli bir şekilde azalmıştır. En yüksek çekme mukavemeti sade deney numunesinde tespit edilmiştir.
- Deneysel parametrelere bağlı olarak, çekme deney sonuçlarına bakıldığında en yüksek çekme mukavemeti sade numuneler arasında 40°C kürlenmiş olarak üretilen sade numunede meydana gelmiştir. Diğer sıcaklıklardaki mukavemetlere bakıldığında 20°C kürlenmiş sade numunenin % 11.32 civarında daha az çekme mukavemetine sahip olduğu, 60 °C sade numune ise % 20.72 civarında daha az bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir. 80 °C’de üretilen numunede çekme mukavemeti 40°C’de üretilen sade numuneye göre yaklaşık % 15.38 civarında daha düşük dayanıma sahip olduğu görülmektedir.
- Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun uygulandığı numuneler içerisinde, grafikler kıyaslandığında mukavemet özellikleri açısından en ideal olan numune 40°C’de üretilen numunedir.
- 20 °C ‘de sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler kıyaslandığında yaklaşık olarak toz katkılı numunede % 27 civarında çekme dayanımı kaybı vardır. 60 °C sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler mukayese edildiğinde, sade numuneye göre toz katkılı numunenin yaklaşık olarak % 17.61 ‘lik bir çekme dayanımı kaybı olduğu gözlemlenmiştir

- 40 °C ‘de sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler karşılaştırıldığında %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numunede yaklaşık % 19.44’lük bir çekme mukavemeti kaybı , %20 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numunede de yaklaşık % 50’lik bir kayıp söz konusudur. 40 °C ‘de sade ve %30 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler karşılaştırıldığında % 30 toz katkılı numunelerin, sade numuneye göre % 48’lik çekme dayanımı kaybı olmuştur. % 40 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler, sade numunelerle kıyaslandığında % 50 civarında çekme dayanımı kaybı bulunmaktadır. 40 °C ‘de sade numune ile %50 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler mukayese edildiğinde %50 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numunelerde % 87.40 dayanım kaybı olduğu görülmektedir.
- 80 °C sade ve %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozlu numuneler karşılaştırıldığında, sade numuneye göre toz katkılı numunenin yaklaşık % 31.56 ‘lık bir mukavemet kaybı söz konusudur.
- Balistik testler sonucunda NIJ-0101.06 standardına göre koruma sağlamayı başarabilen GN ve GNFKC numunelerinin çöküntü miktarları incelendiğinde bunlar içerisinde en verimli olan GNFKC numunesidir. Çünkü GNFKC numunesi en yüksek test hızlarında ve enerjiyi en iyi derecede absorbe etme özelliğine sahip olan, en verimli numunedir.
- Balistik deneyler sonucunda GNFKC numunesinde kabuk tozlarının homojen dağılımı sağlanamadığından kısmen verimli olduğu bulunmuştur. Bu numune ayrıca yapılan 8 mermi atışından 6 adedini absorbe etmeyi başarmıştır. GN numunesine bakıldığında ise, yapılan mermi atışlarında bütün atışları absorbe ettiğinden oldukça verimli bir numunedir. Enerji absorbe etkisine bakıldığında birim ağırlık başına göre en başarılı numunedir.
- Deneysel parametrelerin test edilmesi sonucunda test esnasındaki hata kusurları göz önüne alınarak ve mukavemet kayıplarının da dahil edilmesiyle birlikte, kayısı çekirdeği kabuğu tozunun %10 değerine kadar, tarımsal atıkların geri dönüşümünün kazanımı olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, kayısı çekirdeği kabuğu tozu, fındıkkabuğu tozu ve ceviz kabuğu tozunun nanotozlarla doğru karışım oranları sağlandığında, yeni nesil kompozitler üretilir. Malzemelerin yapısında homojenlik sağlandığı takdirde, yeni nesil kompozitlerde mukavemet kayıpları minimum düzeye indirebilecektir

6. KAYNAKLAR

- [1] Kompozitin tarihi (2007).www.compositematerials.com (on-line access on 12 Nov,2018)
- [2] Vahdettin K., İbrahim S., Mehmet Fırat B., Mehmet Akif T. *Kayısı Çekirdeği Kabukları Kullanılarak Yalıtım Amaçlı Kompozit Malzeme Üretilmesi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2015.
- [3] Onur Atalar. *Kayısı Çekirdeği Kabuğunun İlave Edilmesi İle Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [4] Pelin Yalçın. *Tekstil Boyalarının Gideriminde Tarımsal Atıkların Kullanılması*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [5] Şerife Çemrek. *Kayısı Çekirdeği ve Kestane Kabuklarının Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi*, Eskişehir Osmangazi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [6] Cavit Kumaş. *Fındık Kabuğundan Aktif Karbon Elde Edilmesinde Fosforik Asit ve Bor Kullanılması*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [7] Burçin Köse Gedik. *Kayısı Çekirdeği Kabuğundan Karbon Nanotüp Eldesi ve Karakterizasyonu*, Doktora Tezi , İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [8] Esin Kayman. *Sulu Çözeltideki Kurşun İyonlarının Kestane Kabuğu ve Kayısı Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbonlar ile Adsorpsiyonu*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [9] Anonim. (2012). <https://www.tersun.com.tr> (on-line access on 22 Nov,2018).
- [10] Anonim. (2010). fka.gov.tr/sharepoint (on-line access on 22 Nov,2018).
- [11] Tuncel Duran Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları.(2010). metalurji.mu.edu.tr/tr/ders-notlari-5379 (on-line access on 23 Nov,2018).
- [12] Anonim. (2016). <https://compositesuk.co.uk/composite-materials/introduction> (on-line access on 24 Nov,2018).
- [13] Composite Materials in Aerospace Applications-Semantic Scholar. (2016) <https://pdfs.semanticscholar.org> (on-line access on 24 Nov,2018).
- [14] Composite of Materials .(2016). <https://www.thoughtco.com> (on-line access on 24 Nov,2018).
- [15] Composite Components.(2017) <https://www.oemoffhighway.com> (on-line access on 26 Nov,2018).
- [16] Encyclepedia of Composite Materials.(2015) <https://www.researchgate.net> (on-line access on 26 Nov,2018).

- [17] Krishan K. Chawla, *Composite Materials: Science and Engineering*, New York, 2012, p. 321-485.
- [18] Valery V. Vasiliev, Evgeny V. Morozov, *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures*, Oxford, 2018, p.221-578.
- [19] Memet Zor Kompozit Malzemeler Ders Notları. (2014). <https://docplayer.biz.tr> (on-line access on 22 Nov, 2018).
- [20] Cihan Sukat, A study on the ballistic performance of composites, Wiley Inter Science Macromol Symposium, USA ,(2006), pp.217-226
- [21] Kompozit Mekaniği Ders Notları. (2018). <https://docplayer.biz.tr> (on-line access on 22 Nov, 2018).
- [22] A. Gholamhoseini, R.I. Gilbert , M.A. Bradford, Z.T. Chang. *Longitudinal shear stress and bond–slip relationships in composite concrete slabs* , Engineering Structures, 69 (2014) 37– 48.
- [23] Glass Fiber Composites. (2016). <http://textilelearner.blogspot.com/2012/09/glass-fiber-composites-properties-of.html>. (on-line accesson 23 Nov, 2018).
- [24] TP Sathishkumar, S Satheeshkumar and J Naveen, *Glass fiber-reinforced polymer composites, A Review Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33:13 (2014)1258–1275
- [25] Composites (2017). compositemanufacturingmagazine.com (on-line accesson 23 Nov, 2018).
- [26] Deborah D. L. Chung, *Carbon Fiber Composite*, Washington, USA, 1994, 5-185.
- [27] Carbon Fiber Composite Design Guide. (2012). www.performancecomposites.com (on-line accesson 24 Nov, 2018).
- [28] Aramid Fiber Composites. (2004). <http://www.aramid.eu/aramid-in-composites.html> (on-line accesson 24 Nov, 2018).
- [29] Kompozit Malzemeler Ders Notu, Adem Onat. (2015). [content.lms.sabis.sakarya.edu.tr /Uploads/78375/.../kompozit_malzemeler_ders_notu](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78375/.../kompozit_malzemeler_ders_notu) (access on 25 Nov, 2018).
- [30] Thermoplastic. (2016). <https://sciencing.com> (access on 25 Nov, 2018).
- [31] Matweb Material Property Data. (2015). www.matweb.com/search (access on 25 Nov, 2018).
- [32] Three Bond Technical News Issued October. (1987). www.threebond.com/technical/technicalnews/index.html (access on 25 Nov, 2018).
- [33] Academia. (2010). www.academia.edu/21037114 (access on 25 Nov, 2018).

- [34] Doç. Dr. Atilla Evcin Polimer ve Malzemeler .(2017) [blog.aku.edu.tr/evcin/dersler /polimer -malzemeler/](http://blog.aku.edu.tr/evcin/dersler/polimer-malzemeler/) (access on 25 Nov, 2018).
- [35] Jim Massy, *Thermoplastic and Thermosetting Polymers A Little Book about BIG Chemistry* , Norwich, United Kingdom, 2017, pp 19-46.
- [36] Thermoset Plastics vs Thermoplastics. (2015). <https://mnrubber.com> (on-line access on 25 Nov, 2018).
- [37] Kompozit Üretim Yöntemleri. (2017). www.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/.../3.pdf (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [38] Vacuum Infusion The Equipment and Process of Resin Infusion (2016) www.composites.ugent.be (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [39] Internal Ballistic. (2016). <http://www.frfrogspad.com> (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [40] External Ballistic. (2015). [https://www.hornady.com/team-hornady/ballistic-calculators/ ballistic resources/external-ballistics](https://www.hornady.com/team-hornady/ballistic-calculators/ballistic-resources/external-ballistics) (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [41] Thermal Ballistic.(2016). <https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4914584> (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [42] Cheng-Kun, C., Yu-Liang, C., 2010. *Ballistic-proof effects of various woven constructions*, *Fibers & Textiles in Eastern Europe*, 18:6 (2010) 63-67.
- [43] Anonim.(2013). <http://biyoder.org.tr> (on-line access on 26 Nov,2018).
- [44] Tarımsal Atıkların Biyokütle enerjisi. (2013). <http://biyoder.org.tr> (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [45] Anonim, Ülkemizdeki Tarımsal atıkların Değerlendirilmesi. (2013). <http://biyoder.org.tr> (on-line access on 26 Nov,2018).
- [46] Malatya Kayısının Tarihçesi. (2016). <http://www.malatya.gov.tr/kayisinin-tarihcesi> (on-line access on 26 Nov, 2018).
- [47] Kayısının Ülkemizdeki Yeri ve Önemi, <http://www.malatya.gov.tr/kayisinin-tarihcesi> (on-line access on 28 Nov, 2018).
- [48] Anonim. (2015). <http://www.kabukcu.com> (on-line access on 29 Nov, 2018).
- [49] Anonim. (2015). <http://www.kabukcu.com> (on-line access on 29 Nov, 2018).
- [50] Anonim. (2015). <http://www.kabukcu.com> (on-line access on 30 Nov, 2018).
- [51] Guide to Resin Infusion, <https://system.eu2.netsuite.com/.../media.nl?id...pdf> (on-line access on 30 Nov, 2018).
- [52] Vacuum Infusion Process. (2017). <https://www.compositeadvantage.com/blog/vacuum-infusion-advantage> (on-line access on 30 Nov, 2018).
- [53] Vacuum infusion the equipment and process of resin infusion. (2016). <https://www.vacmobiles.com> (on-line access on 1 Dec, 2018).
- [54] Hatice Taşçı, Ayşegül Aşkın, Metin Tanoğlu. *Development of Carbon-Glass Fiber reinforced hybrid Composites by Vacuum Infusion Technique*, **Journal of the Turkish Chemical Society**, 1:2 (2017) 35- 42.

- [55] Vacuum Assisted Resin Transfer Molding Model Development and Verification (VARTM). (2017) <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/.../dissertation.pdf> (on-line access on 2 Dec, 2018).
- [56] Vacuum infusion method for woven carbon. (2017). <https://www.researchgate.net> (on-line access on 2 Dec, 2018).
- [57] Vacuum Infusion - The Equipment and Process of Resin Infusion. (2015). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757.../012015> (on-line access on 2 Dec, 2018).
- [58] Hakan Yılmaz. *Üç Fazlı Tabakalı Karma Kompozit Yapının Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*” Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2012.
- [59] Can Candan. *Hafif Silahlara Karşı Preslenerek ve Preslenmeden Üretilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen(UHMWPE) Zırh Plakalarının Terminal Balistik Özelliklerinin İncelenmesi*, "Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2005.
- [60] Larsson, F. and Svensson, L., Carbon *polyethylene hybrid fiber composites for structural light weight armor*, **Elsevier Composites Part: A** (2002) 221-231.
- [61] Bekir Yenilmez. *Viskoelastik sıkıştırma modelleri ile malzeme karakterizasyonu ve vakum infüzyon (VI) işlemi modellemesi*, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2014.
- [62] Govignon Q, Bickerton S, Morris J, Kelly PA. , *Full field monitoring of the resin flow and laminate properties during the resin infusion process*. **Composites Part A Applied Science and Manufacturing**, 39:9 (2008) 1412-1426.
- [63] Li J, Walsh SM, Zhang C, Liang R, Wang B, Ground AP. Modeling and Analysis of Thickness Gradient and Variations in Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding Process. **Wiley Inter Science**, 29 :5 (2008) 473-482.
- [64] Chen, G. , Wu, D., Weng, W. and Wu, C., *Exfoliation of graphite flake and its nanocomposites*. **Carbon**, 41:11 (2003) 619 - 621.
- [65] Isaac M.Daniel, *Recent Advances in Experimental Mechanics*, New York, 2004, 356- 572.
- [66] Xuegang Jia, Yuyan Liu and Lan Lii, *Analysis of Mechanical Properties of Carbon /Epoxy Composites in the Near Critical Water Decomposition*, **Polymer and Polymer Composites**, 21:9 (2013) 553-560.
- [67] Wetzela, B. , Hauptert, F. and Zhang, M.Q., *Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance*, **Composites Science and Technology**, 63:20 (2003) 2055-2067.
- [68] Carr, D.J., 1999. Failure mechanisms of yarns subjected to ballistic impact. *Jornal of materials science letters*, 18, 585-588.

- [69] R.D.S.G. Campilho, *Natural Fiber Composites*, New York, 2015, 5 -67.
- [70] Ronald F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, USA, 2007, 316-522
- [71] Shokrieh, M.M., Esmkhani, M., Haghighatkhah, A.R. and Zhao, Z. Flexural, Fatigue behavior of synthesized graphene/carbon-nanofiber/epoxy hybrid nanocomposites., **Materials & Design**, 64 :4 (2014) 401–408.
- [72] Robert M. Jones, *Mechanics Of Composite Materials (Materials Science & Engineering Series)* , New York, USA, 1999.
- [73] Richard M. Christensen, *Mechanics of Composite Materials*, USA, 2005.
- [74] David W. Hagy . Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06, Washington, USA, 2007, 10 -75.
- [75] J.Sarki , S. B. Hassan , V. S. Aigbodion, J. E. Oghenevweta, *Potential of using coconut shell particle fillers in eco-composite materials*, **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, 3:5 (2015) 2381-2385.
- [76] Ning Hu, *Composites and Their Applications*, Rijeka, Croatia, 2012, 166-296.
- [77] Summerscales, J. and Searle, T.J. , *Low-pressure (vacuum infusion) techniques for moulding large composite structures* **Journal of Materials Design and Applications**, 219:1 (2005) 45-58.
- [78] Mehmet Çağrı Tüzemen. *Karbon Nanotüp Ve Nanokil Katkili Civata Bağlantılı Karbon/Epoksi Nanokompozit*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.2015.
- [79] Soy, U. Kompozit Malzemeler .(2009). content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/uploads/78375/.../kompozit_malzemeler_ders_notu.p. (on-line access on 2 Dec, 2018).
- [80] J. Zhu H., Peng F., Rodriguez-Macias, J. L. Margrave, V. N. Khabashesku A. M. Imam, K. Lozano, E. V. Barrera, *Reinforcing Epoxy Polymer Composites Through Covalent Integration of Functionalized Nanotubes*, 14:7 (2004) 643-648.
- [81] Jakob Meyer- Holdt. *Experimental methods for implementing graphene contacts to finite bandgap semiconductors*, Nano Physics University of Copenhagen and University of Chinese Academy of Sciences, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin Taner BAHÇE

Doğum Yeri ve Tarihi: MALATYA- ÇİLESİZ, 08/ 05 /1993

E-Posta: h.bahce4444@gmail.com

EĞİTİM

(Yüksek Lisans) İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği
Bölümü Mekanik Anabilimdalı (2016 -)

(Lisans) Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Mekanik ve İmalat Anabilimdalı (2012-2016)