



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**TABAKALI KOMPOZİTLERİN DARBE  
DİRENCİNİN İNCELENMESİ**

**Şerafettin ÇETİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ekim-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Şerafettin ÇETİN

Tarih: 28.10.2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## TABAKALI KOMPOZİTLERİN DARBE DİRENCİNİN İNCELENMESİ

Şerafettin ÇETİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ

2022, 73

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ  
Doç. Dr. Memduh KARA  
Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE

Mühendislik malzemeleri üretim, servis ve kullanım sırasında darbeye maruz kalabilmekte, beklenmedik sonuçlar, hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bundan dolayı mühendislik malzemelerinde darbe hasarının bilinmesi ve tahmin edilmesi önem arz etmektedir. Yapılan darbe testleriyle malzemelerin darbeye verecekleri tepkiler tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmada tel takviyeli tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışları incelenmiştir. Darbe deneyleri, polimer matris ve takviye elemanı olarak çelik elek teli kullanılarak üretilen numuneler için farklı enerji seviyelerinde yapılmıştır. Numuneler takviyesiz ve 3 farklı dizilimde çelik tel takviyeli olarak 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilerek üretilmiştir. Sonrasında bu çekirdeğin alt ve üst yüzeyine 0,5 mm kalınlığında 5457 kalite alüminyum levhalar poliüretan yapıştırıcı ile yapıştırılarak kompozit üretimi tamamlanmıştır. Hazırlanan numunelere 20J, 30J, 40J ve 50J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe deneyi uygulanmıştır. Deneyler sonrasında numunelerin, farklı enerji değerlerine karşılık gelen kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman ve enerji-zaman grafikleri elde edilmiştir. Darbe yapılan numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile darbe hasar analizi yapılmıştır. Bu analiz, grafik ve fotoğraflar birlikte göz önüne alınarak darbeye uğramış numunelerin hasar mekanizmalarına ilişkin değerlendirme ve yorumlar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Darbe Hasar Analizi, Düşük Hızlı Darbe Deneyi, Tabakalı Kompozit Malzeme, Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi, Çelik Tel Takviye

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **INVESTIGATION OF IMPACT RESISTANCE OF LAMINATED COMPOSITES**

**Şerafettin ÇETİN**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN MECHANICAL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ**

**2022, 73**

**Jury**

**Asst. Prof. Dr. Hakan Burak KARADAĞ**

**Assoc. Prof. Dr. Memduh KARA**

**Assoc. Prof. Dr. Hakan GÖKMEŞE**

Engineering materials can be exposed to impact during production, service and use, and unexpected results and damages can occur. Therefore, it is important to know and predict impact damage in engineering materials. With the impact tests, the reactions of the materials to the impact can be predicted.

In this study, the impact behavior of wire-reinforced laminated composite materials was investigated. Impact tests were carried out at different energy levels for the samples produced using the polymer matrix and steel mesh as the reinforcement element. The samples were produced by firing at 180 °C for 30 minutes without reinforcement and with steel wire reinforcement in 3 different sequences. Afterwards, 0.5 mm thick 5457 quality aluminum sheets were adhered to the lower and upper surfaces of this core with polyurethane adhesive, and composite production was completed. Low velocity impact test was applied to the prepared samples at 20J, 30J, 40J and 50J energy levels. After the experiments, force-time, force-displacement and energy-time graphs corresponding to different energy values of the samples were obtained. Impact damage analysis of the impacted samples was carried out by scanning electron microscopy. Considering this analysis, graphics and photographs together, evaluations and interpretations of the damage mechanisms of the impacted samples were made.

**Keywords:** Impact Damage Analysis, Laminated composite materials, Scanning Electron Microscopy Analysis, Low Velocity Impact Experiment, Steel Wire Reinforcement

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında her türlü desteği esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ hocama minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmaların gerçekleşmesi için deney tesisatını kullandıkları, bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaştıkları için Prof. Dr. Mesut UYANER ve Doç. Dr. Memduh KARA hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım süresince büyük bir sabırla bana destek olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Şerafettin ÇETİN  
KONYA-2022

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	viii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Kompozit malzeme .....	1
1.2. Tabakalı kompozitler .....	3
1.2.1. Polimer esaslı tabakalı kompozit malzemeler .....	3
1.3. Düşük hızlı darbede hasar modları .....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>6</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>10</b>
3.1. Materyal .....	10
3.1.1. Matris malzeme.....	10
3.1.2. Takviye elemanı.....	10
3.1.3. Alüminyum levha .....	11
3.2. Kompozit malzemelerin üretimi .....	11
3.3. Polimer malzeme sertlik ölçümü .....	13
3.4. Düşük hızlı darbenin kinematik analizi .....	16
3.5. Düşük hızlı darbe deneyi .....	19
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>22</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>57</b>
5.1 Sonuçlar .....	57
5.2 Öneriler .....	57
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>
ÖZGEÇMİŞ .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
nm	Nanometre
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
TPa	Terapascal
°C	Santigrat
kg	Kilogram
gr	Gram
J	Joule
m	Kütle
g	Yerçekimi
h	Yükseklik
V	Hız
Al	Alüminyum
P	Polimer
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümina
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PA	Poliamid
VAM	Vinil Asetat Monomer
EVA	Etilen Vinil Asetat

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
T0	Takviyesiz Tabakalı Kompozit
T1	Bir Çelik Tel Takviyeli Tabakalı Kompozit
T2	İki Çelik Tel Takviyeli Tabakalı Kompozit
T3	Üç Çelik Tel Takviyeli Tabakalı Kompozit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
BİTAM	Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
CTP	Cam Elyaf Takviyeli
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
GLARE	Cam Elyaf Takviyeli Alüminyum Laminat
CARALL	Karbon Fiber Takviyeli Alüminyum Laminat
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
ark.	Arkadaşları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Darbe sonucu kompozit malzemede oluşan hasar çeşitleri (Kara,2006) .....	4
Şekil 3.1. Polimer matris malzemesi .....	10
Şekil 3.2. Çelik elek teli .....	10
Şekil 3.3. Numune pişirici ve kontrol paneli alt ve üst plaka.....	12
Şekil 3.4. T3 tabakalı kompozit şematik gösterimi .....	12
Şekil 3.5. T0, T1, T2 ve T3 tabakalı kompozit malzemelerin SEM analiz görüntüleri .....	15
Şekil 3.6. Shore A sertlik ölçüm cihazı .....	16
Şekil 3.7. Tipik kuvvet-zaman, kuvvet deplasman ve enerji zaman değişimi grafiği .....	19
Şekil 3.8. Düşük hızlı darbe deneyi düzeneği .....	20
Şekil 3.9. Vurucu ve dörtkenar ankastre kalıp .....	21
Şekil 4.1. Bir darbe olayında karşılaşılan eğri tipleri: (a) kapalı eğri, (b) açık eğri.....	23
Şekil 4.2. T0 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri.....	24
Şekil 4.3. T0 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri.....	25
Şekil 4.4. T0 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri.....	26
Şekil 4.5. T0 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri.....	27
Şekil 4.6. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği.....	28
Şekil 4.7. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği .....	28
Şekil 4.8. T0 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği.....	28
Şekil 4.9. T1 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri.....	32

<b>Şekil 4.10.</b> T1 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	33
<b>Şekil 4.11.</b> T1 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	34
<b>Şekil 4.12.</b> T1 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	35
<b>Şekil 4.13.</b> T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği.....	36
<b>Şekil 4.14.</b> T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği.....	36
<b>Şekil 4.15.</b> T1 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği.....	36
<b>Şekil 4.16.</b> T2 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	40
<b>Şekil 4.17.</b> T2 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	41
<b>Şekil 4.18.</b> T2 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	42
<b>Şekil 4.19.</b> T2 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	43
<b>Şekil 4.20.</b> T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği.....	44
<b>Şekil 4.21.</b> T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği.....	44
<b>Şekil 4.22.</b> T2 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği.....	44
<b>Şekil 4.23.</b> T3 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	47
<b>Şekil 4.24.</b> T3 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	48

<b>Şekil 4.25.</b> T3 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	49
<b>Şekil 4.26.</b> T3 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri .....	50
<b>Şekil 4.27.</b> T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği.....	51
<b>Şekil 4.28.</b> T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği.....	51
<b>Şekil 4.29.</b> T3 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği.....	51
<b>Şekil 4.30.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 20 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği .....	54
<b>Şekil 4.31.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 30 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği .....	54
<b>Şekil 4.32.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 40 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği .....	54
<b>Şekil 4.33.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği .....	54
<b>Şekil 4.34.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 20 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği.....	55
<b>Şekil 4.35.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 30 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği.....	55
<b>Şekil 4.36.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 40 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği.....	55
<b>Şekil 4.37.</b> T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 50 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği.....	55
<b>Şekil 4.38.</b> Absorbe-Sekme Enerjisi grafiği .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 3.1.</b> Etilen Vinil Asetat Bileşimi .....	10
<b>Çizelge 3.2.</b> Çelik Elek Teli Kimyasal Bileşimi .....	11
<b>Çizelge 3.3.</b> Çelik Elek Teli Mekanik Özellikler .....	11
<b>Çizelge 3.4.</b> 5754 Al Levha Kimyasal Bileşimi .....	11
<b>Çizelge 3.5.</b> 5754 Al Levha Mekanik Özellikler.....	11
<b>Çizelge 3.6.</b> Numune Dizilim Tablosu .....	12
<b>Çizelge 3.4.</b> Pişirilmiş Kompozit Polimer Sertlik Ölçüm Çizelgesi .....	16
<b>Çizelge 4.1.</b> Düşük hızlı darbe deneylerinde elde edilen en büyük temas kuvveti ve vurucu temas süreleri çizelgesi .....	23

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte insanların ihtiyaçları da hızlı bir şekilde artmakta ve dünyadaki kaynakları tüketmektedir. Bundan dolayı bilim insanları sağlam, hafif, ucuz, mukavemetli ve ekonomik malzemelerin üretilmesi için çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Böylece değişik özellikleri içinde barındıran ve iki veya daha fazla malzemenin özel tekniklerle fiziksel olarak birleştirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin önemi artmıştır. Kompozit malzemeler savunma, enerji, havacılık ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan malzemelerdir.

Malzemeler mühendislik uygulamalarında ve servis şartlarında birtakım darbelere maruz kalabilirler. Malzemelerden bu beklenmedik darbelere karşı uygun cevabı vermesi istenir. Malzemeler uygulama alanlarına ve kullanım amacına göre farklı darbe şekillerine maruz kalabilirler. Darbeler hızlarına göre düşük hızlı ve yüksek hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı araştırmacılar düşük hızlı darbeyi 2 ile 10 m/s aralığında değişen hızlar olarak değerlendirmişlerdir (Kaman & Albayrak, 2021).

Malzemelerin darbeye karşı dirençleri değişkenlik göstermektedir. Metal ve alaşımlarında darbe sonucunda darbe yüzeyinde hasar meydana gelir. Kompozit malzemelerde çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalan veya kalmayan yüzey bölgelerinde hasar meydana gelebilir (Kara, 2006). Metallerin aksine kompozit malzemeler darbeyi absorbe ederek hasarı bünyelerinde depolayabilirler. Kompozit malzemelerde oluşan hasarlar her zaman gözle görülmeyebilir. Malzemede fiber hasarı, delaminasyon, nüfuziyet ve matris çatlağı gibi hasar türleri ile oluşabilmektedir.

### 1.1. Kompozit malzeme

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini kullanmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir (Şahin, 2000). Makro boyut, malzemenin gözle veya büyüteçle görülebilecek boyutta olmasıdır. Kompozit malzemelerin kendilerini meydana getiren malzemelerin en iyi özelliklerini sergilemesi beklenir. Kompozit malzemeler matris adı verilen ana yapı ile takviye malzemesinden oluşmaktadır (Kara, 2006).

Kompozit malzemeler kendilerini oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerini üzerlerinde topladıkları için diğer malzemelere karşı avantajları vardır. Bu avantajlar bu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- İyi korozyon direnci,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,
- Düşük ağırlık,
- Estetik görünüm vb.

Bu özelliklerin hepsi aynı anda bir malzemede oluşmazlar. Kompozit malzemenin kullanım alanı ve servis şartlarındaki özellikleri baz alındığında uygun matris, takviye elemanı, üretim metodu ve diğer faktörlerin göze alınması ile talep edilen kompozit malzeme elde edilebilir (Şahin, 2000).

Kompozit malzemeler üstün mukavemet, rijitlik ve hafiflik özellikleri nedeniyle metallerin yerini almaktadır. Bugün uçaklarda, uzay araçlarında, denizaltı araçlarında ve malzeme özellikleri kritik olan birçok makine elemanının kullanılmak üzere kompozit malzemeler üretilmektedir.

Kompozit malzemeler matris adı verilen ana bileşen ile yüksek mukavemete ve yüksek elastiklik modülüne sahip olan takviye edici olarak adlandırılan yapısal bileşenlerden meydana gelirler. Matrisler, kompozit malzemeler içerisinde takviye elemanları olan elyafları bir arada tutar ve bağlayıcı olarak görev yaparlar. Matrisin amacı; desteklemek, korumak ve gerilmeyi transfer etmektir. Matrislerin yoğunlukları, rijitlikleri, mukavemetleri elyaflara göre daha düşüktür. Bununla birlikte elyaflarla birleştiklerinde daha mukavemetli ve daha iyi rijitlik özelliği olan bir malzeme ortaya çıkar (Kara, 2006).

## 1.2. Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin en eski ve en sık kullanılan türündendir. Farklı elyaf yönelimine sahip tabakaların bileşimi ile yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Ayrıca ısıya ve neme dayanıklı malzeme üretmeye uygundur. Tabakalı kompozit malzemeleri kullanıldıkları alanlardan dolayı metaller ile kıyaslanır ise hafif ve dayanıklı olmaları tercih edilme nedenlerinin başında gelmektedir. Tabakalı kompozitler uçak yapıların, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

Tabakalı kompozit tek tip malzemedan üretilebildikleri gibi farklı tip malzemelerden de üretilebilirler. Literatüre göre üretimde kullanılan malzemeleri türlerine göre şu şekilde gruplandırmak mümkündür;

- Farklı tip malzemelerden oluşan
- Tek tip malzemelerden oluşan

tabakalı kompozitler (Metin, 2008).

### 1.2.1. Polimer esaslı tabakalı kompozit malzemeler

Tabakalı kompozit malzemelerin üretimde polimer malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Silikon malzeme içerisine cam lifi veya asbest lifi dokumalar emdirilerek yüksek sıcaklığa dayanıklı kompozit malzemeler elde edilebilmektedir. Plastik esaslı tabakalı kompozit malzemelerin çok değişik türleri mevcuttur ve farklı alanlarda kullanılmaktadır (Kara, 2006).

## 1.3. Düşük hızlı darbeye hasar modları

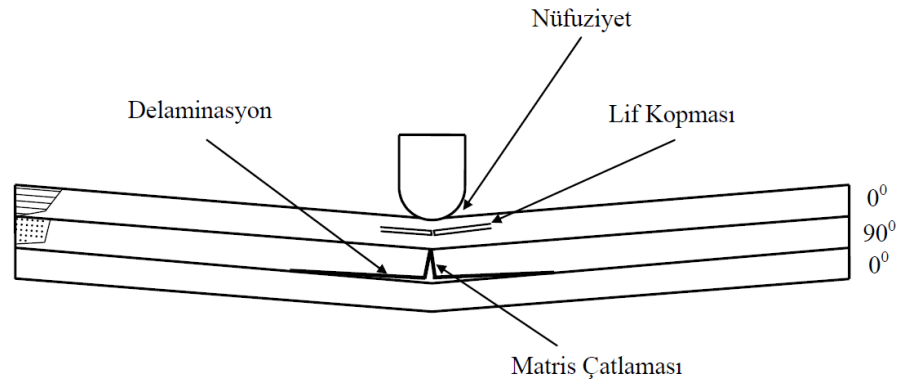
Elyaf takviyeli kompozit tabakalar homojen ve izotropik yapıda olmadıklarından dolayı darbe sonrası farklı darbe modları meydana gelebilmektedir. Bu modlarda önemli olan dört tanesi matris çatlağı, delaminasyon, elyaf kopması ve nüfuziyet hasar modlarıdır. Bu modların şematik gösterimi Şekil 3.1'deki gösterilmektedir (Kara, 2006).

**1. Matris çatlağı:** Çatlama liflere paralel olarak meydana gelir. Bunun nedeni bası gerilmesi ve kesme gerilmeleridir.

**2. Delaminasyon modu:** Tabakalar mukavemet kaybından dolayı birbirlerinden ayrılması olayıdır.

**3. Elyaf kopması:** Gerilme altında lif kopması ve sıkışma altında lif eğilmesidir.

**4. Nüfuziyet:** Çarpan cismin kompozit malzemeye nüfuz etmesidir.



**Şekil 1.1.** Darbe sonucu kompozit malzemede oluşan hasar çeşitleri (Kara,2006)

Bu çalışmanın amacı, sabit kalınlıkta farklı katman dizilime sahip polimer esaslı matris ve çelik tel takviyeli kompozit levhalar üzerine düşük hızlı darbe davranışlarının incelenmesidir. Darbe sonucu kuvvetin zamana göre değişimini veren grafikler elde edilmiştir. Ayrıca ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri çıkarılmıştır. Darbe enerjisinin ne kadarlık bir kısmının malzeme tarafından yutulduğu tespit edilmiştir.

Deneylerde Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Malzeme Laboratuvarında bulunan ağırlık düşürme test cihazı kullanılmıştır. Vurucu kütlesi 17 kg olup 1000 mm'den serbest olarak düşebilmektedir. Vurucunun istenilen mesafeden bırakılabilmesi için mknatsız kilit mekanizması vardır. Böylece değişik darbe hızlarında deney yapılabilir. Düşük hızlı darbe düzeneğinin en büyük teorik serbest düşme hızı 4.4 m/s'dir. Vurucu kütlelerinin sürtünmesini azaltmak ve daha stabil bir serbest düşme sağlamak için rulmanlı yatak sistemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan deney numuneleri 90 mm x 90 mm boyutlarında olup 15 mm kalınlığındaki çelik kalıp içerisinde 180 °C sıcaklıkta ve 30 dakika pişirme ile üretilmiştir. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır. Deney numuneleri dört farklı konfigürasyonda

üretmiştir. Üretilen deney malzemelerine basit ve ankastre mesnette dört farklı hızda düşük hızlı darbeler uygulanmış ve kuvvetin zamana göre değişimi, kuvvetin yer değiştirmeye göre değişimi ve yutulan enerjinin zamana göre değişimi ile ilgili grafiklere elde edilerek numunelerin darbe cevapları incelenmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kompozit malzemeler günümüzde havacılık, deniz, taşıma gibi alanlarda etkin olarak kullanılmaktadır. Kullanıldıkları bu alanlarda düşük hızlı darbelere maruz kalabilmektedirler. Bu hasarlar kimi zaman gözle görülememesine rağmen kompozitin iç yapısında hasara ve yapıda mukavemet kaybına neden olabilmektedir. Literatür taraması yapıldığında kompozit malzemeler darbe davranışları alanında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Düşük hızlı darbe alanındaki araştırmaların bazıları aşağıdaki şekildedir;

Esendemir ve Caner, cam elyaf takviyeli kompozit plakaların darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında parametre olarak iki farklı darbe enerjisi ve iki farklı kalınlık kullanmışlardır. 2 ve 4 mm kalınlıklarındaki kompozit plakalar 8 ve 16 tabakalı kompozit numuneler olacak şekilde üretim yapılmıştır. 8 ve 16 tabakalı kompozit malzemelerin darbe dayanımı ayrı ayrı olacak şekilde 20J ve 60J 'luk darbe enerjisi altında test etmiştir. Deneysel çalışma sonucunda 8 tabakalı numunelerde 20J darbe enerjisinde delinmenin oluşmadığını, 60J darbe enerjisinde delinme hasarının meydana geldiğini, 16 tabakalı numunelerde ise iki darbe enerjisinde de delinme hasarının oluşmadığını gözlemlemişlerdir (ESENDEMİR & CANER, 2017).

Öndürücü ve Karacan farklı oryantasyona sahip cam elyaf/epoksi kompozit numunelerin farklı darbe enerji seviyelerindeki darbe davranışlarını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda artan darbe enerjisi ile maksimum kuvvet ve deplasyon miktarı değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir (ÖNDÜRÜCÜ & KARACAN, 2018).

Kara ve Uyaner, St37 DKP çelik ve 1050-H14 alüminyum plakalardan oluşan farklı yerleşim düzenine sahip metal tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Farklı enerji seviyeleri kullanarak deneyleri gerçekleştirmişler darbe enerjisi arttıkça numunelerdeki çökme miktarının da arttığını gözlemlemişlerdir (UYANER & KARA, 2016).

Akın ve Şenel, E-cam elyaf/epoxy tabakalı plakaların farklı istiflenme açılarında ve kilitleme sistemlerinde, düşük hızlı darbe etkisi altında malzemelerin davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarda 140 mm x 140 mm boyutlarında olan numuneler iki taraflı ve dört taraflı ankastre olacak şekilde bağlantı yapılmıştır. Dört taraflı sabitlenen

numunelerin iki taraflı sabitlenen numunelere göre daha kararlı olduğunu, İki taraflı sabitlenen numunelerde çökme miktarının dört taraflı sabitlenen numunelerden fazla olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda iki taraflı sabitlenen numuneleri delmek için daha fazla enerji gerektiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca fiber oryantasyonunun darbe deneylerinde malzeme özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. (Akin & Şenel, 2010).

Aktaş ve ark. E-cam/epoksi kompozit malzemelerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Farklı darbe enerjilerinde meydana gelen meydana gelen hasar modlarını belirlemişlerdir. Buna göre E-cam/epoksi kompozit malzemede matris çatlağı ile başlayan hasar modu darbe enerjisindeki artış ile elyafın gevrek yapısından dolayı giber hasarına dönüşmektedir (Aktaş ve ark., 2009).

Baucom ve Zikry, tekrarlı yapılan darbe yükleme koşulları altında kompozit levhalarda cam elyaf takviye geometrisinin hasar ilerlemesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarda 2D kumaş, 3D kumaş ve çift eksenli güçlendirilmiş kumaş kompozitleri kullanılmıştır. 3D kompozitlerim, penetrasyona karşı maksimum dirence sahip olduğunu ve bunun 3D kompozitlerdeki kıvrımlı kısımdan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Baucom & Zikry, 2005).

Uyaner ve Kara filaman sarım yöntemi ile üretmiş oldukları kompozit boruların düşük hızlı darbe tepkisine vurucu geometrisinin etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda vurucu ucun sivriliğinin azalması ile numunelerden elde edilen maksimum temas kuvvetinin arttığını ve temas süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar diğer literatür çalışmaları ile uyumaktadır (KARA & UYANER, 2016).

Abdullah ve Cantwell dokuma cam elyaf takviyeli polipropilen ve alüminyum alaşımından oluşan fiber metal laminatların yüksek hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Darbelenen numunelerde enerjinin alüminyum tabakaların plastik deformasyonu ve kırılması ile kompozit tabakalarda ise delaminasyon, matris deformasyonu ve lif kırılması yoluyla absorbe edildiğini belirtmişlerdir (Abdullah & Cantwell, 2006).

Cai Yu ve diğerkleri karbon fiber takviyeli alüminyum laminatların (CARALL) düşük hızlı darbe tepkilerini deneysel ve numerik olarak incelemiştirlerdir. Çalışmalarda dört farklı alüminyum levha kullanılmıştır. Alüminyum alaşımının akma gerilmesinin artmasıyla CARALL 'ın darbe direncinin de arttığını belirtmişlerdir. Cai Yu ve arkadaşları ayrıca simülasyonlar çalışmalarında CARALL ile GLARE 'yi de karşılaştırmışlardır. CARALL'ın aynı darbe enerjisi altında daha yüksek tepe yükleri, daha düşük temas süresi değerleri ve daha küçük nihai merkezi sapmaları gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu nedenle CARALL'ın Glare'den daha iyi darbe direnci özelliğine sahip olduğu belirtmişlerdir (Yu ve ark., 2015)

Reddy ve ark. laminat kalınlığının maksimum kuvvete, maksimum yer değiştirmeye ve hasar alanına olan etkisini incelemiştirlerdir. Tüm darbe enerjilerinde kalınlığın artması ile birlikte maksimum kuvvetin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca laminat kalınlığı iki katına çıktığında maksimum yer değiştirmenin %50 azaldığını belirtmişlerdir (Sreekantha Reddy ve ark., 2019).

Özdemir ve ark. karbon fiber takviyeli kompozit plakaların düşük sıcaklıklarda ve düşük hızlı darbe tepkilerini incelemiştirlerdir. Sıcaklık azaldıkça temas kuvvetinin arttığı, mukametinin ve temas zamanının azaldığı gözlemlenmiştir. Testler sonucunda kuvvet-zaman, deplasman-zaman grafikleri hazırlamışlar ve hasar analizlerini yapmışlardır (Özdemir, 2019).

Aslan ve ark. fiber takviyeli lamine kompozitlerin düşük hız etkisi altında düzlem içi boyutsal etkilerini araştırmışlardır. Bütün e-cam/epoksi numuneler (0/90/0/90)s oryantasyonunda çapraz katlı olarak üretilmiş ve lamine kompozit malzemelerin tüm parametrelerini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Dikdörtgen kompozit laminatların genişliğinin küçülmesi ile temas süresinin arttığını tespit etmişlerdir (Aslan ve ark., 2003).

Türkmen ve Köksal, Cam elyaf takviyeli (CTP) kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştirlerdir. Elyaf katman sayısına bağlı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirtmişlerdir. Darbe deneyi sonuçlarına göre elyaf katman sayısı artışı ile malzemelerin absorbe ettiği hasar enerjileri lineer bir artış göstermiştir (Turkmen & Koksal, 2013).

Yalkın ve ark. cam fiber/epoksi kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarını deneysel ve numerik olarak karşılaştırmışlardır. 10J ile 60J arasındaki aynı darbe enerjileri için deneysel ve numerik analiz sonucunda temas kuvveti-zaman, temas kuvveti-yer değiştirme (deflection), absorbe edilen enerji değeri ve enerji profil diyagramlarının birbirleri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca temas kuvveti, yer değiştirme ve temas zamanının darbe hızına bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir (Yalkın ve ark., 2020).

Mili ve Necip, E-cam/epoksi tabakalı kompozit plakaların düşük hızlı darbe etkisi altında teorik ve deneysel olarak çalışmasını yapmışlardır. [0<sub>2</sub>/90<sub>6</sub>/0<sub>2</sub>], [0<sub>3</sub>/90<sub>4</sub>/0<sub>3</sub>] ve [0<sub>4</sub>/90<sub>2</sub>/0<sub>4</sub>] farklı şekilde istiflenmiş üç çapraz katlı tabakalı kompozit malzemelere düşük hızlı darbe yükü uygulanmıştır. Numunelere merkezlerinden darbe kuvvetinin etki etmesi sonucu vurucu ivmesi, vurucu sekmesi ve kompozitlerdeki sapmaların zaman göre değişim verilerini elde etmişlerdir. Vurucu hızları ile tabaka oryantasyonunun kompozit plakalar üzerindeki etkilerinin incelemişlerdir. (Mili & Necip, 2001).

Sugun ve Rao, cam, karbon ve kevlar takviyeli kompozitlerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Numunelere düşük hızda tekrarlı darbe deneyleri yapmışlardır. Her üç kompozit için toplam enerji ile birlikte darbe sayısının arttığını ve darbe yükünün azaldığını belirtmişlerdir (S.Sugun & M.V.G.K.Rao, 2004).

Belingardi ve Vadori karbon fiber/epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. İki farklı istifleme biçimine ve üç farklı kalınlığa sahip kompozit levhalara yarı-statik ve dinamik darbe yüklemesi yapılmıştır. Her tip laminat için kuvvet-yer değiştirme ve enerji-yer değiştirme eğrileri çıkarılmışlar ve laminatların enerji absorbe etme yeteneklerini incelemişlerdir (Belingardi & Vadori, 2003).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Matris malzeme

Matris malzemesi olarak levha şeklinde olan EVA polimer malzemesi kullanılmıştır. EVA, etilen ile vinil asetatın kopolimeridir. Yapıda vinil asetat ağırlıkça %10 ile %40 arasında değişirken geri kalan kısım etilendir. Yapıda vinil asetat miktarı arttıkça yoğunluk, darbe dayanımı, yırtılma dayanımı ve elastik özelliği artmaktadır.

EVA yarı mamul levha olarak Selçuk Kauçuk firmasından temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Etilen Vinil Asetat Bileşimi

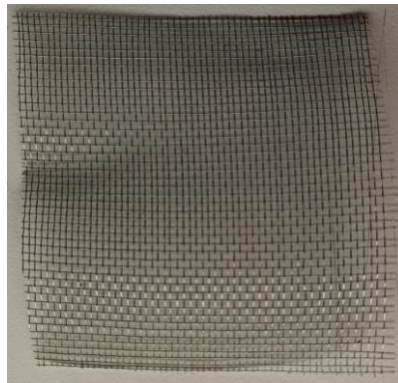
Madde	Zn	Starin	DSP	S	Fe
Etilen Vinil Asetat	2,5	0,47	0,42	Maks 0,050	Kalan



Şekil 3.1. Polimer matris malzemesi

##### 3.1.2. Takviye elemanı

Numunelerde takviye elemanı olarak AISI 1008 kalite malzemeden üretilen çelik elek teli kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Tel kalınlığı 0,20 mm, ara ölçüleri ise 1,50 x 1,50 mm'dir.



Şekil 3.2. Çelik elek teli

ASTM A 510M standardına uygun olarak temin edilen çelik elek telinin kimyasal özellikleri Çizelge 3.3, mekanik özellikleri Çizelge 3.4 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Çelik Elek Teli Kimyasal Bileşimi

Madde	C	Mn	P	S	Fe
Çelil Elek Teli	Maks 0,10	0,30-0,50	Maks 0,040	Maks 0,050	Kalan

**Çizelge 3.3.** Çelik Elek Teli Mekanik Özellikler

Özellik	Değer
Akma Mukavemeti (MPa)	285
Çekme Mukavemeti (MPa)	340
Uzama (%)	20
Sertlik (Brinel)	95

### 3.1.3. Alüminyum levha

Numunelerde metal plaka bileşeni olarak 5754 kalite 0,50 mm alüminyum levha kullanılmıştır. 5754 kalite alüminyum levha yüksek korozyon dayanımına, kaynak kabiliyetine ve yorulma dayanımına sahiptir. Al levhaların kimyasal özellikleri Çizelge 3.1, mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4.** 5754 Al Levha Kimyasal Bileşimi

Madde	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
5754 Al Levha	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

**Çizelge 3.5.** 5754 Al Levha Mekanik Özellikler

Özellik	Değer
Akma Mukavemeti (MPa)	80-100
Çekme Mukavemeti (MPa)	190-215
Uzama (%)	24
Sertlik (Brinel)	50-55

### 3.2. Kompozit malzemelerin üretimi

Kompozit malzeme üretim aşamaları alüminyum plakaların, polimer levhaların ve çelik elek telinin boyutları  $10 \times 10 \pm 0,50$  mm olacak şekilde kesilmesiyle başlamıştır. Kesimi yapılan malzemeler 15 mm kalınlığındaki  $10 \times 10 \pm 0,80$  mm boyutlarındaki kalıba belirlenen parametrelere göre dizilmiştir.

Oluşturulan numune alt ve üst plakası olan ısıtıcıya (Şekil 3.3.) konularak 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilmiştir. Isıtıcı plakaların başlangıç sıcaklıkları 180 °C olacak ısıtılmıştır. Pişirme sırasında hacmi sınırlandırmak için pişirici üzerine ağırlık konulmuştur. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır.



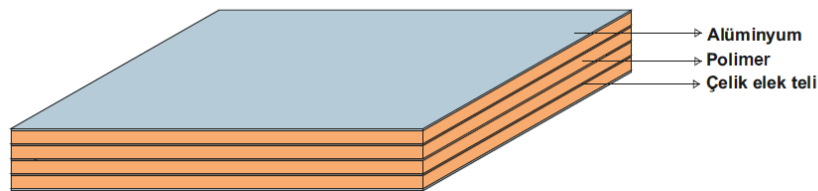
Şekil 3.3. Numune pişirici ve kontrol paneli alt ve üst plaka

Numuneler dizilimleri dört farklı yapıda olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Numune Dizilim Tablosu

Numune Adı	Dizilim
T0	Al - P - P - P - P - Al
T1	Al - P - P - T - P - P - Al
T2	Al - P - T - P - P - T - P - Al
T3	Al - P - T - P - T - P - T - P - Al

Şekil 3.4.'da T3 çelik tel takviyeli tabakalı kompozit malzeme şematik olarak gösterilmiştir.

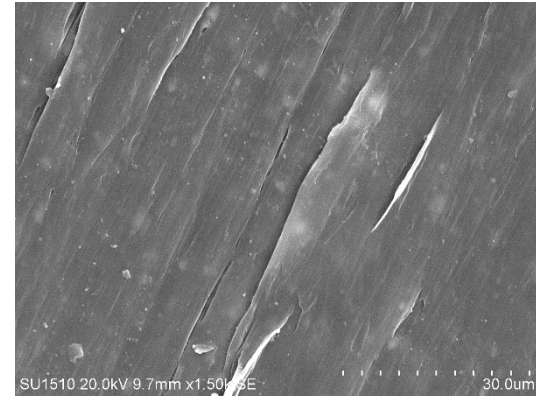
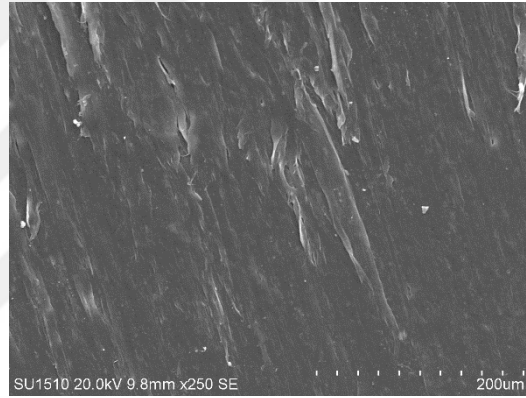
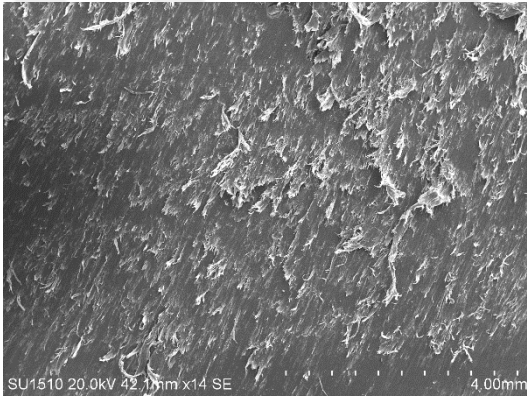


Şekil 3.4. T3 tabakalı kompozit şematik gösterimi

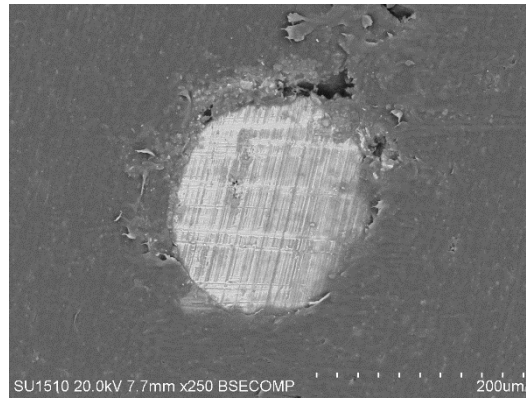
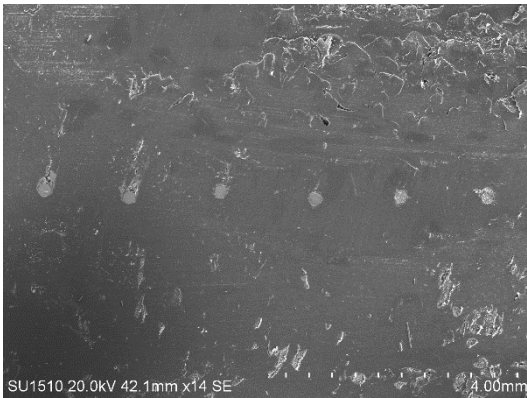
### 3.2. Kompozit Malzeme Taramaları Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri

Üretilen numunelerden 1 cm x 1 cm 'lik parçalar alınarak elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Polimer matris malzeme yalıtkan özellik gösterdiği için altın kaplama yapılarak iletkenlik kazandırılmıştır. Bu analiz Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezinde farklı büyütme oranları ile yapılmıştır. Dört farklı grup halinde üretilen numunelerin mikro yapıları ve çelik tel ile polimer arasındaki yapı incelenmiştir. Numuneler sırası ile 15, 250 ve 1500 büyütme ile gözlemlenerek analiz edilmiştir.

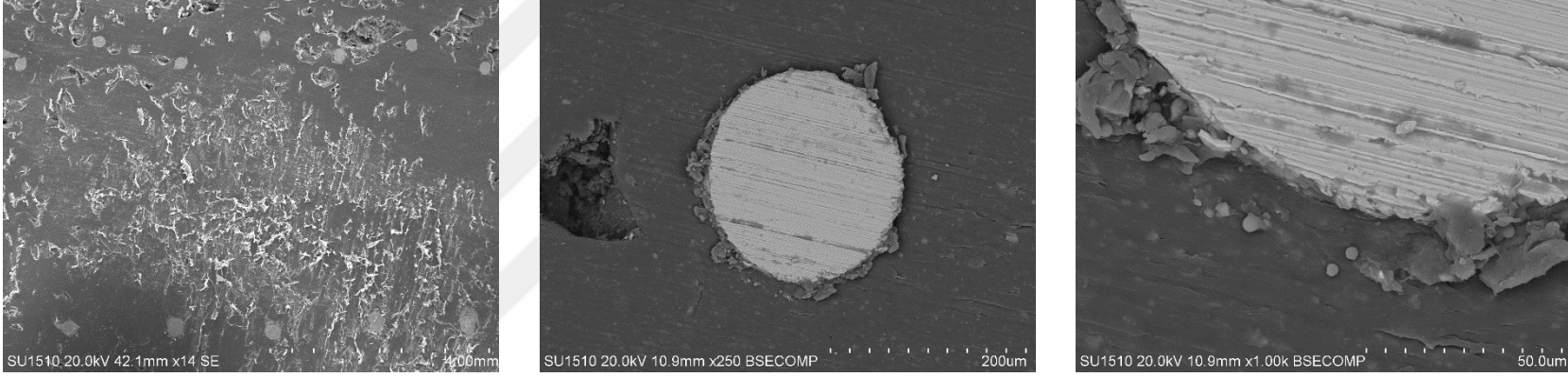
Şekil 3.5. (a)'da T0 takviyesiz numunesi matris polimeri lifli yapısı görülmektedir. Şekil 3.5. (b)'de T1 (1 tabaka tel takviyeli) matris polimeri lifli yapısını korumakla birlikte matris malzemenin çelik tel etrafını sarmış ve malzemenin dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum Şekil 3.5.(c)'de gösterilen T2 ve Şekil 3.5.(d) T3 için de geçerlidir. Beton malzeme ile çelik filmaşinler arasında mekanik bağ vardır. Bu bağ olmasa filmaşinler beton içinden çıkar ve betonun dayanımını yitirir. Üretmiş olduğumuz malzemelerde de aynı durum söz konusudur. Bu durumda da tel yapının içinden çıkarıldığı zaman malzemenin mukavemetinde azalma olacaktır. Üretilen malzemede de aynı şekilde polimer ile çelik elek teli arasında mekanik bağ oluşmaktadır. Bu durum da yapının dayanımını artıracaktır.



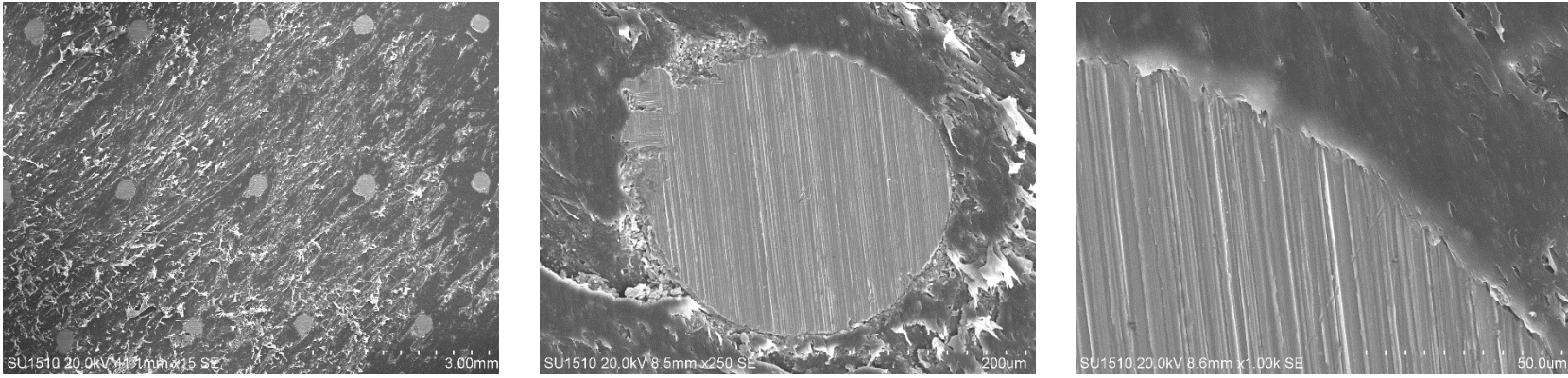
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.5. T0 (a), T1 (b), T2 (c) ve T3 (d) tabakalı kompozit malzemelerin SEM analiz görüntüleri

### 3.3. Kompozit malzeme polimer sertlik ölçümü

Üretilen numune düz bir şekilde ortadan ikiye bölünerek ASTM D 2240 Shore A metodu ile sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur (Şekil 3.6. Shore A Ölçüm Cihazı). Shore A yumuşak lastikler ve plastiklerin sertlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Bulut & Mak, 1991).



Şekil 3.6. Shore A sertlik ölçüm cihazı

Shore A sertlik verilerine göre (Çizelge 3.4.) ortalama Shore sertlik değeri 86,875, standart sapma ise 1,8851 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Pişirilmiş Kompozit Polimer Sertlik Ölçüm Çizelgesi

Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ölçüm 6	Ölçüm 7	Ölçüm 8	Ortalama Değer	Standart Sapma
86	87	87	88	88	90	84	85	86,875	1,8851

### 3.4. Düşük hızlı darbenin kinematik analizi

Newton'un II. kanununa göre bir parçacığın momentumu kütesinin ve hızının çarpımı ile hesaplanır.  $M \cdot V$  momentumundaki zamana göre değişimi ona etki eden kuvvetle orantılı olup doğrultusu ise etki eden kuvvetle aynı doğrultudadır.

$$\frac{d(MV)}{dt} = F \quad (3.1.)$$

Genellikle parçacığın kütlesi sabit olduğundan hızdaki değişimi  $P(t)$  impulsunun sürekli bir fonksiyonu olarak elde etmek için (3.1) denkleminin entegrali alınabilir.

$$\mathbf{V}(t) - \mathbf{V}(0) = M^{-1} \int_0^t \mathbf{F}(t') \cdot dt' \equiv M^{-1} \mathbf{P}(t) \quad (3.2.)$$

Burada düşük hızlı darbe başlangıç şartları  $t=0$  iken  $F_i=0$  ve buradan

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3.3.)$$

Elde edilir.

Darbe sırasındaki temas kuvvetleri  $F_i$  aşağıdaki şekilde hesaplanır (Newton'un II. Kanununa göre)

$$a_i = F_i/m \quad (3.4.)$$

Burada  $F_i$  ölçüm sisteminden  $4 \times 10^{-5}$  saniye aralıklarla alınan kuvvet değerleridir.  $a_i$  ise bu zaman aralığı için gerekli olan ivme değeridir. Uyaner ve Kara (2006) tarafından yapılan çalışmada düşük hızlı darbe için ivmenin zamanın lineer fonksiyonu olarak kabul edilebileceği gösterilmiştir. Bu durumda;

$$a(t) = kt + c \quad (3.5.)$$

Burada  $k$  ve  $c$  birer katsayı olup her zaman artışı için  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  değeri yeniden hesaplanmalıdır. Bu durumda  $k$  ve  $c$  değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Uyaner ve Kara, 2006).

$$k = (a_i - a_{i-1}) / (t_i - t_{i-1}) \quad (3.6.)$$

$$c = (t_i a_{i-1} - t_{i-1} a_i) / (t_i - t_{i-1}) \quad (3.7.)$$

Bu durumda

$$dV(t) = a(t)dt; \int_{V_{i-1}}^V dV(t) = \int_{t_{i-1}}^t a(t)dt \quad (3.8.)$$

$$dS(t) = V(t)dt; \int_{s_{i-1}}^S dV(t) = \int_{t_{i-1}}^{t_i} V(t)dt \quad (3.9.)$$

Denklemleri yazılabilir.

Darbe sırasında meydana gelen impuls aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$J = \int_0^{t_f} F(t)dt \quad (3.10.)$$

Yutulmuş enerji ise

$$W = \int_0^{s_f} F(s)ds \quad (3.11.)$$

Serbest düşmeye bırakılan ağırlığın ilk hız sıfırdır;

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3.12.)$$

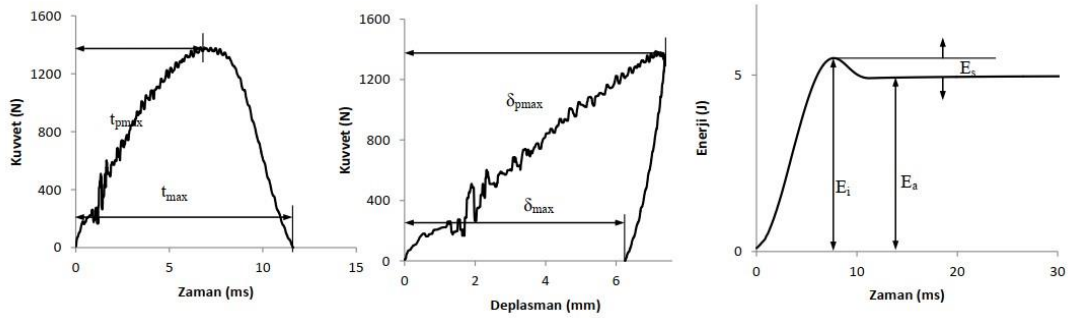
$h$  yüksekliğinde vurucu kütleinin sahip olduğu potansiyel enerji ise;

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (3.13.)$$

Deney sırasında oluşan zamana bağlı olarak alınan temas kuvvetleri deney cihazından elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak hız-zaman, yer değiştirme-zaman, yer değiştirme-hız eğrileri elde edilmiştir. Darbe sonrasında malzemede oluşan hasar modları taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

Tabakalı kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarını incelemek için öncelikle malzeme konfigürasyonları belirlenmiştir. Kompozit malzemelerde takviyesiz ve ayrı ayrı 1-2-3 adet takviye elemanı olacak şekilde dört farklı konfigürasyon oluşturulmuş ve dört farklı darbe hızında (1.53 m/s, 1.88 m/s, 2.17 m/s, 2.43 m/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen hız değerlerinin vurucu kütleinin serbest düşmesiyle elde edilebilmesi için vurucu kütleisi denklem (3.13)'de verilen denklemden hesaplanan

yükseklikte sabitlenmiştir. Burada hava sürtünmeleri ve cihazın iç sürtünmeleri ihmal edilmiştir.



Şekil 3.7. Tipik kuvvet-zaman, kuvvet deplasman ve enerji zaman değişimi grafiği (Engin, 2011)

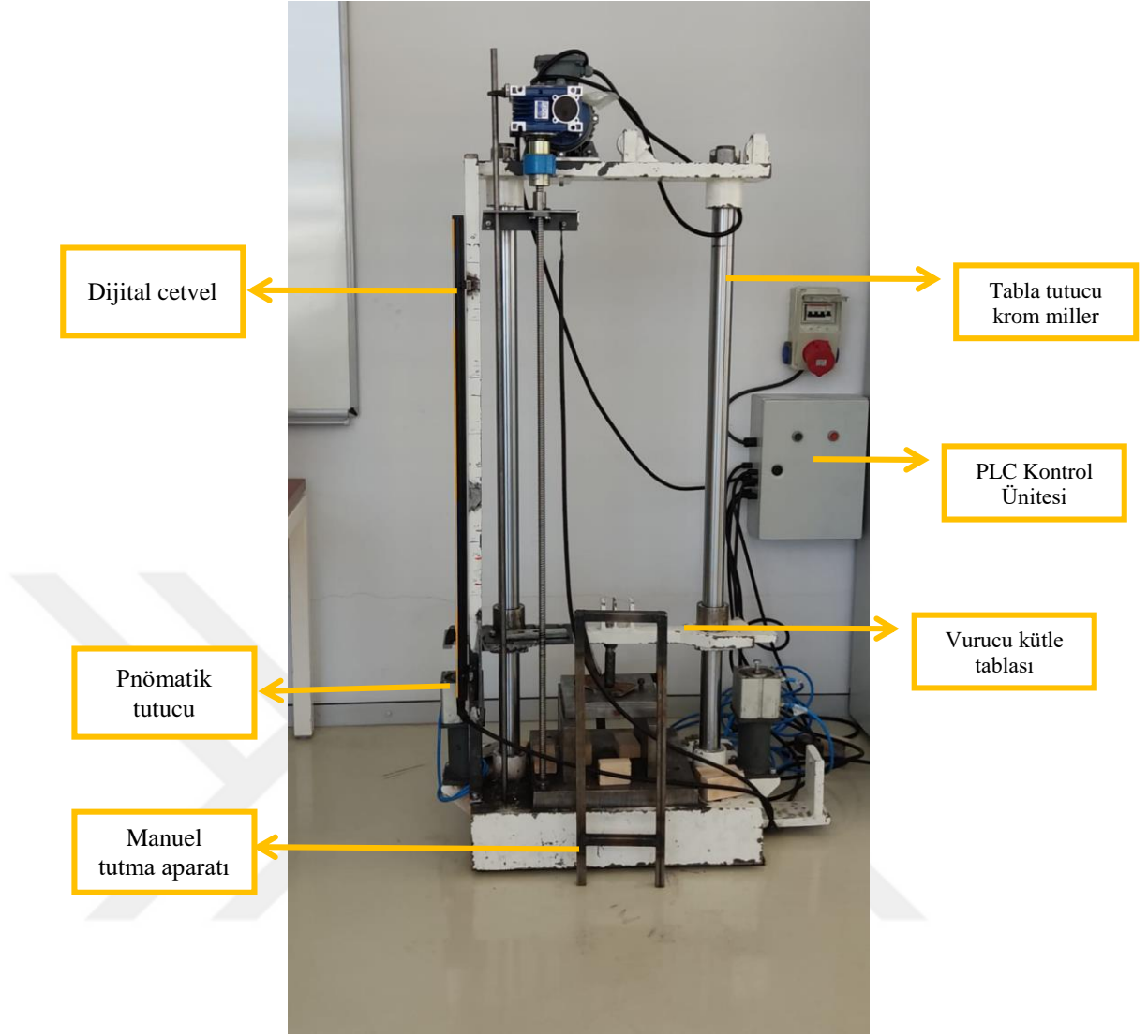
Şekil 3.7’de Kuvvet-zaman, Kuvvet-deplasman ve Enerji zaman grafikleri gösterilmiştir.

Burada;

- $t_{pmax}$ , maksimum kuvvetin oluştuğu zamanı
- $t_{max}$ , toplam deformasyon için geçen süreyi,
- $\delta_{pmax}$ , maksimum çökme miktarını,
- $\delta_{max}$ , numune üzerindeki kalıcı deplasmanı
- $E_i$ , darbe enerjisini,
- $E_a$ , absorbe (sönümlenen) edilen enerjiyi,
- $E_s$ , ise geri sıçrama enerjisini göstermektedir (Engin, 2011).

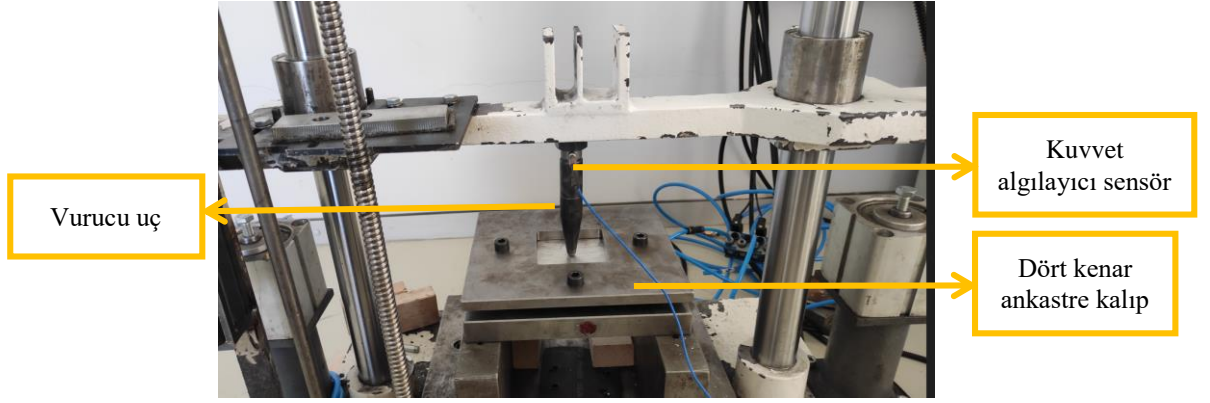
### 3.5. Düşük hızlı darbe deneyi

Şekil 3.8. ‘de görülen düşük hızlı darbe deneyi düzeneği Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) Malzeme Laboratuvarında bulunmaktadır. Cihaz farklı darbe enerjilerinde, darbenin başlangıcından sonuna kadar darbeyi kaydedebilen özel bir kabiliyete sahiptir.



Şekil 3.8. Düşük hızlı darbe deneyi düzeneği

Vurucu kütlesi 17 kg olup 1000 mm'den serbest olarak düşebilmektedir. Vurucunun istenilen mesafeden bırakılabilmesi için mıknatıslı kilit mekanizması vardır. Böylece değişik darbe hızlarında deney yapılabilir. Düşük hızlı darbe düzeneğinin en büyük serbest düşme teorik hızı 4.4 m/s'dir. Vurucu kütlesinin sürtünmesini azaltmak ve daha stabil bir serbest düşme sağlamak için rulmanlı yatak sistemi kullanılmıştır. Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi vurucu kütlesinin dengeli çalışabilmesi için taşıyıcı tabla iki adet krom kaplı mile bağlanarak monte edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında (22 °C) yapılmıştır.



Şekil 3.9. Vurucu ve dörtkenar ankastre kalıp

Düşük hızlı darbe deneyleri dört tarafı ankastre olan bir kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9.). Kalıp açıklığı 90 x 90 mm'dir. Merkezi çarpmanın temini için alt kalıp işaretlenmiş ve her numune aynı alana konulmuştur. Bağlama aparatının montajı vurucunun numunelerin merkezine darbe yapacak şekilde yapılmıştır.

Deneyler 1.53 m/s, 1.88 m/s, 2.17 m/s ve 2.43 m/s'lik çarpma hızlarında yapılmıştır. Vurucu kütesini bırakılacağı nokta potansiyel enerji yardımı ile saplanmıştır. Vurucu kütesi 1.53 m/s'lik çarpma hızı için 12 cm yükseklikten, 1.88 m/s'lik çarpma hızı için ise 18 cm yükseklikten, 2.88 m/s'lik çarpma hızı için ise 24 cm yükseklikten ve 2.43 m/s çarpma hızı için ise 30 cm yükseklikten düşürülmüştür.

10 mm çaplı yarı küresel uçlu vurucu ile deneyler yapılmış olup her bir numunenin merkezine darbe yapılacak şekilde uygulanmıştır. Serbest düşmeden sonra vurucu ilk darbeyi yapar ve tekrarlı darbeleri engellemek için darbe tutucu aparat ile darbe tekrarlanması engellenmiştir. Darbenin başlangıcından itibaren sonuna kadar sensör tarafından okunan bütün veriler elektronik aksama aktarılır. Aktarılan veriler Signal Express yazılımı kullanılarak kuvvetin zamana, deplasmana ve diğer değerlere göre değişimi sayısal olarak ve grafik olarak elde edilmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

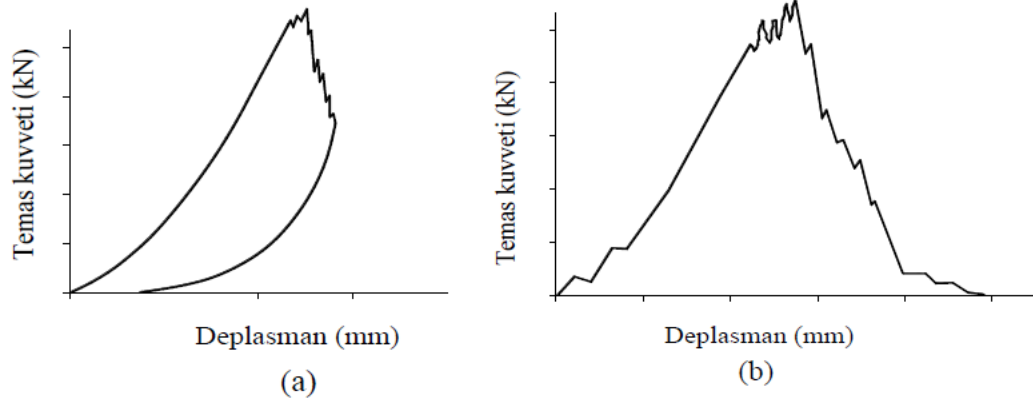
180 °C 'de 30 dakika pişirilerek çelik tel takviyesiz ve çelik tel takviyesi yapılarak üretilen tabakalı kompozit malzemeler 20 J, 30 J, 40 J ve 50 J darbe enerjilerine maruz bırakılmışlardır. Numunelere bir kez vuruş yapılmıştır. Signal Express yazılımından elde edilen veriler Prof. Dr. Mesut Uyaner tarafından literatüre kazandırılan Test To Graph (UYANER, 2021) programı ile işlenmiş ve kuvvet zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca grafiklerin yorumlanmasında destekleri için Prof. Dr. Mesut Uyaner'e teşekkür ederim.

Düşük hızlı darbe testlerinde sıklıkla kullanılan kuvvet deplasman grafikleri malzemenin darbeye verdiği cevap ve hasarları değerlendirme konusunda bilgi vermektedir. Kuvvet deplasman grafikleri genellikle kapalı grafik ve açık grafik olarak ikiye ayrılmaktadır (Engin, 2011). Genellikle kapalı eğriler numunenin delinmeyerek vurucunun rebound yaptığı hasar durumlarını temsil ederken açık eğriler ise delinmenin (perforasyon) veya delinme eşiğindeki ve saplanmanın (penetrasyona) olduğu hasar durumlarını temsil eder.

Darbe sırasındaki deplasman vurucu ucun numuneye teması ile başlar ve maksimum değerine ulaşıncaya kadar eder. Maksimum deplasman değerine maksimum kuvvet değerinde ulaşılır. Kuvvet deplasman grafiğinde artmanın olduğu eğrideki eğim, eğilme rijitliğini vermektedir (Kara, 2012).

Kuvvet deplasman grafiği altında kalan alan ile enerji zaman grafikleri elde edilir. Bununla birlikte kuvvet-zaman grafiğinin altında kalan alan absorbe edilen enerji miktarını vermektedir. Numuneye uygulanan darbe enerjisinin hepsi absorbe edilen enerji değildir. Absorbe edilen enerji numune tarafından yutulan enerjidir. Serbest düşme başlangıç enerjisi ile absorbe edilen enerjinin farkı vurucu ucun sekmesini sağlayan enerjidir (GÖK, 2022).

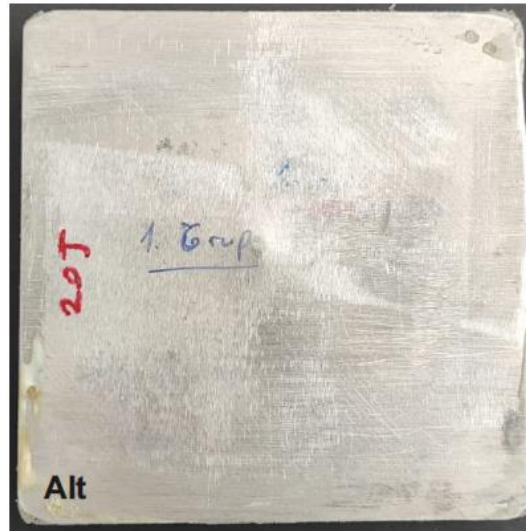
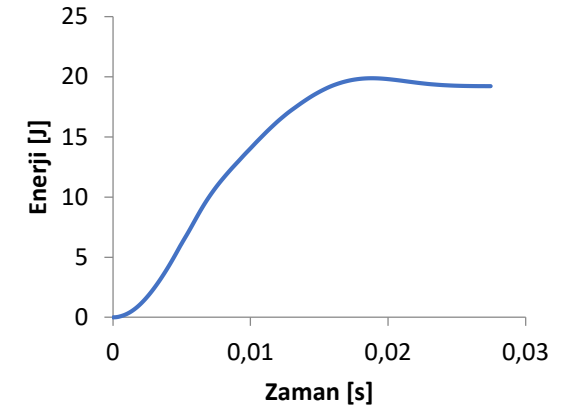
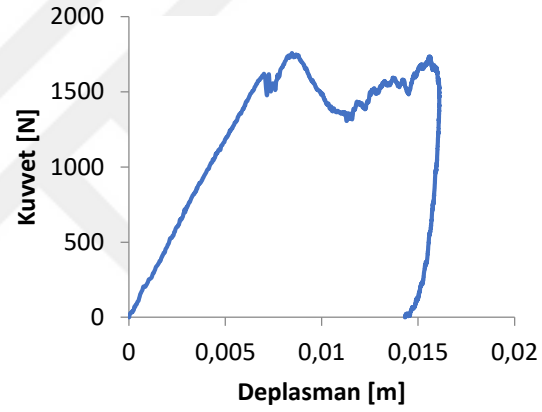
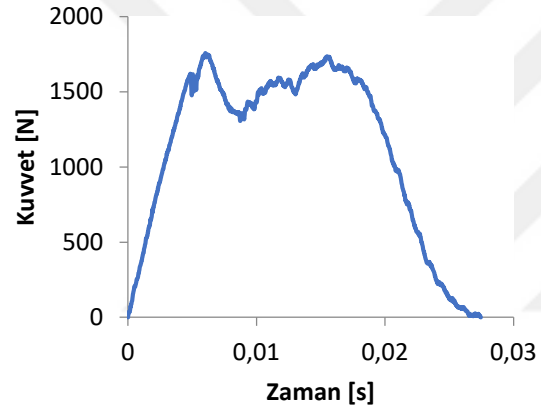
Darbe sonucunda kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman ve enerji-zaman grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler ve darbelenen numunelerin alt, üst ve kesit görünümleri kullanılarak malzemenin darbe süresince verdiği tepkinin değişimi incelenmiştir.



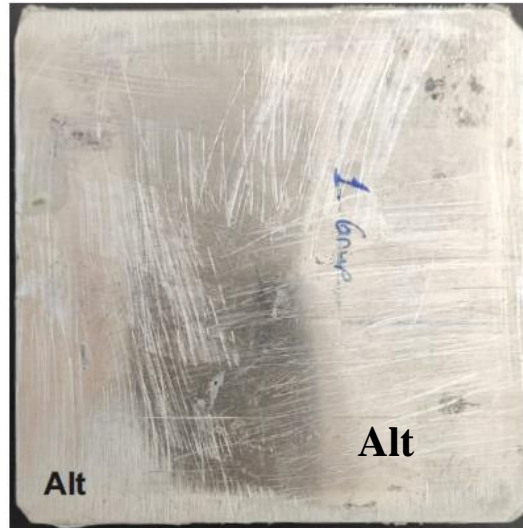
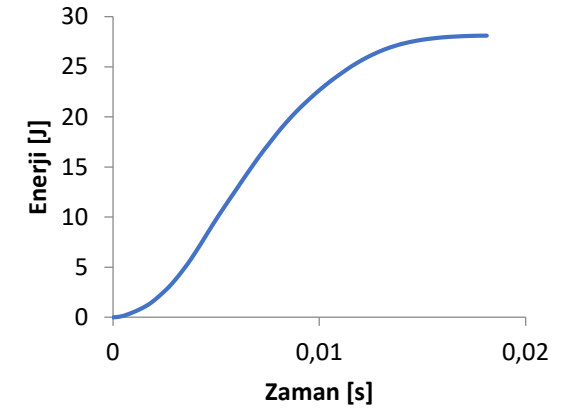
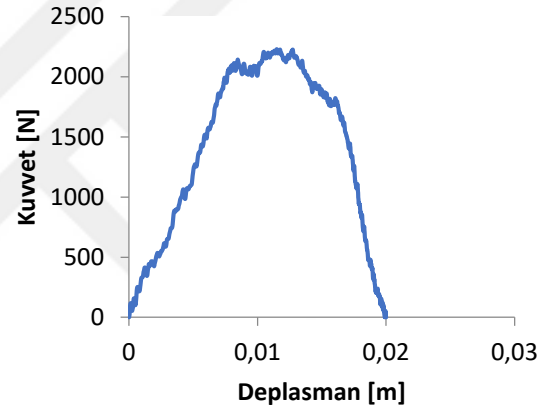
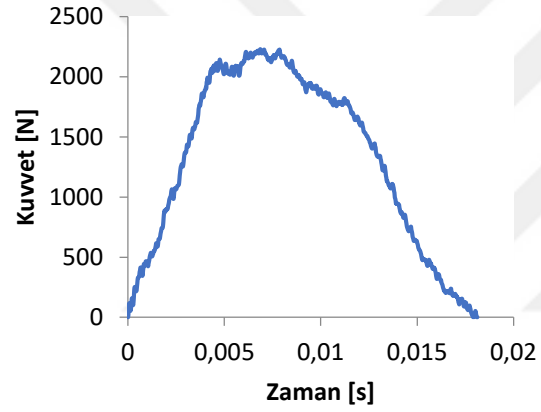
Şekil 4.1. Bir darbe olayında karşılaşılan eğri tipleri: (a) kapalı eğri, (b) açık eğri (Engin, 2011).

Çizelge 4.1. Düşük hızlı darbe deneylerinde elde edilen en büyük temas kuvveti ve vurucu temas süreleri çizelgesi

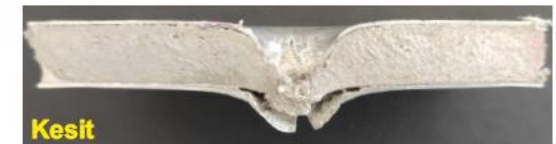
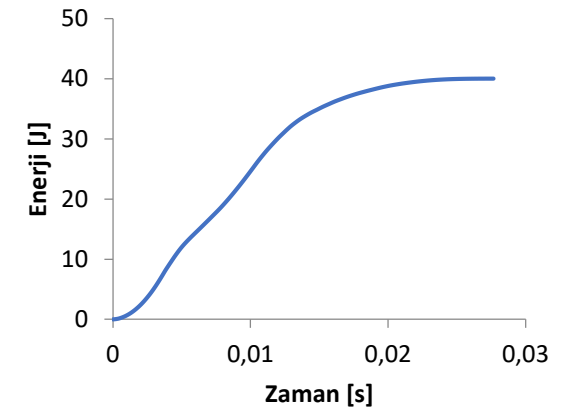
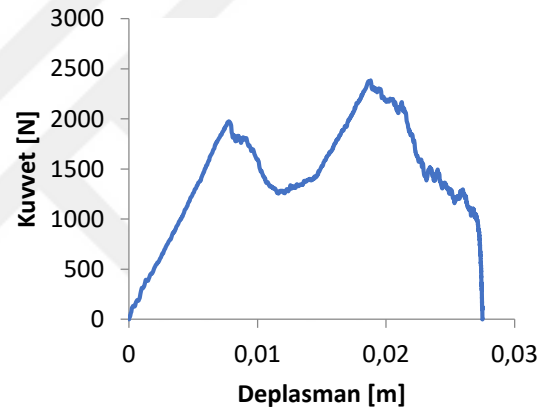
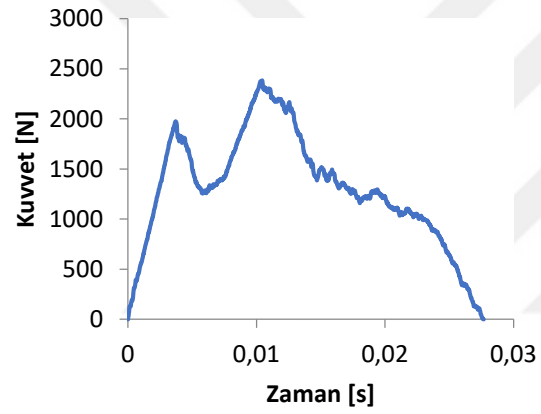
Numune Grubu	$E_i$ (J)	$F_{max}$ (N)	$t_{pmax}$ (s)	$t_{max}$ (s)	$\delta_{pmax}$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)
T0	20J	1758,65	0,0060	0,0275	0,0085	0,0143
	30J	2229,27	0,0069	0,0181	0,0115	0,0200
	40J	2386,15	0,0104	0,0188	0,0277	0,0275
	50J	2591,04	0,0111	0,0180	0,0219	0,0283
T1	20J	2427,76	0,0082	0,0207	0,0104	0,0115
	30J	2398,96	0,0139	0,0254	0,0178	0,0171
	40J	2098,01	0,0086	0,0182	0,0153	0,0236
	50J	3314,59	0,0038	0,0177	0,0089	0,0242
T2	20J	2213,27	0,0084	0,0141	0,0108	0,0142
	30J	2290,10	0,0059	0,0175	0,0103	0,0205
	40J	2827,96	0,0084	0,0238	0,0162	0,0224
	50J	2722,31	0,0057	0,0183	0,0131	0,0289
T3	20J	2744,72	0,0107	0,0180	0,0130	0,0139
	30J	2424,56	0,0090	0,0209	0,0142	0,0186
	40J	2805,55	0,0053	0,0205	0,0107	0,0233
	50J	3625,14	0,0085	0,0234	0,0170	0,0199



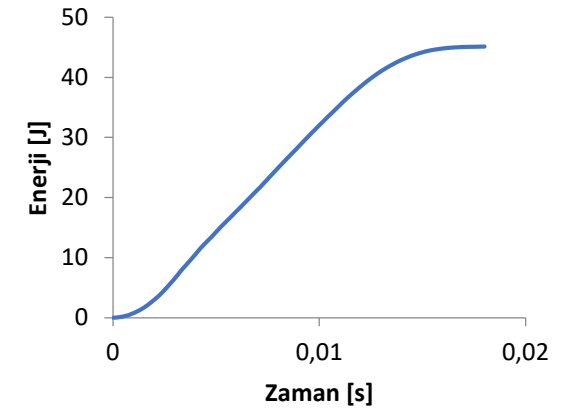
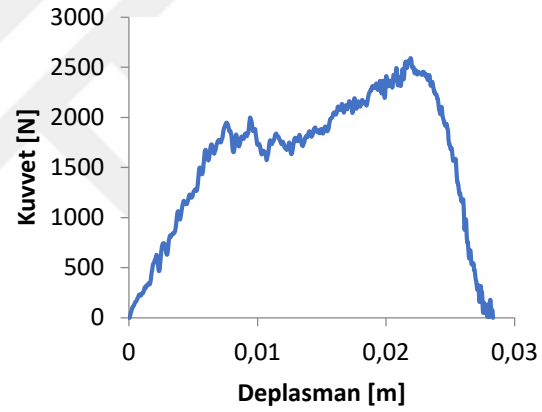
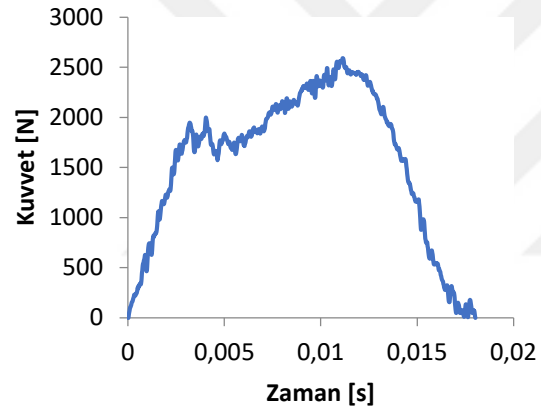
Şekil 4.2. T0 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



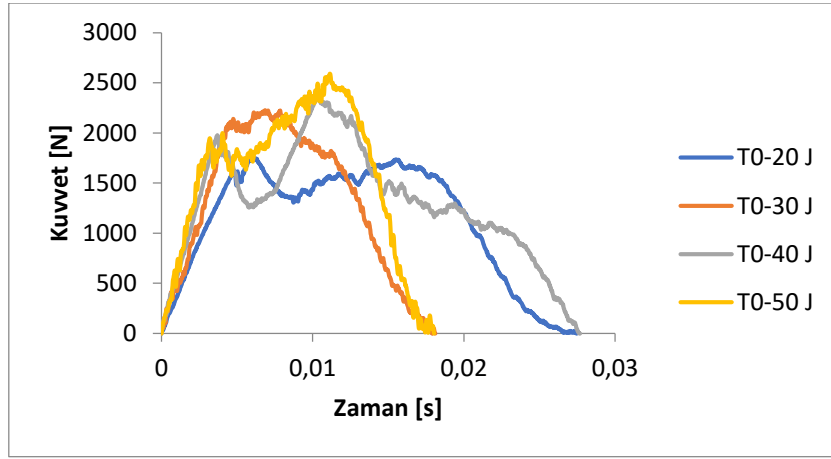
Şekil 4.3. T0 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



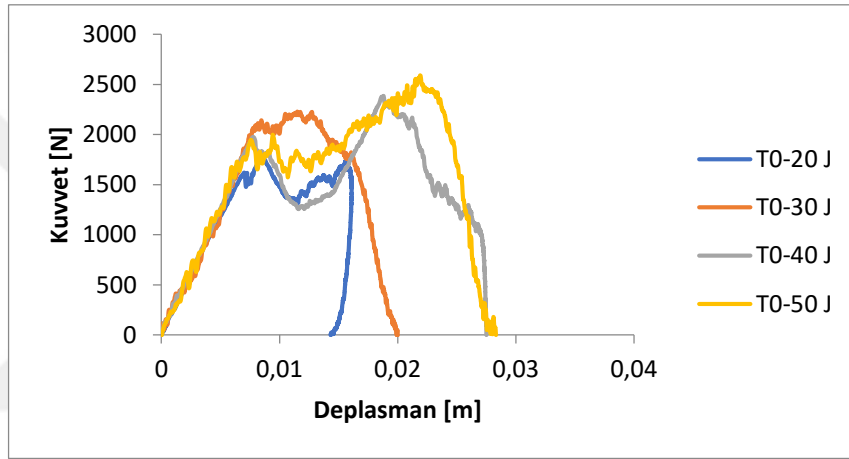
Şekil 4.4. T0 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



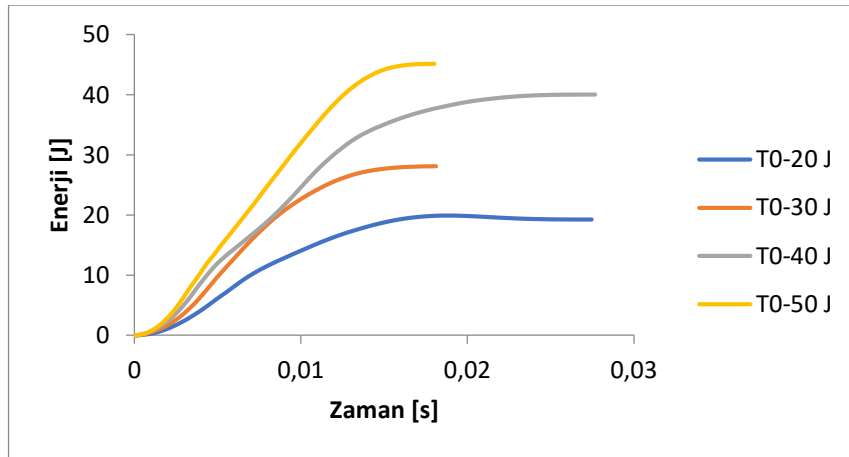
Şekil 4.5. T0 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri



Şekil 4.6. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



Şekil 4.7. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.8. T0 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği

Şekil 4.2.'de T0 kompozit malzemenin 20 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir.

Şekil 4.3.'de T0 kompozit malzemenin 30 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen plaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.4.'de T0 kompozit malzemenin 40 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon meydana gelmiştir. Üst levha, polimer matris ve alt plaka tamamen hasar görmüştür. Alt ve üst plakada yırtılmalar meydana geldiği ve matris yapıda ezilme olduğu gözlemlenmiştir. Kuvvet deplasman grafiği açık eğri oluşturmuştur.

Kuvvet zaman grafiğinde görüldüğü gibi üst levha delindikten sonra polimer matris kısmında kuvvet bir miktar düşmüş alt plakaya temas ile tekrar yükselmiştir. Kuvvet deplasman grafiğinde de ilk pik noktası ilk hasarlanmayı göstermektedir. Kırılmalı ve elyaf dolgun malzemelerde genellikle en büyük çatlama başlangıcındaki kuvvete karşılık gelmesine rağmen numunede vurucunun nüfuziyeti ile çatlamanın oluşumundan

dolayı ikinci pik gözlenmektedir. Bununla beraber kuvvet-sapma grafiğinde rezonans nedeniyle birçok pik görünebilir (Maros & Juniar, 2016).

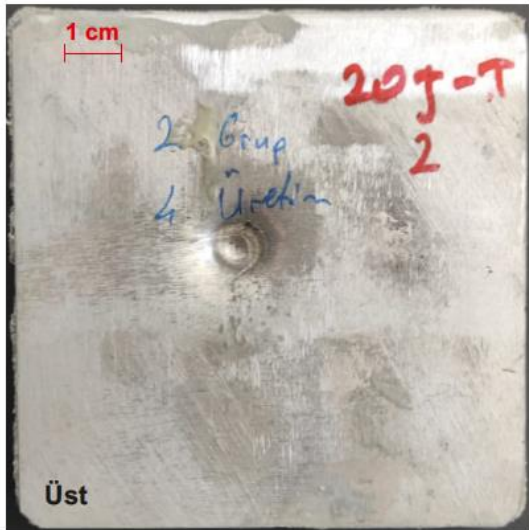
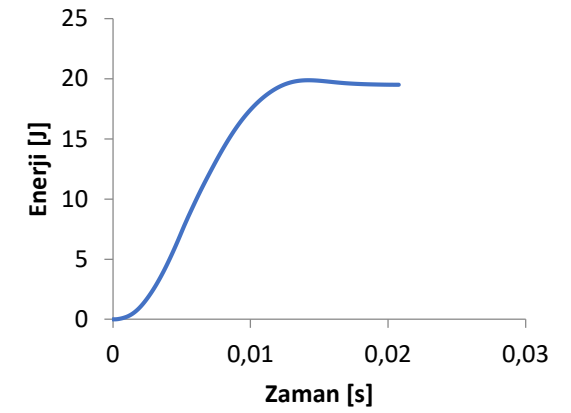
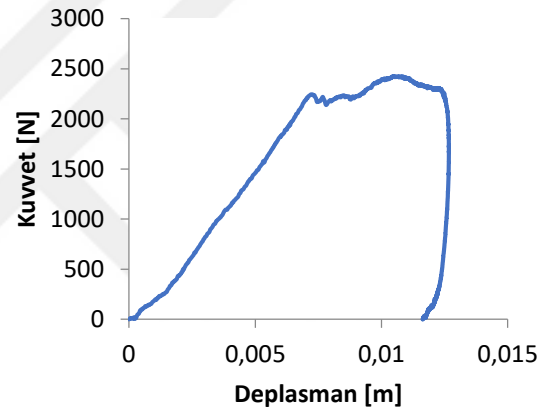
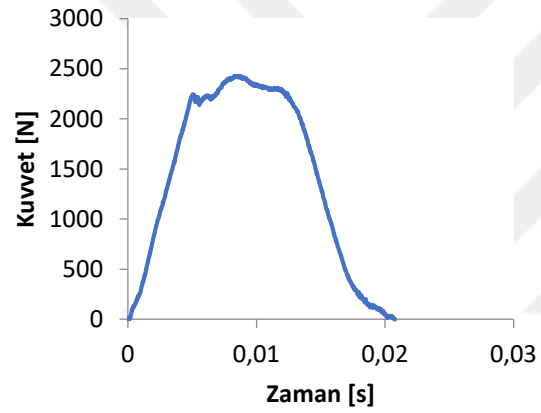
Şekil 4.5.'de T0 kompozit malzemenin 50 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon meydana gelmiştir. Üst plaka tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda alt ve üst Al plakalar ile matris arasında plaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir. Kuvvet deplasman grafiğinde de ilk pik noktası ilk hasarlanmayı göstermektedir. Kırılgan ve elyaf dolgunu malzemelerde genellikle en büyük çatlama başlangıcındaki kuvvete karşılık gelmesine rağmen numunede vurucunun nüfuziyet ile çatlamanın oluşumundan dolayı ikinci pik gözlenmektedir (Maros & Juniar, 2016).

Şekil 4.6.'de T0 (Takviyesiz) numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. Takviyesiz numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 1758,65, 2229,27, 2386,15, 2591,04 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.

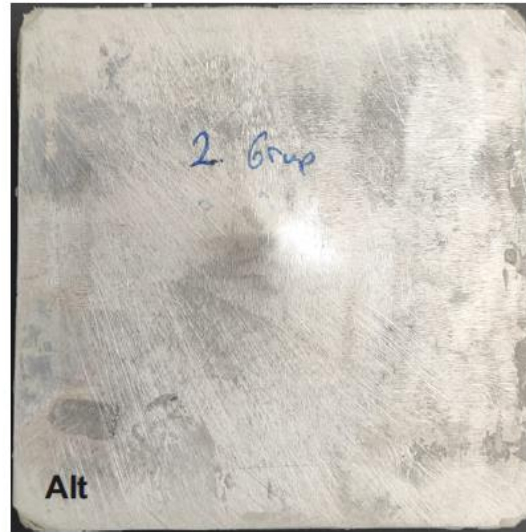
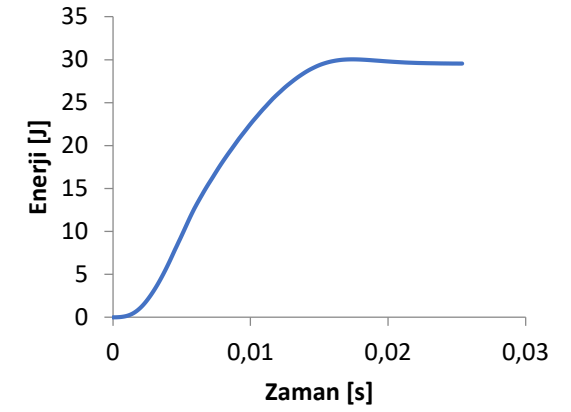
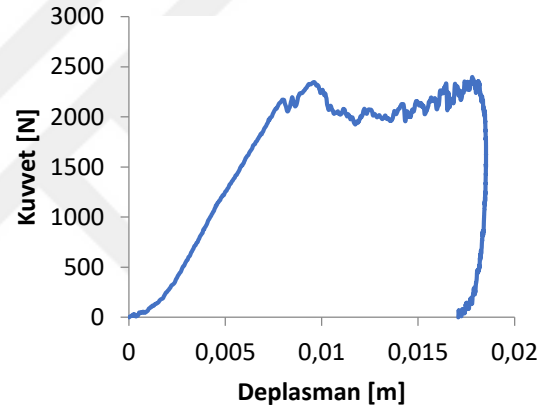
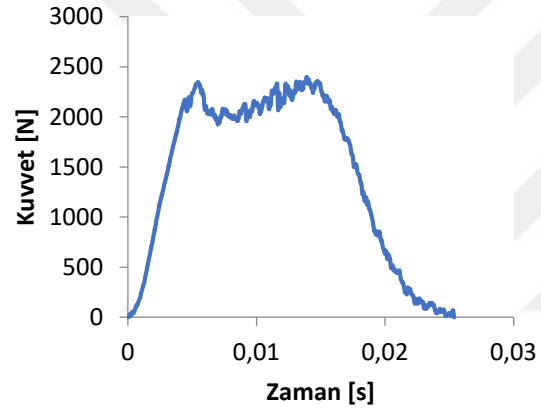
Şekil 4.7'de T0 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T0 numunede maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0143 mm, 0,0200 mm, 0,0275 mm, 0,0283 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Eğriler incelendiğinde 20 J enerjide geri sekme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde nüfuziyet olmuştur. Çünkü 20 J enerjide maksimum çökmeden sonra geri dönme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde geri dönmeyi temsil eden bir kısım yoktur. Bu noktalardaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır (Engin, 2011).

Şekil 4.8’de T0 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen enerji zaman değişimleri gösterilmektedir. Absorbe edilen enerjiler sırası ile 19,24 J- 28,11 J- 40 J - 45,13 J olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde nüfuziyet olmuştur. Genel olarak enerji seviyesi arttıkça absorbe özelliği de artmıştır.

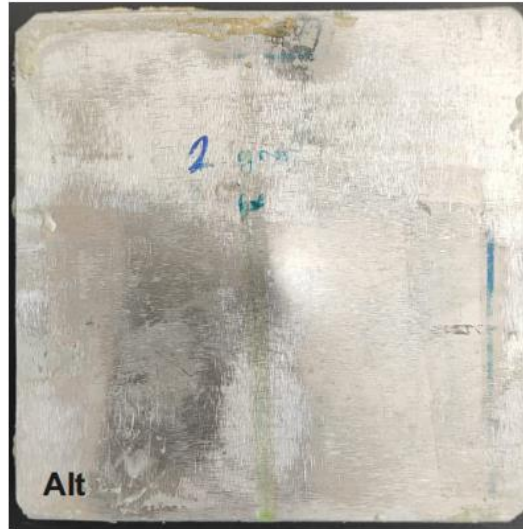
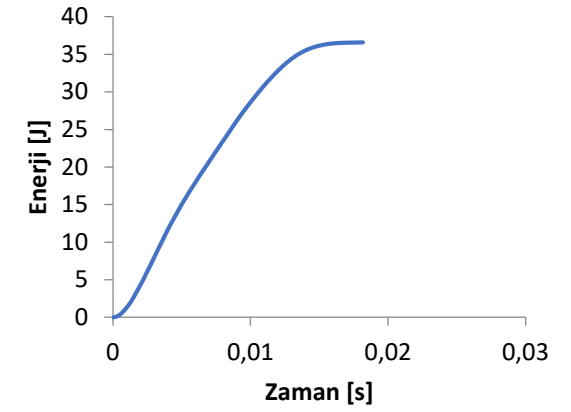
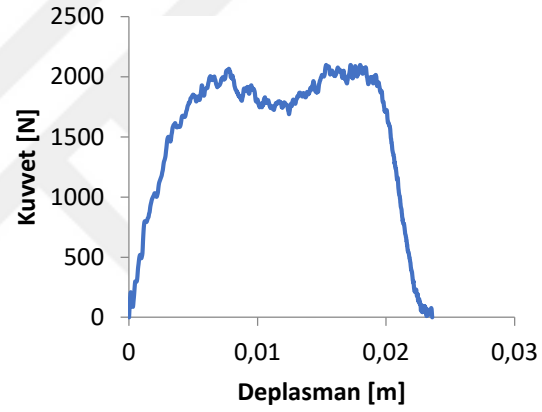
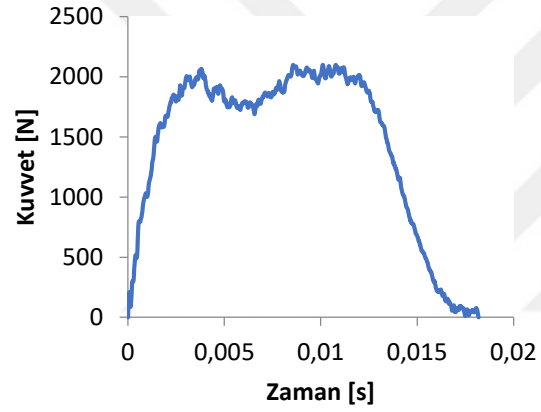




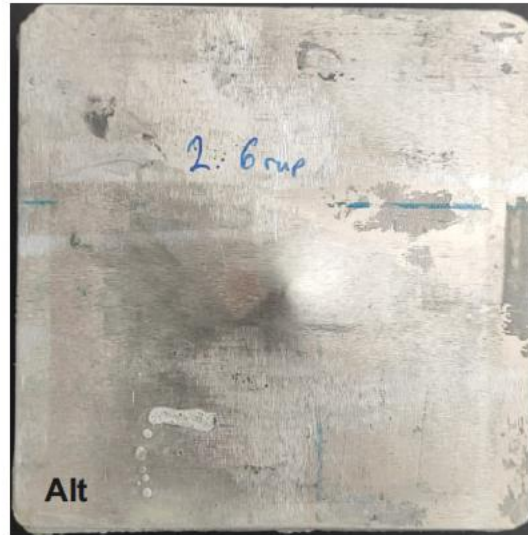
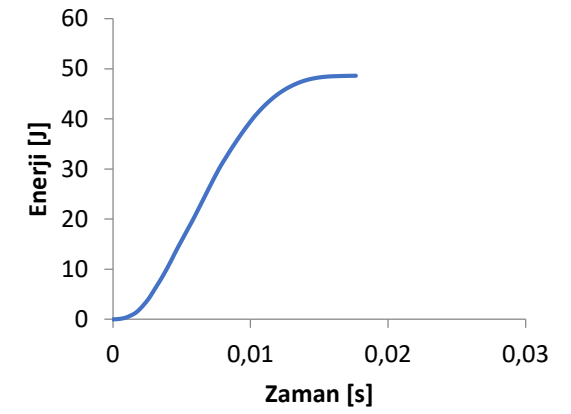
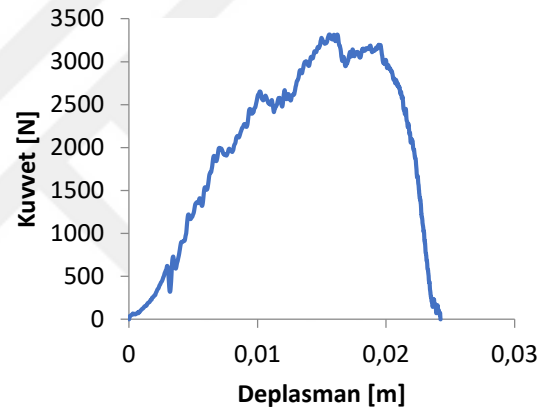
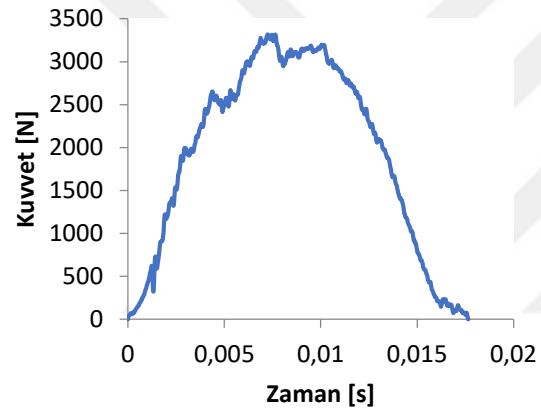
Şekil 4.9. T1 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri



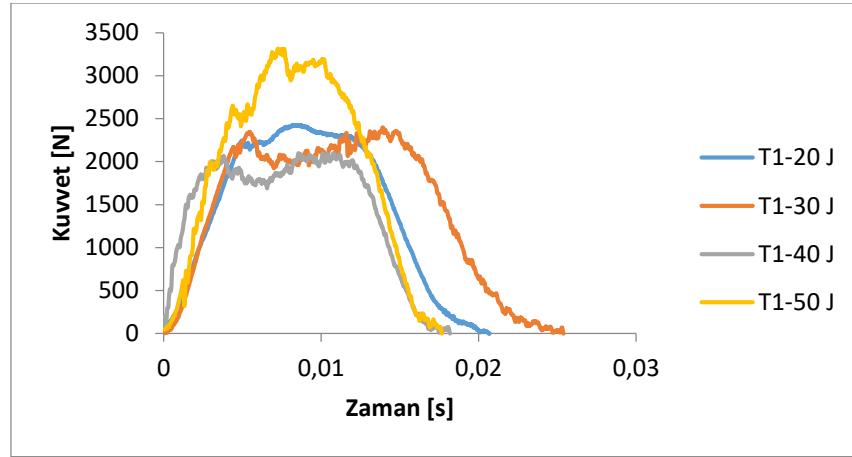
Şekil 4.10. T1 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünümleri



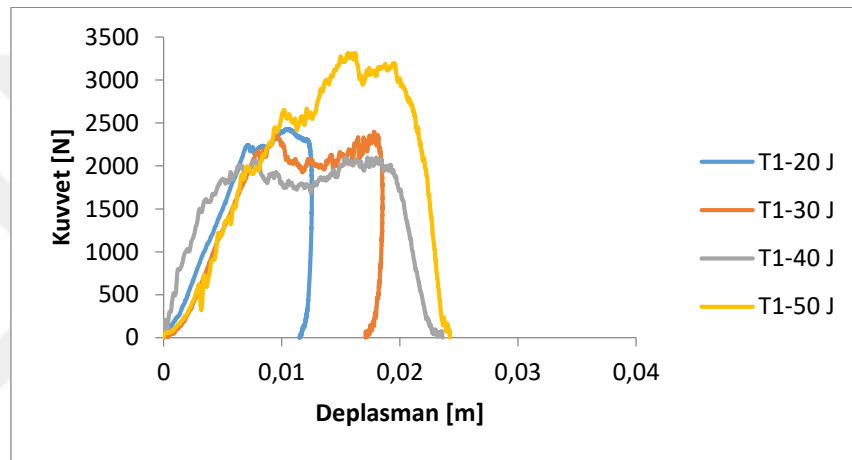
Şekil 4.11. T1 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



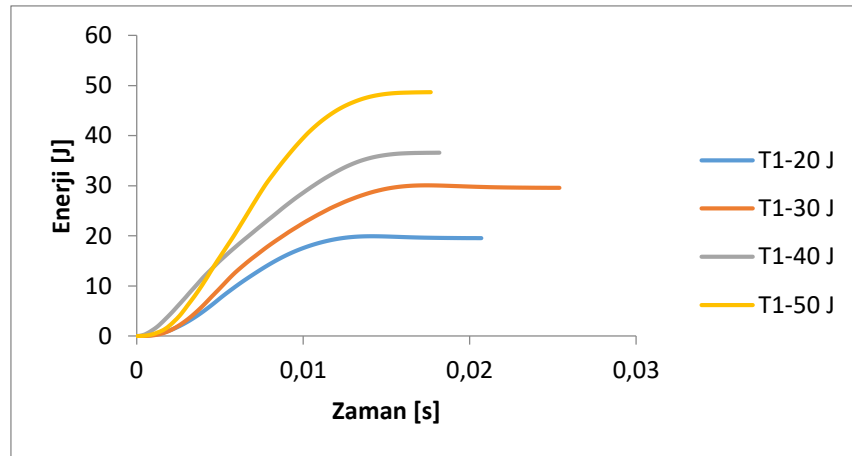
Şekil 4.12. T1 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



Şekil 4.13. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



Şekil 4.14. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.15. T1 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği

Şekil 4.9'da T1 kompozit malzemenin 20 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir.

Kuvvet deplasman grafiğinde de ilk pik noktası ilk hasarlanmayı göstermektedir. Kırılgan ve elyaf dolgunu malzemelerde genellikle en büyük çatlama başlangıcındaki kuvvete karşılık gelmesine rağmen numunede vurucunun nüfuziyeti ile çatlamanın oluşumundan dolayı ikinci pik gözlenmektedir (Maros & Juniar, 2016)

Şekil 4.10'da T1 kompozit malzemenin 30 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir. Kuvvet deplasman grafiğinde meydana gelen ikinci pik Şekil 4.9. açıklanan pik ile aynıdır.

Şekil 4.11'da T1 kompozit malzemenin 40 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini

absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir. Kuvvet deplasman grafiğinde meydana gelen ikinci pik Şekil 4.9. açıklamasında bahsedilmiştir.

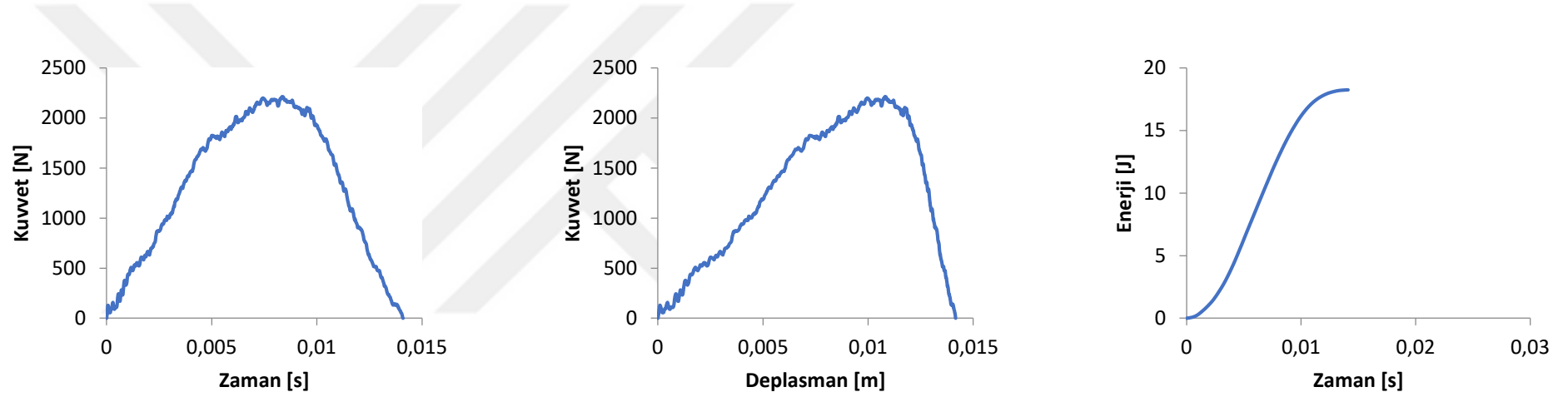
Şekil 4.12’de T1 kompozit malzemenin 50 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede penetrasyon (nüfuziyet) meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir. Kuvvet deplasman grafiğinde meydana gelen ikinci pik Şekil 4.9.açıklamasında bahsedilmiştir.

Şekil 4.13.’de T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda 20J ve 30J darbe enerjilerinde kısmen benzer maksimum kuvvet olmasına rağmen 40J darbe enerjisinde maksimum kuvvette bir miktar düşme olmuştur. Üretim proseslerinden oluşan kusurlardan dolayı oluşan maksimum kuvvet düşüşünden dolayı 40J maksimum kuvveti ihmal edilmiştir. 50 J darbe enerjisinde ise maksimum kuvvette artış olduğu görülmüştür. Bu analizlerden yola çıkılarak darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. T1 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2427,76 N, 2398,96 N, 2098,01 N, 3314,59 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.

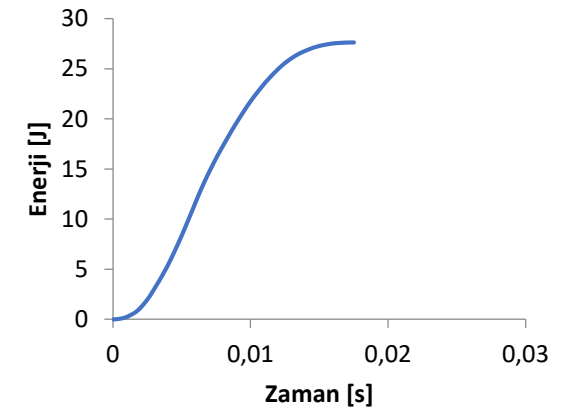
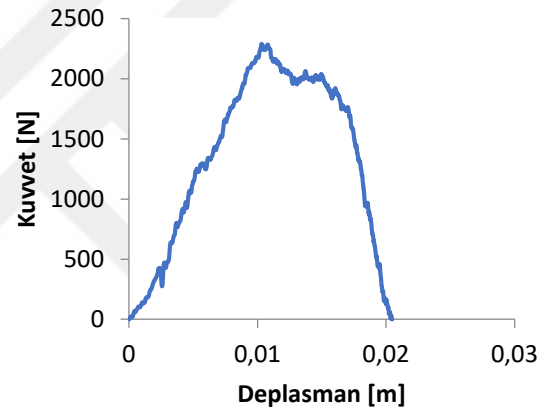
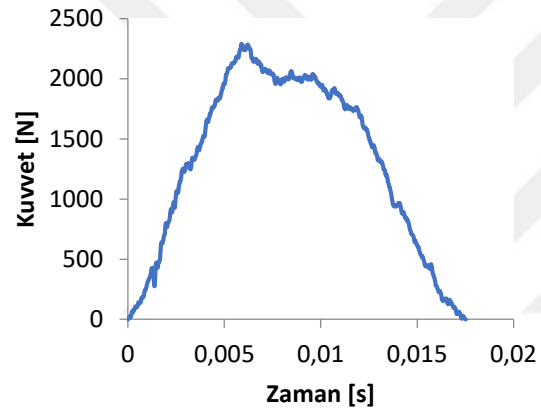
Şekil 4.14’de T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T1 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0115 mm, 0,0171 mm, 0,0236 mm, 0,0242 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir.

Şekil 4.15’de T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen enerji zaman değişimleri gösterilmektedir. Absorbe edilen enerjiler sırası ile 19,50 J- 29,55 J- 36,58 J – 48,67 J olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde nüfuziyet olmuştur. Genel olarak enerji seviyesi arttıkça absorbe özelliği de artmıştır.

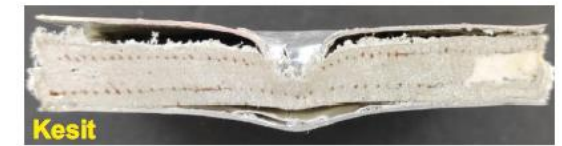
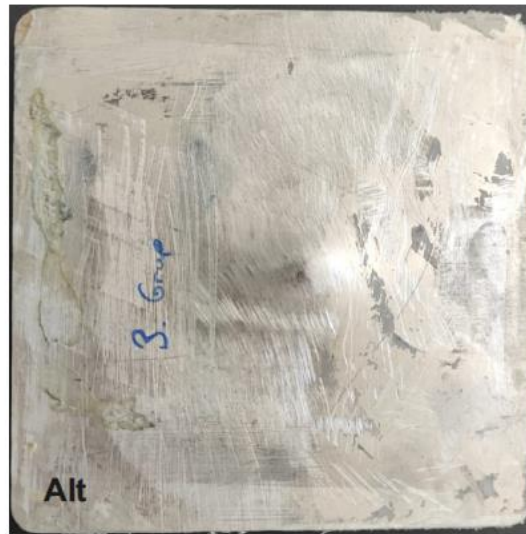
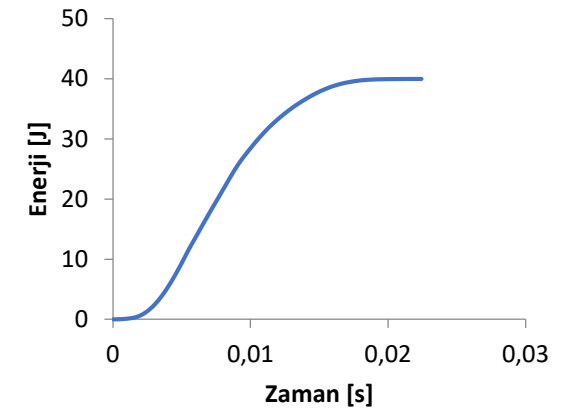
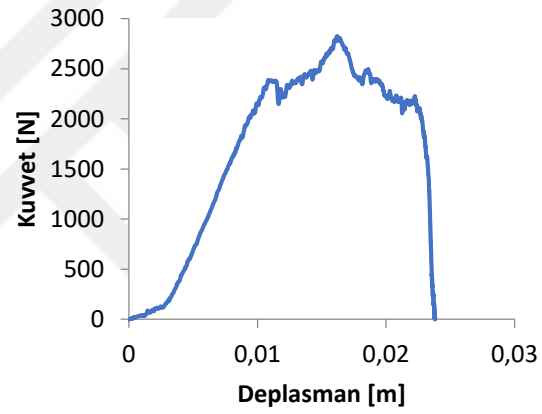
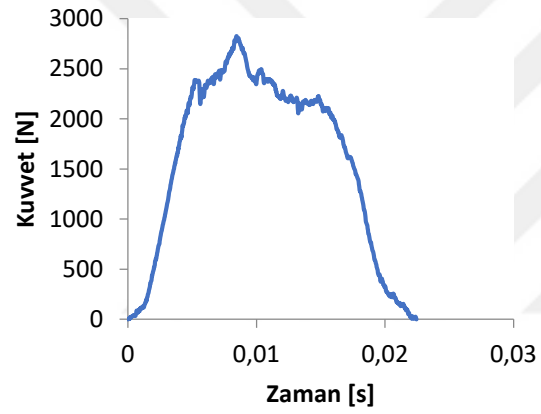




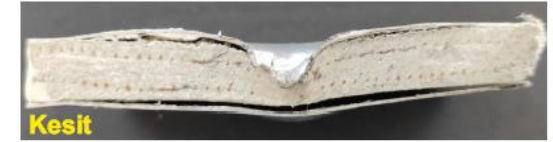
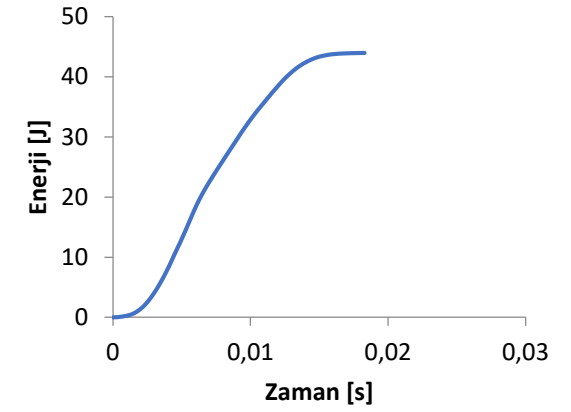
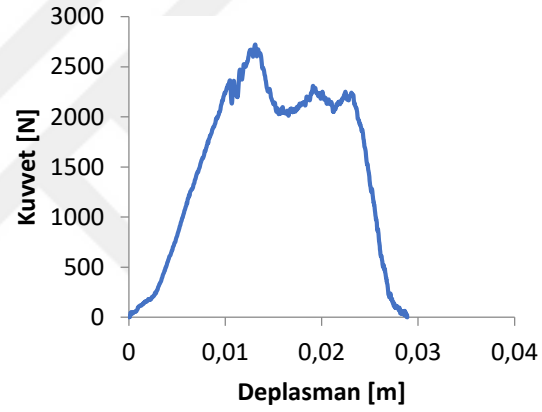
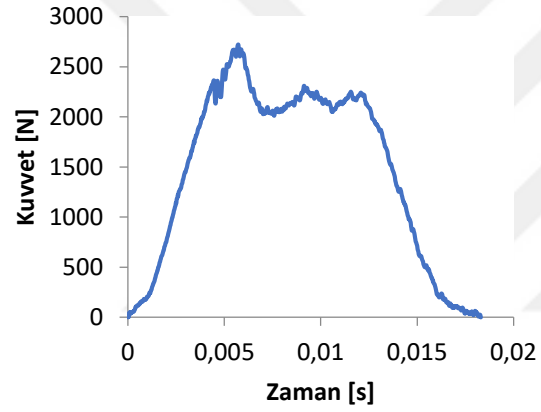
Şekil 4.16. T2 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



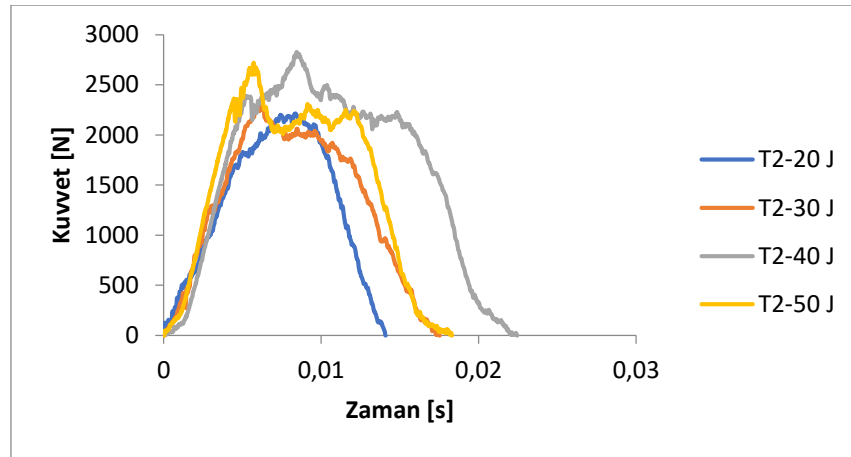
Şekil 4.17. T2 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



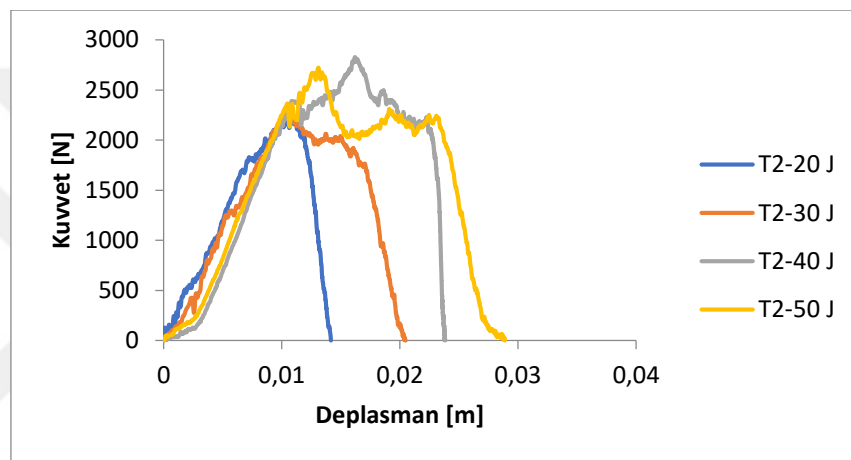
Şekil 4.18. T2 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



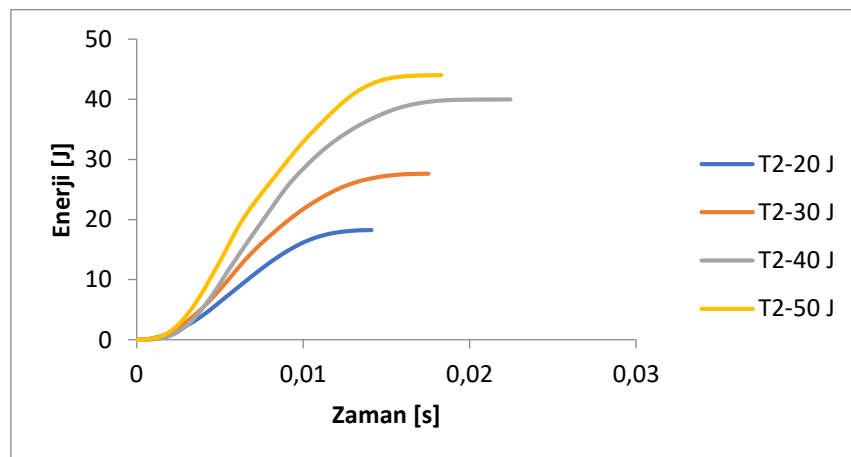
Şekil 4.19. T2 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



Şekil 4.20. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



Şekil 4.21. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.22. T2 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği

Şekil 4.16’da T2 kompozit malzemenin 20 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada ve matris yapıda kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasına numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.17’de T2 kompozit malzemenin 30 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasına numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.18’de T2 kompozit malzemenin 40 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasına numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.19’da T2 kompozit malzemenin 50 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması

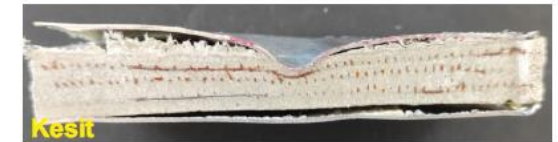
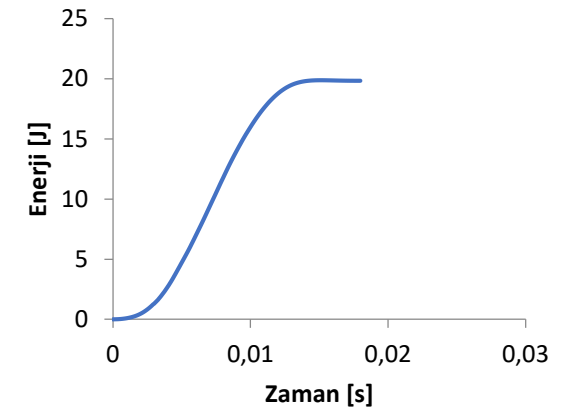
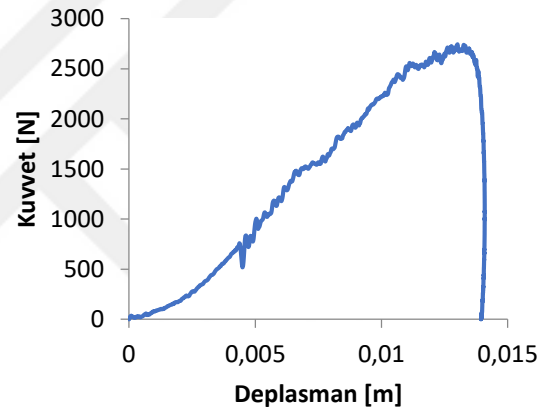
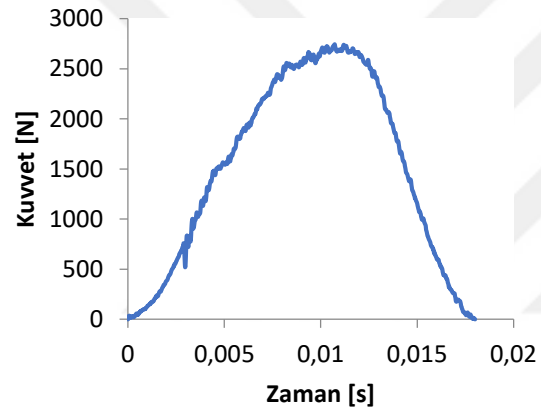
olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir. Kuvvet deplasman grafiğinde meydana gelen ikinci pik Şekil 4.9.açıklamasında bahsedilmiştir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da Kuvvet zaman grafiğinde görüldüğü gibi üst levha delindikten sonra polimer matris kısmında kuvvet bir miktar düşmüş alt plakaya temas ile tekrar yükselmiştir. Kuvvet deplasman grafiğinde de ilk pik noktası ilk hasarlanmayı göstermektedir. Kırılğan ve elyaf dolgunu malzemelerde genellikle en büyük çatlama başlangıcındaki kuvvete karşılık gelmesine rağmen numunede vurucunun nüfuziyeti ile çatlamanın oluşumundan dolayı ikinci pik gözlenmektedir. Bununla beraber kuvvet-sapma grafiğinde rezonans nedeniyle birçok pik görünebilir (Maros & Juniar, 2016).

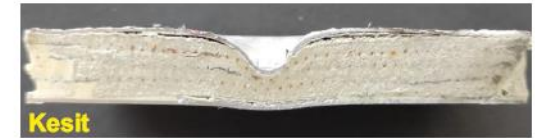
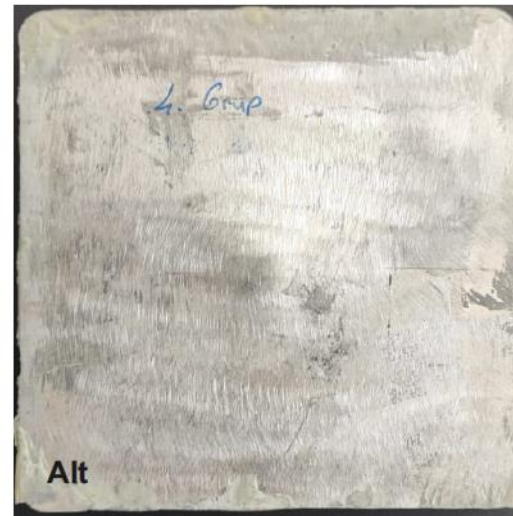
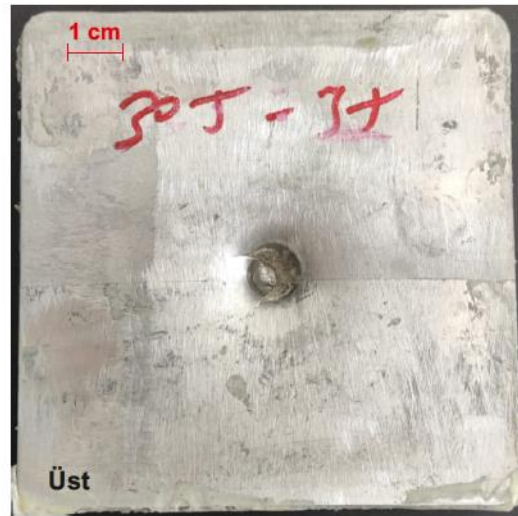
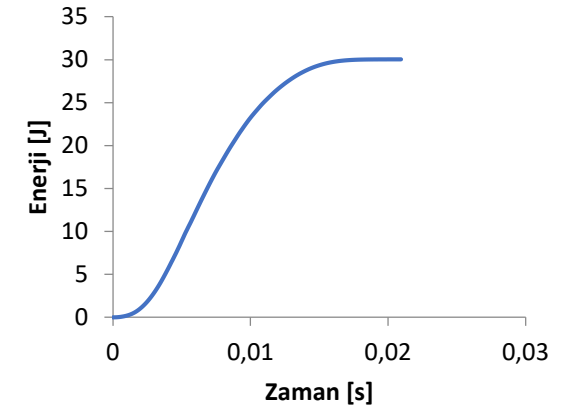
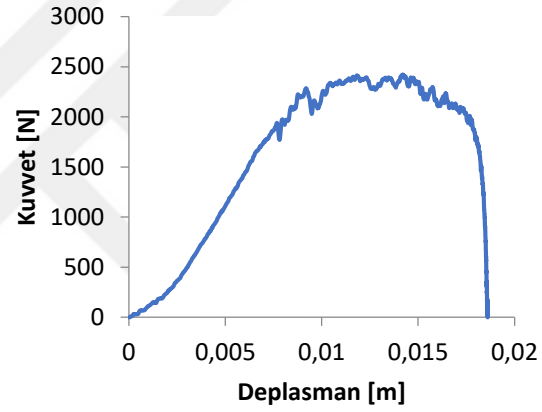
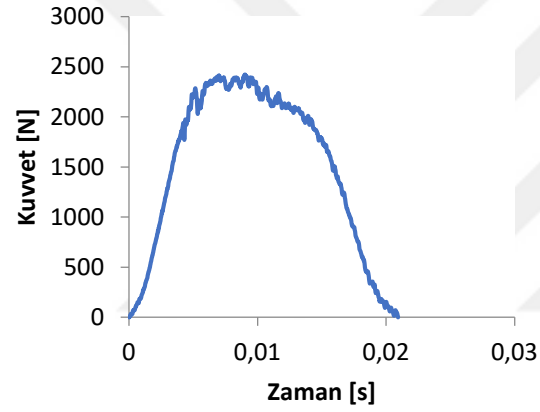
Şekil 4.20.'de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2213,27 N, 2290,10 N, 2827,96 N, 2722,31 N maksimum temas kuvvetine ulaşmıştır.

Şekil 4.21'de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0142 mm, 0,0205 mm, 0,0224 mm, 0,0289 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Bu noktadaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır (Engin, 2011).

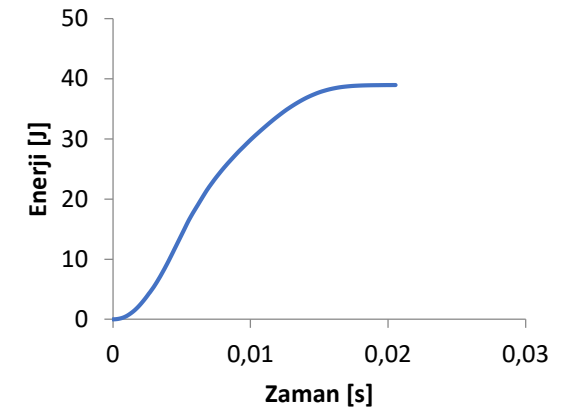
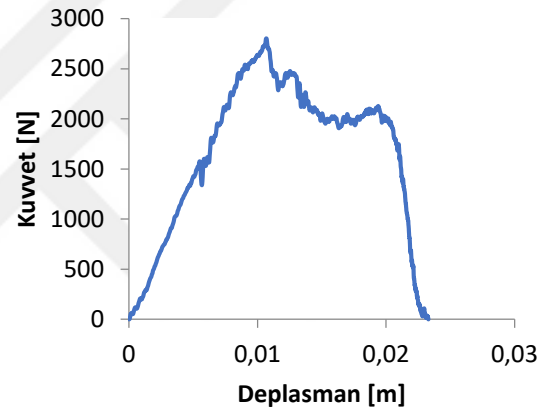
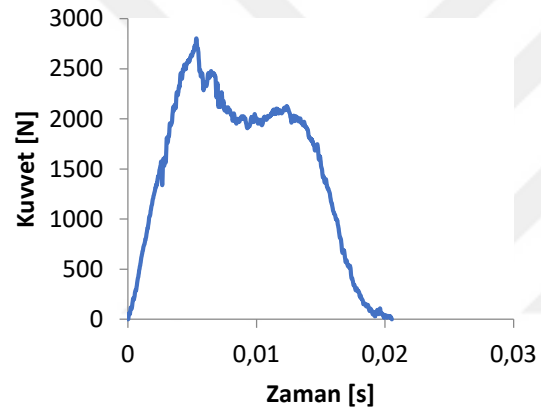
Şekil 4.22'de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen enerji zaman değişimleri gösterilmektedir. Absorbe edilen enerjiler sırası ile 18,24 J- 27,62 J- 39,97 J – 43,99 J olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde nüfuziyet olmuştur. Genel olarak enerji seviyesi arttıkça absorbe özelliği de artmıştır. T2 numunesi 30J darbe enerjisinin neredeyse tamamını absorbe etmiştir.



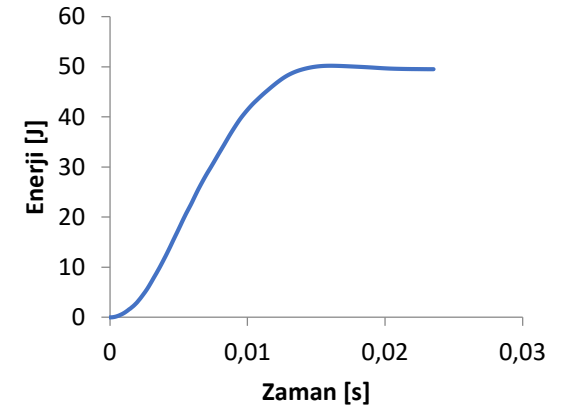
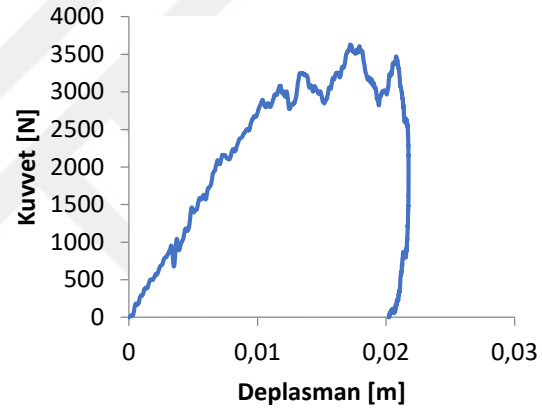
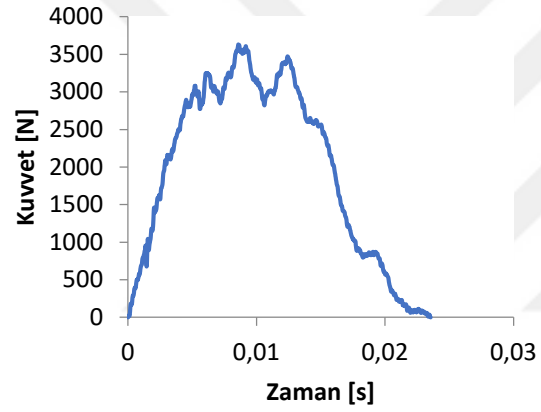
Şekil 4.23. T3 kompozit malzemenin 20 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



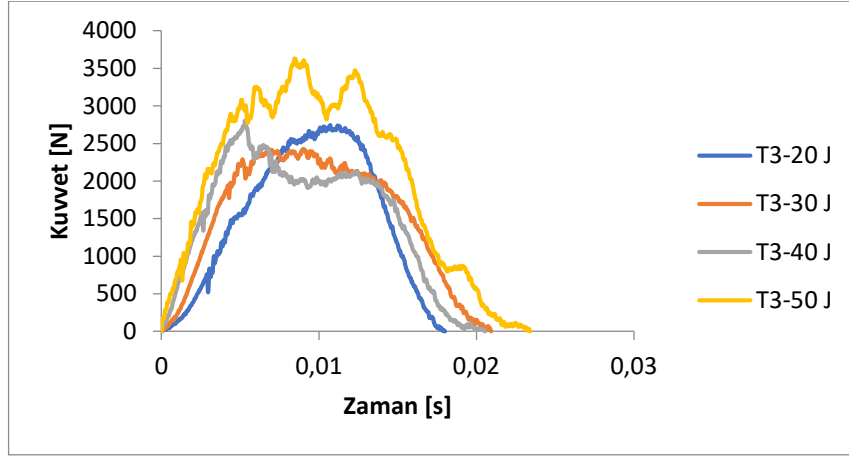
Şekil 4.24. T3 kompozit malzemenin 30 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri



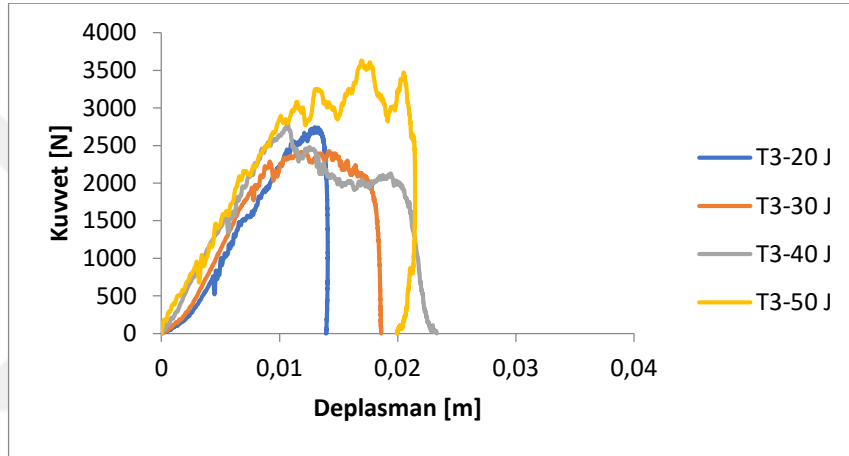
Şekil 4.25. T3 kompozit malzemenin 40 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görüntüleri



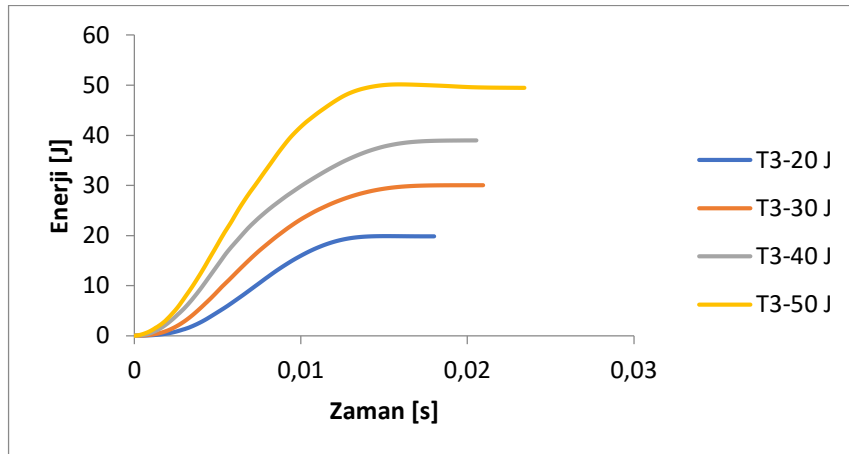
Şekil 4.26. T3 kompozit malzemenin 50 J'lük darbe enerjisine karşılık elde edilen, kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman, enerji-zaman grafikleri ile darbelenmiş kompozit malzemenin üst, alt ve kesit görünüşleri



Şekil 4.27. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



Şekil 4.28. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği



Şekil 4.29. T3 numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki Enerji-zaman grafiği

Şekil 4.23’de T3 kompozit malzemenin 20 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada ve matris yapıda kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir.

Şekil 4.24’de T3 kompozit malzemenin 30 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.25’de T3 kompozit malzemenin 40 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasında numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi açık eğridir.

Şekil 4.26’da T3 kompozit malzemenin 50 J darbe enerjisi altında oluşan kuvvet-zaman, kuvvet deplasman, enerji zaman grafikleri ve darbelenen kompozit yapının üst, alt ve kesit resimleri gösterilmiştir. Darbe sonrasında numunede nüfuziyet meydana gelmiştir. Üst plakada tamamen, matris ve alt plaka kısmen hasar görmüştür. Polimer matris yapıda ezilme olduğu ve Al plaka ile matris arasında kısmen tabaka ayrılması

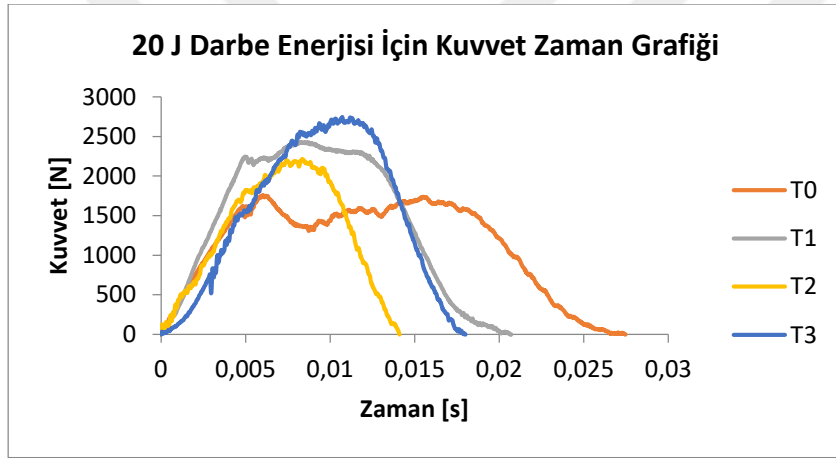
olduğu görülmektedir. Kuvvet deplasman ve Enerji zaman grafiklerinden ve numune resimlerinden görülmektedir ki darbe sonrasına numune darbe enerjisinin hepsini absorbe edememiş ve geri sekme enerjisi oluşmuştur. Numunede geri dönüş olduğu için darbe enerjisinin absorbe enerjisinden fazladır. Kuvvet-deplasman eğrisi kapalı eğridir.

Kuvvet zaman grafiklerinde görüldüğü gibi üst levha delindikten sonra polimer matris kısmında kuvvet bir miktar düşmüş alt plakaya temas ile tekrar yükselmiştir. Kuvvet deplasman grafiğinde de ilk pik noktası ilk hasarlanmayı göstermektedir. Kırılgan ve elyaf dolgunu malzemelerde genellikle en büyük çatlama başlangıcındaki kuvvete karşılık gelmesine rağmen numunede vurucunun nüfuziyeti ile çatlamanın oluşumundan dolayı ikinci pik gözlenmektedir. Bununla beraber kuvvet-sapma grafiğinde rezonans nedeniyle birçok pik görünebilir (Maros & Juniar, 2016).

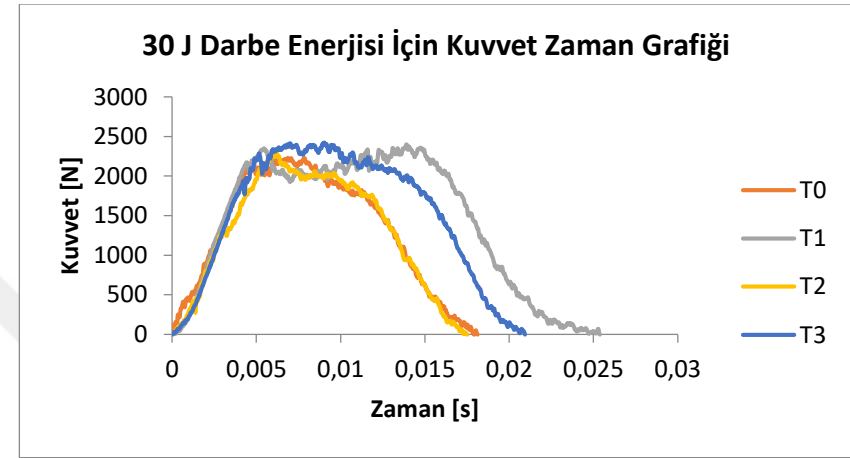
Şekil 4.27.'de T3 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2744,72 N, 2424,56 N, 2805,55 N 3625,14 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.

Şekil 4.28'de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0139 mm, 0,0186 mm, 0,0233 mm, 0,0199 mm şeklindedir. T3 numunelerde 50 J enerji darbesinde malzeme absorbe özelliğini kaybetmiştir.

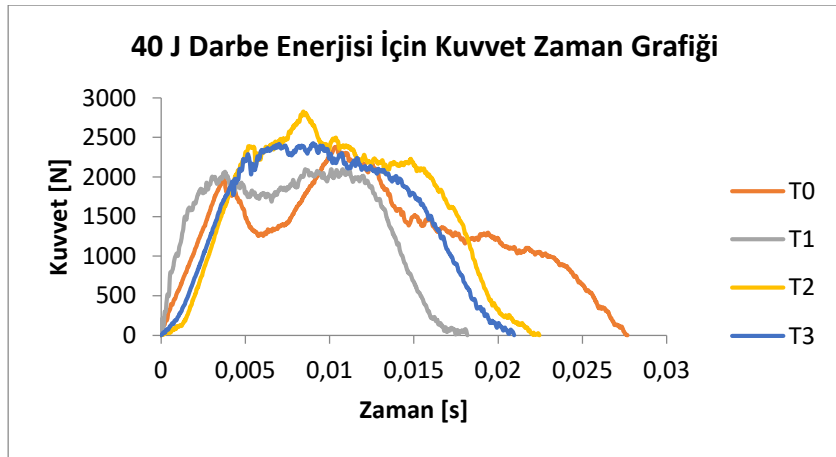
Şekil 4.29'de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen enerji zaman değişimleri gösterilmektedir. Absorbe edilen enerjiler sırası ile 19,85 J- 30,00 J- 38,96 J – 49,50 J olarak belirlenmiştir. Tüm numunelerde nüfuziyet olmuştur. Genel olarak enerji seviyesi arttıkça absorbe özelliği de artmıştır. T3 numunesi 30J darbe enerjisinin neredeyse tamamını absorbe etmiştir.



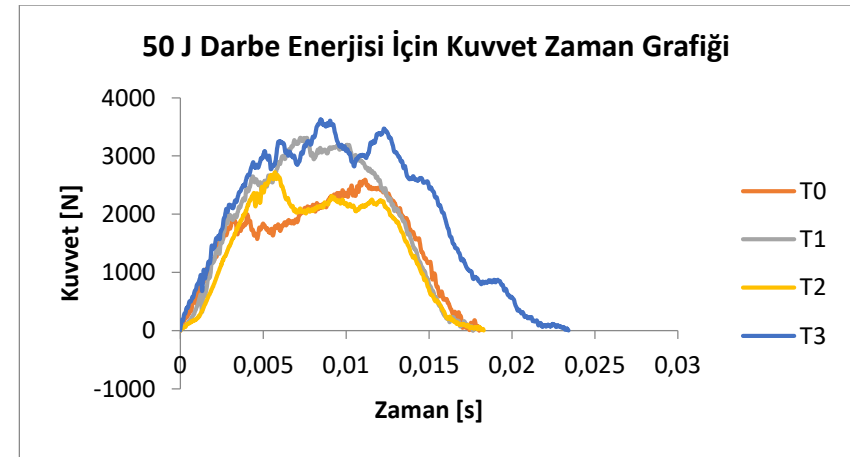
Şekil 4.30. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 20 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



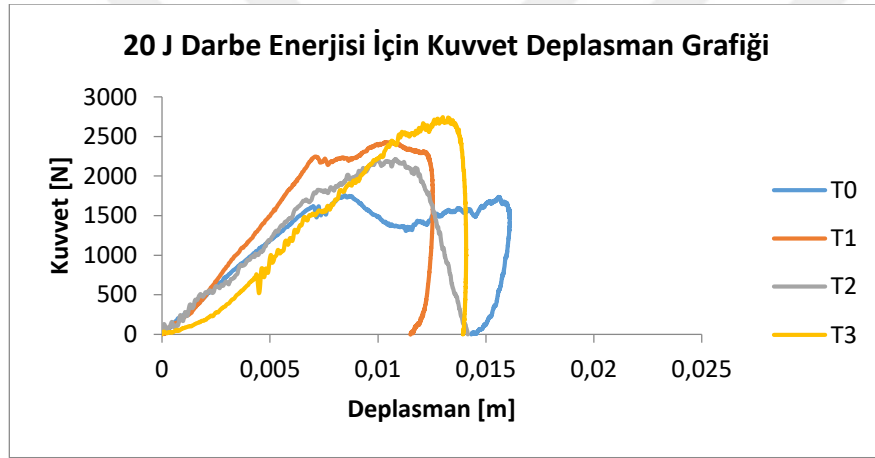
Şekil 4.31. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 30 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



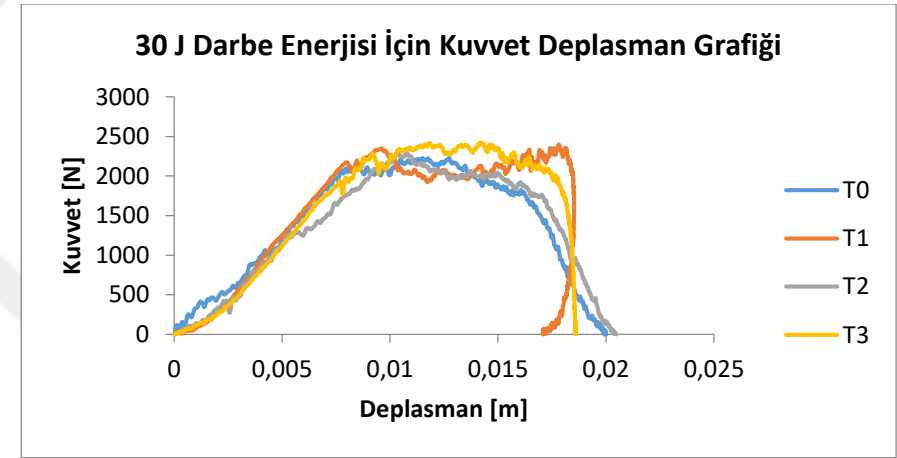
Şekil 4.32. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 40 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



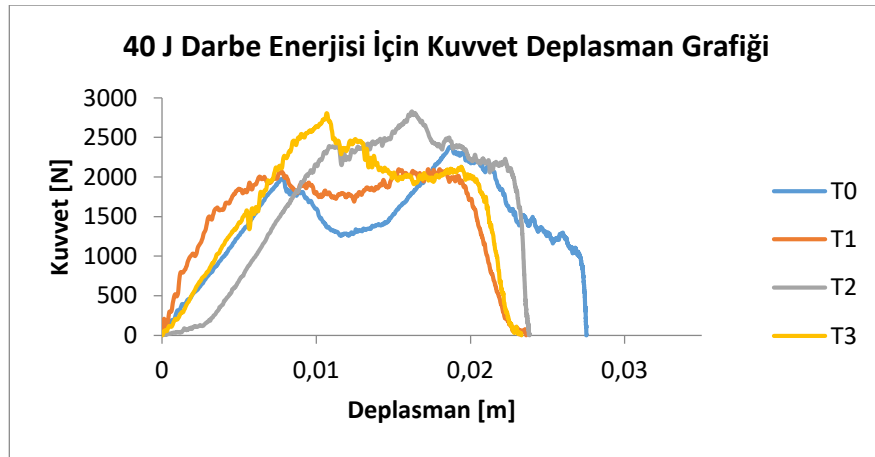
Şekil 4.33. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği



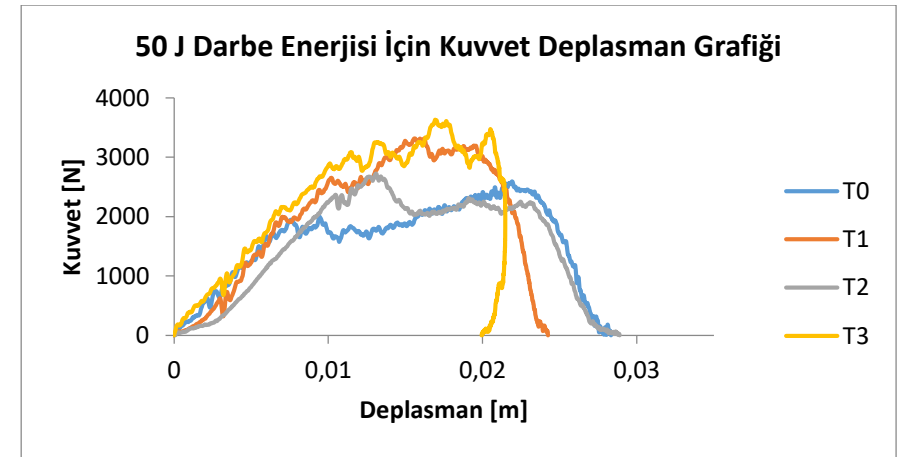
Şekil 4.34. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 20 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği



Şekil 4.35. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 30 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği



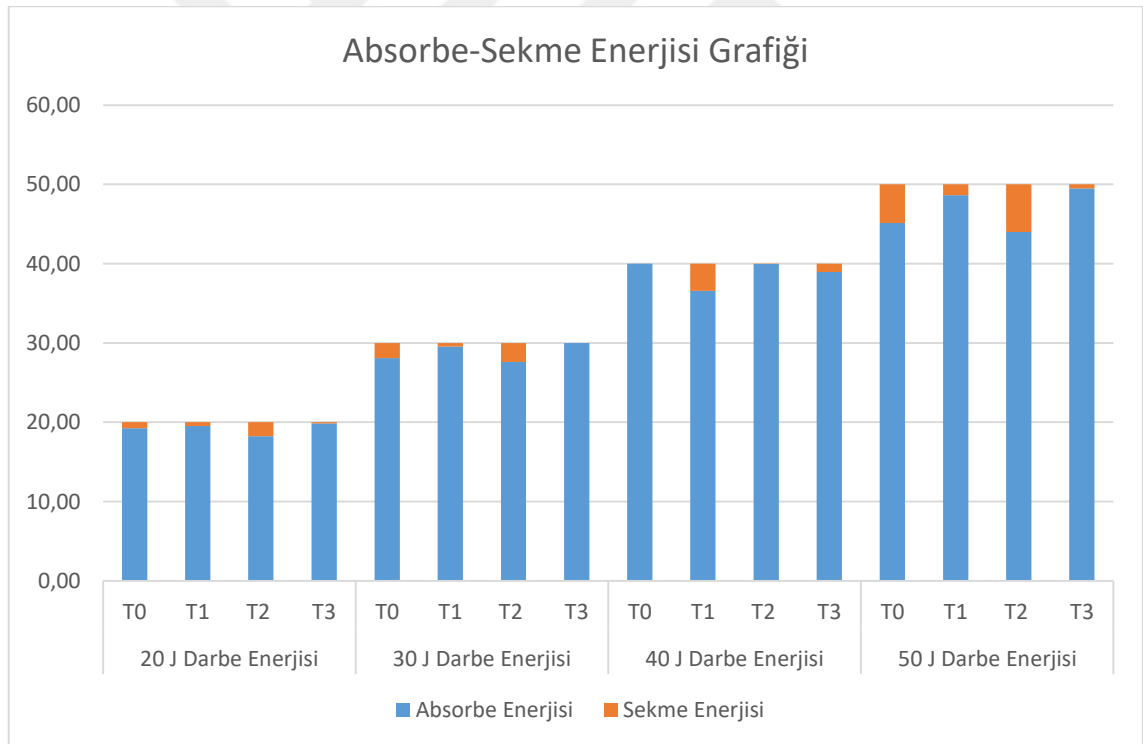
Şekil 4.36. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 40 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği



Şekil 4.37. T0,T1,T2,T3 takviyeli numunelerin 50 J darbe için Kuvvet-Deplasman grafiği

Şekil 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33’de T0, T1, T2 ve T3 numunelerinin sırası ile 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki kuvvet zaman grafikleri gösterilmiştir. 30 J darbe enerjisi dışında takviye elemanı sayısı arttıkça maksimum kuvvet artmaktadır. 50 J darbe enerjisinde T1 ve T2 numuneler darbeye karşı göstermiş oldukları özellikleri yitirmektedir. Genel olarak tel takviye sayısı arttıkça malzeme daha rijit hale geldiği için deney süresinde azalma olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak maksimum kuvvet rijit olan numunelerde genellikle daha yüksek değerlerde olmaktadır.

Şekil 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37’de T0, T1, T2 ve T3 numunelerinin sırası ile 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki kuvvet deplasman grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerden tel takviyesi arttıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.38.** Absorbe-Sekme Enerjisi grafiği

Şekil 4.38.’de T0, T1, T2 ve T3 numunelerinin 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki absorbe enerjisi ve vurucunun geri sekmesi için gerekli olan sekme enerji gösterilmektedir. Tüm numune gruplarında darbe enerjisi arttıkça numuneler tarafından absorbe edilen enerji miktarının genellikle arttığı gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

- Çelik tel takviye edilen numunelerde temas kuvvetlerinin fazla çıktığı gözlemlenmiştir.
- Aynı malzemelerde darbe enerjilerinin artması ile temas kuvvetlerinde artış olduğu ve buna bağlı olarak deplasman miktarının da arttığı görülmüştür.
- Takviye elemanı eklenmesi ile malzemede rijitlik kazanıldığı için deformasyonda azalma olmaktadır.
- Aynı deney grubunda darbe enerjisi artıkça alt levha ve üst levhada meydana gelen deformasyonda artış olmaktadır.
- Genel olarak tel takviye sayısı artıkça malzeme daha rijit hale geldiği için deney süresinde azalma olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak maksimum kuvvet değerleri tel takviyesi fazla olan numunelerde genellikle daha yüksek değerlerde olmaktadır.
- Tel takviyesi artıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı görülmektedir.

### 5.2 Öneriler

- Al levha kalınlığı değiştirilerek deneyler tekrarlanabilir ve levha kalınlığının darbe davranışına etkisi incelenebilir.
- Matris polimer malzemenin kalınlığı değiştirilerek deneyler.
- Malzeme pişirme sıcaklığı ve süresi üzerine çalışmalar yapılarak daha az enerji tüketimi ve zaman kazanımı sağlanabilir.
- Çelik tel kalınlığındaki değişimin darbe davranışına etkisini görmek için çelik tel kalınlığı değiştirilerek çalışmalar yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdullah, M. R., & Cantwell, W. J. (2006). The impact resistance of polypropylene-based fibre-metal laminates. *Composites Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.008>
- Akin, C., & Şenel, M. (2010). Experimental Study of Low Velocity Impact Response for Composite Laminated Plates. *Dumlupınar Üniversitesi Fe Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 77–90. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=13023055&AN=79545975&h=hbMSKSuF15Iq5hGI1CjZPz1BHj3WYofE3uied9ReZ%2BqaYSIszmt6xeQioawFEMuRTsdYFB2phqr19xbL7FxrRQ%3D%3D&crl=c%0Apapers3://publication/uuid/CB60>
- Aktaş, M., Atas, C., İçten, B. M., & Karakuzu, R. (2009). An experimental investigation of the impact response of composite laminates. *Composite Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2008.02.003>
- Aslan, Z., Karakuzu, R., & Okutan, B. (2003). The response of laminated composite plates under low-velocity impact loading. *Composite Structures*, 59(1). [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00185-X](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00185-X)
- Baucom, J. N., & Zikry, M. A. (2005). Low-velocity impact damage progression in woven E-glass composite systems. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(5), 658–664. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.07.008>
- Belingardi, G., & Vadori, R. (2003). Influence of the laminate thickness in low velocity impact behavior of composite material plate. In *Composite Structures*. [https://doi.org/10.1016/s0263-8223\(03\)00027-8](https://doi.org/10.1016/s0263-8223(03)00027-8)
- Bulut, M., & Mak, B. M. S. B. (1991). *Sertlik Ölçme Metodları ve Cihazları*. 1985–1991.
- Engin, Z. B. (2011). Balpeteği Sandviç Kompozitlerin Darbe Davranışının İncelenmesi. In *Atatürk Üniversitesi*.
- ESENDEMİR, Ü., & CANER, A. Y. (2017). Tabakalı Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 207. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.72732>
- GÖK, Z. (2022). PREPREG KOMPOZİT BORULARIN DÜŞÜK HIZLI DARBE CEVABINA KARBON NANOTÜP TAKVİYESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ. *Necmettin Erbakan Üniversitesi*.
- Kaman, M., & Albayrak, M. (2021). *LOW VELOCITY IMPACT BEHAVIOR OF ALUMINUM SANDWICH PLATES HAVING RUBBER CORE*.
- Kara, M. (2006). *Düşük hızlı darbelere maruz tabakalı kompozit yapıların davranışı*. Selcuk University.
- Kara, M. (2012). *Düşük Hızlı Darbe Sonrası Yama İle Tamir Edilmiş Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı*.
- KARA, M., & UYANER, M. (2016). E-Cami/Epoksi Kompozit Boruların Darbe

- Cevabına Vurucu Geometrisinin Etkisi. *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, 17(3), 512–520. <https://doi.org/10.18038/btda.68342>
- Maros, H., & Juniar, S. (2016). *TS EN ISO 6603-2\_Aletli Darbe Deneyi*. 1–23.
- Metin, M. (2008). “E-Camı/Epoksi Tabakalı Kompozitlerde Düşük Hızlı Darbe Hasarının Burkulma Özelliklerine Etkisi.” *Yüksek Lisans Tezi*.
- Mili, F., & Necib, B. (2001). Impact behavior of cross-ply laminated composite plates under low velocities. *Composite Structures*. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(00\)00134-3](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(00)00134-3)
- ÖNDÜRÜCÜ, A., & KARACAN, A. (2018). Tabakalı Cam ElyafEpoksiKompozitlerin Darbe Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 435–447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>
- Özdemir, Z. (2019). Low Velocity Impact Damage Response Of Carbon Fiber Reinforced Composites At Low Temperatures. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(3), 35–60.
- S.Sugun, B., & M.V.G.K.Rao, R. (2004). Low-velocity Impact Characterization of Glass Carbon and Kevlar Composites Using Repeated Drop Tests. In *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. <https://doi.org/10.1177/0731684404039798>
- Şahin, Y. (2000). Kompozit Malzemelere Giriş. In *Kompozit Malzemelere Giriş* (Vol. 327, pp. 1–1). Gazi Kitabevi.
- Sreekantha Reddy, T., Mogulanna, K., Gopinadha Reddy, K., Rama Subba Reddy, P., & Madhu, V. (2019). Effect of thickness on behaviour of E-glass/epoxy composite laminates under low velocity impact. *Procedia Structural Integrity*, 14(2018), 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.05.034>
- Turkmen, I., & Koksall, S. N. (2013). Investigation of Mechanical Properties and Impact Strength Depending on the Number of Fibre Layers in Glass Fibre. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*.
- UYANER, M. (2021). *Test to Graph* (No. V2). Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/gdhpktxjk.2>
- UYANER, M., & KARA, M. (2016). Metal Tabakalı Kompozitlerin Düşük Hızlı Enine Darbeye Karşı Davranışlarının İncelenmesi. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 4(4), 256–256. <https://doi.org/10.15317/scitech.2016.56>
- Yalkın, H. E., Karakuzu, R., & Alpyıldız, T. (2020). Experimental and numerical behaviors of GFRP laminates under low velocity impact. *Journal of Composite Materials*, 54(21), 2999–3007. <https://doi.org/10.1177/0021998320906871>
- Yu, G. C., Wu, L. Z., Ma, L., & Xiong, J. (2015). Low velocity impact of carbon fiber aluminum laminates. *Composite Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.09.054>