

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JÜT VE KETEN TAKVİYELİ KARMA**  
**KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

**Hasan Onur SAĞIR**

**Şubat, 2016**  
**İZMİR**

# **JÜT VE KETEN TAKVİYELİ KARMA KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon - İmalat Programı**

**Hasan Onur SAĞIR**

**Şubat, 2016**

**İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

HASAN ONUR SAĞIR, tarafından DOÇ. DR. ÇİÇEK ÖZES yönetiminde hazırlanan "JÜT VE KETEN TAKVİYELİ KARMA KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Yönetici



Doç. Dr. Bülent Murat İG TEN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında her konuda yardımcı olup yol gösteren danıőmanım Sayın Doç. Dr. iek ZES'e,

Kompozit plakaların üretilmesi ve yapılan deneyler esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Bülent Murat İTEN'e,

Bu alıőma 115M168 proje numarası ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 3001-Baőlangıç Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı ile desteklenmiőtir. Bu nedenle TÜBİTAK'a,

Her zaman bana inanan ve destekleyen anneme ve babama, stresli ve yorucu geçen süreçte sabrı ve desteği ile yanımda olan eőtime,

Teőtakkrlerimi sunarım.

Hasan Onur SAĞIR



# JÜT VE KETEN TAKVİYELİ KARMA KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

## ÖZ

Son yıllarda, çevresel endişelerin artmasıyla selüloz esaslı doğal elyafların kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada, jüt ve keten dokuma kumaşlarla takviye edilmiş, epoksi matrisli, karma kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle dörder kat jüt ve keten kumaş kullanılarak iki çeşit kompozit plaka üretilmiştir. Üretilen kompozit plakalardan ilki; jüt-keten-jüt-keten-jüt-keten-jüt-keten sırasıyla, ikincisi jüt-keten-jüt-keten-keten-jüt-keten-jüt sırasıyla istiflenmiştir. Takviye ve matris arası yapışma miktarının artırılması amacıyla, jüt ve keten kumaşlara ayrı ayrı alkali işlem uygulanmıştır.

Üretilen kompozit plakalardan hazırlanan numunelere çekme testleri yapılmıştır. Elde edilen verilerle kuvvet-uzama grafikleri oluşturulmuş; kopma gerilmesi ve maksimum uzama değerleri tespit edilmiştir.

Darbe testleri her iki plaka için üç farklı enerji seviyesinde yapılmıştır. İlk plaka için yapılan testlerde hem jüt hem de keten yüzünden darbe uygulanarak, darbeyi ilk karşılayan yüzdeki malzemenin farklı olmasının etkileri araştırılmıştır. Elde edilen veriler ile kuvvet-çökme ve enerji-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler ile birlikte darbe hasarı görüntüleri yorumlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Jüt, keten, doğal elyaf, mekanik özellikler, çekme testi, darbe testi, kompozit malzemeler

# MECHANICAL PROPERTIES OF JUTE-FLAX BASED HYBRID COMPOSITES

## ABSTRACT

In recent days, cellulose based natural fibers have become popular as reinforcement in composite materials as a result of increasing environmental concerns. In this study, mechanical properties of hybrid composites reinforced with jute and flax woven fabric and epoxy resin were investigated. For this purpose, two types composite plates each with four layers of jute fabrics and four layers of flax fabrics were produced with vacuum assisted resin infusion method. The first of composite plate was stacked with the sequences of jute-flax-jute-flax-jute-flax-jute-flax, and the second one was stacked with the sequences of jute-flax-jute-flax-flax-jute-flax-jute. For increasing the amount of adhesion between reinforcement and matrix, alkali treatment was applied to jute and flax fabrics separately.

Tensile tests were performed to specimens which were prepared from produced composite plates. Force-deflection graphs were established and ultimate stress and maximum elongation values were determined with the data obtained.

Impact tests were performed at three different energy levels for each plate. In order to investigate the influence of material type of the impact confronting surface, impact was applied to both jute and flax surfaces of the first plate. Force-deflection and energy-time graphs were established with the data obtained. Impact damage images were reviewed with the graphs.

**Keywords:** Jute, flax, natural fiber, mechanical properties, tensile test, impact test, composite materials

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - DOĞAL LİFLER.....</b>	<b>13</b>
2.1 Giriş.....	13
2.2. Bitkisel Lifler .....	13
2.2.1 Sak Lifleri .....	16
2.2.1.1 Keten .....	16
2.2.1.2 Jüt .....	20
2.2.1.3 Kenevir.....	21
2.2.1.4 Rami .....	22
2.2.1.5 Kenaf.....	23
2.2.2 Tohum Lifleri.....	23
2.2.2.1 Pamuk.....	23
2.2.2.2 Kapok .....	24
2.2.3 Yaprak Lifleri .....	25
2.2.3.1 Sisal.....	25
2.2.3.2 Abaka .....	26
2.2.4 Meyve Lifleri .....	26

2.2.4.1 Hindistan Cevizi.....	26
<b>BÖLÜM ÜÇ - MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>28</b>
3.1 Kompozit Plakaların Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	28
3.1.1 Jüt Kumaş .....	28
3.1.2 Keten Kumaş.....	28
3.1.3 Cam Dokuma Kumaş.....	29
3.1.4 Epoksi .....	29
3.2 Kompozit Plakaların Üretim Yöntemi.....	30
3.2.1 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Yöntemi.....	30
3.2.2 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Yönteminde Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları .....	31
3.3 Yüzey Modifikasyonu .....	33
3.3.1 Alkali İşlem.....	33
3.4 Kompozit Plakaların Üretilmesi.....	34
<b>BÖLÜM DÖRT - MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ.....</b>	<b>39</b>
4.1 Çekme Testi.....	39
4.1.1 Çekme Testleri Sonuçları.....	41
4.1.1.1 Plaka 1'in Çekme Testi Sonuçları.....	41
4.1.1.2 Plaka 2'nin Çekme Testi Sonuçları.....	43
4.2 Darbe Testleri .....	45
4.2.1 Darbe Testleri Sonuçları .....	46
4.2.1.1 Plaka 1'in Jüt Yüzüne Uygulanan Darbe Sonuçları.....	47
4.2.1.2 Plaka 1'in Keten Yüzüne Uygulanan Darbe Sonuçları.....	59

4.2.1.3 Plaka 2'ye Uygulanan Darbe Sonuçları .....	71
4.2.2 Darbe Testleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	83
<b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR .....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>87</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Selülozun mikro yapısı .....	14
Şekil 2.2 Teknik elyafın kesiti .....	14
Şekil 2.3 Keten elyafı.....	17
Şekil 2.4 Hasat edilmiş keten demetleri.....	18
Şekil 2.5 Jüt elyafı.....	20
Şekil 2.6 Hasat edilmiş jüt demetleri .....	21
Şekil 2.7 Kenevir bitkisi kesiti .....	22
Şekil 2.8 Rami bitkisi.....	22
Şekil 2.9 Kenaf elyafı.....	23
Şekil 2.10 Toplanmaya hazır pamuk.....	24
Şekil 2.11 Kapok.....	25
Şekil 2.12 Sisal bitkisi.....	25
Şekil 2.13 Abaka .....	26
Şekil 2.14 Hindistan cevizi elyafı .....	27
Şekil 3.1 Jütsan Ambalaj firmasından temin edilen dokuma tip jüt kumaş.....	28
Şekil 3.2 Gül İpek firmasından temin edilen 3053 kodlu naturel gri keten kumaş....	29
Şekil 3.3 Cam dokuma kumaş.....	29
Şekil 3.4 Vakum destekli reçine infüzyon tekniği .....	31
Şekil 3.5 Ayırıcı film, soyma kumaşı ve reçine dağıtıcı film .....	32
Şekil 3.6 Vakum torbası.....	32
Şekil 3.7 %1'lik NaOH çözeltisi ile yapılan alkali işlem.....	34
Şekil 3.8 Üretilen kompozit plakalarda katmanların sıralanışı .....	34
Şekil 3.9 Kompozit malzeme üretim tezgahı .....	35
Şekil 3.10 Kumaşlar üzerine soyma kumaşı ve ayırıcı filmin serilmesi .....	36
Şekil 3.11 Spiral hortumların sabitlenmesi .....	36
Şekil 3.12 Vakum torbasının sızdırmazlık macunlarıyla yapıştırılması .....	37
Şekil 3.13 Vakum yardımıyla reçinenin emdirilmesi .....	37
Şekil 3.14 Kurlenmeye bırakılan kompozit plaka.....	38
Şekil 3.15 Kompozit üretim tezgahı ekranı.....	38

Şekil 4.1 Shimadzu AG-X çekme testi cihazı.....	39
Şekil 4.2 Numunelerin Shimadzu AG-X çekme testi cihazına bağlanması.....	40
Şekil 4.3 Plaka 1'den elde edilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	41
Şekil 4.4 Plaka 1'in, 1. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	42
Şekil 4.5 Plaka 1'in, 2. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	42
Şekil 4.6 Plaka 1'in, 3. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	42
Şekil 4.7 Plaka 2'den elde edilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	43
Şekil 4.8 Plaka 2'nin, 1. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	44
Şekil 4.9 Plaka 2'nin, 2. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	44
Şekil 4.10 Plaka 2'nin, 3. numunesi için kuvvet-uzama grafiği .....	44
Şekil 4.11 CEAST-Fractovis Plus darbe cihazı .....	45
Şekil 4.12 CEAST-Fractovis Plus darbe cihazı numune sıkma aparatı.....	46
Şekil 4.13 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	47
Şekil 4.14 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	47
Şekil 4.15 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	48
Şekil 4.16 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	48
Şekil 4.17 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	49
Şekil 4.18 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	49
Şekil 4.19 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	50
Şekil 4.20 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	50
Şekil 4.21 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	50
Şekil 4.22 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	51

Şekil 4.23 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	51
Şekil 4.24 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	52
Şekil 4.25 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	52
Şekil 4.26 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	53
Şekil 4.27 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	53
Şekil 4.28 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	54
Şekil 4.29 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	54
Şekil 4.30 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	54
Şekil 4.31 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	55
Şekil 4.32 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	55
Şekil 4.33 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	56
Şekil 4.34 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	56
Şekil 4.35 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	57
Şekil 4.36 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	57
Şekil 4.37 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	58
Şekil 4.38 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	58



Şekil 4.39 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	58
Şekil 4.40 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	59
Şekil 4.41 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	59
Şekil 4.42 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	60
Şekil 4.43 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	60
Şekil 4.44 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	61
Şekil 4.45 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	61
Şekil 4.46 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	62
Şekil 4.47 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	62
Şekil 4.48 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	62
Şekil 4.49 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	63
Şekil 4.50 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	63
Şekil 4.51 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	64
Şekil 4.52 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	64
Şekil 4.53 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	65
Şekil 4.54 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	65

Şekil 4.55 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	66
Şekil 4.56 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	66
Şekil 4.57 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	66
Şekil 4.58 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	67
Şekil 4.59 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	67
Şekil 4.60 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	68
Şekil 4.61 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	68
Şekil 4.62 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	69
Şekil 4.63 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	69
Şekil 4.64 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	70
Şekil 4.65 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	70
Şekil 4.66 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	70
Şekil 4.67 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	71
Şekil 4.68 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	71
Şekil 4.69 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	72
Şekil 4.70 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	72

Şekil 4.71 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	73
Şekil 4.72 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	73
Şekil 4.73 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	74
Şekil 4.74 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	74
Şekil 4.75 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	74
Şekil 4.76 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	75
Şekil 4.77 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	75
Şekil 4.78 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	76
Şekil 4.79 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	76
Şekil 4.80 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	77
Şekil 4.81 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	77
Şekil 4.82 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	78
Şekil 4.83 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	78
Şekil 4.84 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	78
Şekil 4.85 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	79
Şekil 4.86 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	79

Şekil 4.87 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	80
Şekil 4.88 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	80
Şekil 4.89 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği .....	81
Şekil 4.90 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği .....	81
Şekil 4.91 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	82
Şekil 4.92 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	82
Şekil 4.93 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü .....	82

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1 Bazı bitkisel liflerin ölçüleri .....	15
Tablo 2.2 Farklı bitkisel liflerin kimyasal kompozisyonu .....	15
Tablo 2.3 Bazı bitkisel liflerin fiziko-mekanik özellikleri.....	16
Tablo 2.4 Bazı sentetik elyafların fiziko-mekanik özellikleri.....	16
Tablo 4.1 Plaka 1'den elde edilen numunelerin çekme testi sonuçları .....	41
Tablo 4.2 Plaka 2'den elde edilen numunelerin çekme testi sonuçları .....	43
Tablo 4.3 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler.....	47
Tablo 4.4 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler.....	48
Tablo 4.5 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler.....	49
Tablo 4.6 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler.....	51
Tablo 4.7 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler.....	52
Tablo 4.8 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler.....	53
Tablo 4.9 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler.....	55
Tablo 4.10 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler.....	56
Tablo 4.11 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler.....	57
Tablo 4.12 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	59
Tablo 4.13 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	60

Tablo 4.14 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	61
Tablo 4.15 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	63
Tablo 4.16 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	64
Tablo 4.17 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	65
Tablo 4.18 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	67
Tablo 4.19 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	68
Tablo 4.20 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	69
Tablo 4.21 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	71
Tablo 4.22 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	72
Tablo 4.23 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	73
Tablo 4.24 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	75
Tablo 4.25 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	76
Tablo 4.26 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	77
Tablo 4.27 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler .....	79
Tablo 4.28 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler .....	80
Tablo 4.29 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler .....	81

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

İnsanoğlunun artan ihtiyaçlarını karşılamak için mühendislik alanında her geçen gün yeni çalışmalar yapılmaktadır. Ucuz, uzun ömürlü, çevreye duyarlı, dayanıklı, geri dönüştürülebilir özellikte ürünler elde etmek için yapılan çalışmaların önemli bir kısmı da kompozit malzemeler üzerinedir. Kompozit malzemeler; havacılık ve uzay sanayi, kara ve deniz taşıtları, savunma sanayi, spor malzemeleri, inşaat, alt yapı ve enerji sektörü gibi çok geniş ve çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin çeşitli üretim yöntemleri ile mikro ya da makro seviyede bir araya getirilmesi sonucu oluşan yeni malzemelerdir. Oluşan bu yeni malzemenin özellikleri, kendisini oluşturan malzemelerden üstündür. Kompoziti oluşturan malzemeler birbirleri içinde çözünmezler ve kimyasal etkileşime girmezler.

Kompozit malzemeler takviye elemanı, matris malzemesi ve ara yüz fazından oluşmaktadır. Takviye elemanı kompozitte yükü taşıyan, yapıya mukavemet sağlayan elemandır. Matris malzemesi ise yapının bir arada tutulmasını, yükün takviye elemanları arasında dağılmasını, plastik deformasyon sırasında oluşabilecek çatlakların ilerlemesinin önlenmesini, kopmanın gecikmesini, takviye elemanlarının kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. Ara yüz fazı ise takviye ve matris malzemesi arasındaki yapışmayı belirler.

Çeşitli takviye ve matris malzemelerinden oluşturulan kompozit malzemelerden kullanım amacına göre mukavemet, darbe dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma ve korozyona karşı direnç, kırılma tokluğu, estetik görünüm, çeşitli ortam şartlarına dayanıklılık, hafiflik, rijitlik, ısı iletkenliği ya da direnci gibi özellikler beklenebilir. Bu gibi özelliklerin birkaçının bir arada sağlanması için uygun takviye ve matris malzemesinin seçilmesi gerekmektedir. Çalışmalar mevcut malzemelerde bulunmayan, farklı özelliklerin uygun takviye ve matris malzemeleri seçimiyle oluşturulan kompozitlerle sağlanması üzerine yoğunlaşmıştır.

20. yüzyılın başlarında geliştirilmeye başlanan plastik malzemeler düşük yoğunluklu ve hafif olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri, yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımlarının iyi olması gibi avantajlı özellikleriyle hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Tek başlarına kullanıldıklarında yeterli mekanik özellikler sağlayamayan plastik malzemeler, 1940'lı yıllarda çeşitli malzemeler ile takviyelendirilerek kullanılmaya başlanmış böylelikle polimer matrisli kompozitler ortaya çıkmıştır. Kompozitlerde en çok kullanılan takviye malzemesi cam elyafken en yaygın kullanılan matris ve takviye malzemesi kombinasyonları cam elyaf/polyester, karbon elyaf/epoksi ve aramid elyaf/epoksi şeklindedir (Arıcasoy, 2006).

Kullanım ömrünü tamamlayan kompozit malzemelerin geri dönüştürülmeleri zor ve pahalıdır. Bu nedenle bazen gömülerek bazen de yakılarak imha edilmektedirler (Santulli ve ark., 2013). İmha edilen malzemelerin yaratmış olduğu kirlilik ve hızla azalmakta olan doğal kaynaklar gelecek için büyük sorun oluşturmaktadır. Son yıllarda çevresel endişelerin artması çevre dostu, sürdürülebilir hammaddelere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu nedenle mühendislik uygulamalarındaki kompozitlerde, takviye malzemesi olarak doğal liflerin başta cam elyaf olmak üzere diğer sentetik lifler yerine kullanımı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Yan, Chouw ve Jayaraman, 2014).

Doğal, çevre dostu, yenilenebilir malzemelere olan ilgi, Kyoto protokolü başta olmak üzere, emisyon oranlarının düşürülmesi için uygulanan yaptırımlar sonucu artmıştır. Bu bağlamda daha çok otomotiv sanayinde araçların hafifletilerek emisyon değerlerinin düşürülmesi için maliyetleri düşük, dayanım/ağırlık oranları yüksek olan doğal liflerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Bakkal ve Savaş, 2012).

2003 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık olarak 43.000 tonluk doğal elyaf takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu miktar 2010 yılına gelindiğinde 315.000 ton civarına ulaşarak toplamda kullanılan takviye malzemelerinin (cam, karbon ve doğal elyaf) %13'ünü oluşturmuştur. 2020 yılında bu miktarın yaklaşık olarak 830.000 ton olması öngörülmekte ve toplamda kullanılacak takviye malzemesinin



%28'ini oluşturması beklenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri 2020 yılına kadar tüm temel kimyasal yapı bloklarının en az %10'unun, 2050 yılına kadar ise %50'sinin yenilenebilir ve bitki bazlı kaynaklardan oluşturulmasını hedeflemiştir. Gelecekte biyo-kompozitlerin yeni nesil yapısal malzemeler olarak geniş kullanım alanı bulacak olması bu alandaki çalışmaların hızla artmasına sebep olmuştur (Yan ve ark., 2014).

Son yıllarda doğal liflerin karbon ve cam gibi sentetik liflerin yerine kompozitlerde kullanılması, onları dünya çapında araştırmacılar için ilgi çekici kılmıştır. Sisal, jt ve keten gibi doğal liflerle yapılan çalışmalar doğal liflerin kompozit malzemeler için etkili takviye elemanı olabileceğini göstermiştir. Doğal liflere artan ilginin sebebi doğada bolca bulunmaları ve yenilenebilir hammadde olmalarındandır. Ayrıca doğal liflerle çalışma koşulları cam elyafa göre çok daha sağlıklıdır. Doğal lifler iyi termal özelliklere ve mkemmek akustik performansa sahiptir. Bu avantajları doğal lifleri otomotiv, ambalajlama ve yapı endüstrilerinde ki uygulamalar için değerli kılmaktadır. Ancak doğal liflerden yapılan ürünlerin nispeten düşük mekanik özellikler sağlaması onları yapısal olmayan ve altyapı uygulamalarında kullanımla sınırlandırmıştır. Matrisin, elyafın ya da her iki bileşenin birlikte kimyasal ya da fiziksel olarak değiştirilmesi gibi farklı girişimlerle doğal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin artırılması denenmiştir (Zhang, Li, Ma ve Yu, 2013).

Santulli ve ark. (2013), yapmış oldukları deneysel çalışmada epoksi reçine ile lignoselülozik (jt) ve protein (yn keçe) esaslı doğal liflerle takviye edilmiş karma kompozitlerin karakteristik özelliklerini bulmayı amaçlamışlardır. Oda sıcaklığında kapalı kalıba elle yatırma tekniğiyle matrisi epoksi reçine olan yn keçe takviyeli ve jt-yn keçe karma kompozitleri iki farklı şekilde üretilmiştir. Her tabaka 2 saat süreyle 0,02 bar basınç altında kürlenmiştir. Daha sonra tabakalar kalıptan çıkarılıp kullanımdan önce 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Karma kompozitlerden ilki; 2 katman jt arasında 1 katman keçe olacak şekilde üretilmiştir. Diğer karma kompozit ise jt-keçe-jt-keçe-jt sıralamasıyla, 3 katman jt ve 2 katman keçeden oluşturulmuştur. Her iki konfigürasyonda toplam hacmin %45'i

kadar takviye malzemesi kullanılmıştır. Sadece yün keçeden yapılan kompozitlerin ilkinde toplam hacmin %33'ü, ikincisinde %40'ı kadar yün keçe kullanılmıştır. Tüm bu tabakaların mikro yapıları incelenip gerilme ve eğilmedeki mekanik davranışları yarı statik durum için değerlendirilmiştir. Ayrıca 6J, 8J ve 9J için düşük hızlı darbe testleri yapılmıştır. Akustik emisyon testi (AE) kullanılarak gerilme ve eğilme testlerinde kırılma mekanizmaları hakkında daha fazla bilgiye ulaşmaya çalışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki jüt ile oluşturulan karma kompozitin sadece keçeden oluşan kompozite göre daha üstün çekme ve eğilme mukavemeti vardır. Ayrıca takviyelendirme verimini artırmak için yün elyafı ve polimer malzemeler arasındaki uyumu artıracak fiziko-kimyasal işlemlerin geliştirilmesinin gerektiği sonucuna varılmıştır.

Keten takviyeli kompozitlerin mekanik performanslarını en üst düzeye çıkarmak için uygulanan çeşitli yüzey işlemleri birçok çalışmada incelenmiştir. Huo, Thapa ve Ulven (2013), çalışmalarında keten elyaf takviyeli kompozitlere yüzey modifikasyon işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Farklı işlemlere tabi tutulan keten elyaflar ile hazırlanmış 4 farklı keten/vinilester kompozit ile E-camı/vinilester kompozitin mekanik performanslarındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Hazırlanan keten/vinilester kompozitler sırasıyla; herhangi bir işlem yapılmamış keten ile üretilen keten/vinilester kompozit, keten elyafı sıcak su ile yıkanmış keten/vinilester kompozit, asetik anhidrid ile işlem gören keten ile hazırlanan keten/vinilester kompozit ve akrilik asit ile işlem görmüş ketenle hazırlanan keten/vinilester kompozittir. Hem keten elyaf/vinilester kompozitler hem de E-camı/vinilester kompozit vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretilmişlerdir. Akrilik asit işlemi, işlem yapılmamış keten kompozite kıyasla hem ara yüzey kayma mukavemetini hem de katmanlar arası kayma mukavemetini yaklaşık olarak %30 oranında artırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygun yüzey modifikasyonu işlemiyle, keten takviyeli kompozitin mekanik özellikleri cam elyaf takviyeli kompozitle karşılaştırılabilir hale gelmiştir.

Yan ve ark. (2014), çalışmalarında keten elyaf takviyeli kompozitler hakkındaki son gelişmelerin özetini sunmaktadırlar. İlk olarak elyaf yapısı, mekanik özellikler,

maliyet, keten elyafın gerilme özellikleri üzerinde çeşitli parametrelerin etkisi (örneğin bağıl nem, çeşitli fiziksel/kimyasal yüzey işlemleri, elyaf çapı, mekanik kusurlar) incelenmiştir. İkinci olarak elyaf konfigürasyonunun etkileri, üretim yöntemleri, lif hacim oranı ve keten elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini etkileyen elyaf/matris ara yüz parametreleri incelenmiştir. Son olarak keten elyaf takviyeli kompozitlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi ve mukavemet incelemesi yapılmıştır.

Zhang ve ark. (2013), çalışmalarında tek yönlü keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitin mekanik davranışlarını incelemiştir. Çalışmanın amacı, doğal ve sentetik elyafların bir arada kullanılmasının etkilerini incelemektir. Karma kompozitlerin gerilme özellikleri cam elyaf içeriğinin artırılmasıyla geliştirilmiştir. Keten ve cam elyafın istiflenme sırasının gerilme mukavemetini ve deformasyonunu etkilediği görülmüştür. Karma kompozitlerin kırılma tokluğu ve katlar arası kayma mukavemeti cam elyaf takviyeli kompozitlerden daha yüksektir. Bu makro ölçekli sonuçlar keten elyafın yapısı, keten elyafın pürüzlü yüzeyi ve keten-cam elyaf katmanları arasında kurulan köprü ile ilişkilendirilmiştir.

Muralidhar, Giridev ve Raghunathan (2012), çalışmalarında düz dokuma, ribana örme ve sırasıyla ribana örme/düz dokuma şeklinde istiflenen keten kumaş takviyeli epoksi reçineli kompozitlerin eğilme ve darbe özelliklerini incelemiştir. Katmanların istiflenme açısının ve sayısının eğilme ve darbe özelliklerine etkisi de araştırılmıştır. Tabakalar 2 ve 4mm kalınlıkta olacak şekilde elle yatırma yöntemiyle üretilmiş ve önce 3bar basınç altında 50°C'de 2 saat süreyle ve daha sonra fırında 120°C'de 1 saat süreyle kurlenmiştir. Düz dokuma kumaşla takviye edilen kompozitin tüm istiflenme açıları ve kalınlıklarında hem eğilme hem de darbe özelliklerinde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Çeşitli sıralamalarla istiflenen ribana örme ve düz dokuma kumaşlarla yapılan kompozitler arasında, yüzey katmanında ribana örme olanlar eğilme ve darbe özelliklerinde daha iyi sonuç vermişlerdir. Elde edilen veriler göstermiştir ki her açıda istiflenmede katman sayısı arttıkça mukavemet artmıştır.

George, Ivens ve Verpoest (1999), keten elyaf takviyeli epoksi kompoziti otoklav kalıplama yöntemiyle hazırlamışlardır. Kompozit özellikleri üzerinde lignin içeriği, pektin içeriği ve polimerizasyon derecesi gibi çeşitli elyaf parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Takviye ve matris arasındaki etkileşimin geliştirilmesi için alkali işlem, silan işlemi ve izosiyanat işlemi gibi elyaf yüzey modifikasyon işlemleri yapılmıştır. Modifiye edilmiş elyaf yüzeyi taramalı elektron mikroskopisi, atomal kuvvet mikroskopisi, termogravimetrik analiz ve diferansiyel taramalı kalorimetre ölçümleriyle karakterize edilmiştir. Elyafa uygulanan modifikasyon işlemlerinin kompozitlerin mekanik özelliklerine önemli etkileri olduğu görülmüştür. Kırılma yüzeylerinin morfolojik çalışmaları taramalı elektron mikroskopisi kullanılarak yapılmıştır.

J. Zhu, H. Zhu, Njuguna ve Abhyankar (2013) ise çalışmalarında, keten elyaf takviyeli polimerik kompozitleri son gelişmelerle birlikte tanımlamışlardır. Keten elyaf özelliklerinin yanı sıra mercerizasyon, silan işlemi, asilasyon, peroksit işlemi ve keten ile matris uyumsuzluğunu iyileştirmek için kaplama gibi gelişmiş elyaf işlemlerini de sunmuşlardır. Polipropilen de dahil olmak üzere poliaktik asit, epoksi, biyo-epoksi ve biyo-fenolik gibi reçineler ile keten elyaf takviyeli kompozitin karakteristik özellikleri tartışılmıştır. Ayrıca keten elyaf kompozitlere uygulanan nanoteknolojideki son gelişmelere kısaca değinilmiştir.

Hossain, Islam, Vuurea ve Verpoest (2013), vakum destekli reçine infüzyon tekniğiyle ön şekillendirmeli jütleri 0/0/0/0, 0/+45°/-45°/0 ve 0/90°/90°/0 sıralarıyla istifleyerek jüt takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. Her durumda jüt elyaf hacimsel oranı toplam hacmin %25'idir. Üretilen kompozitlere çekme ve üç nokta eğilme testleri yapılarak deneysel sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Her iki mekanik testten sonra kırılma yüzeyleri, yüksek çözünürlüklü alan-salım tabancalı taramalı elektron mikroskopuyla (FEG SEM) incelenmiştir. 0/0/0/0 ve 0/+45°/-45°/0 istiflerinde boyuna gerilme mukavemetinin enine göre olandan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte 0/90°/90°/0 istifinin her iki yöndeki gerilme mukavemetinin birbirine çok yakın olduğu sonucu bulunmuştur. Bütün üretilmiş kompozitler için deneysel sonuçlar göstermiştir ki

gerilme özellikleri büyük oranda jüt elyafın gerilme mukavemetine ve jüt elyafın gerilme özellikleri de yapısında ki kusurlara bağlıdır.

Faruk, Bledzki, Fink ve Sain (2012), 2000 - 2010 yılları arasında, sıklıkla kullanılmış biyo-polimerleri ve doğal lifleri içeren çalışmaların bir derlemesini yapmışlardır. Derleme çalışma, biyo-kompozitlerde kullanılan takviye liflerinin kaynak, tip, yapı, kompozisyon ve mekanik özelliklerini, fiziksel ve kimyasal modifikasyon yöntemlerini, biyo-kompozitlerin üretim şeklini etkileyen faktörleri (nem içeriği, elyaf tipi ve içeriği, birleştirici maddeler ve kompozit özelliklerine etkileri) ve bazı üretim yöntemlerini kapsamaktadır. Ayrıca doğal elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan en popüler petrokimyasal ve yenilenebilir kaynaklı matrisler de incelenmiştir.

Braga ve Magalhaes Jr. (2015), çalışmalarında ham jüt ve cam elyaf ile takviyelendirilmiş epoksi matrisli karma kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Jüt elyaf mekanik özelliklerin geliştirilmesi için cam elyaf ile melezlendirilmiştir. Kompozitlerin oluşturulması için epoksi reçine, jüt ve cam elyaf üç çeşit ağırlık oranıyla (sırasıyla 69/31/0, 68/25/7 ve 64/18/19) lamine edilmiştir. Elde edilen karma kompozitlerle gerilme, eğilme, darbe, yoğunluk, termal ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre jüt ve cam elyafın bir arada kullanılması yoğunluğu, darbe enerjisini, çekme mukavemetini ve eğilme mukavemetini artırmış ancak sıcaklığın fonksiyonu olarak kütle kaybını ve su emilimini azaltmıştır.

Vijaya Ramnath ve ark. (2014), çalışmalarında cam elyaf ile birlikte jüt ve abaka elyafıyla takviyelendirilmiş karma doğal elyafli kompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elle yatırma yöntemiyle üretilen her bir kompozit 5 katmandan oluşturulmuştur. Bu katmanlardan 2'si cam elyaftır. Diğer 3 katman ise cam elyaf katmanları arasına konan jüt ve abaka katmanlarıdır. Kompozitler 3 farklı elyaf oryantasyonunda ve kompozisyonunda üretilmiştir. Üretilen kompozitler çeşitli mekanik özelliklerin incelenmesi için test edilmiştir. Test sonuçlarından kompozitin

mekanik özelliklerinin belirlenmesinde elyafın oryantasyonunun önemli rol oynadığı görülmüştür.

Pandita ve ark. (2014), dokuma jüt kumaş ve onunla yapılan karma kompozitlerin mekanik özelliklerini ve yaşam döngüsü değerlendirmesini incelemiştir. Dokuma jüt kumaşlı kompozit dokuma cam elyaflı kompozit ile epoksi kullanılarak sandviç yapılmıştır. Sandviç kompozitler reçine infüzyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Su emme testi oda sıcaklığında dokuma jüt kompozitlere ve sandviç kompozitlere uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki çekirdek malzemesi dokuma jüt, dış yüzeyleri cam elyaf kompozit olan sandviç kompozitin su emme miktarı dokuma jüt kompozitlere göre daha azdır. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerde su emme miktarı özellikle elyaf suyun doğrudan temas ettiği kenarlarda artmaktadır. Dokuma jüt kompozitlerde bu bölgelerin su emilimi su geçirmez kaplamalar ile azaltılmıştır. Dokuma jüt/cam kompozitlerin eğilme ve darbe özelliklerinin sadece dokuma jüt kompozite göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ticari bir yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı kullanılarak jüt kompozitlerin ve jüt içeren karma kompozitlerin üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir. Buna göre jüt/cam elyaf kompozitlerin üretiminin sadece jüt elyaflı kompozitlere göre daha olumsuz çevresel etkilerinin olduğu vurgulanmıştır.

Vijaya Ramnath ve ark. (2014), bir başka çalışmalarında jüt, keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitin mekanik özelliklerini inceleyip jüt ve cam elyaf takviyeli kompozit ile karşılaştırmışlardır. Kompozitler elle yatırma yöntemiyle üretilmişlerdir. Karma kompozit, yatay olarak yerleştirilmiş jüt elyaf katmanları arasına dikine yerleştirilen keten elyaf şeklinde düzenlenmiştir. Cam elyaf katmanları her iki dış yüzeyde yüzey düzgünlüğünü ve dayanıklılığını sağlamak için kullanılmıştır. Toplam hacmin 3'te 1'i oranında jüt ve keten elyaf kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre karma doğal kompozitin çok iyi çekme ve eğilme özellikleri olduğu görülmüştür. Kırılma morfolojisi taramalı elektron mikroskopuyla analiz edilmiş, kırılan numunelerin içyapısı üzerinde tartışılmıştır.

Karabulut ve Aktaş (2014), jüt/polyester kompozitlerin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla jüt kumaşlara yüzey modifikasyon işlemi uygulamışlardır. Dokuma jüt kumaşlar yüzeylerindeki kir, selüloz ve ligninden arındırılmak için %2 oranında NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisinde 20 saat bekletilmiş daha sonra çeşme suyunda yıkanıp oda sıcaklığında 3 gün kurutulmuştur. Bu kumaşlar saf su ile hazırlanmış %5, %10, %15 oranında NaOH çözeltilerinde 4 saat bekletilmiştir. İşlem sonrası kumaşlar oda sıcaklığında kurutulmuş ardından etüvde 30 dakika 70°C'de bekletilip nemi alınmıştır. Jüt/polyester kompozitler 6 katman jüt kumaştan elle yatırma yöntemiyle hazırlanıp ısı ve zaman kontrollü hidrolik preste 8MPa basınç altında 105°C 'de üretilmiştir. Lif yönünde ve life dik yönde çekme ve basma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler %0, %5, %10 ve %15'lik NaOH çözeltilerinde işlem yapılan kumaşlarla üretilen kompozitler için karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, ağırlıkça lif hacim oranının artıp çözeltideki NaOH miktarının azalmasına rağmen jüt kumaşların yapışma kabiliyetlerinin artmasıyla birlikte mekanik özelliklerde artmıştır.

Sagbaş, Kahraman ve Koyuncu (2009), çalışmalarında farklı oranlardaki keten lifleriyle polyester matrisli kompozit malzemeleri elle yatırma tekniğiyle üretmişlerdir. Keten/polyester oranı %0/100, %10/90, %20/80 ve %30/70 olacak şekilde üretilen kompozitlerin takviye oranına göre çekme ve darbe dayanımında ki ilişki araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar takviye miktarı arttıkça çekme ve darbe dayanımının arttığını göstermiştir. Çekme dayanımındaki artış oranı %33 - %261 iken darbe dayanımındaki artış oranı %11 - %44 olarak hesaplanmıştır.

Sever, Sarıkanat, Seki, Tavman ve Sever (2011), çalışmalarında ısı çevrimin alkali ve siloksan yüzey işlemi uygulanmış jüt elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin tabakalar arası kayma dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Jüt kumaşlar 4 saat boyunca %2'lik sodyum hidroksit çözeltisi içinde bekletilmiştir. Ardından birkaç damla asidik asit içeren distile suyla yıkanmıştır. Yıkamadan sonra jüt kumaşlar 24 saat 60°C'deki fırın içinde kurutulmuştur. Alkali jüt kumaşların ağırlığının %1'i kadar oligomerik siloksan, alkol içerisinde çözülmüş ve jüt kumaşlar bu çözeltide 1 saat süreyle bekletilmiş ve tekrardan 24 saat

60°C'deki fırın içinde kurutulmuştur. Üretilen kompozit malzemelere, ısıl çevrim deneyi ile -25°C'den +85°C'ye ısıtılıp 5saat bekletilip tekrar soğutulması ve 5 saat bekletilmesi şeklinde 50, 100 ve 200 ısıl çevrim uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi takviye-matris arası yapışma oligomerik siloksan yüzey işleminle elde edilmiştir. Yapışma miktarı artıkça ısıl çevrimin etkisinin azaldığı görülmüştür. Buna göre oligomerik siloksan yüzey işlemi uygulanan jüt elyafla takviyelendirilmiş kompozitler ısıl çevrimden en az etkilenmiştir. Alkali işlem uygulanan jüt ile takviyelendirilmiş kompozitler hiç işlem yapılmamış jüt elyafla üretilen kompozitlere göre ısıl çevrimden daha az etkilenmiştir.

Croccolo ve ark. (2015), iki farklı çevre dostu reçineyi aynı keten elyaflar ile takviyelendirerek ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. 32 adet deney numunesi çekme, eğme ve kayma testlerinde kullanılmıştır. Çekme ve eğilme testlerinde elde edilen sonuçlar standartlara uygundur. Ancak kayma testi sonuçları kabul edilemez kırılma modları sergilediği için dikkate alınmamıştır. Bu nedenle karşılaştırma sadece çekme ve eğilme testi sonuçları için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre izoftalik reçine mukavemet ve sertlik açısından vinilester reçineden daha iyidir. İzofthalik reçine ile yapılan kompozitte mikroskobik gözlemede takviye ve matris arasında yapışmanın iyi olduğu ancak az miktarda hava içeriği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak İzofthalik reçinenin mekanik özelliklerinin keten elyaf takviyesiyle artırılabilirliği ve geleneksel reçineler yerine kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Dhakal ve ark. (2014), elle yatırma ve vakum paketlenme yöntemiyle üretilmiş jüt elyaf takviyeli doymamış polyeester (UP) matrisli kompozitlerin darbe davranışına sıcaklık ve darbe hızının etkisi incelemiştir. Bir dizi düşük hızlı darbe testi, düşen ağırlık sistemi kullanılarak üç farklı sıcaklıkta (30, 50 ve 75°C) ve iki farklı hızda (1,5 ve 2 m/s) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 30°C'de ki testte jüt/UP kompozitlerin yüksek yüklere dayanabildiğini göstermiştir. Daha sonra kompozitler darbenin ardından eğilme mukavemetini inceleyebilmek için üç nokta eğme testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan testler sonucunda sıcaklık ve darbe hızının enerji absorpsiyonu, darbe ve darbe sonrası hasar özelliklerinde önemli etken oldukları



görülmüştür. Test sıcaklığı artışının darbe sonrası eğilme mukavemetini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Ahmed, Vijayarangan ve Kumar (2007), çalışmalarında cam elyaf ve dokuma jüt kumaş takviyeli izoftalik polyester matrisli kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışını incelemiştir. 3 farklı oranda jüt-cam elyaf ve bir de sadece jüt kumaş takviyeli kompozitler kalıpta elle yatırma yöntemiyle üretilmiş ve oda sıcaklığında, düşük basınç altında kürlenmiştir. Düşük hızlı darbe testi, jüt ve karma kompozit numunelerine (150 x 150mm) uygulanmıştır. Deney numunelerinin tamamına düşürme yüksekliğini değiştirmek suretiyle dört farklı enerji seviyesi (5J, 10J, 15J ve 20J) uygulanmış ve yük-enerji-zaman verileri bir yazılım yardımıyla kaydedilmiştir. Numunelerden bazılarında hasarın doğasını ve kapsamını incelemek, delaminasyon alanını ölçmek için tahribatsız muayene testi uygulanmıştır. Darbe sonrası gerilme testi kompozitlerin hasar toleransı kapasitesini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Sonuçlara göre jüt katmanlarının darbe enerjisi sönümleme kapasitesi jüt-cam karma katmanlarından daha iyidir ancak hasar tolerans kapasitesi jüt-cam karma katmanlarından daha azdır.

Yapılan literatür araştırmasında, doğal lifler ile takviye edilmiş kompozit malzemeler üzerine olan çalışmaların genellikle:

- Üretim yöntemlerini,
- Elde edilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesini,
- Bileşenlerin kompozit malzeme içerisindeki davranışlarını,
- Farklı tipte ve oranlarda doğal elyaf kullanımının kompozit malzemenin özelliklerine etkisini,
- Matris ve doğal takviye malzemesi arasındaki uyum ve ara yüzey işlemlerini içerdiği görülmüştür (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Bu çalışmada ise selüloz esaslı jüt ve keten elyafdan dokunmuş jüt kumaş ve keten kumaş kullanılarak üretilen karma kompozitlerin çekme ve darbe davranışları araştırılmıştır. Farklı dizilimlerle oluşturulmuş iki ayrı kompozit plaka vakum

destekli reçine infüzyonu yöntemiyle üretilmiştir. Yüzey yapışma özelliklerinin artırılması amacı ile jüt ve keten kumaşlara alkali işlem uygulanmıştır. Darbe dayanımlarının belirlenmesi amacıyla numuneler kademeli olarak farklı enerji seviyelerinde test edilmiştir. Testlerde elde edilen veriler grafikler halinde hasar görüntüleriyle birlikte sunulmuş, karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır.



## BÖLÜM İKİ

### DOĞAL LİFLER

#### 2.1 Giriş

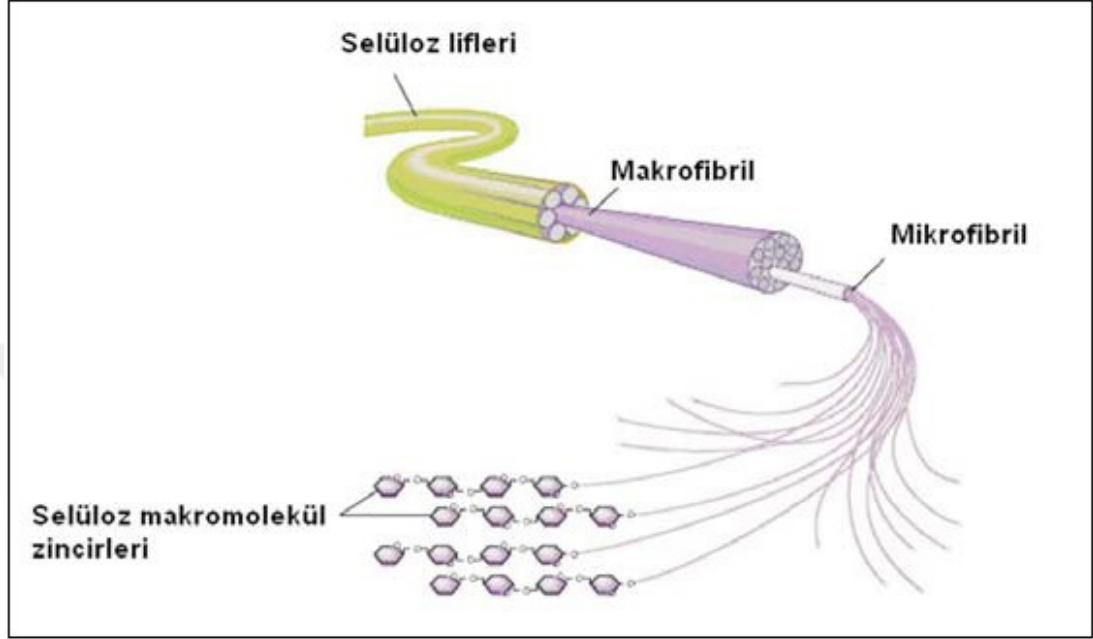
Kompozit malzemelerin sağladığı avantajlar ve çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılabilir olmaları bu alandaki araştırmaların ve üretim oranlarının artmasını sağlamıştır. Üretim oranındaki artış ve yaygınlaşma daha ucuz hammadde ihtiyacını da doğurmuştur. Ayrıca kullanım ömrünü tamamlayan ürünlerin imha edilmesi ya da geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Ancak cam, karbon, aramid gibi takviye ve epoksi, polyester, poliüretan gibi matris malzemeleriyle oluşturulan kompozitlerin birbirlerine kuvvetli şekilde bağlanmaları geri dönüştürülmelerini zor ve pahalı kılmaktadır. Bu takviye malzemelerinin üretim esnasında insan sağlığı açısından zararlı oluşları, pahalı hammadde, geri dönüştürülme zorlukları onlara alternatif oluşturabilecek ucuz, çevreye ve sağlığa zararsız takviye malzemeleri arayışını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda polimer matris malzemelerinin keten, kenevir, jüt, rami, sisal gibi doğal lifler ile takviyelendirilmesi günümüzde önemli bir noktaya ulaşmıştır.

#### 2.2. Bitkisel Lifler

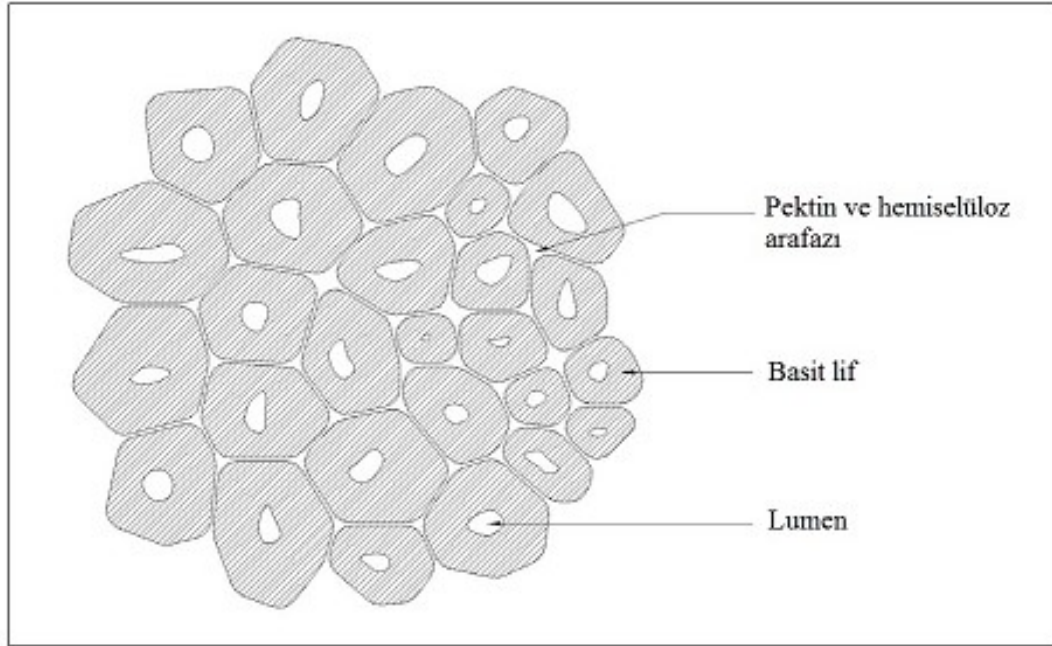
Bitkisel lifler doğaları gereği kompozit malzemelerdir. Lignin ve hemiselüloz matris içerisinde mikrofibriller takviye elemanı görevi görmektedir. Lifin kimyasal yapısındaki hidrojen köprüleri ve diğer bağlar life dayanım ve rijitlik kazandırır (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Bitkisel lifler temel olarak; sak (bast ya da sap da denebilir) lifleri (keten, kenevir, jüt, rami, kenaf), tohum lifleri (pamuk, kapok), yaprak lifleri (sisal, abaka, ananas, heneguen) ve meyve lifleri (hindistan cevizi) olarak sınıflandırılırlar. Bunlar arasında en iyi lifler sak lifleridir. Bu lifler uzun elementer elyaf demetlerinden oluşur. Elementer elyaf uzunlukları bitki çeşidine göre değişiklik gösterir. 5µm ile 15µm arası kalınlıkta hücre duvarlarına ve 15µm ile 35µm arası çapa sahiptirler. 12 ile 48

liftten oluşan bu elementer elyaf demeti teknik elyaf olarak adlandırılır. Pektin ve hemiselüloz matrisi içinde bir araya toplanırlar. Elementer liflerin yapısal özellikleri selüloz sayesinde oluşur (Croccolo ve ark., 2015).



Şekil 2.1 Selülozun mikro yapısı (Bulut ve Erdoğan, 2011)



Şekil 2.2 Teknik elyafın kesiti (Croccolo ve ark., 2015)

Tablo 2.1 Bazı bitkisel liflerin ölçüleri (Pai ve Jagtap, 2015)

Elyaf	Çap (µm)	Uzunluk (mm)
Keten	15-22	9-70
Kenevir	10-51	5-55
Jüt	15-35	2-5
Kenaf	14-33	2-6
Sisal	15-30	-
Abaka	10-30	-
Ananas	25-34	-
Pamuk	11-21	10-60

Tablo 2.2 Farklı bitkisel liflerin kimyasal kompozisyonu (Chaudhary, Gohil ve Shaikh, 2015)

Bileşenler ağırlıkça %	Pamuk	Jüt	Keten	Kenevir	Sisal	Kenaf	Rami
<b>Selüloz</b>	82,7	61-71,5	64,1-71	70,2-74,4	65,7-78	31-39	68,6-76,2
<b>Hemiselüloz</b>	5,7	13,6-0,4	16,7-20,6	17,9-22,4	10,0-14,2	21,5	13,1-16,7
<b>Pektin</b>	-	0,2	1,8-2,3	0,9	10,0	-	1,9
<b>Lignin</b>	-	12-13	1,7-2,0	3,7-5,7	9,9	-	0,6-0,7
<b>Parafin</b>	0,6	0,5	1,5-1,7	0,8	2,0	-	0,3
<b>Nem</b>	10,0	10,0	10,0	10,8	11,0	-	8,0

Polimer matris kompozitlerde kullanılan keten, kenevir, rami, kenaf, sisal, heneguen ve jüt gibi çevre dostu bitkisel lifler cam elyafa alternatif oluşturmaktadır. Doğal lifler sağlık ve güvenlik açısından üretim esnasında daha az endişe uyandırır. Buna ek olarak düşük yoğunlukları ve düşük maliyetleriyle birlikte sentetik liflerle karşılaştırılabilir mekanik özellikler sunarlar (Huo ve ark., 2013). Ancak sentetik lifler istenilen özelliklere sahip olacak şekilde standart olarak üretilebilirken, doğal lifler üretim yeri, toprak yapısı, iklim şartları gibi faktörlere bağlı olarak her zaman standart özellikte yetiştirilemezler. Bu doğal elyaf takviyeli kompozitlerin dezavantajlarından biridir.

Bütün bitkisel lifler farklı yüzey morfolojisine, mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bazı karmaşık yüzey morfolojisine sahip bitkisel lifler, polimer-elyaf ara yüzeyinde farklı yapışma özellikleri sergiler. Bundan dolayı da her bitkisel kaynaklı elyaf kompozitlerde kullanılmaya uygun değildir. Ayrıca bitkisel liflerin boyutları büyüme ve iklim şartlarına göre farklılık gösterir. Çoğunlukla doğal lifler

lignoselüloziktir, ancak aynı zamanda hemiselüloz, pektin, yağ, silika, parafin ve diğer suda çözünür bileşenleri içerirler. Bu bileşenlerin konsantrasyonunun bilinmesi doğal elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi sırasında çok gereklidir. Selüloz bir yarı kristalli polisakarittir, hemiselüloz ise yüksek oranda dallanmış amorf bir polimerdir. Fiber matris arası yapışmanın fazla olabilmesi için parafin içeriğinin en az seviyede olması gerekir (Pai ve Jagtap, 2015).

Tablo 2.3 Bazı bitkisel liflerin fiziko-mekanik özellikleri (Faruk ve ark., 2012)

Elyaf	Kopma mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Abaka	400	12	3-10	1,5
Bambu	140-230	11-17	-	0,6-1,1
Keten	345-1035	27,6	2,7-3,2	1,5
Kenevir	690	70	1,6	1,48
Jüt	393-773	26,5	1,5-1,8	1,3
Kenaf	930	53	1,6	-
Sisal	511-635	9,4-22	2,0-2,5	1,5
Rami	560	24,5	2,5	1,5
Ananas	400-627	1,44	14,5	0,8-1,6
Hindistan cevizi	175	4-6	30	1,2

Tablo 2.4 Bazı sentetik elyafların fiziko-mekanik özellikleri (Pai ve Jagtap, 2015)

Elyaf	Kopma mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
E-camı	2000-3500	70	0,5	2,5
S-camı	4570	86	2,8	2,5
Aramid	3000-3150	63-67	3,3-3,7	1,4
Karbon	4000	230-240	1,4-1,8	1,4

## 2.2.1 Sak Lifleri

### 2.2.1.1 Keten

Son yıllarda sürdürülebilir malzemelerin geliştirilmesi için artan gereksinimler keten elyafın kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanımını hızla yaygınlaştırmaktadır. Keten elyaf uygun maliyetlidir ve cam elyafla karşılaştırılabilir mekanik özelliklere sahiptir. Keten elyaf ile termoplastik, termoset ve biyolojik

olarak parçalanabilen matrislerle yapılan kompozitler iyi mekanik özellikler sergilemişlerdir (Yan ve ark., 2014).

Keten bitkisi, *Linum Usitatissimum*, Linaceae familyasının bir üyesi olup en yaygın kullanılan doğal liflerden biridir. Keten hem lifleri için hem de tohumlarından elde edilen yağı için yetiştirilir. Lifleri ve yağı için üretilen keten bitkileri birbirlerinden farklıdır. Lifleri için yetiştirilen keten bitkisi ince, uzun; tohumu için yetiştirilen keten bitkisi kalın ve kısadır. Tohumları %40-45 oranında yağ içerir ve bu yağ boyacılıkta kullanılır. Keten lifleri bitkinin sap ve gövde kısmından elde edilir (Başer, 2002). Keten saplarının uzunlukları yaklaşık olarak 80cm, çaplarıysa 1-2mm'dir. Genellikle günlük sıcaklığın 30°C'nin altında olduğu ılıman bölgelerde yetiştirilir (Zhu ve ark., 2013).

Keten öncelikle tekstilde iplik ya da dokuma olarak kullanılmıştır. Mısır'da M.Ö. 5.000'lerden kalma mezarlarda keten bulunmuştur. Kvavadze ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, Dzudzuana Mağarası (Gürcistan) civarında 30.000 yıldan daha fazla zaman önce, tarih öncesi avcı toplayıcıların bükülmüş yabani keten elyafından taş aletleri bir arada tutmak için ip yaptıklarını, sepet dokuduklarını ve giysi diktiklerini anlatmışlardır. Buradan da anlaşılmaktadır ki ketenin iplik ya da kumaş haline getirilmesi işlemleri binlerce yıl önceden geliştirilmiştir.



Şekil 2.3 Keten elyafı (Baltic, b.t.)

Kanada, 1994'den beri dünyanın en büyük keten üreticisi ve ihracatını yapan ülkedir. Kanada 2005-2006 yıllarında yaklaşık 1 milyon ton keten üretmiş ve %60'ını Avrupa'ya, %30'unu Amerika'ya ve %4'ünüde Japonya'ya ihraç etmiştir. Diğer önde gelen keten üreticileri Fransa, Belçika ve Hollanda'dır. 2007'de, Avrupa'da 122.000 ton keten elyafı üretilmiştir. Bu bölgelerde iklim şartları keten yetiştirmek için çok uygundur. Keten, dünya çapında artan taleple önemli bir gelir kaynağı haline gelmiştir. Ketenin yetiştirme süresi kısadır. Avrupa'nın batı bölgelerinde mart ayında ekilen keten temmuz ayında yaklaşık 100 gün gibi bir sürede hasat edilebilir. Güzel ve düzenli uzunluktaki keten elyafı genellikle yüksek kaliteli ev tekstili ürünlerinde, mobilya kumaşı olarak ve iç dekorasyon aksesuarlarında kullanılır. Kısa keten elyafından yelkenlerde, mutfak havlularında, çadırlarda ve tuvalerde kullanılmak üzere ağır iplikler üretilir. Kompozitlerde takviye ve dolgu olarak kullanılan daha düşük kaliteli elyaf ise otomotiv sektöründe kullanılır (Yan ve ark., 2014).

Olgunluğa erişen keten bitkileri kesilmeden topraktan yolunarak hasat edilir. Kökleri ve sapları aynı yönlere gelecek şekilde demetler halinde tarlada kurumaya bırakılır. Yaprakları kuruyup döküldükten sonra çürütme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 2.4 Hasat edilmiş keten demetleri (Interloom, b.t.)



Çürütme işlemi keten elyafını yapışık olduğu diğer dokulardan ayırma işlemidir. Bu işlem için çeşitli yöntemler kullanılır (Başer, 2002):

Çiğ ile çürütme: nem oranı yüksek bölgelerde keten sapları çayirlara serilerek, nemli havanın etkisiyle çoğalan mikroorganizmalar tarafından çürümeye bırakılır. Mikroorganizmalar elyaf demetlerini odunsu hücrelere bağlayan pektin maddesini bozundurlar. İşlem 1-1,5 ayda tamamlanır. Bu yöntemle yumuşak elyaflar elde edilir (Başer, 2002).

Su ile çürütme: kurak bölgelerde keten sapları su ile ıslatılarak çürütülür. Islatma işlemi havuzlar içinde durgun suda ya da akarsu üzerinde yapılır. Durgun suda yapılan çürütme işleminde mikroorganizmaların faaliyetlerinden dolayı sıcaklık yükselir ve çürümeye 4-7 günde biter. Ancak bu yöntemde havuz sıcaklığının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Aksi halde mikroorganizmalar dış pektini parçaladıktan sonra iç pektini de bozundurarak elyaf demetlerine zarar vermeye başlarlar. Bu duruma ketenin pamuklaşması veya kotonize olması denir. Bu durumda ketenin kalitesi düşer. Akarsularda yapılan çürütme işleminde su devamlı olarak değiştiği için sıcaklık yükselmesi görülmez. Akarsu sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösteren çürümeye işlemi 1-6 hafta arası sürer (Başer, 2002).

Kimyasal çürütme: Keten sapları %3'lük HCl ile havuzlarda 2-3 gün süreyle bekletilir. Daha sonra yıkanıp nötrale edilir. Bu yöntemle diğer çürütme yöntemlerinden daha hızlı ancak daha düşük kaliteli elyaflar elde edilir (Başer, 2002).

Çürütme işleminden sonra elyaf demetleri açık havada veya güneşsiz yerde kurutulur. Kurumuş sapsar tokmakla dövölüp, mengenez adı verilen bu işleme özel küt ağızlı bıçaklarla kırılır. Odunsu kısım dökölür ve geriye elyaf demetleri kalır. Son olarak keten lifleri üzerinde kalmış odunsu parçaları ayırmak için çırpılır, daha sonra uzun ve kısa lifleri birbirlerinden ayırmak için taraklama işlemi yapılır (Başer, 2002).

### 2.2.1.2 Jüt

Doğal liflerin en ucuzu olan jüt bitkisi Corchorus familyasından yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir (Faruk ve ark., 2012). Ticari amaçla yetiştirilen çeşitleri ise beyaz jüt diye bilinen ve daha hafif Corchorus Capsularis ve daha yumuşak ve güçlü olan Corchorus Olitorius'tur. Jüt lifleri işlendikten sonra bile doğal parlaklığını koruduğundan altın elyaf olarak da adlandırılırlar. Bu bitkilerin boyu 2m ile 4m arası olabilir (Tekstil, 2013).



Şekil 2.5 Jüt elyafı (Jutekott, b.t.)

Pamuktan sonra dünyada en fazla üretimi yapılan bitkidir. Tropik iklimde yetişen bu bitkinin anavatanı Hindistan'dır. Dünya çapında üretiminin %80'i Hindistan, Pakistan ve Bangladeş'te gerçekleştirilir (Başer, 2002). Üretimin bu bölgelerde fazla olmasının bir nedeni de işçiliğin çok ucuz olmasıdır. Bu bölgeler dışında Çin ve Malezya'da da yetiştirilmeye başlanmıştır. Ayrıca Akdeniz ülkelerinde de Corchorus Olitorius cinsi yetiştirilmektedir. Amerika'da ise Teksas ve Güney Karolina eyaletlerinde üretilmektedir (Jütsan Ambalaj Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, b.t.).

Toplanması oldukça zor olan bitki yaklaşık üç ayda yetişkin hale gelir. Çiçek açtığı zaman toplanmalıdır. Tohum dönemine rastlayan mahsul ise ağır olur ancak elyafları kalınlaşmış ve sertleşmiştir. Toplanan jüt bitkisi balyalar halinde havuzlara atılır ve üzerleri orman bitkileri, hayvan gübresi ile örtülerek bekletilir. Kirli ve

havasız su içinde jüt kabukları çürütülür. Çürütme sonunda elyaf demetleri kabuklarından elle soyularak ayrılır. Lifler daha sonra kurumaları için serilir (Tekstil, 2013). Elde edilen liflerin boyu 18-25cm'dir. İlk elde edildiğinde açık sarı olan lifler zamanla açık kahverengiye dönüşür. Kenevirde daha parlak elyaf elde edilir. Daha sonraki işlemler fabrikalarda makinelerle yapılır. Lifler taraklanarak temizlenir, bobinlere ip olarak sarılır. Jüt elyafının esnekliği azdır. Diğer selülozik liflerde olduğu gibi nem emiciliği fazladır. Mukavemeti keten ve kenevirde düşüktür. Dünyada üretilen jütün büyük bir kısmı çuval, örtü kumaşı, ip ve sicim yapımında kullanılır (Başer, 2002).



Şekil 2.6 Hasat edilmiş jüt demetleri (Janata, b.t.)

### 2.2.1.3 Kenevir

Kenevir, ısırgangillere yakın, Cannabinaceae familyasına mensup, tek yıllık odunsu bir bitkidir. Anavatanı Asya olan bitki çeşitli şekillerde dünyaya yayılmıştır. Günümüzde iki alt türü vardır. Bunlar Cannabis Sativa ve Cannabis Indica'dır. Elyaf üretimi için kullanılan ve endüstriyel öneme sahip olan cinsi Cannabis Sativa'dır. Diğer türünün narkotik özellikleri nedeniyle tüm dünyada üretimi yasaklanmıştır (Gedik, Avinç ve Yavaş, 2010).

Kenevir bitkisi lifleri, tohumlarıysa yağı için yetiştirilir. Bitki dişi ve erkek olmak üzere iki tiptir. Ekiminden itibaren hasat süresi 120-140 gündür. Lifleri kabuk kısmında demetler halinde bulunur. Liflerin elde edilmesi için çürütme, dövme ve taraklama işlemi yapılır (Başer, 2002).



Şekil 2.7 Kenevir bitkisi kesiti (Rediscoverhemp, b.t.)

#### 2.2.1.4 Rami

Rami bitkisi Urticaceae (Boehmeria) familyasına ait yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir (Faruk ve ark., 2012). Anavatanı Çin'dir. Ayrıca Tayland, Kore, Filipinler ve Brezilya'da da üretilmektedir. Çalimsı ve çok yıllık bir bitkidir. Bitkinin ömrü 6 ile 20 yıl arasında değişmektedir (Rami, 2013). Genellikle sıcak ve orta kuşak iklimlerde yetişir. Lifleri kabuk kısmında bulunur ancak diğer sak liflerinin aksine demetler halinde değil tek tek dizilmiştir (Başer, 2002).



Şekil 2.8 Rami bitkisi (Rami, b.t.)

Yaprakları sararan bitkinin hasadı yapılır. Bitki henüz yaşken kabuk kısımları elle veya makinelerle bir bıçak yardımıyla sıyrılarak soyulur. Elde edilen elyafların üzeri yapışkan bir maddeyle kaplıdır. Bu madde elyafa sertlik ve kırılmalık verir. Bu hal ham rami olarak adlandırılır. Üzerindeki yapışkan maddenin giderilmesi için kimyasal maddeler ya da mikroorganizmalar yardımıyla çürütme işlemi yapılır. Çürütme işleminden sonra lifler yumuşak hale gelir (Başer, 2002).

#### *2.2.1.5 Kenaf*

Kenaf (*Hibiscus Cannabinus*) bitkisi Malvaceae familyasına ait yıllık bir bitkidir. Kenaf bitkisi Hindistan, Bangladeş, Tayland, Afrika, Avrupa'nın güneyi ve Amerika'nın ılıman iklim bölgelerinde yetişir. Kenaf bitkisi 4 ile 5 ayda 1,5m ile 3,5m arasında büyüebilmektedir. Elyaf üretiminin yanı sıra kağıt üretiminde de kullanılmaktadır.



Şekil 2.9 Kenaf elyafı (Textileacademia, b.t.)

### **2.2.2 Tohum Lifleri**

#### *2.2.2.1 Pamuk*

Pamuk (*Gossypium Hirsutum*) bitkisi Malvaceae familyasına ait anavatanı Hindistan olan bir yıllık bir bitkidir. Antartika hariç dünyanın her yerinde yetişebilmesine rağmen bitki nemli ve sıcak iklimi, alüvyonlu ve kuvvetli toprağı sever. Sıcak bölgelerde şubat, soğuk bölgelerde mart-nisan aylarında ekilen



tohumdan, üretim şartlarına göre boyu en fazla 1m olan bitki elde edilir (Wikipedia-pamuk, b.t.). 80-100 gün sonra en yüksek boyuna ulaştığında çiçek açar. Çiçekleri kuruyup döküldüğünde ise ceviz büyüklüğünde bir tohum zarfı oluşur. Bunun içindeyse 4-20 adet kadar tohum bulunur. Koza adı verilen tohum zarfının, olgunluğa erişme süresince tohumlar üzerinde uzun ve ince lifler oluşur. Çiçekten sonra kozanın olgunlaşması 45-50 gün kadar sürer. Koza olgunluğa eriştikten sonra çatlar ve pamuk tohumları bir lif kütle ile kaplı halde açığa çıkar. Pamuk tohumları üzerinde 10-20 bin kadar lif vardır. Hasadı ağustos ve ekim ayları arasında yapılır. Elle veya makinelerle toplanan pamuklara koza kabukları ve tohumlarından ayırmak için çırçır makinelerinde işlem görürler. Daha sonra balyalar halinde iplik fabrikalarına yollanırlar (Başer, 2002).



Şekil 2.10 Toplanmaya hazır pamuk (Wikipedia-pamuk, b.t.)

#### 2.2.2.2 Kapok

Kapok (*Ceiba Pentandra*) ağacı Malvaceae familyasına ait tropikal bir ağaç türüdür. Hindistan, Java, Sumatra ve Afrika'da yetişir. Ağacın kapsül şeklindeki meyvesi içinde tohumuyla birlikte bulunan lifler elle veya makineler yardımıyla kapsüllerden ayrılır. Tohumları liflerden pamuğa göre daha kolay ayrılır. Hacimsel yoğunluk bakımından pamuğun altıda biri ağırlıktadır. Hafif olduğu için dolgu maddesi olarak kullanılır. Lif yapısındaki gözenekler yüzünden iyi hava ve ısı izolasyonu sağlar. Ayrıca bilinen en iyi ses tutucudur. Hafifliği ve ses izolatörü olması nedeniyle uçaklarda kullanılır (Başer, 2002).



Şekil 2.11 Kapok (Wikipedia-ceiba, b.t.)

### 2.2.3 Yaprak Lifleri

#### 2.2.3.1 Sisal

Sisal (Agave Sisalana) Agavaceae familyasına ait sıcak ve nemli iklimde yetişen bir bitki türüdür. Yapraktan elde edilen liflerden en fazla sisal üretilir. Brezilya, Afrika ve Endonezya'da yetiştirilen bitki 7-8 yıllık olduğunda lifleri için kullanılabilir. Yaprakların %80-85'i sudur. Yapraklardan çürütme yöntemiyle lifler elde edilir. Bu bitkiden 15-20 yıl boyunca ürün alınabilir. Sisal lifleri birbirlerine yapışık halde bulunan hücre demetleri şeklindedir. Liflerin boyu 100cm'e kadar ulaşır. Elyafta küçük gözeneklerin olmasından dolayı nem çekme özelliği fazladır. Tuzlu suya karşı dayanımı oldukça fazladır (Başer, 2002).



Şekil 2.12 Sisal bitkisi (Sisal, b.t.)

### 2.2.3.2 *Abaka*

Abaka (*Musa Textilis*) Musaceae familyasından 8-20 yıl yaşıyan tropikal bir bitkidir. Filipinler’de yetişir ve dünya üretiminin %94’ünü bu ülke karşılar. Yaprak kınları içinde lifler demetler halinde bulunur. Yapraklar bitki çiçeklenmeye başladığında hasat edilir. Lifler yapraktan sıyırma ile ayrılır ve güneşte kurutulur. Nem çekici özelliği azdır (Başer, 2002).



Şekil 2.13 Abaka (Wikipedia-abaca, b.t.)

### 2.2.4 *Meyve Lifleri*

#### 2.2.4.1 *Hindistan Cevizi*

Hindistan cevizi (*Cocos Nucifera*) Arecaceae familyasından tropik bölgede yetişen bir bitkidir. Meyvesinin üstünü örten lifli tabakadan elde edilir. Seylan, Hindistan ve Pakistan’da yetiştirilir. Hindistan cevizi kabukları nehirlerde 6-12 ay bekletilerek odunsu hücreleri liflere bağlayan yapışkan maddenin bozunması sağlanır. Bu şekilde lifler birbirlerinden ayrılacak hale gelir. Kabuklar kurutulur ve tokmaklarla dövülür lifleri ayrılır. Esneklikleri ve suya karşı dirençleri fazladır.





Şekil 2.14 Hindistan cevizi elyafı (Sanctuarysoil, b.t.)

## BÖLÜM ÜÇ

### MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1 Kompozit Plakaların Üretiminde Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1 Jüt Kumaş

Bu çalışma kapsamında üretilen kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan dokuma tip jüt kumaşlar Jütsan Ambalaj firmasından temin edilmiştir. Genişliği 1m olan kumaşın gramajı  $320\text{gr/m}^2$ 'dir. Herhangi bir işlem görmemiş kumaş, 1 cm'de 5 çözgü ve 6 atkıdan oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Jütsan Ambalaj firmasından temin edilen dokuma tip jüt kumaş

##### 3.1.2 Keten Kumaş

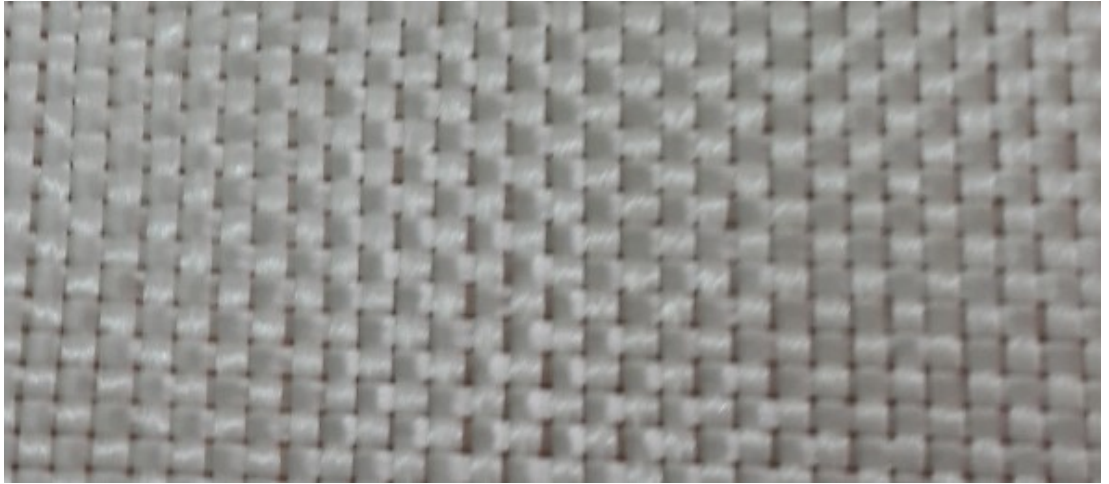
Diğer bir takviye malzemesi ise ham ketendir. Keten kumaşlar Gül İpek firmasından temin edilmiştir. Kodu 3053 olan naturel gri keten kumaşların eni 140cm'dir. 1 cm'de 11 atkı ve 14 çözgü bulunmaktadır. 100x140cm'lik kumaşın ağırlığı 350gr'dır. Kumaşlar herhangi bir kimyasal işlem görmemiş sadece basit yıkama ve ütüleme yapılmıştır.



Şekil 3.2 Gül İpek firmasından temin edilen 3053 kodlu naturel gri keten kumaş

### **3.1.3 Cam Dokuma Kumaş**

Üretilen kompozitlerin yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla dış yüzeylerine birer kat ağırlığı  $300\text{gr/m}^2$  olan cam dokuma kumaş kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Cam dokuma kumaş

### **3.1.4 Epoksi**

Matris malzemesi olarak Huntsman marka Araldite LY 1564 epoksi reçine ve Aradur 3487 sertleştirici kullanılmıştır. Markanın tavsiye ettiği karışım oranına göre 100gr epoksi reçine için 34gr sertleştirici ilave edilerek reçine hazırlanmıştır.

## 3.2 Kompozit Plakaların Üretim Yöntemi

### 3.2.1 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Yöntemi

Bu yöntem, vakum aracılığıyla reçinenin katmanların içine dolması ve arada kalan havanın tahliye edilmesi prensibine dayanır. Yöntem sayesinde çok az boşluklu, yüksek mekanik özelliklere sahip parçalar üretilebilir.

Reçine transfer kalıplama ve sıcak kalıplama yöntemleriyle boyut ve diğer kısıtlamalardan dolayı elde edilemeyen tekne gövdeleri, rüzgar türbin kanatları, otobüs parçaları, prefabrik modüler çatı parçalarında reçine infüzyon yöntemi standart üretim yöntemi haline gelmiştir (Poliya, b.t.).

Yöntemin avantajları:

- Tek taraflı bir kalıp üretim için yeterlidir (Ataş, 2009).
- Çok sağlam bir kalıba ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla kalıp maliyeti daha düşüktür (Ataş, 2009).
- Tasarım için hemen hemen hiçbir boyut sınırlaması olmaz, ikinci bir ekleme işlemine gerek duyulmadan büyük parçalar üretilebilir (Mula, 2006).
- Elle yatırma yönteminde kullanılan kalıplar modifiye edilerek bu yöntemde kullanılabilir hale getirilebilir (Ataş, 2009).
- Stiren emisyonu çok azdır, bu nedenle iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından riskleri daha düşüktür (Mula, 2006).
- Uygulayıcının beceri ve yeteneğine bağımlı olmayan bir yöntemdir (Poliya, b.t.).
- Hava boşluğu kalmadığı için katmanların sıkı ve sağlam olmasının yanında kalınlık daha tutarlıdır (Poliya, b.t.).
- Çekme ve boyut bozulmaları minimum seviyededir (Poliya, b.t.).

Yöntemin dezavantajları:

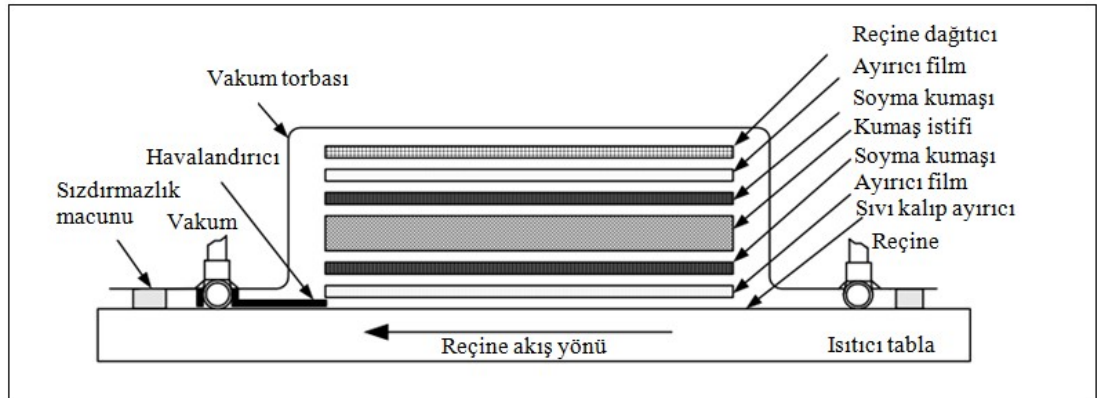
- İşlem basamakları kısmen karışıktır (Ataş, 2009).
- Reçine ile ıslanmamış yer kalması durumunda pahalı atık malzeme oluşur (Ataş, 2009).
- Kalıpta, vakumda veya üretim öncesi yapılan işlemlerdeki hata tüm ürünü etkileyeceğinden dikkatli ve özenli çalışılması gerekmektedir (Mula, 2006).

### 3.2.2 Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Yönteminde Kullanılan Malzemeler ve Fonksiyonları

*Ayırıcı film:* Genellikle takviye malzemeleriyle doğrudan temasta olacak şekilde yerleştirilir. Katmanları reçine dağıtıcıdan ayırır. Havanın ve uçucuların çıkmasına engel olmamak için delikli yapıya sahiptirler (Ataş, 2009).

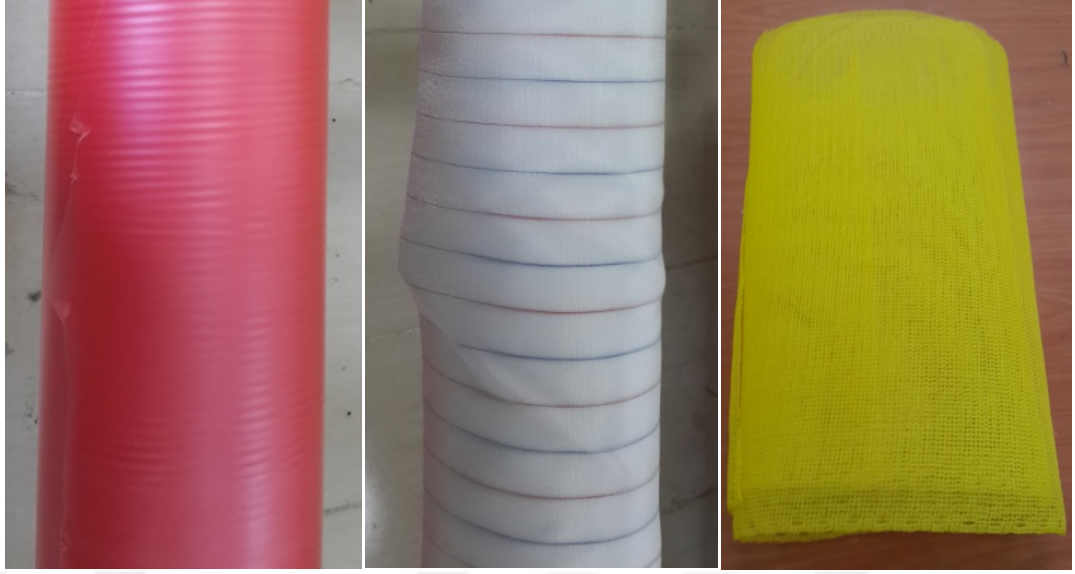
*Soyma kumaşı:* Takviye malzemeleri yüzeylerine yerleştirilir. Örgülü-dokumalı üretilirler. Güçlü ve ısıl dirençleri yüksektir. Kürleme sonunda katmanlara parlaklık verirler (Ataş, 2009).

*Reçine dağıtıcı film:* Yüksek oranda geçirgen olan bu film reçinenin elyaflara hızlıca yayılmasını sağlar (Ataş, 2009).



Şekil 3.4 Vakum destekli reçine infüzyon tekniği (Ataş, 2009)





Şekil 3.5 Ayırıcı film, soyma kumaşı ve reçine dağıtıcı film

*Havalandırıcı:* Kurlenme esnasında havanın ve uçuların atılmasını kolaylaştırır (Ataş, 2009).

*Vakum torbası:* Kapalı bir ortam oluşturarak üretilecek parçayı dış ortamdan izole eder. Sızdırmazlık macunuyla birlikte kalıp kenarlarından sabitlenir (Ataş, 2009).



Şekil 3.6 Vakum torbası

*Sızdırmazlık macunu:* Çift yönde yapışarak kalıp ile vakum torbasını birbirine yapıştırmaya yarar. Ayrıca spiral hortumlar ve fittings malzemelerini sabitlemekte kullanılır (Ataş, 2009).

### 3.3 Yüzey Modifikasyonu

Kompozit malzemelerde, takviye ve matris elemanları arasında oluşan bağlar ara yüz fazını oluşturur. Ara yüz fazının sahip olduğu bağ kuvveti oluşturulan kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirler. Yapıya uygulanan yük ara yüz fazı tarafından takviye malzemelerine iletilmektedir. Bu nedenle ara yüz fazı oldukça önemlidir. İyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde etmek ve takviye malzemelerinden en yüksek seviyede yararlanabilmek için ara yüzey boyunca iyi bir yapışma sağlanmalıdır. Bu amaçla takviye-matris arasındaki zayıf ara yüzeyin geliştirilmesi için farklı kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Yüzey modifikasyon işlemleriyle elyafın yüzey pürüzlülüğü artırılarak sürtünmeyle kopma gerilmesi artırılabilir, bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılarak bağların dayanımı artırılabilir (Bulut ve Erdoğan, 2011).

#### 3.3.1 Alkali İşlem

Alkali işlem, termoset ve termoplastik matris malzemelerinin doğal elyafı takviye edileceği zaman uygulanan en yaygın kimyasal modifikasyon işlemidir (Faruk ve ark., 2012). Alkali işlem çeşitli oranlarda hazırlanan sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisiyle yapılabilir. Elyaf çözeltide farklı sıcaklık ve sürelerde bekletilebilir. Bütün bu faktörlere bağlı olarak işlemin etkinliği değişmektedir. Elyafda bulunan pektin, lignin, selüloz ve vaks gibi maddeler elyafın matris malzemesine bağlanmasına engel olup ara yüz fazını ve oluşturulacak kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Alkali işlemle elyafın yüzeyinde bulunan bu gibi maddelerin bir kısmı uzaklaştırılmış olur. Ayrıca elyaf yüzeyinin pürüzlülüğünün artmasıyla takviye-matris ara yüzünde mekanik bağlanmaya imkan sağlar. Aşırı miktarda yapılan alkali işlem sonucu elyaf zarar görebilir. Bu nedenle optimum değerlere ulaşmak gerekmektedir.

Bu çalışmada jüt ve keten kumaşlara ayrı ayrı alkali işlem uygulanmıştır. Her iki işlemde de %1'lik NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. 100lt saf suya 1kg NaOH eklenerek karıştırılmış, ardından kumaşlar düzgün bir şekilde çözeltinin içerisine

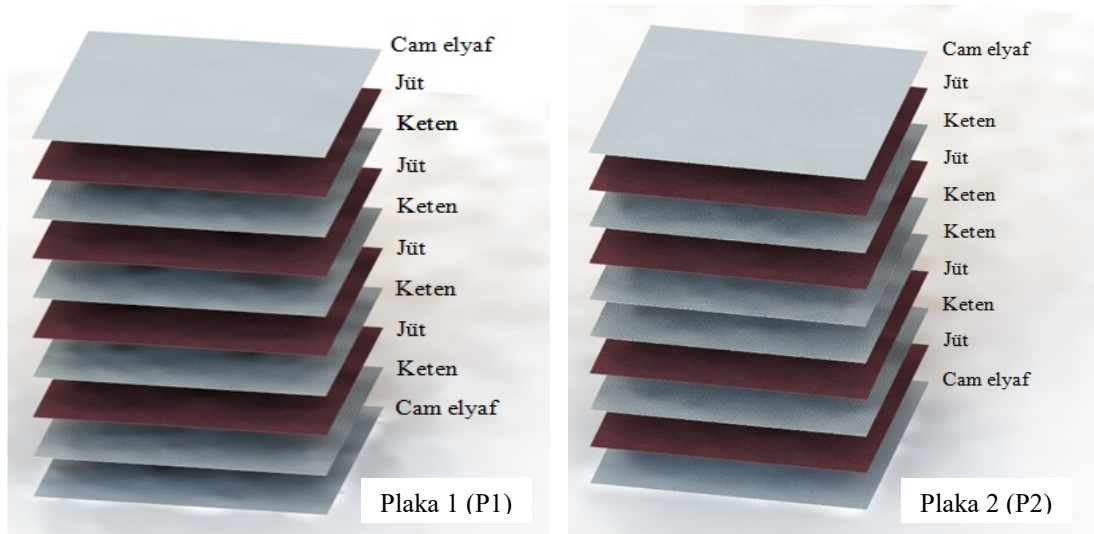
yerleştirilmiştir. 2 saat süreyle çözeltide bekletilen kumaşlar daha sonra çeşme suyuyla ph 7 olana dek yıkanmıştır. Güneş görmeden, ortam sıcaklığında kurutulmuş, ardından etüvde 80°C’de 2 saat bekletilmiştir.



Şekil 3.7 %1’lik NaOH çözeltisi ile yapılan alkali işlem

### 3.4 Kompozit Plakaların Üretilmesi

Kompozit plakalar vakum destekli reçine infüzyonu yöntemiyle iki çeşit olarak üretilmiştir. Her iki plakanın da dış yüzeylerine birer kat cam elyaf yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8 Üretilen kompozit plakalarda katmanların sıralanışı



İlk plaka en altta keten olmak üzere; *keten-jüt-keten-jüt-keten-jüt-keten-jüt* sırasıyla 4 kat jüt ve 4 kat ketenden oluşturulmuştur. İkinci plaka ise yine 4 kat jüt ve 4 kat ketenden *jüt-keten-jüt-keten-keten-jüt-keten-jüt* sıralamasıyla oluşturulmuştur. Üretilen her iki plakada %48 lif hacim oranına sahiptir.

Her iki plakada Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvar'ında üretilmiştir. Kompozit plakaların üretimindeki adımlar sırasıyla aşağıda verilmiştir:

1- Kompozit malzeme üretim tezgahının ısıtıcı yüzeyi temizlenir.



Şekil 3.9 Kompozit malzeme üretim tezgahı

2- Kompozit malzeme üretim tezgahı üzerine ayırıcı film serilir.

3- Ayırıcı film üzerine soyma kumaşı serilir.

4- Üretimden önce etüvde 2 saat boyunca 80°C'de bekletilerek nemi alınan kumaşlar Şekil 3.8'de gösterilen sırayla istiflenir.

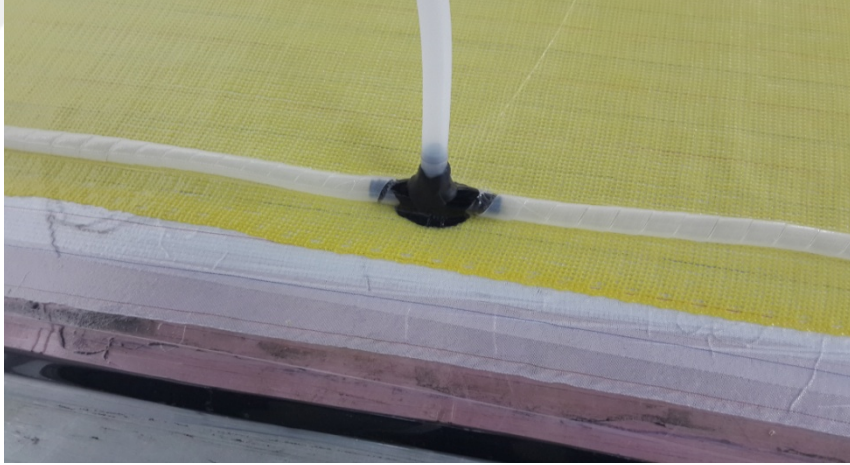
5- Kumaşlar üzerine sırasıyla soyma kumaşı ve ayırıcı film serilir.



Şekil 3.10 Kumaşlar üzerine soyma kumaşı ve ayırıcı filmin serilmesi

6- En üste reçine dağıtıcı film serilir.

7- Reçinenin verileceği ve diğer taraftan havanın çekileceği kısımlara spiral hortumlar yerleştirilir. Spiral hortumlar sızdırmazlık macunlarıyla sabitlenir.



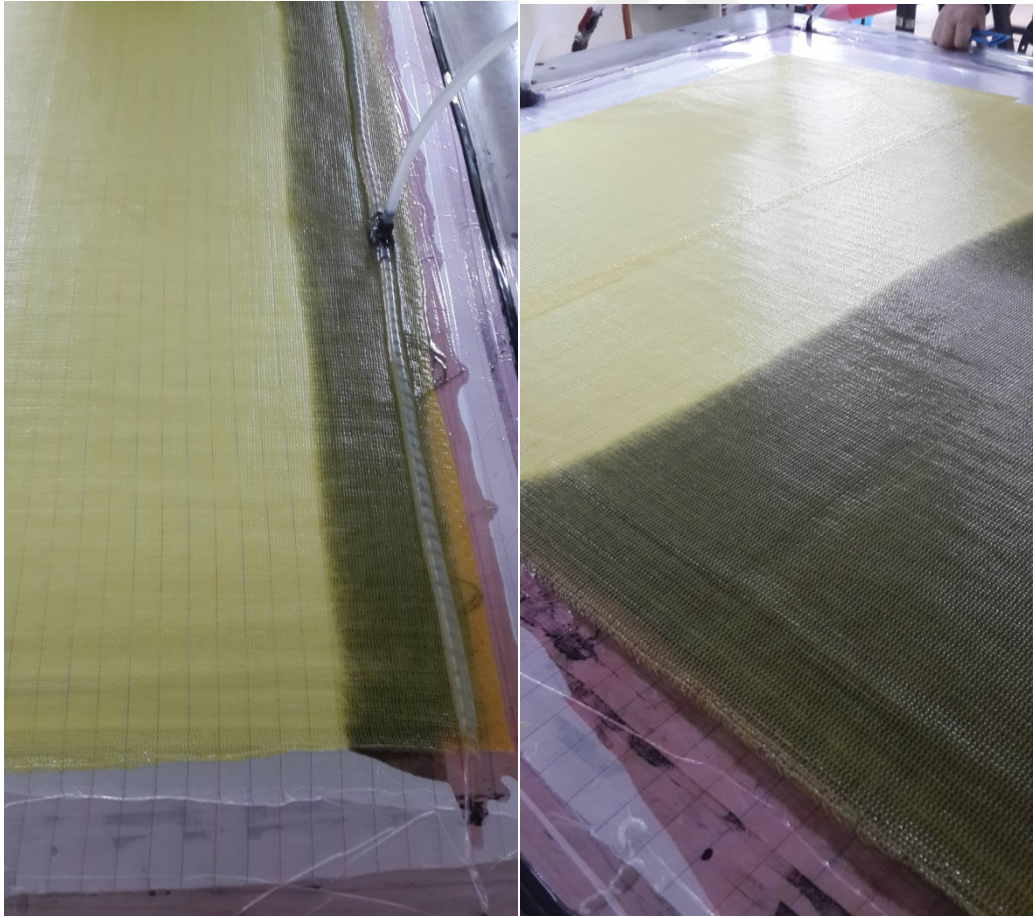
Şekil 3.11 Spiral hortumların sabitlenmesi

8- Vakum torbası en üste serilir ve çift taraflı yapışkan sızdırmazlık macunlarıyla yapıştırılarak kumaşlar dış ortamdan izole edilir. Hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilir.



Şekil 3.12 Vakum torbasının sızdırmazlık macunlarıyla yapıştırılması

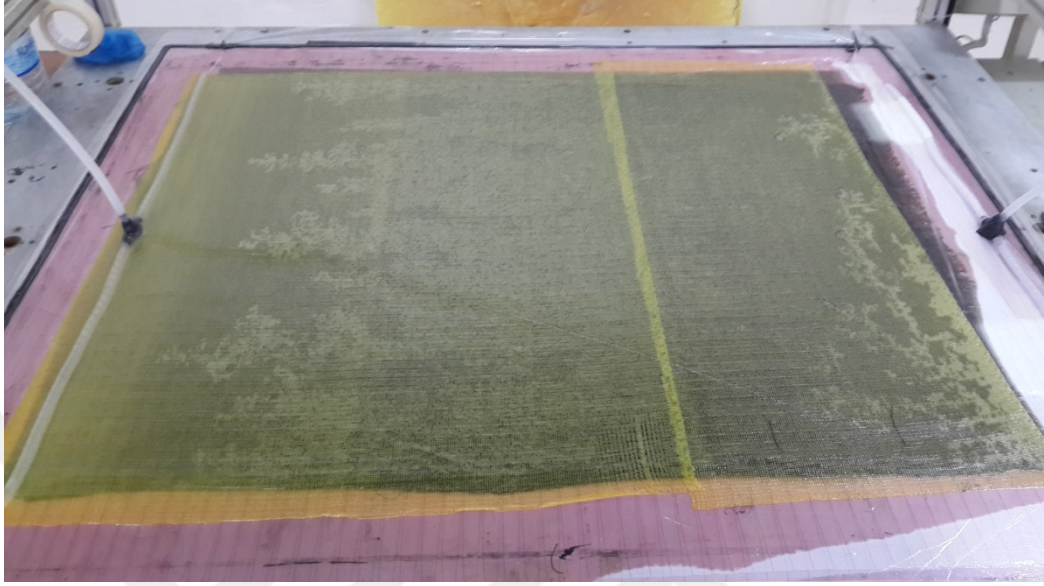
9- 50°C’de, 30dk boyunca reçinenin vakum yardımıyla kuru kumaşlara tamamen nüfuz etmesi sağlanır. Reçine emdirilirken emiş hortumundan hava girmemesine dikkat edilir.



Şekil 3.13 Vakum yardımıyla reçinenin emdirilmesi

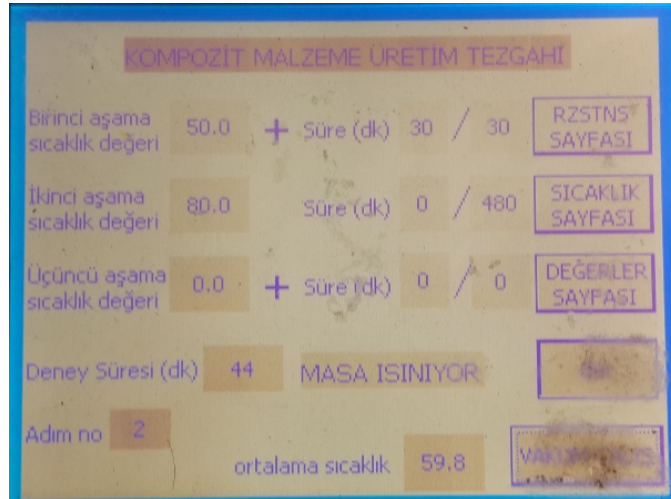


10- Reçine tüm plakaya nüfuz ettikten sonra reçine hortumu hava girmeyecek şekilde kapatılır.



Şekil 3.14 Kürlenmeye bırakılan kompozit plaka

11- Sistem hava almayacak şekilde, kompozit üretim tezgahının sıcaklığı 80°C'ye ayarlanarak plaka 8 saat boyunca kürlenmeye bırakılır.



Şekil 3.15 Kompozit üretim tezgahı ekranı

## BÖLÜM DÖRT

### MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

#### 4.1 Çekme Testi

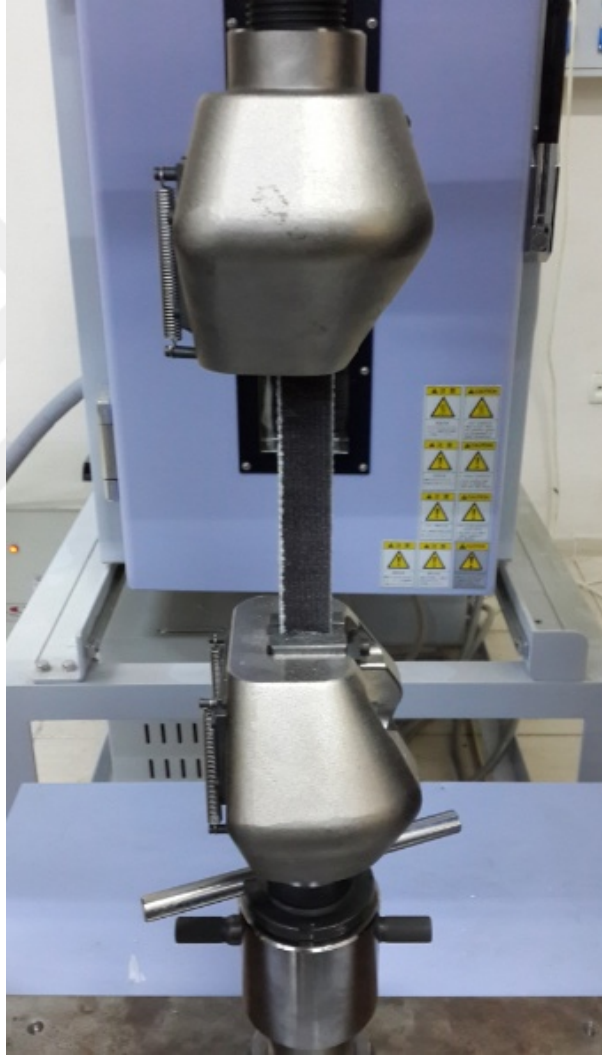
Çekme testinde deney numunesine belirli bir hızda, tek eksenle, kopana dek çekme kuvveti uygulanır. Bu esnada uygulanan kuvvet ve uzama miktarları ölçülür. Elde edilen veriler ile maksimum çekme gerilmesi, maksimum kuvvet ve maksimum uzama doğrudan elde edilir.

Çekme testleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvar'ında bulunan, 100kN yük kapasitesine sahip Shimadzu AG-X çekme testi cihazında (Şekil 4.1) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Shimadzu AG-X çekme testi cihazı

Her bir plakadan 3'er adet test numunesi, ASTM D 3039 standardına göre, 229x25,4 mm olarak hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları 4,4mm'dir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi her bir numune sırayla çenelere bağlanmış ve 1mm/dk çekme hızıyla test edilmiştir. Uygulanan kuvvet sürekli artarken bilgisayar programıyla saniyede 10 adet data kaydedilmiştir. Program sayesinde elde edilen her bir kuvvet değerine karşılık gelen uzama miktarları kullanılarak her bir numune için kuvvet-uzama grafikleri elde edilmiş ve numunelerin test sonrası görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 4.2 Numunelerin Shimadzu AG-X ekme testi cihazına bağlanması

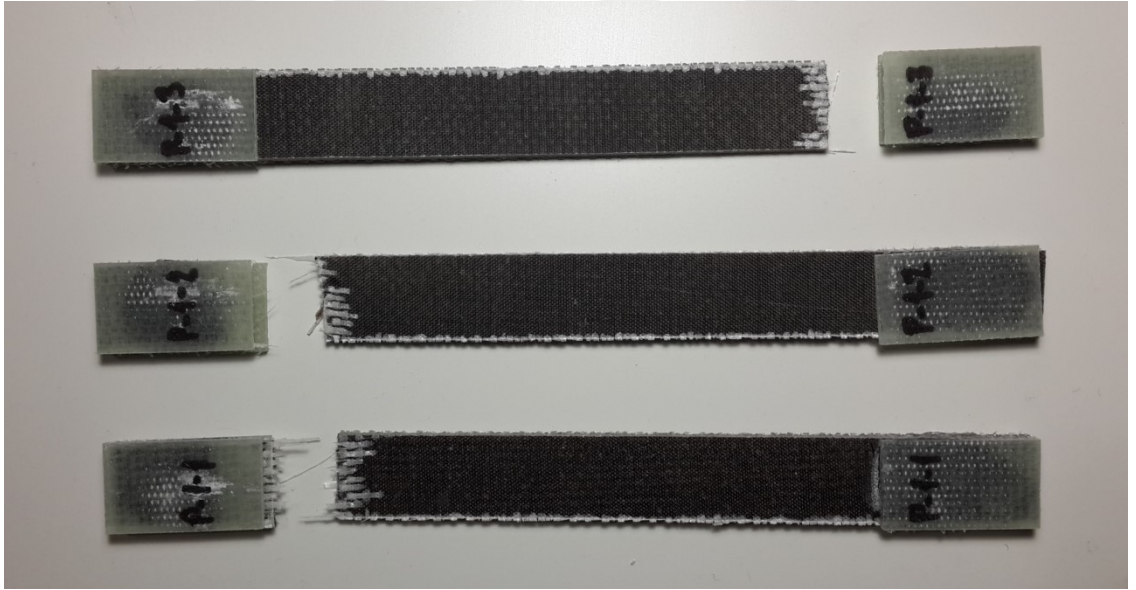
#### 4.1.1 Çekme Testleri Sonuçları

##### 4.1.1.1 Plaka 1'in Çekme Testi Sonuçları

Plaka 1'den elde edilen numuneler ile yapılan testler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.3'te numunelerin test sonrası görüntüleri sunulmuştur. Numunelerde kopmalar çentik etkisi nedeniyle gerilme yığılmalarının olduğu tutma çenelerinin yakınında gerçekleşmiştir.

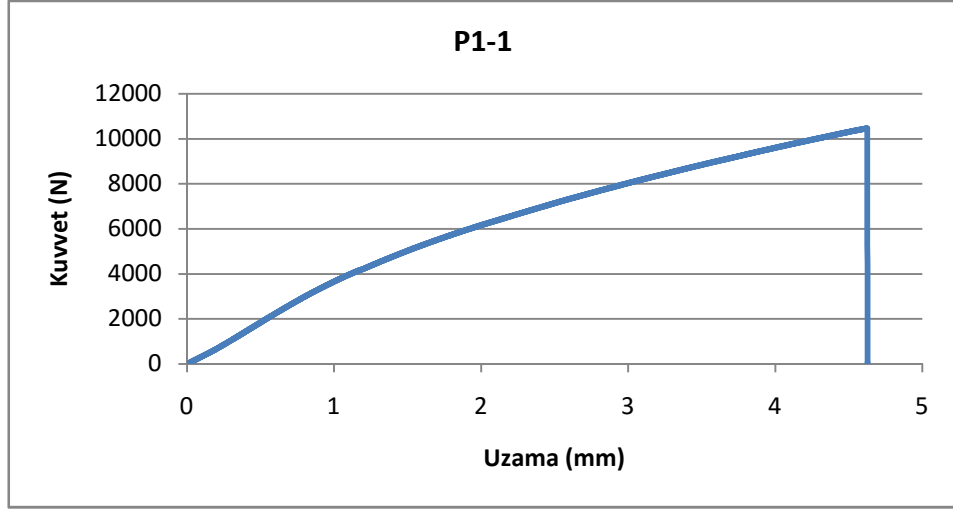
Tablo 4.1 Plaka 1'den elde edilen numunelerin çekme testi sonuçları

Numune No	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
1	10458,1	4,62	93,94
2	10025,9	4,37	90,06
3	10803,6	4,92	96,66

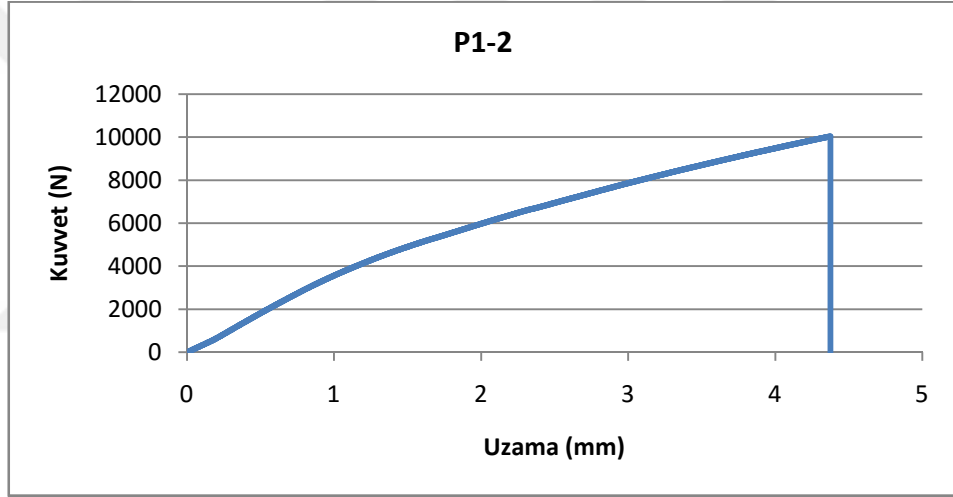


Şekil 4.3 Plaka 1'den elde edilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

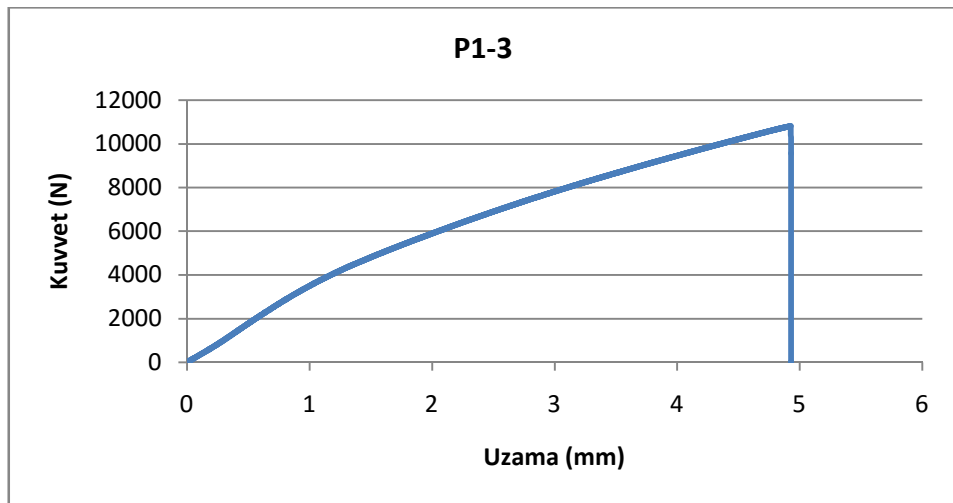
Numunelere ait kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Plaka 1'in, 1. numunesi için kuvvet-uzama grafiği



Şekil 4.5 Plaka 1'in, 2. numunesi için kuvvet-uzama grafiği



Şekil 4.6 Plaka 1'in, 3. numunesi için kuvvet-uzama grafiği

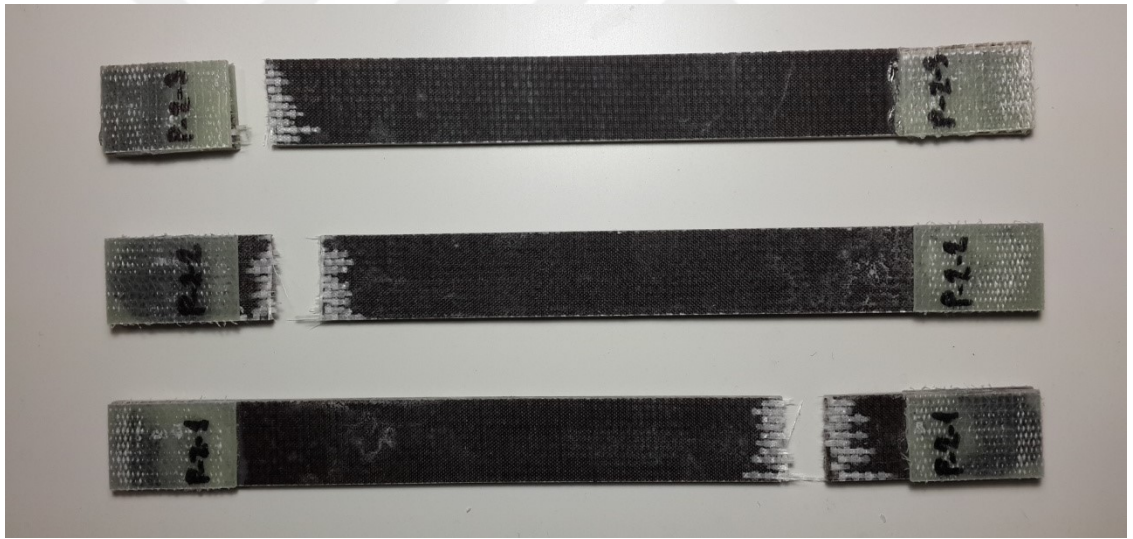


#### 4.1.1.2 Plaka 2'nin Çekme Testi Sonuçları

Plaka 2'den elde edilen numuneler ile yapılan testler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.7'de numunelerin test sonrası görüntüleri sunulmuştur. Plaka 1'de olduğu gibi Plaka 2'nin numunelerinde de kopmalar çentik etkisi nedeniyle gerilme yığılmalarının olduğu tutma çenelerinin yakınında gerçekleşmiştir.

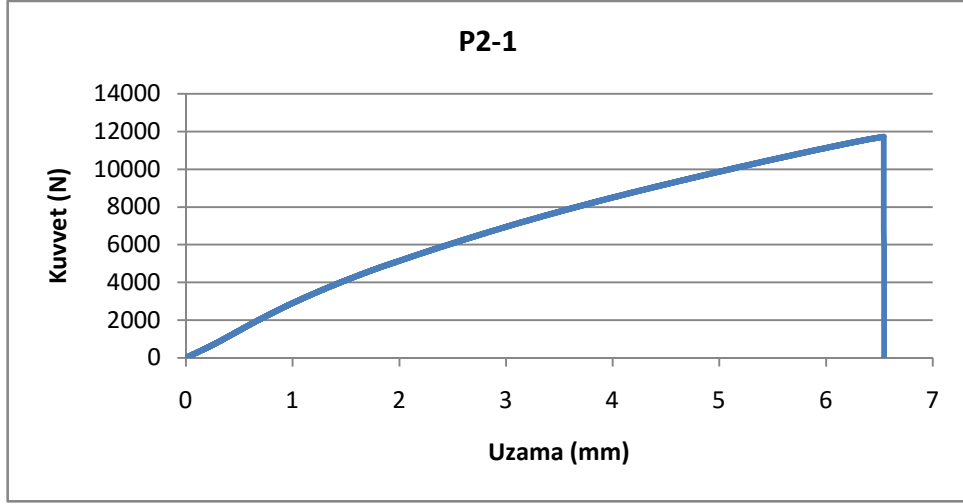
Tablo 4.2 Plaka 2'den elde edilen numunelerin çekme testi sonuçları

Numune No	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)	Maksimum Gerilme (MPa)
1	11718,1	6,54	102,03
2	10905,5	5,92	93,88
3	11448,3	6,4	98,55

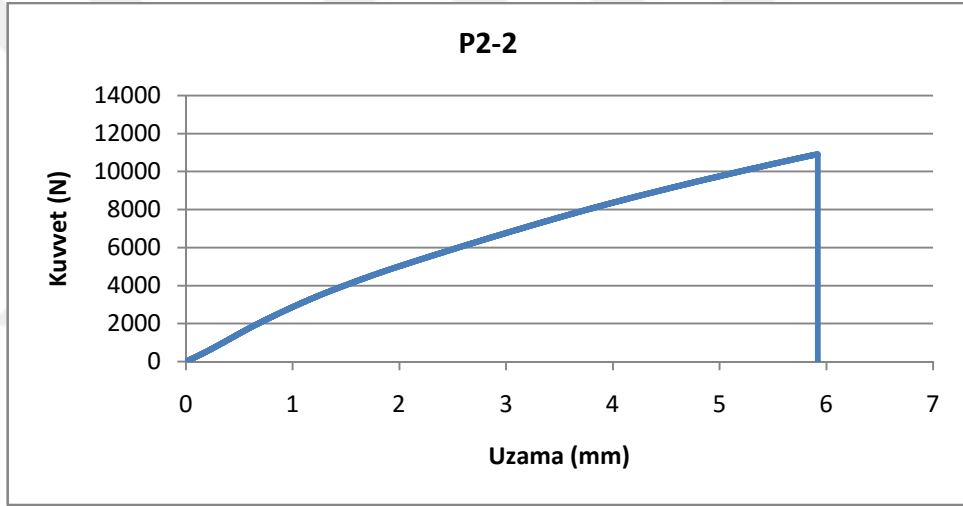


Şekil 4.7 Plaka 2'den elde edilen numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

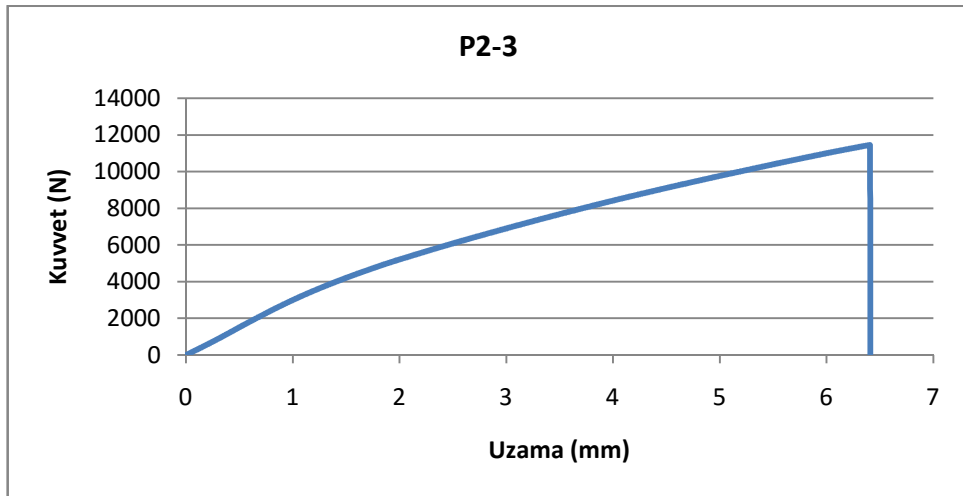
Numunelere ait kuvvet-uzama grafikleri Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4,10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Plaka 2'nin, 1. numunesi için kuvvet-uzama grafiği



Şekil 4.9 Plaka 2'nin, 2. numunesi için kuvvet-uzama grafiği



Şekil 4.10 Plaka 2'nin, 3. numunesi için kuvvet-uzama grafiği

## 4.2 Darbe Testleri

Darbe testleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma ve Test Laboratuvar'ında bulunan, CEAST-Fractovis Plus darbe cihazıyla yapılmıştır (Şekil 4.11). Cihaz malzemelerin düşük hızlı darbe davranışlarını incelemeye olanak sağlar. Cihaz ile 1800 joule darbe enerjisine kadar testler yapılabilmektedir. Maksimum temas kuvveti ise 22kN'dur. Darbe ucu 12,7mm çapa sahip yarım küre formundadır.

Cihazda, darbe ucunun darbe sonrası geri sekerek tekrarlı darbe oluşturmasını önlemek için anti-rebound sistemi bulunmaktadır. Bu sayede bütün testler tekrarlı darbe oluşmaksızın yapılmıştır.



Şekil 4.11 CEAST-Fractovis Plus darbe cihazı

Testler 20°C’de gerçekleştirilmiştir. Numuneler 100x100mm boyutlarında hazırlanmıştır. Darbe kütlesi 4,926kg olarak sabit tutulmuş, farklı enerji seviyelerinde darbe sağlayabilmek için düşme yüksekliği ve çarpma hızı değiştirilmiştir. Numuneler Şekil 4.12’de gösterildiği gibi destek çapı 76mm olan pnömatik bir sıkma aparatı ile sabitlenmektedir.

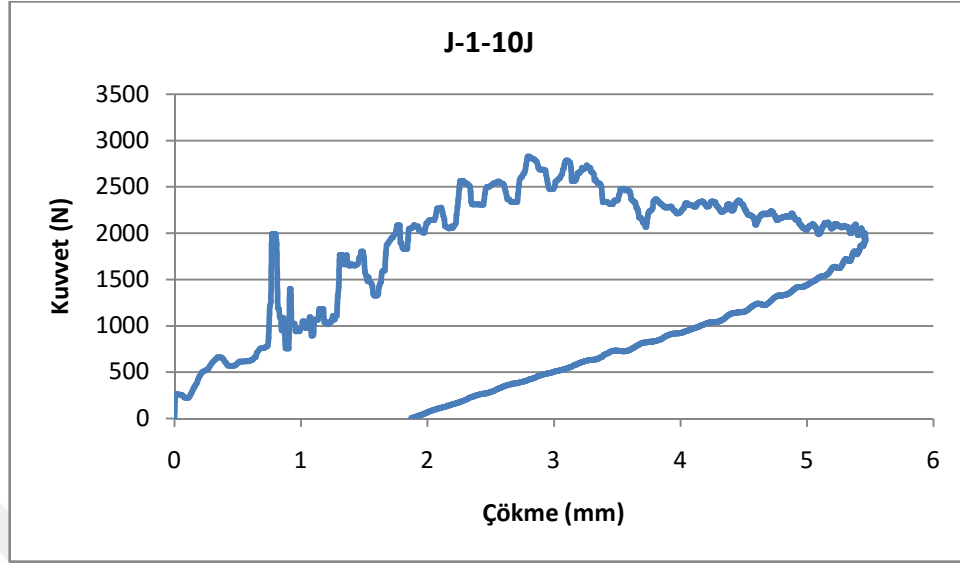


Şekil 4.12 CEAST-Fractovis Plus darbe cihazı numune sıkma aparatı

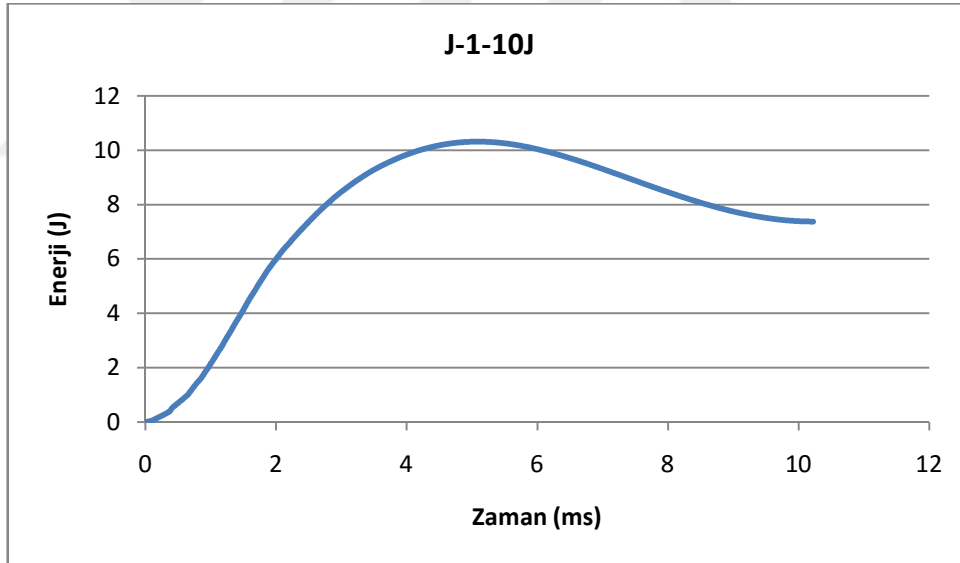
#### ***4.2.1 Darbe Testleri Sonuçları***

Plaka 1 oluşturulurken kumaşlar jüt-keten- jüt-keten- jüt-keten- jüt-keten şeklinde sıralanmıştı. Darbe ucunun çarpacağı yüzde farklı kumaşların etkilerinin karşılaştırılması amacıyla, Plaka 1’de hem jüt hem de keten yüzünden darbe uygulanmıştır. Testler 10J, 20J ve 30J darbe enerjileri ile yapılmıştır. Plaka 1’in jüt yüzü, Plaka 1’in keten yüzü ve Plaka 2 için her bir enerji seviyesinde 3 adet toplamda 27 adet numune test edilmiştir. Her bir numuneye ait kuvvet-çökme grafiği, enerji zaman grafiği ve elde edilen verileri içeren tablolar sunulmuştur.

#### 4.2.1.1 Plaka 1'in Jüt Yüzüne Uygulanan Darbe Sonuçları



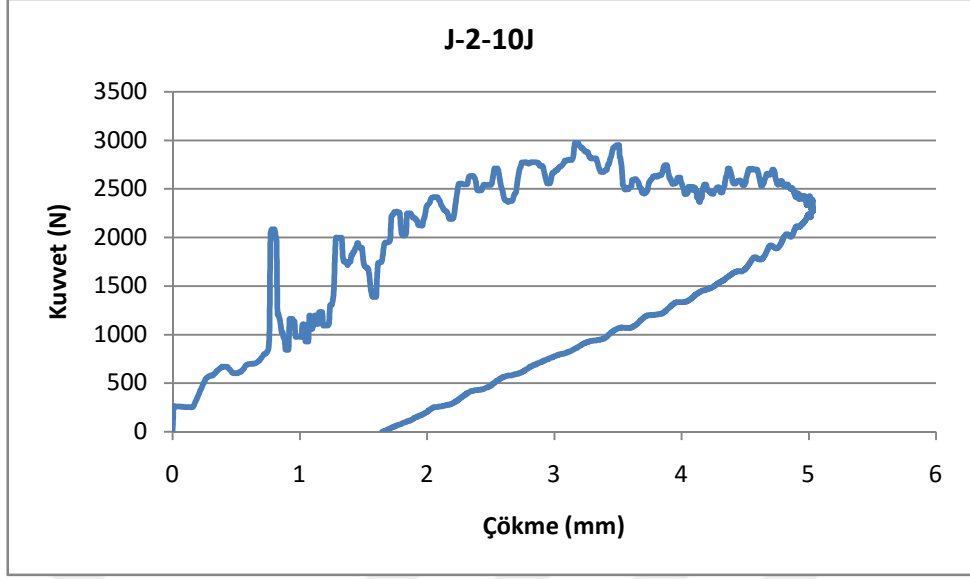
Şekil 4.13 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



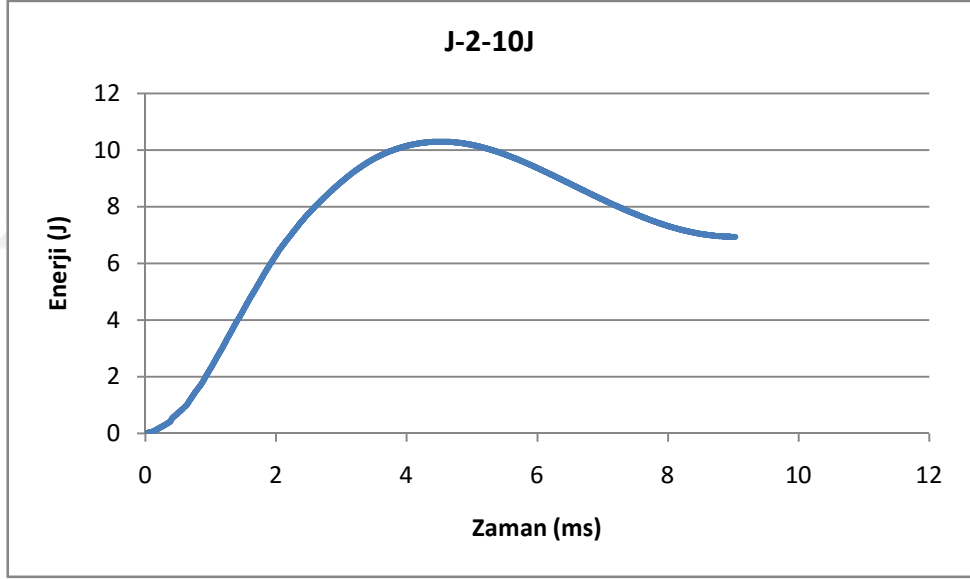
Şekil 4.14 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.3 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-1-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	7,38
Maksimum Çökme (mm)	5,46
Kalıcı Çökme (mm)	1,87
Maksimum Kuvvet (N)	2826



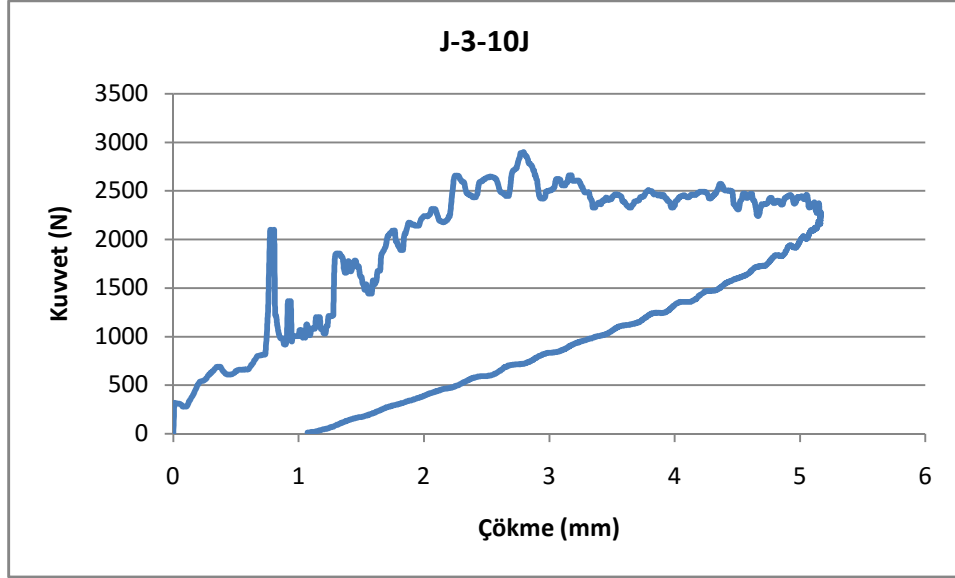
Şekil 4.15 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



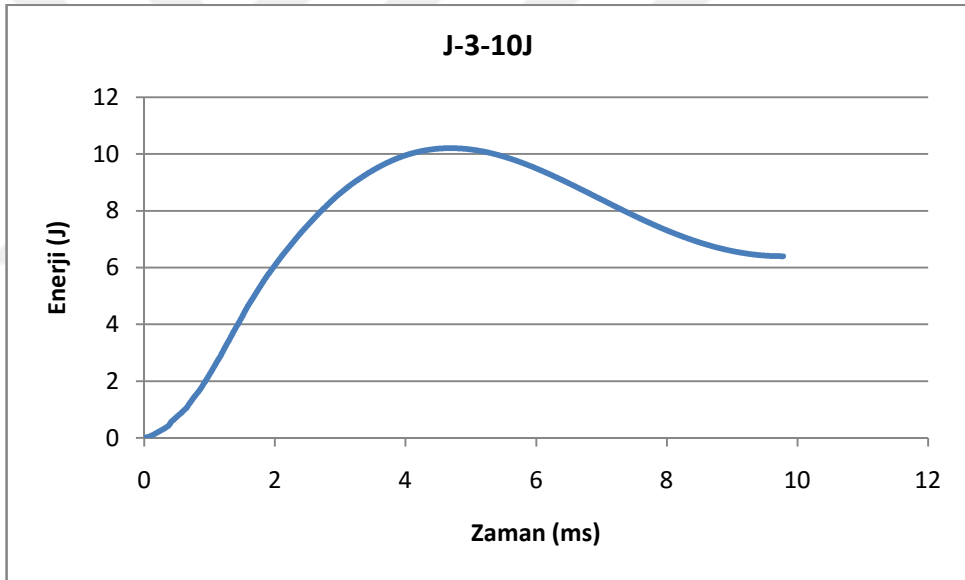
Şekil 4.16 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.4 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-2-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,94
Maksimum Çökme (mm)	5
Kalıcı Çökme (mm)	1,64
Maksimum Kuvvet (N)	2970



Şekil 4.17 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği

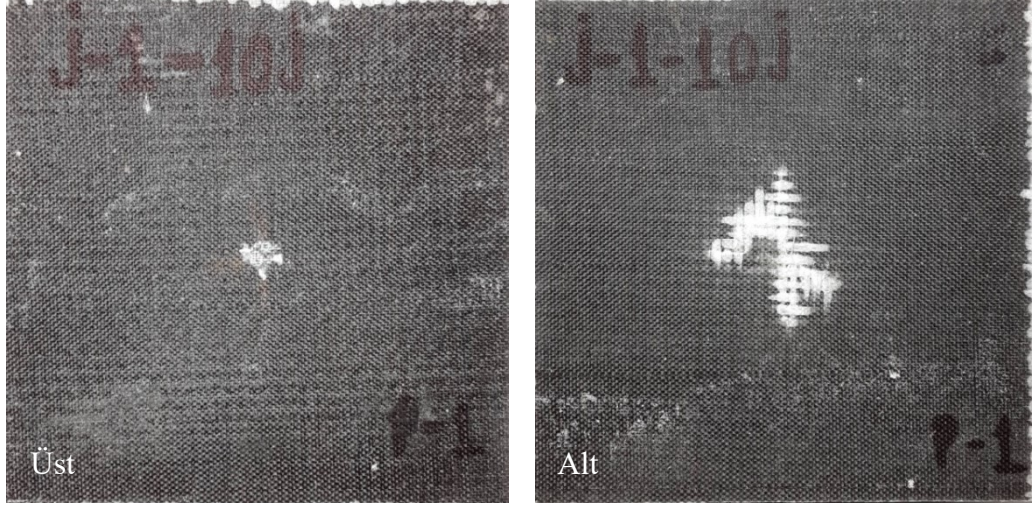


Şekil 4.18 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

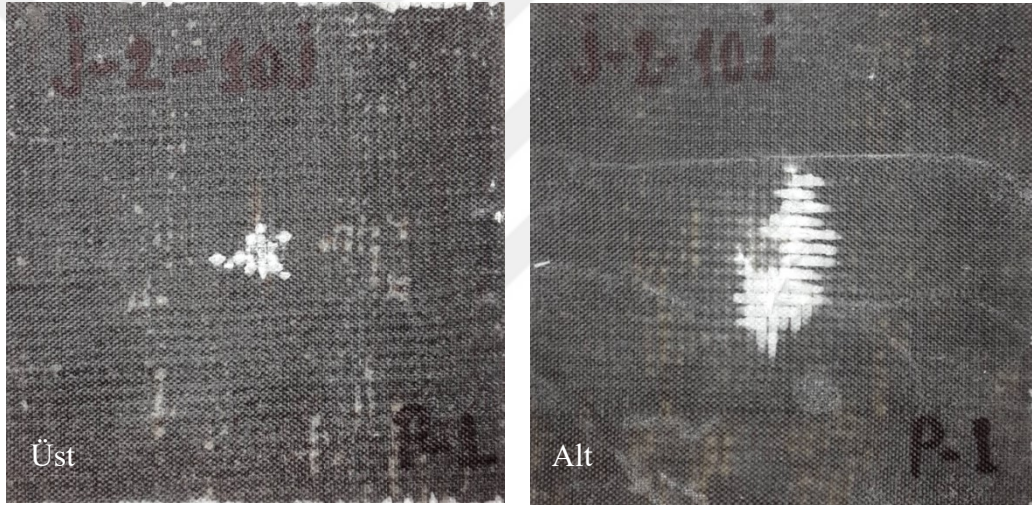
Tablo 4.5 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-3-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,4
Maksimum Çökme (mm)	5,15
Kalıcı Çökme (mm)	1,07
Maksimum Kuvvet (N)	2899

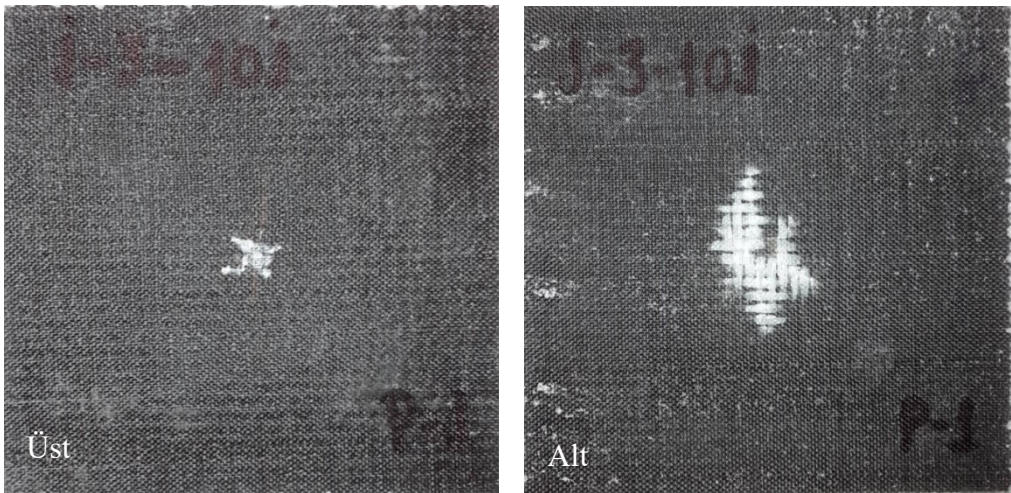




Şekil 4.19 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

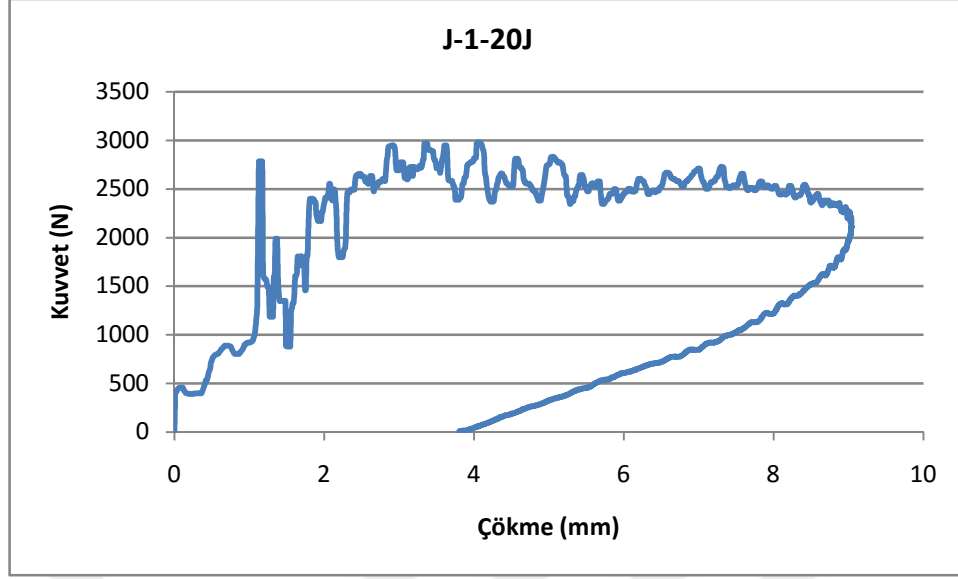


Şekil 4.20 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

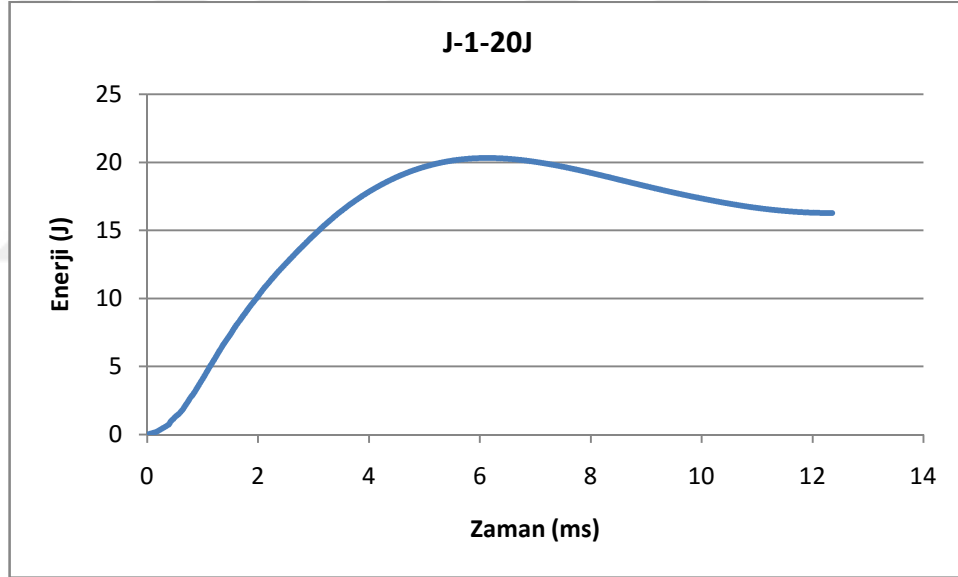


Şekil 4.21 Plaka 1'in, jüt yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü





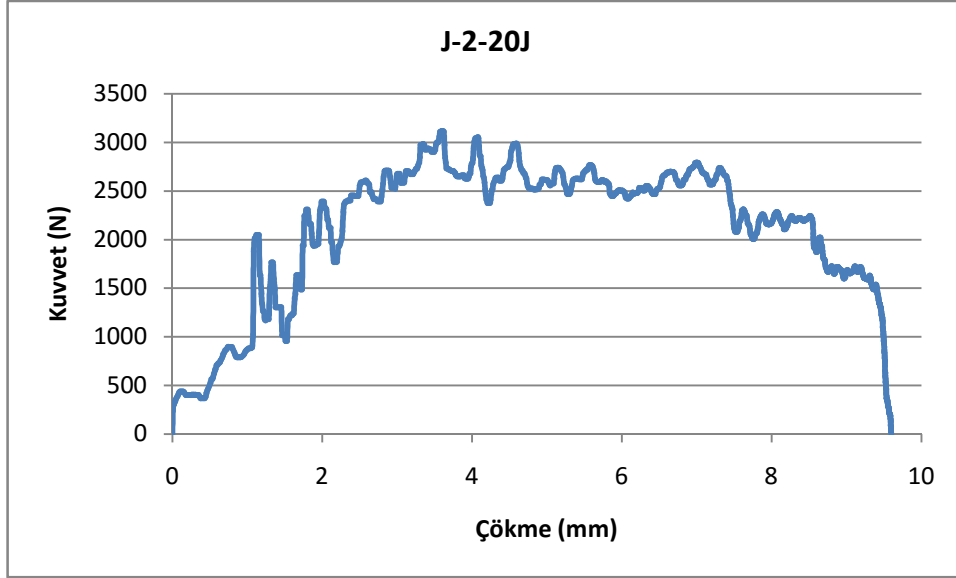
Şekil 4.22 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



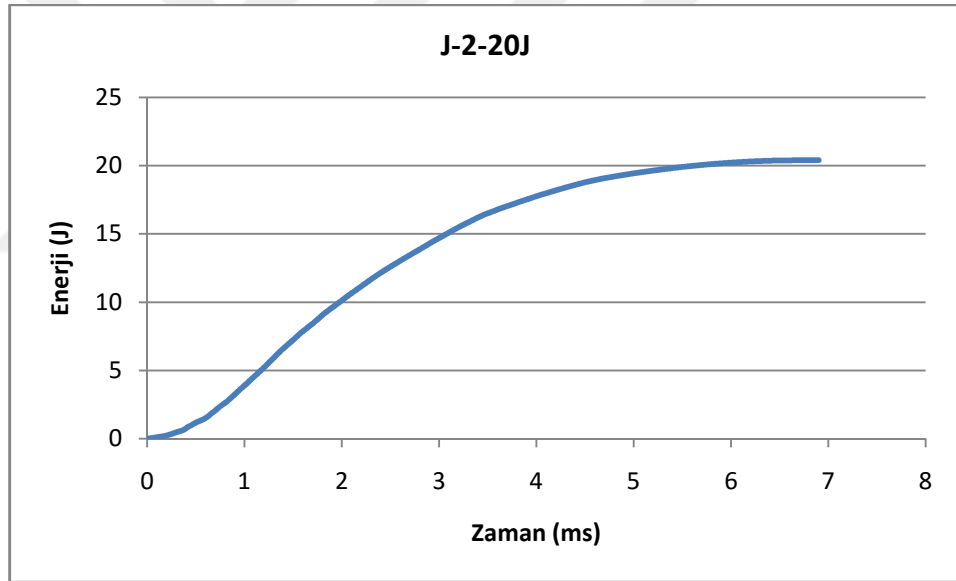
Şekil 4.23 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.6 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-1-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,27
Maksimum Çökme (mm)	9,03
Kalıcı Çökme (mm)	3,8
Maksimum Kuvvet (N)	2976



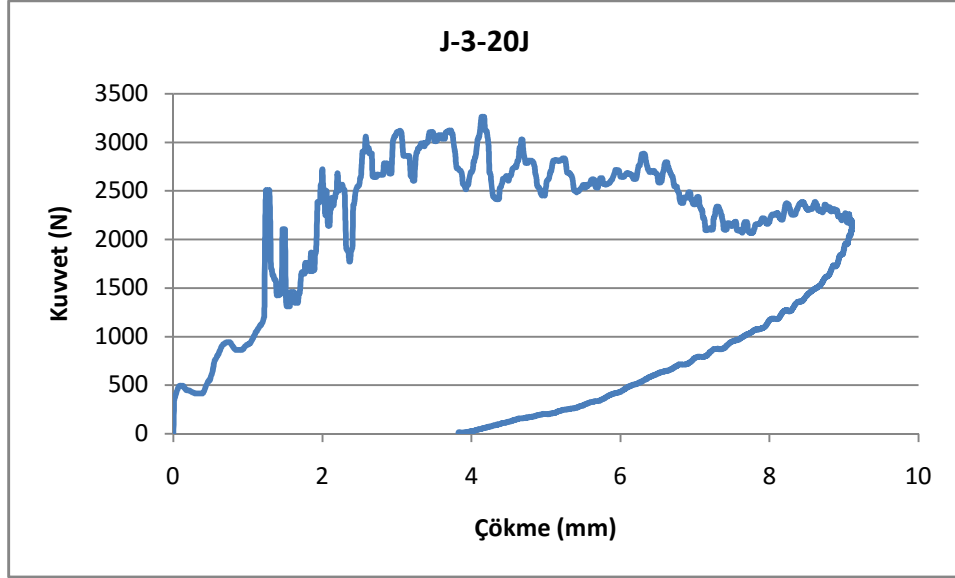
Şekil 4.24 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



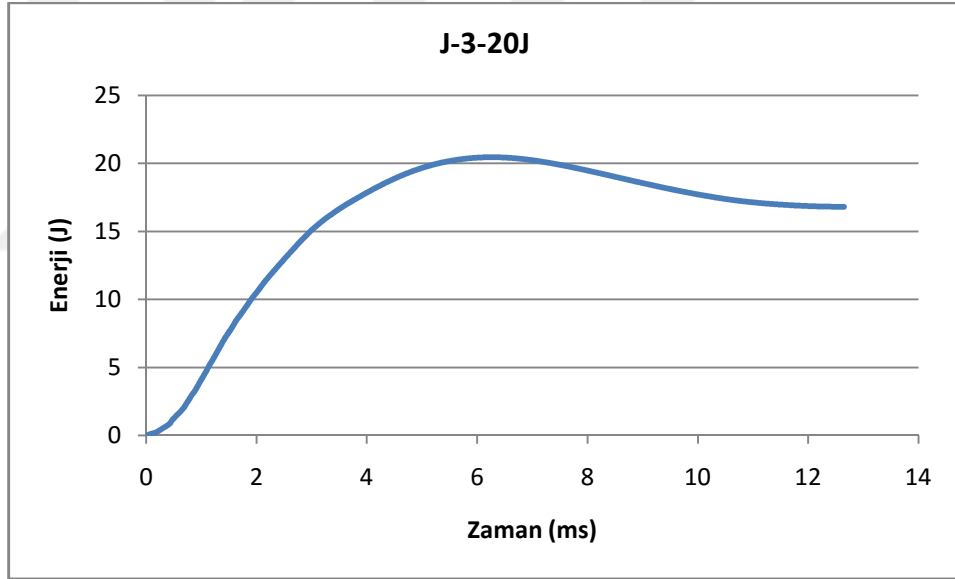
Şekil 4.25 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.7 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-2-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	20,38
Maksimum Çökme (mm)	9,59
Kalıcı Çökme (mm)	9,59
Maksimum Kuvvet (N)	3115



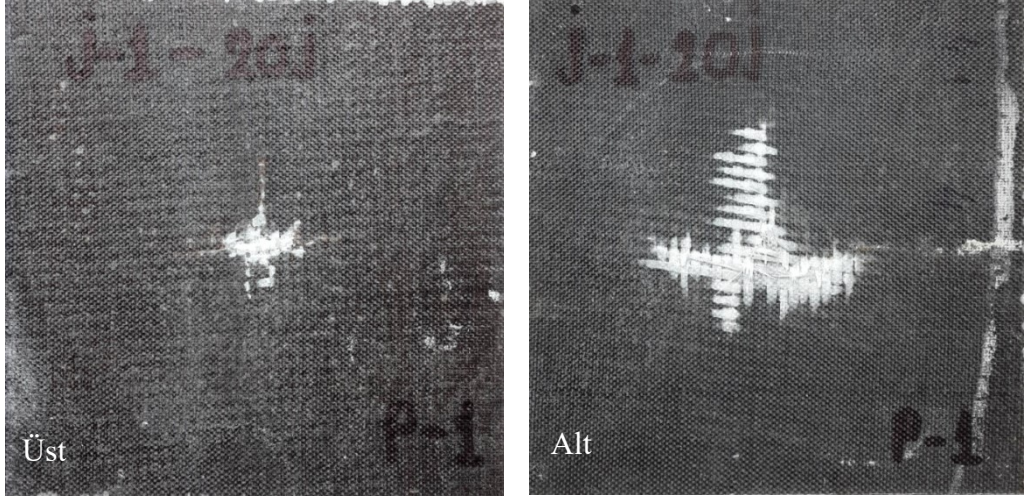
Şekil 4.26 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



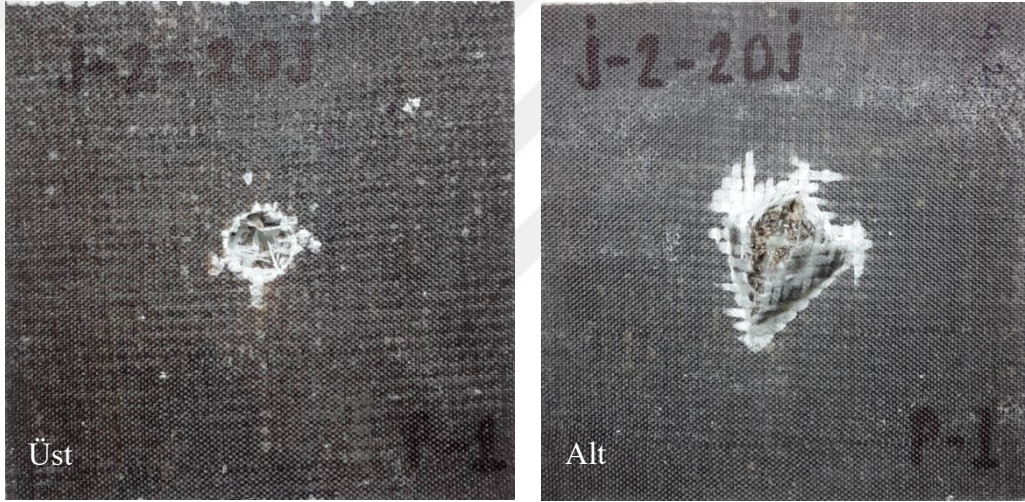
Şekil 4.27 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.8 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

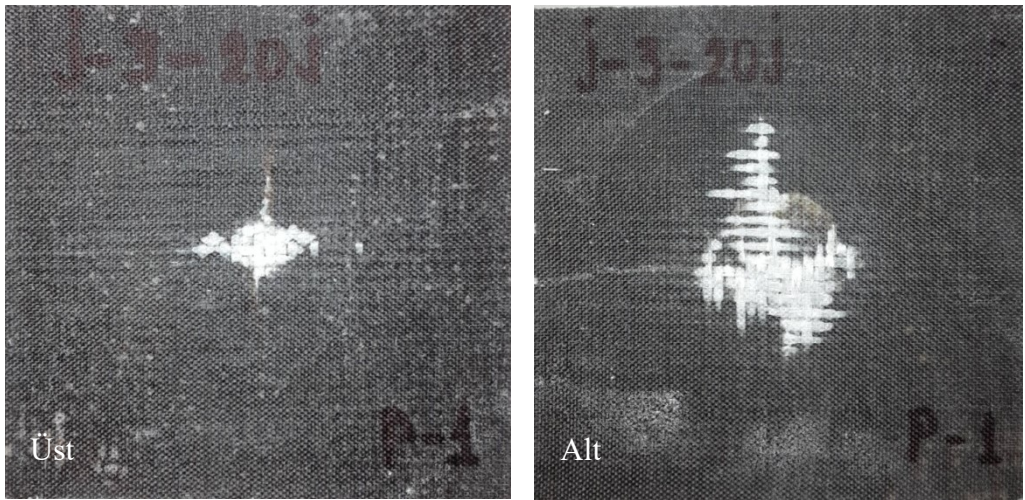
Numune No	J-3-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,83
Maksimum Çökme (mm)	9,1
Kalıcı Çökme (mm)	3,82
Maksimum Kuvvet (N)	3259



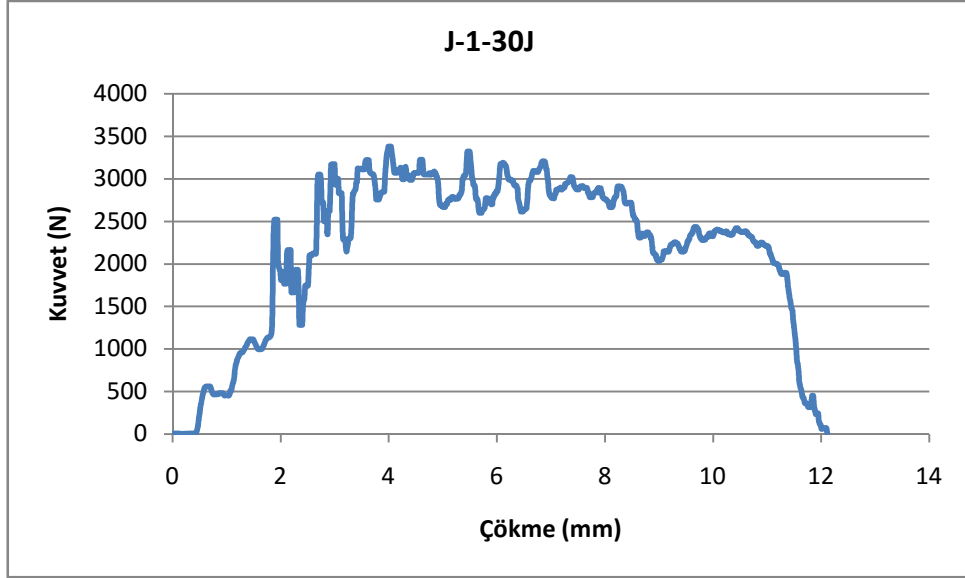
Şekil 4.28 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



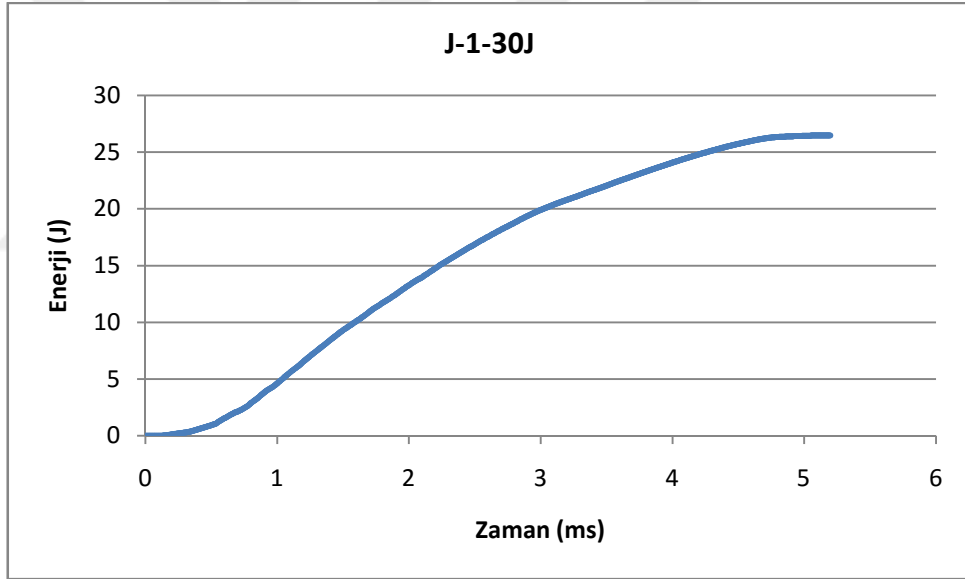
Şekil 4.29 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



Şekil 4.30 Plaka 1'in, jüt yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



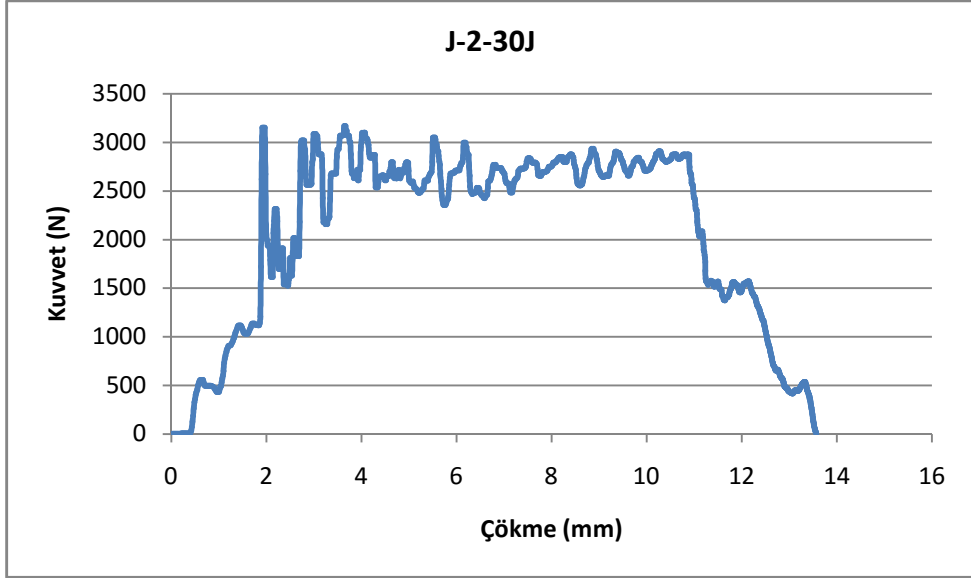
Şekil 4.31 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



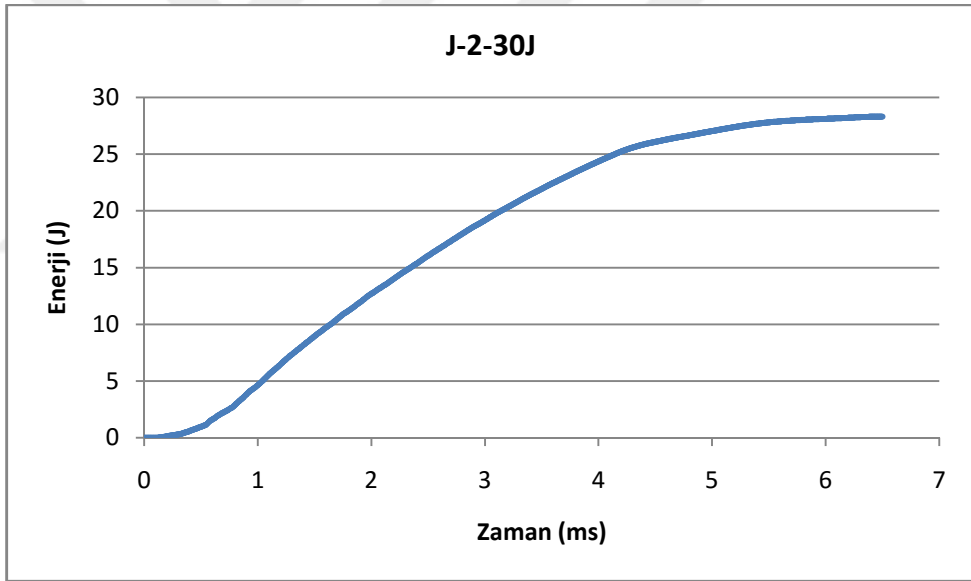
Şekil 4.32 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.9 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-1-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	26,45
Maksimum Çökme (mm)	12,23
Kalıcı Çökme (mm)	12,23
Maksimum Kuvvet (N)	3378



Şekil 4.33 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği

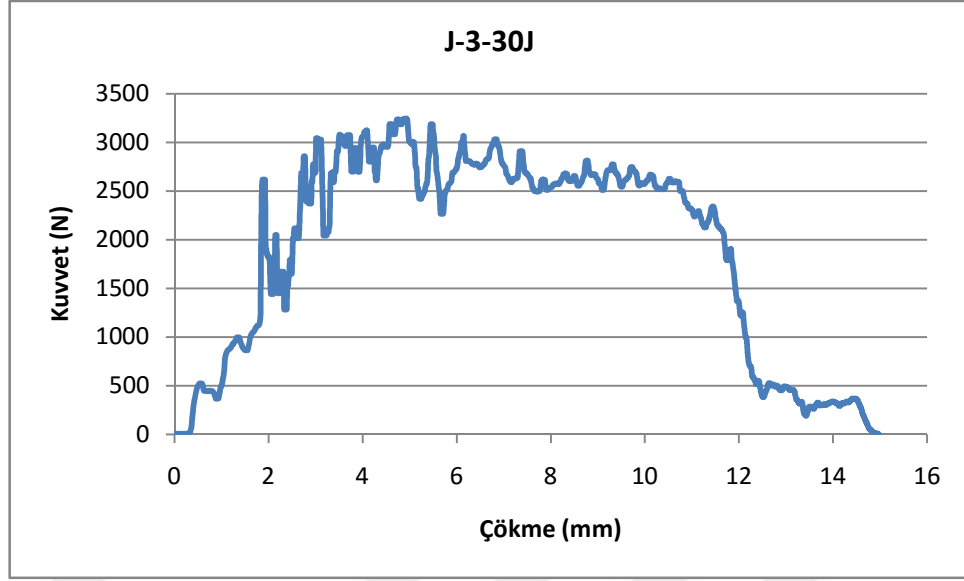


Şekil 4.34 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

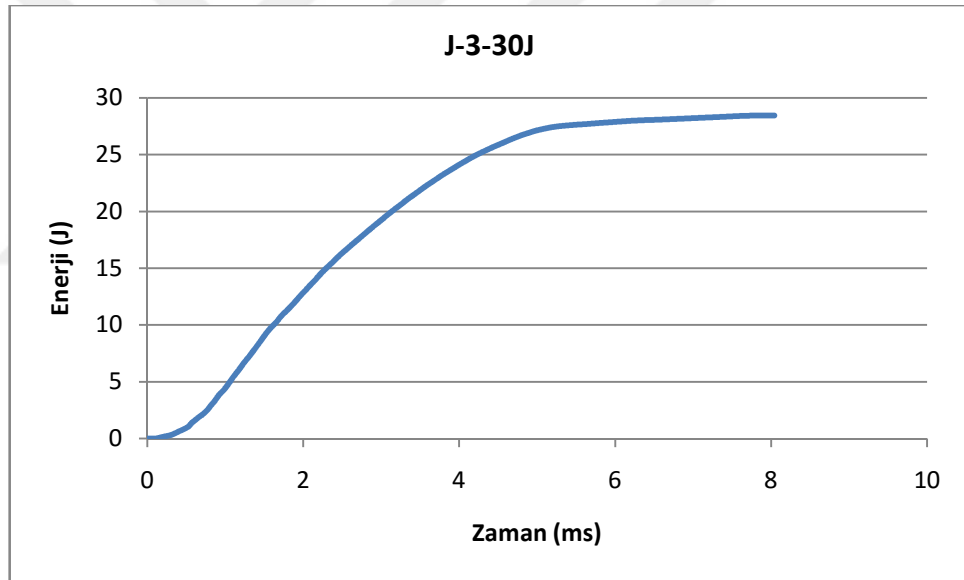
Tablo 4.10 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	J-2-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	28,29
Maksimum Çökme (mm)	13,65
Kalıcı Çökme (mm)	13,65
Maksimum Kuvvet (N)	3166





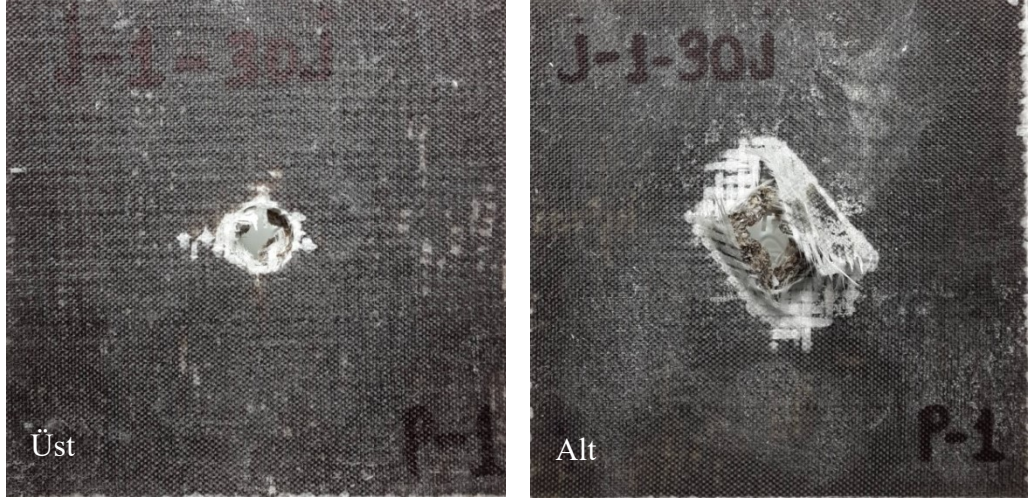
Şekil 4.35 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



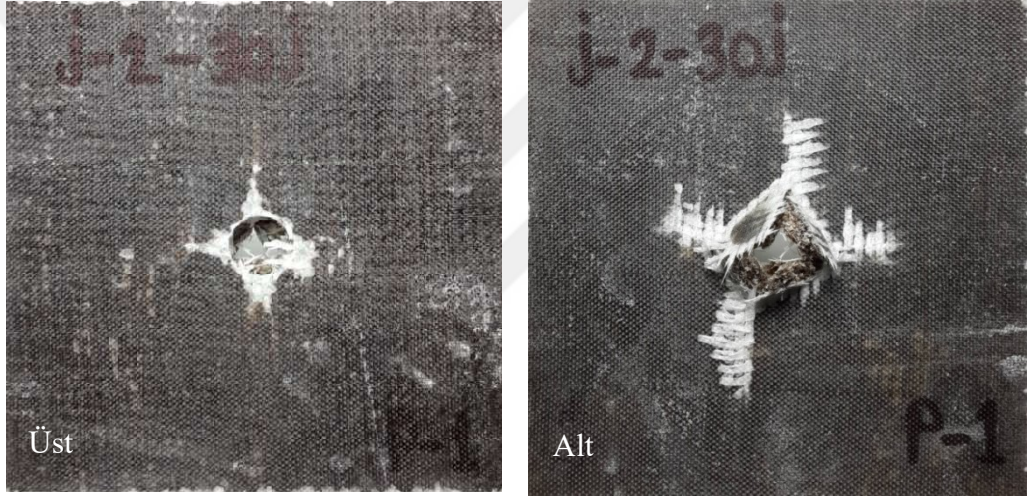
Şekil 4.36 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.11 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

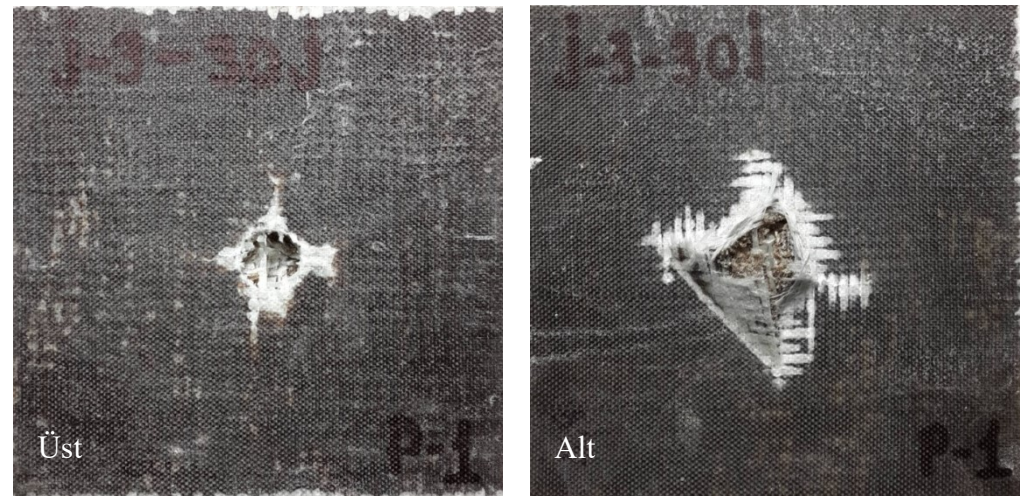
Numune No	J-3-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	28,41
Maksimum Çökme (mm)	14,85
Kalıcı Çökme (mm)	14,85
Maksimum Kuvvet (N)	3242



Şekil 4.37 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



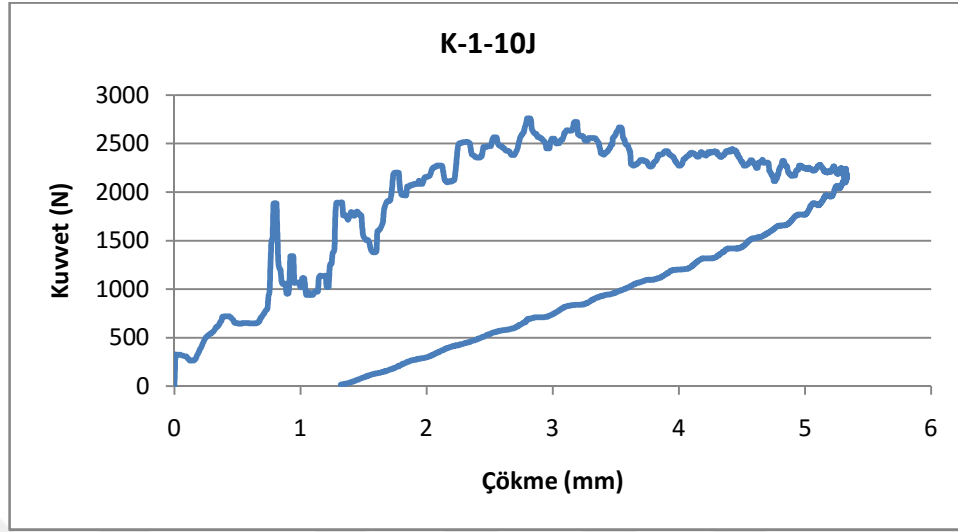
Şekil 4.38 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



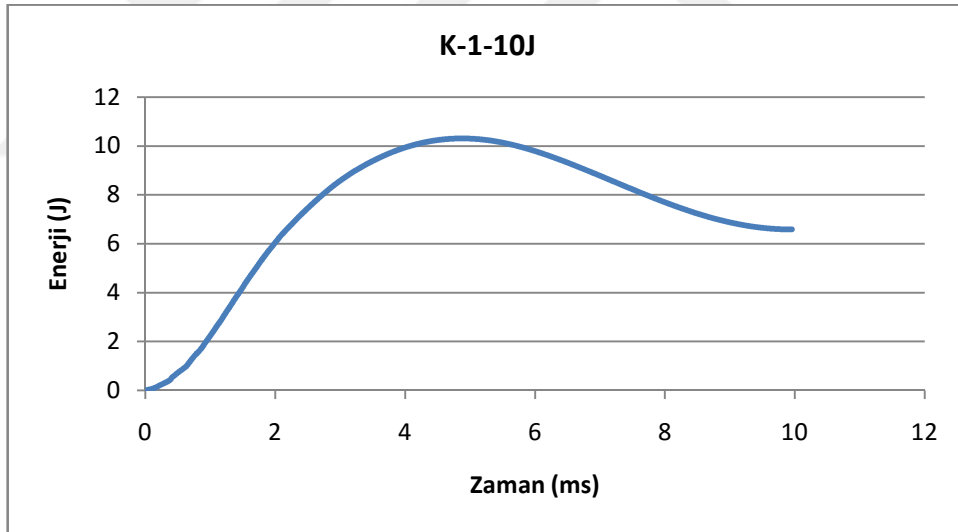
Şekil 4.39 Plaka 1'in, jüt yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



#### 4.2.1.2 Plaka 1'in Keten Yüzüne Uygulanan Darbe Sonuçları



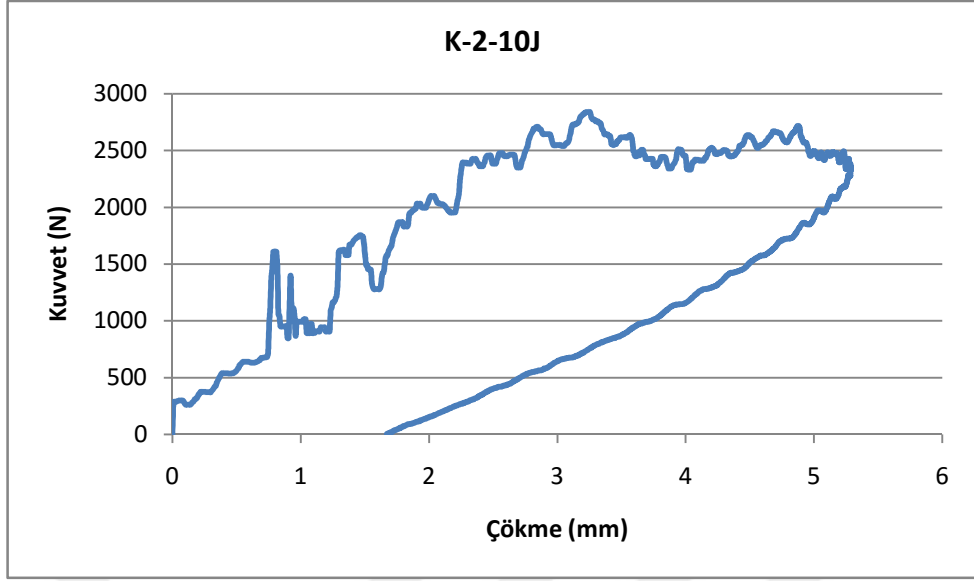
Şekil 4.40 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



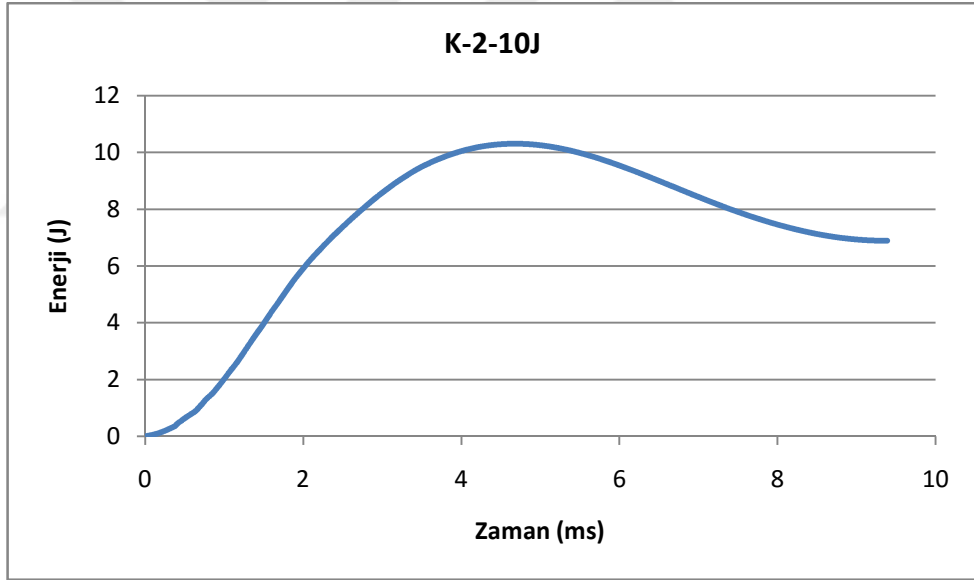
Şekil 4.41 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.12 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-1-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,59
Maksimum Çökme (mm)	5,32
Kalıcı Çökme (mm)	1,31
Maksimum Kuvvet (N)	2758



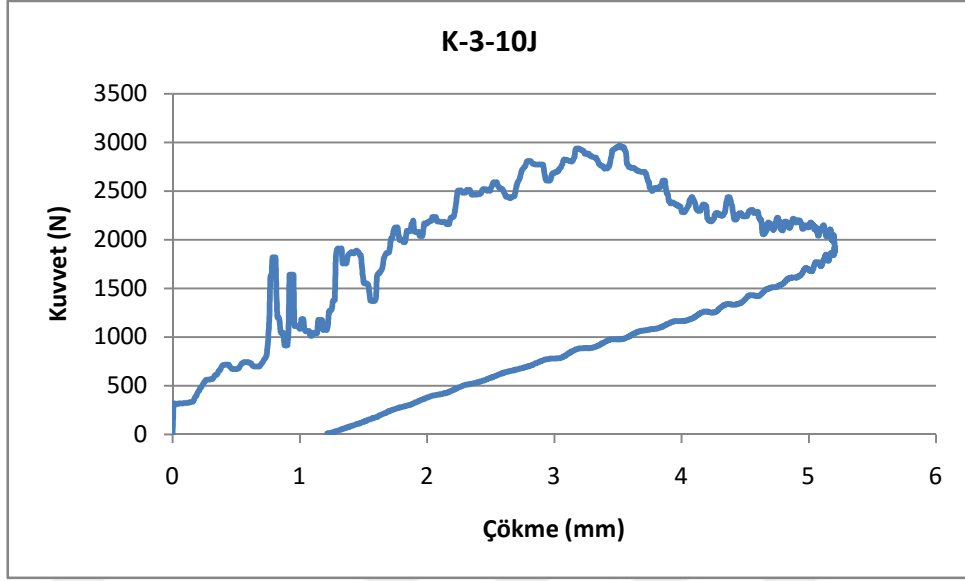
Şekil 4.42 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



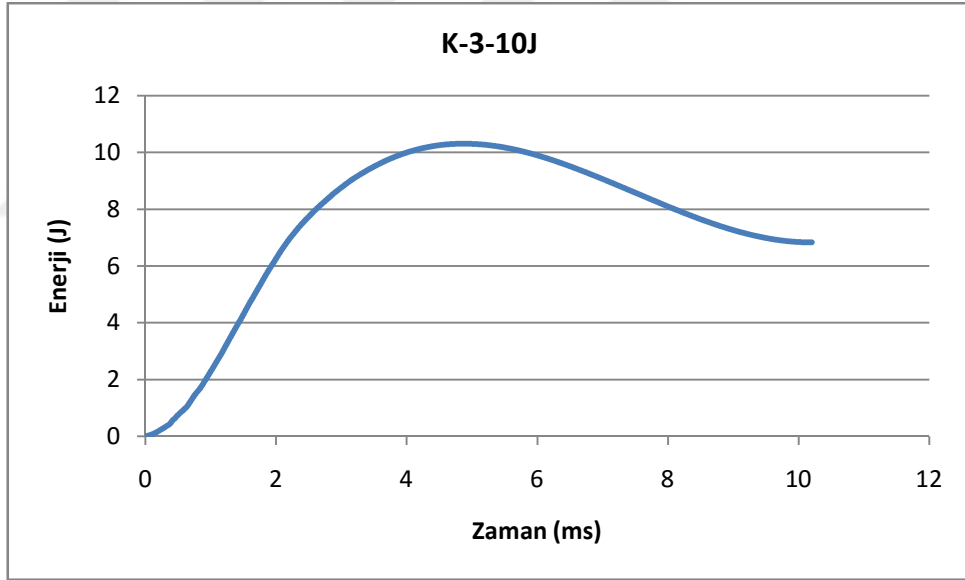
Şekil 4.43 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.13 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-2-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,89
Maksimum Çökme (mm)	5,28
Kalıcı Çökme (mm)	1,67
Maksimum Kuvvet (N)	2837



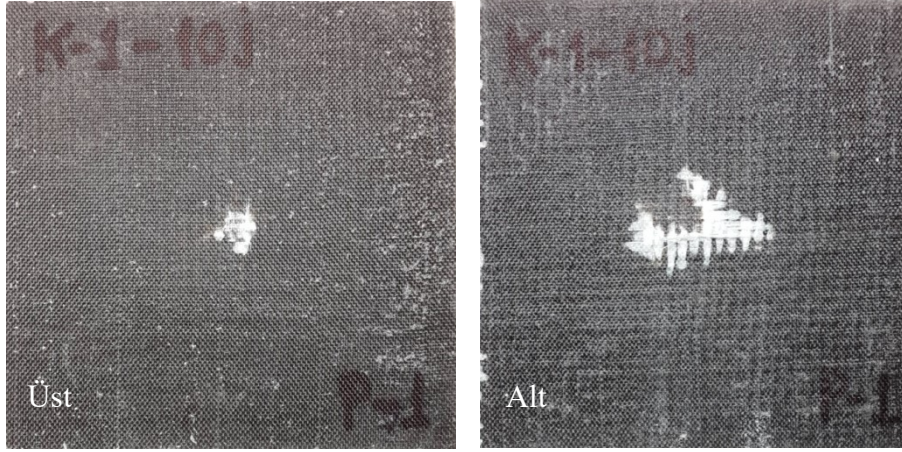
Şekil 4.44 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



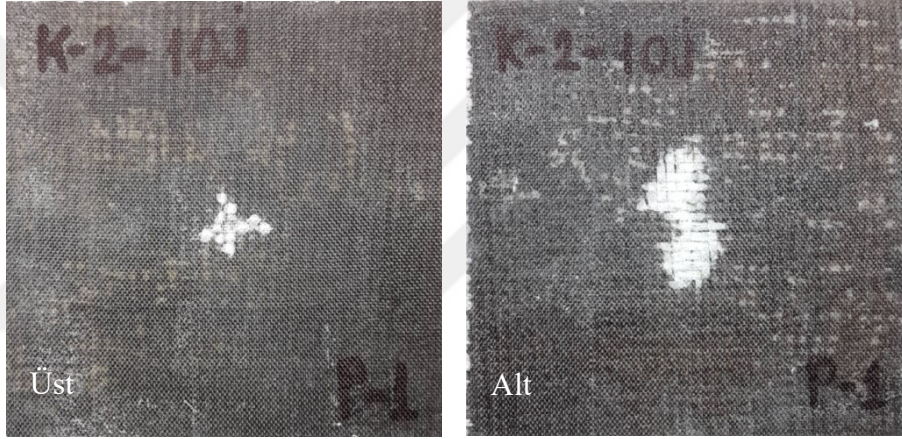
Şekil 4.45 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.14 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

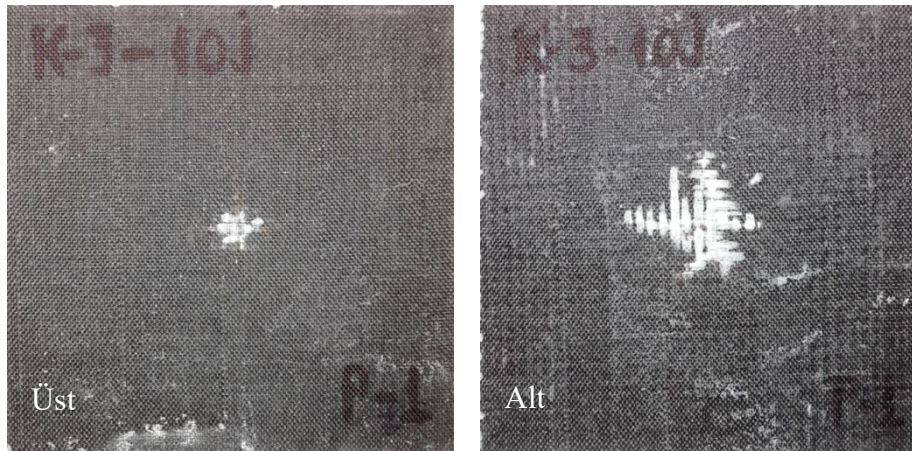
Numune No	K-3-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,83
Maksimum Çökme (mm)	5,2
Kalıcı Çökme (mm)	1,21
Maksimum Kuvvet (N)	2967



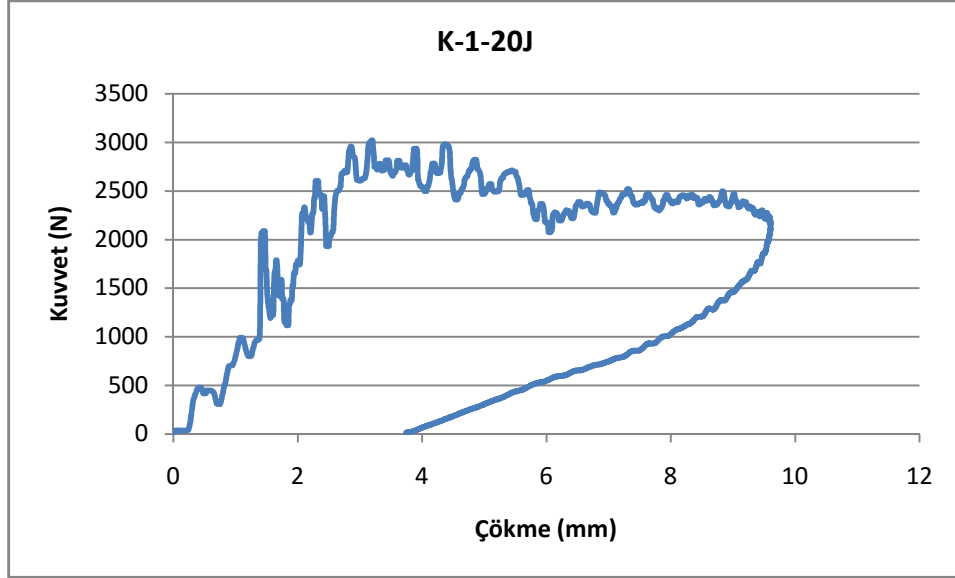
Şekil 4.46 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



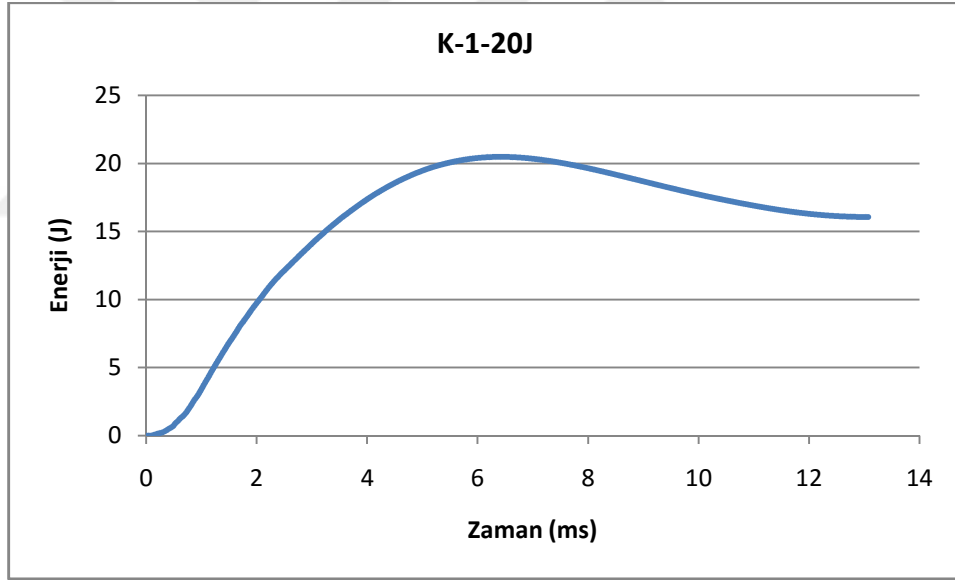
Şekil 4.47 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



Şekil 4.48 Plaka 1'in, keten yüzüne 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



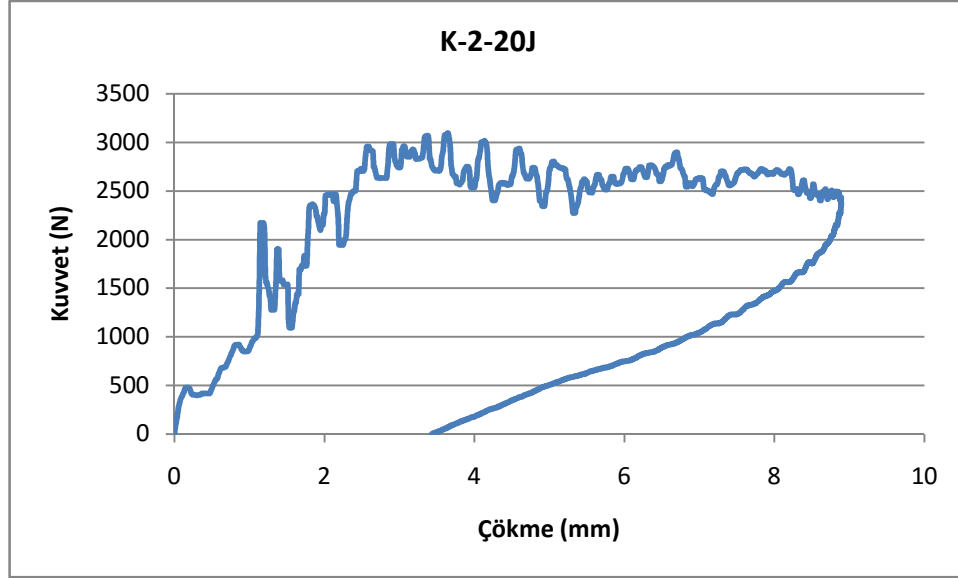
Şekil 4.49 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



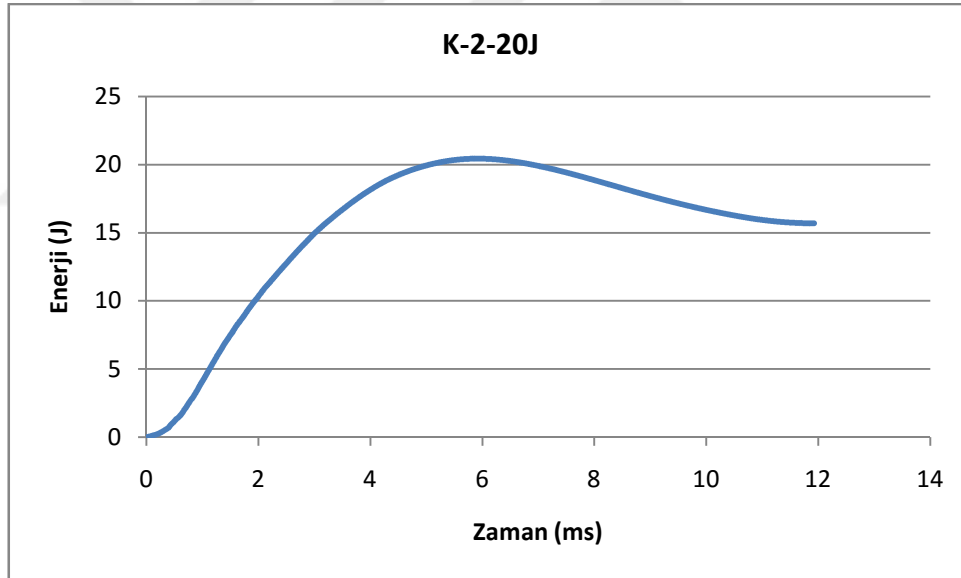
Şekil 4.50 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.15 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-1-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,06
Maksimum Çökme (mm)	9,6
Kalıcı Çökme (mm)	3,74
Maksimum Kuvvet (N)	3018



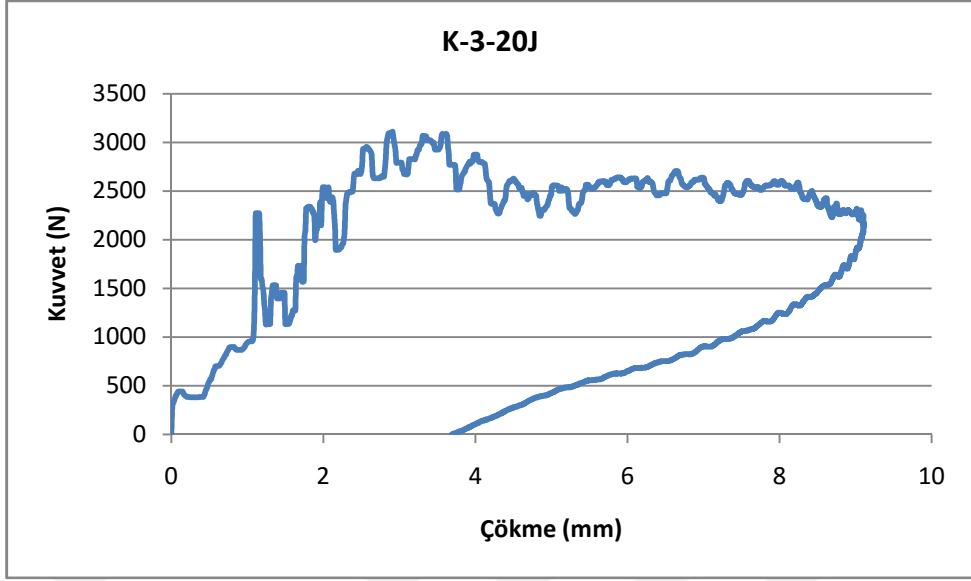
Şekil 4.51 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



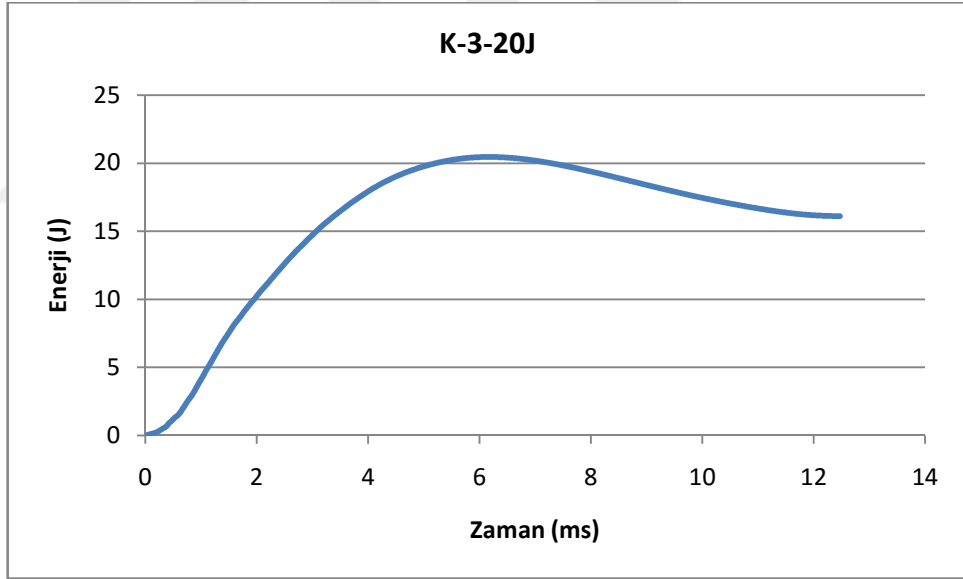
Şekil 4.52 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.16 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-2-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	15,7
Maksimum Çökme (mm)	8,88
Kalıcı Çökme (mm)	3,43
Maksimum Kuvvet (N)	3092



Şekil 4.53 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği

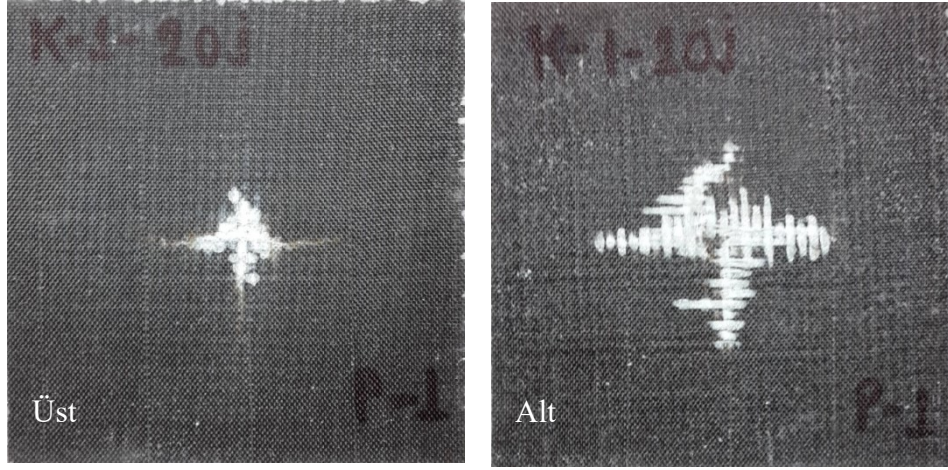


Şekil 4.54 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

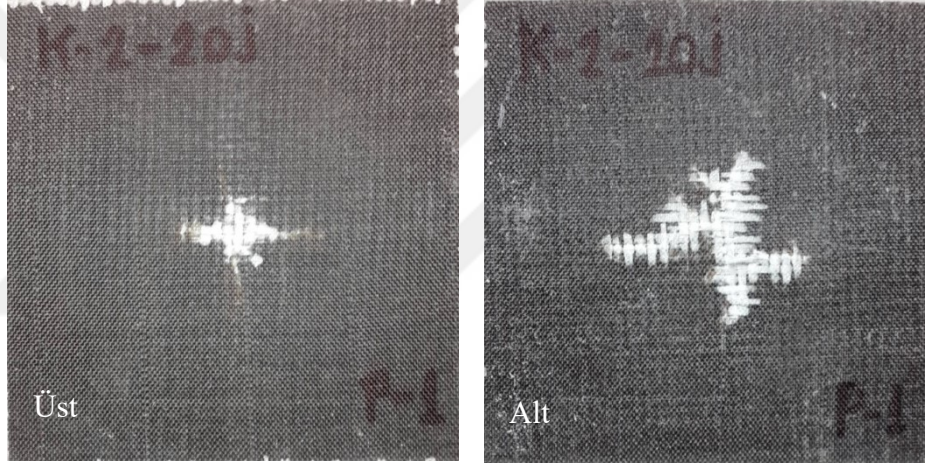
Tablo 4.17 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-3-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,11
Maksimum Çökme (mm)	9,1
Kalıcı Çökme (mm)	3,69
Maksimum Kuvvet (N)	3106

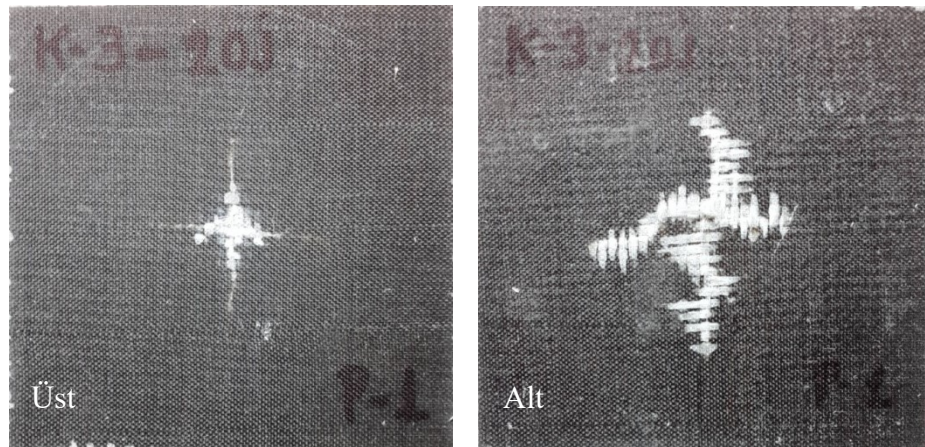




Şekil 4.55 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

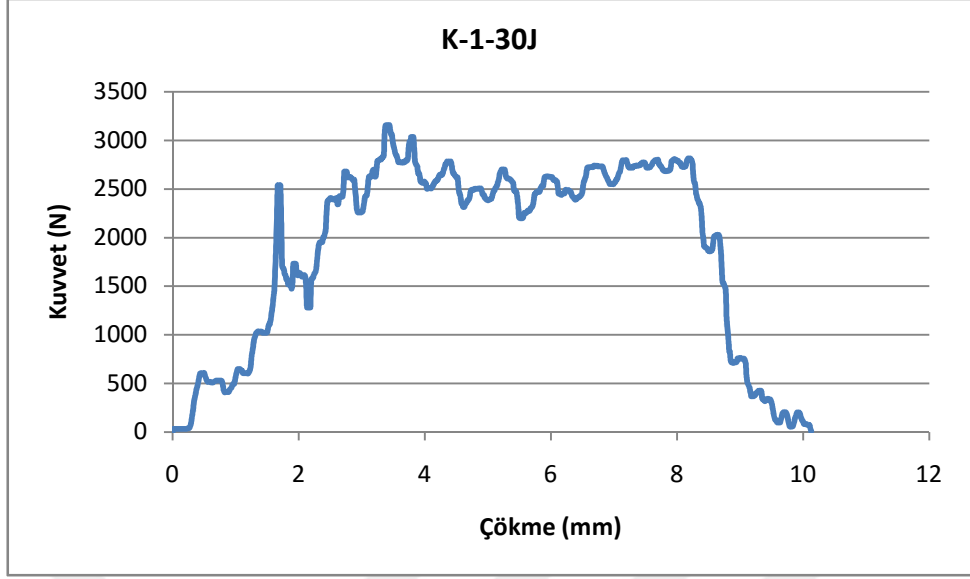


Şekil 4.56 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

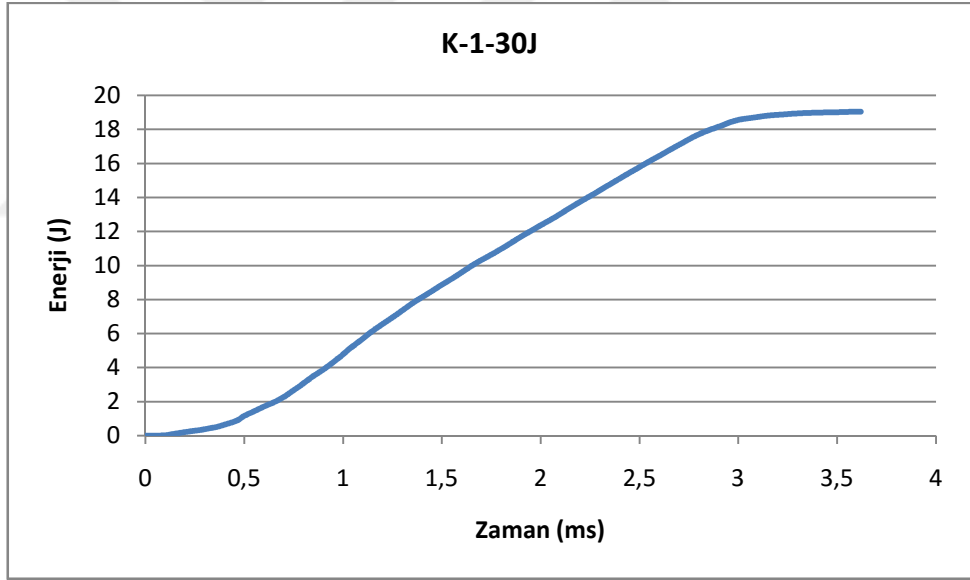


Şekil 4.57 Plaka 1'in, keten yüzüne 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü





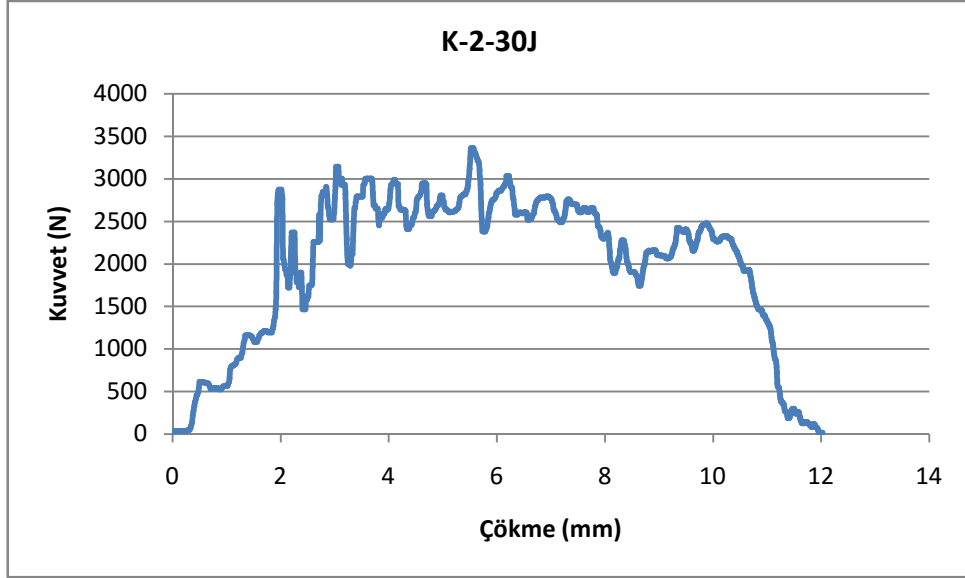
Şekil 4.58 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



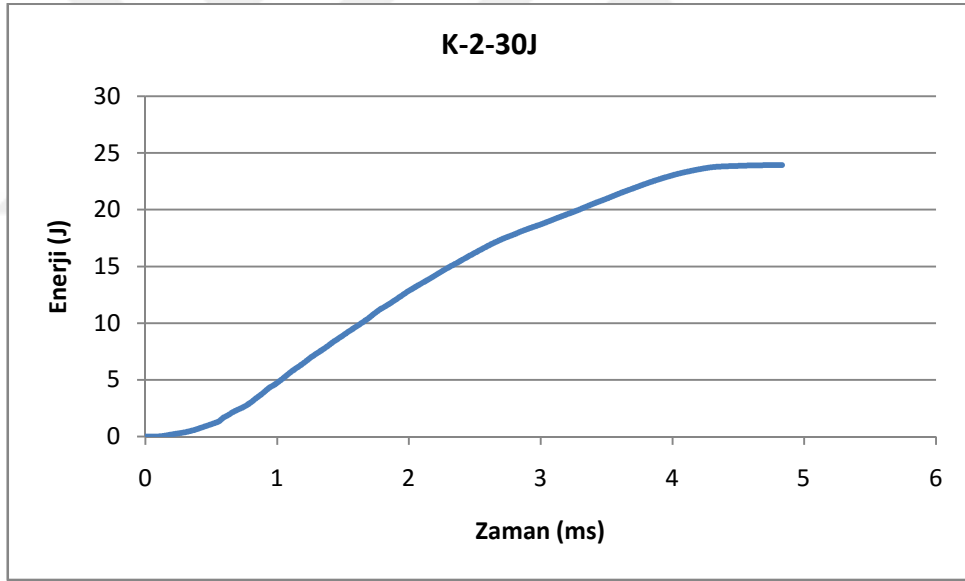
Şekil 4.59 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.18 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-1-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	19
Maksimum Çökme (mm)	10,12
Kalıcı Çökme (mm)	10,12
Maksimum Kuvvet (N)	3154



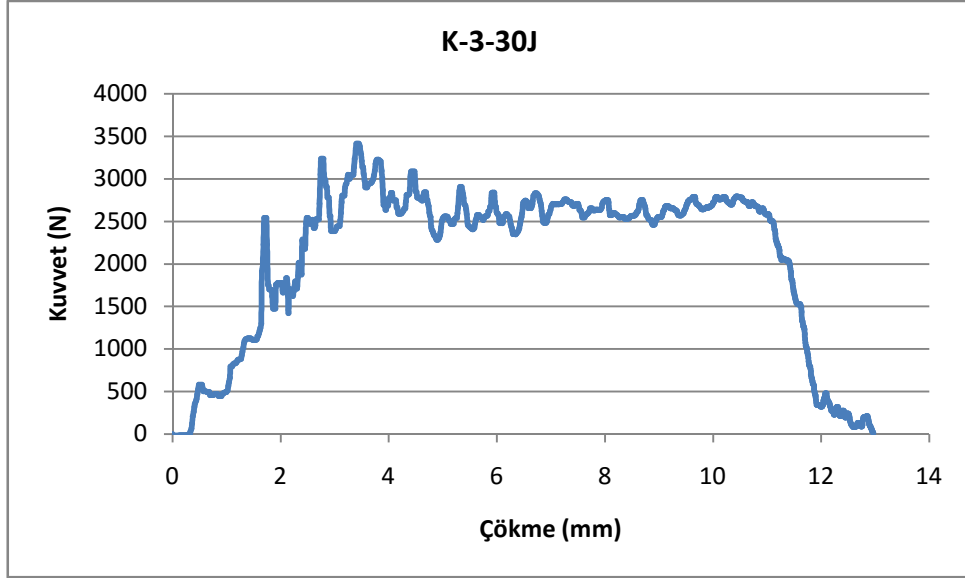
Şekil 4.60 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



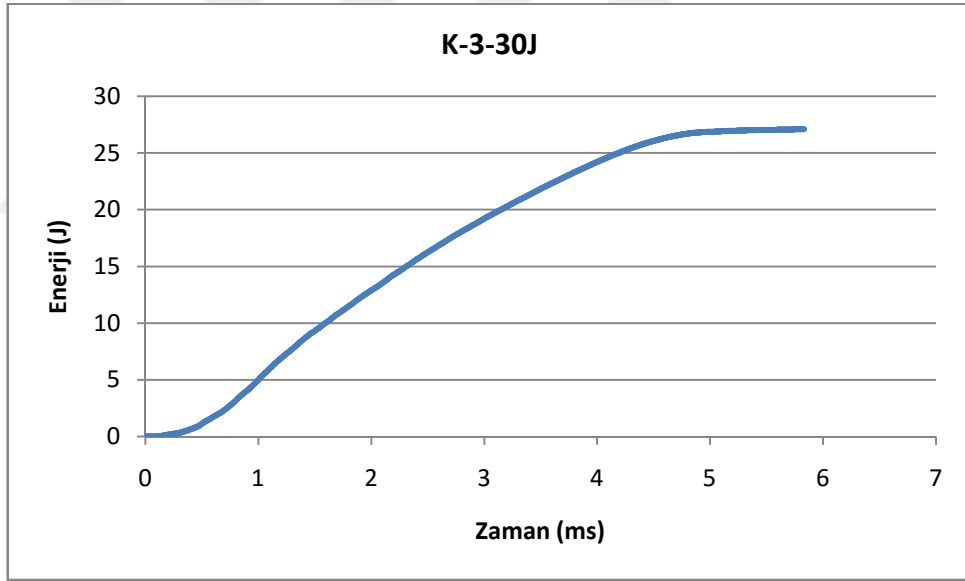
Şekil 4.61 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.19 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	K-2-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	23,9
Maksimum Çökme (mm)	12,02
Kalıcı Çökme (mm)	12,02
Maksimum Kuvvet (N)	3359



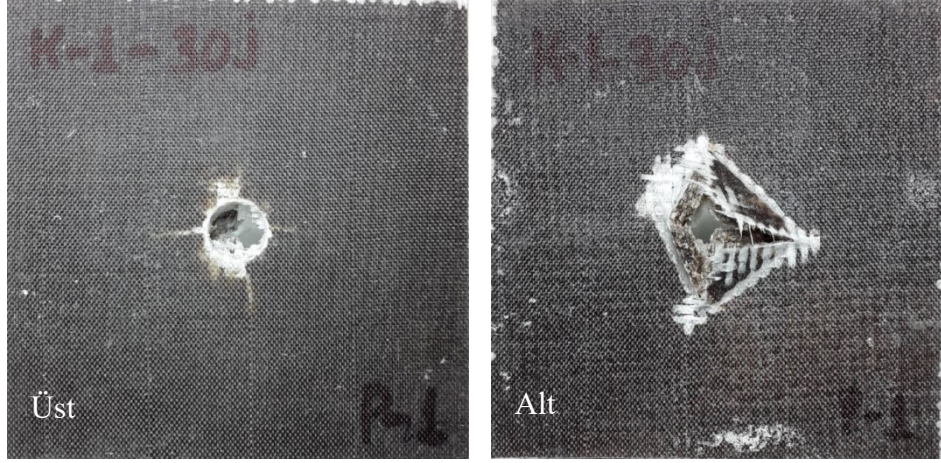
Şekil 4.62 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



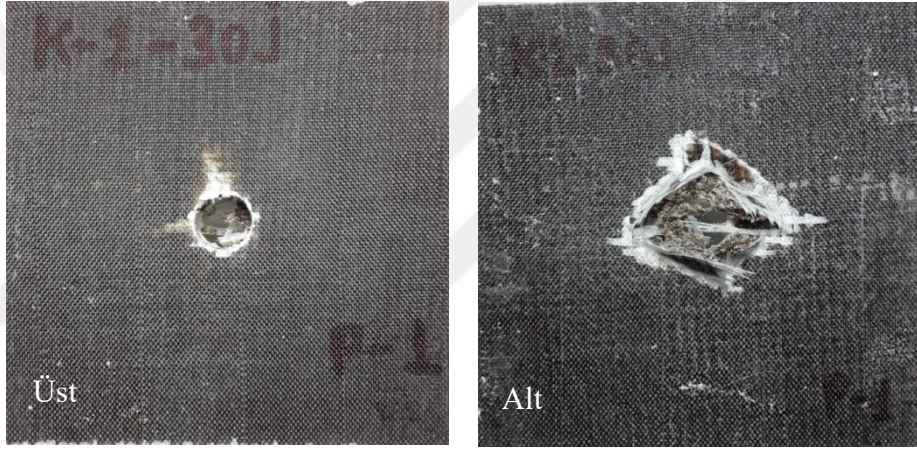
Şekil 4.63 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.20 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

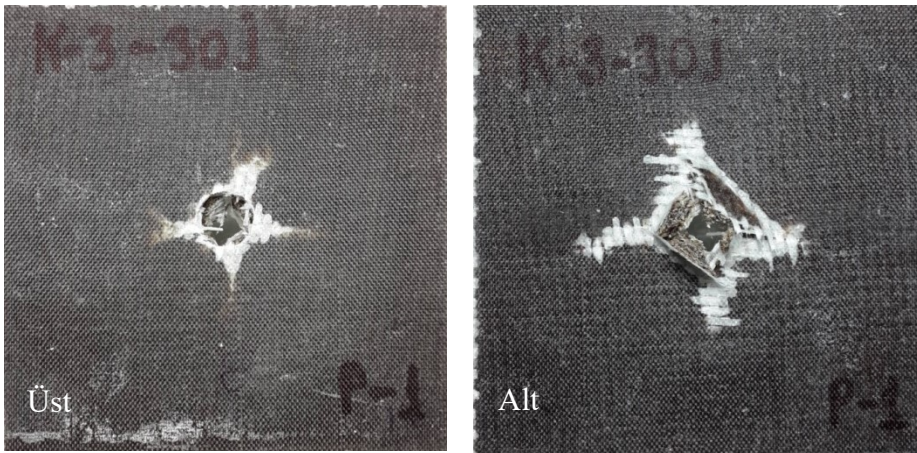
Numune No	K-3-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	27,02
Maksimum Çökme (mm)	12,96
Kalıcı Çökme (mm)	12,96
Maksimum Kuvvet (N)	3410



Şekil 4.64 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

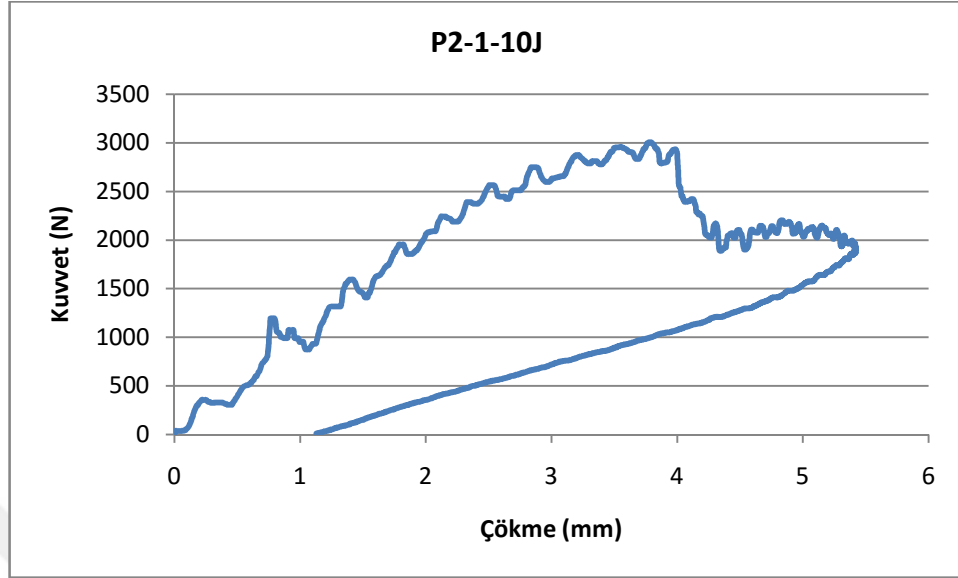


Şekil 4.65 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

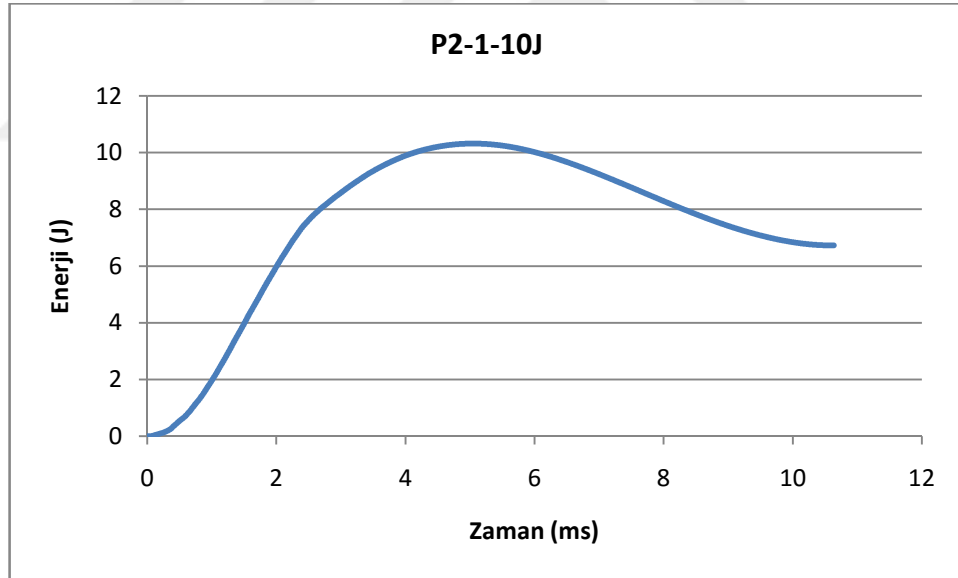


Şekil 4.66 Plaka 1'in, keten yüzüne 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

#### 4.2.1.3 Plaka 2'ye Uygulanan Darbe Sonuçları



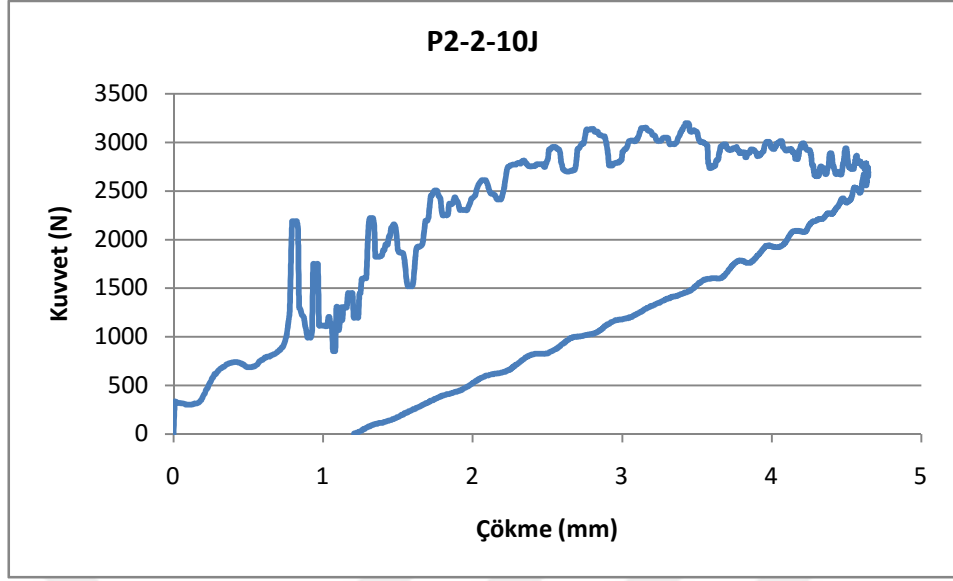
Şekil 4.67 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



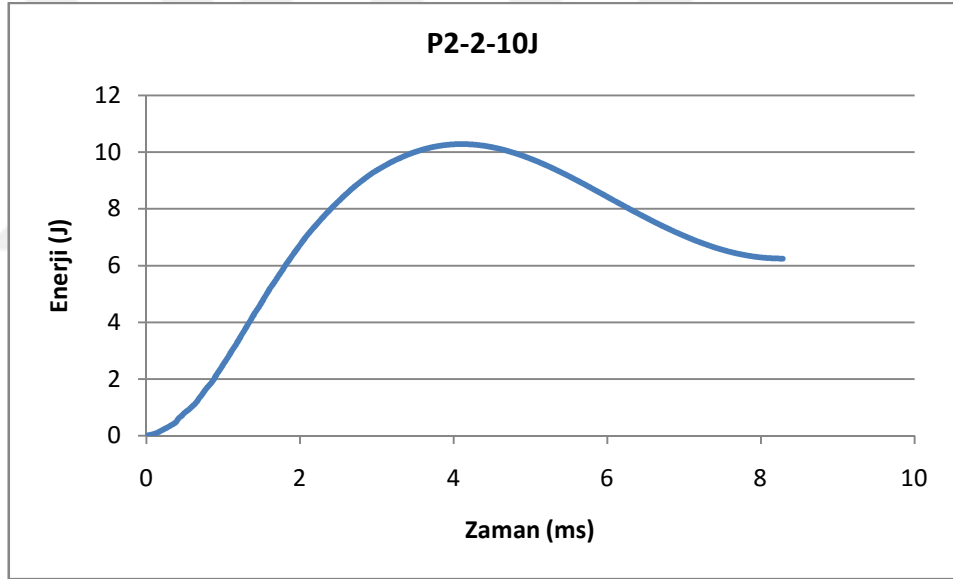
Şekil 4.68 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.21 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-1-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,73
Maksimum Çökme (mm)	5,41
Kalıcı Çökme (mm)	1,12
Maksimum Kuvvet (N)	3004



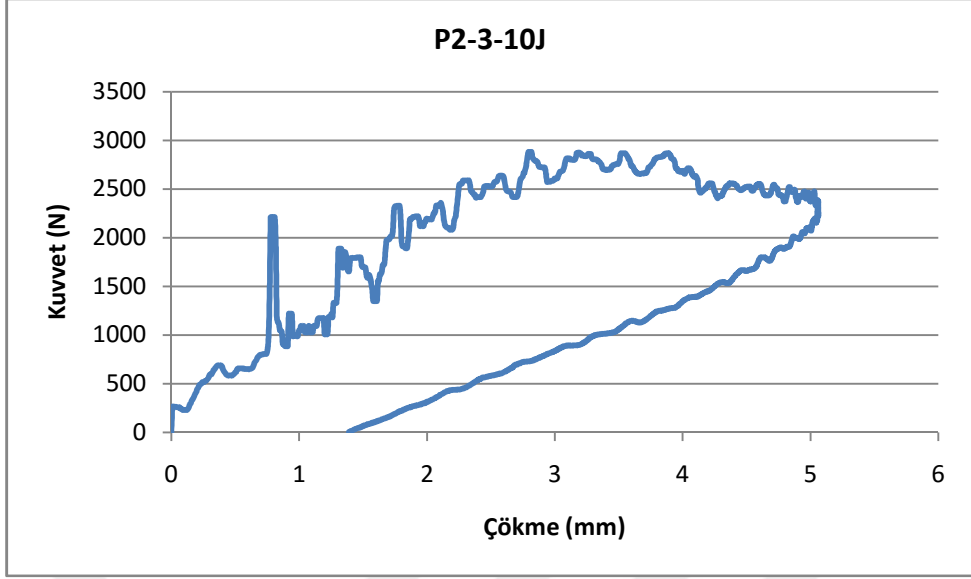
Şekil 4.69 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



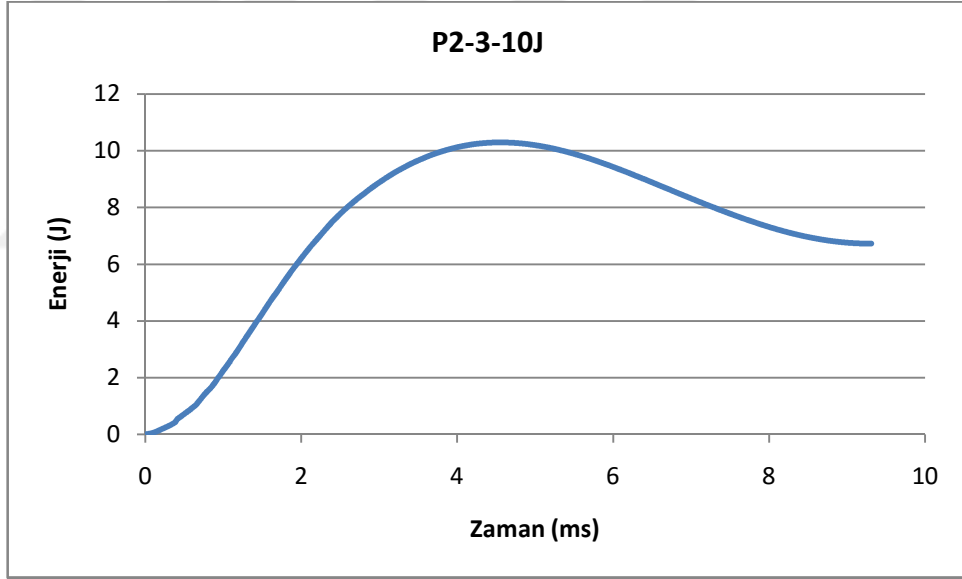
Şekil 4.70 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.22 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-2-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,24
Maksimum Çökme (mm)	4,64
Kalıcı Çökme (mm)	1,2
Maksimum Kuvvet (N)	3197



Şekil 4.71 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği

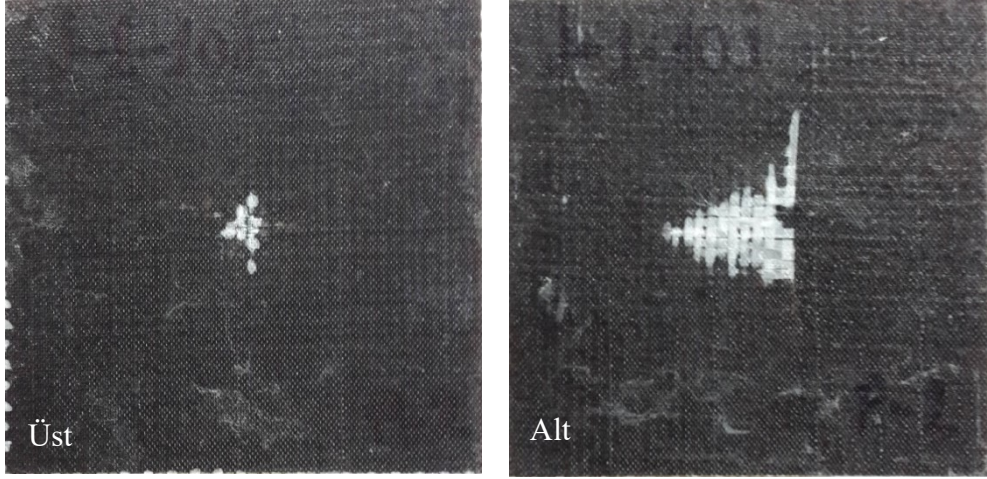


Şekil 4.72 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

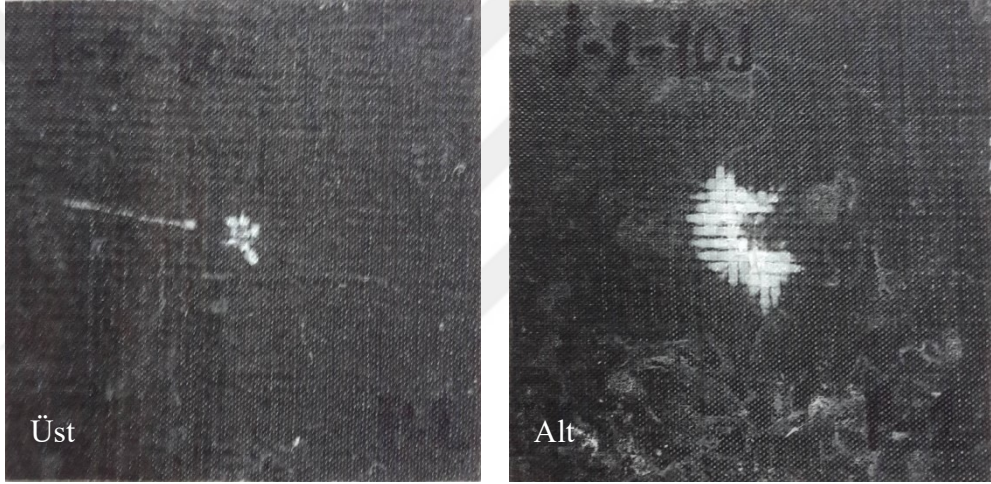
Tablo 4.23 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-3-10J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	10
Absorbe Edilen Enerji (J)	6,73
Maksimum Çökme (mm)	5,06
Kalıcı Çökme (mm)	1,38
Maksimum Kuvvet (N)	2879

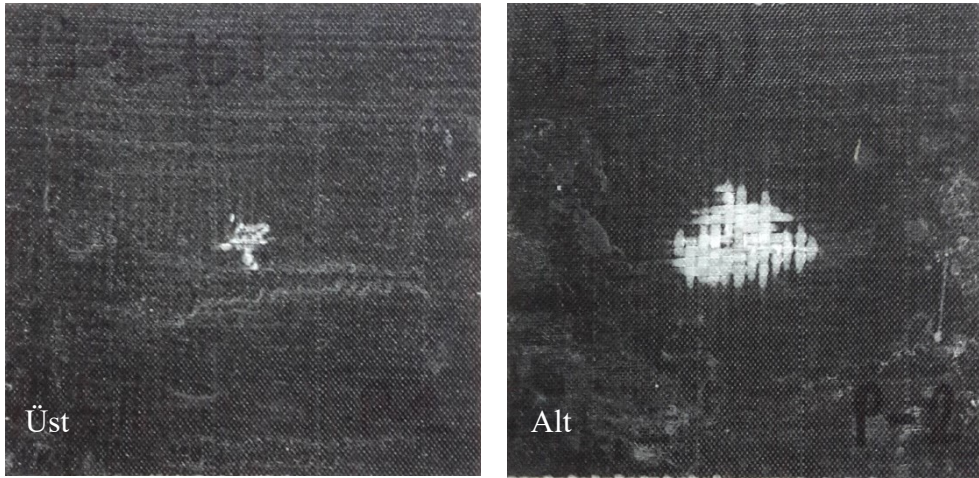




Şekil 4.73 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

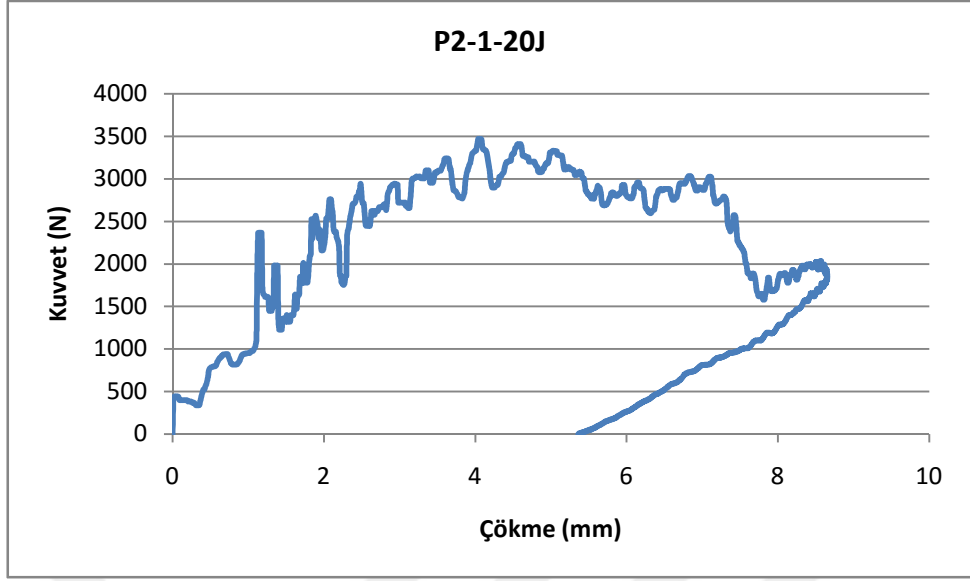


Şekil 4.74 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

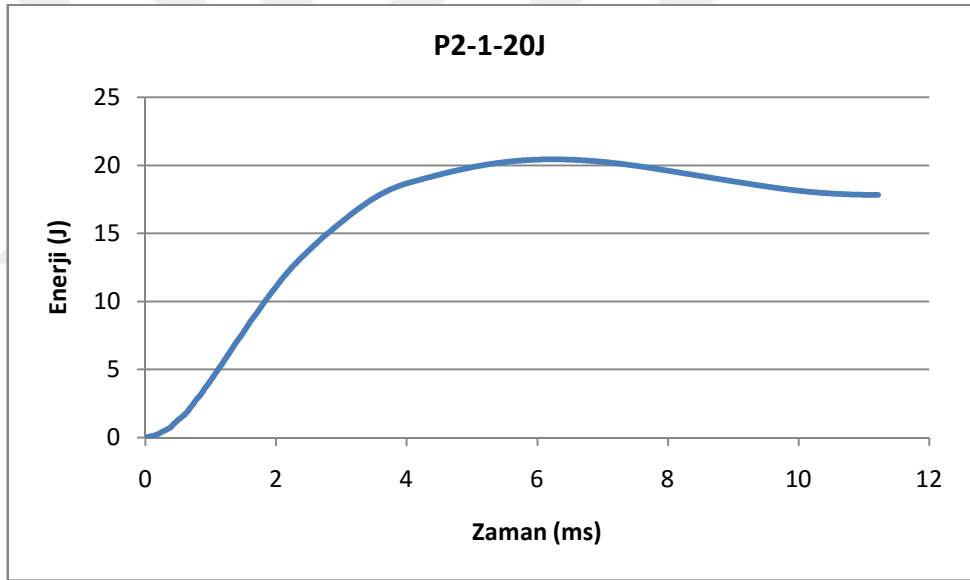


Şekil 4.75 Plaka 2'nin, 10J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü





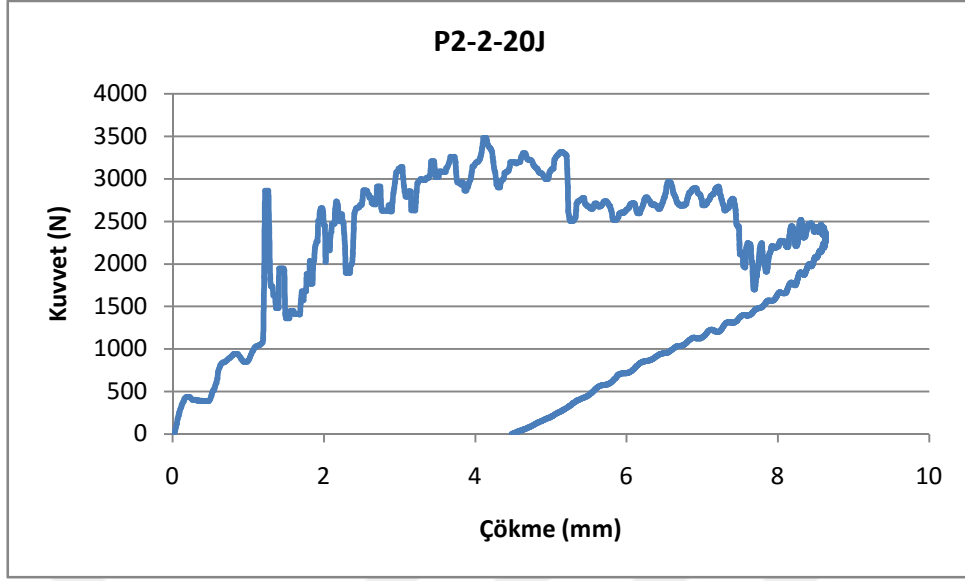
Şekil 4.76 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



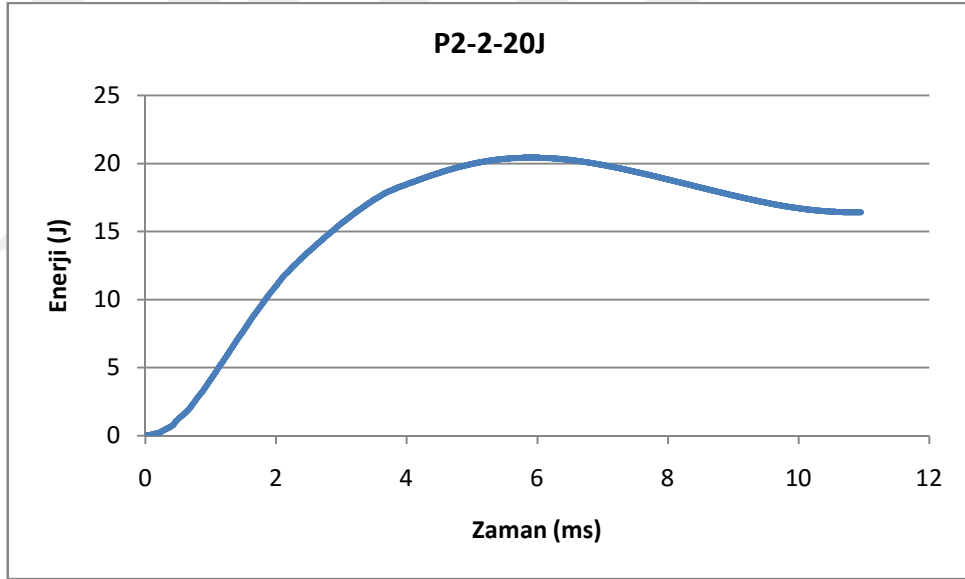
Şekil 4.77 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.24 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-1-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	17,83
Maksimum Çökme (mm)	8,65
Kalıcı Çökme (mm)	5,36
Maksimum Kuvvet (N)	3466



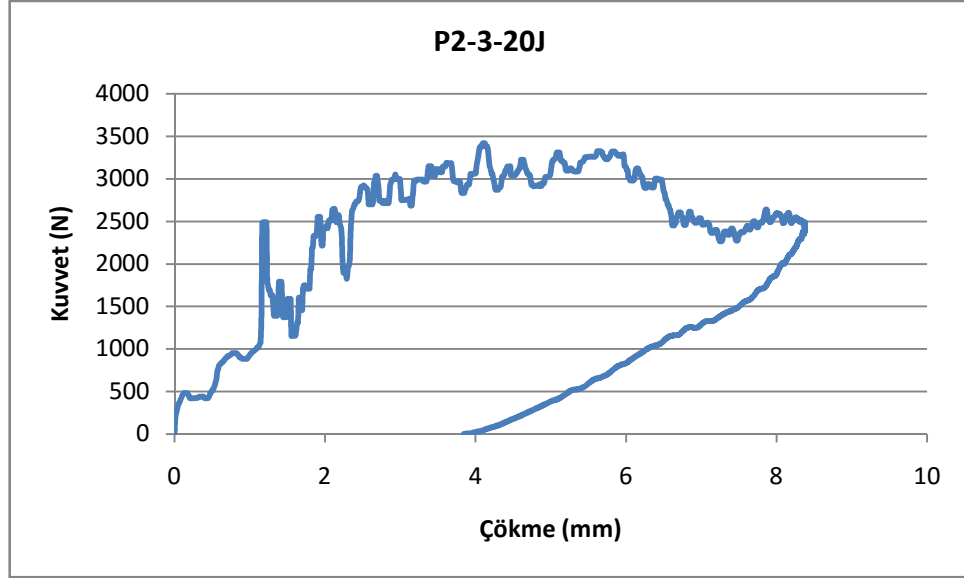
Şekil 4.78 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



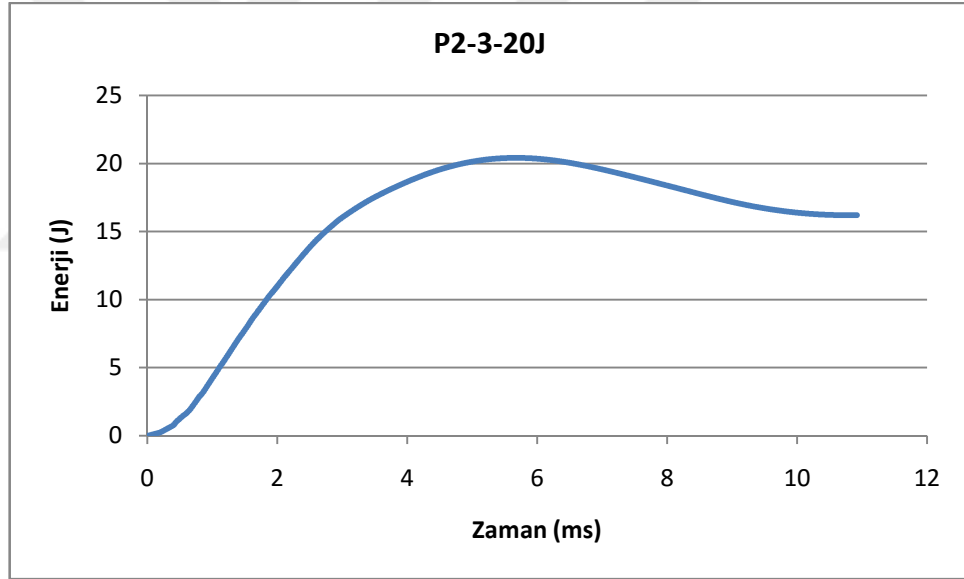
Şekil 4.79 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.25 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-2-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,4
Maksimum Çökme (mm)	8,63
Kalıcı Çökme (mm)	4,48
Maksimum Kuvvet (N)	3480



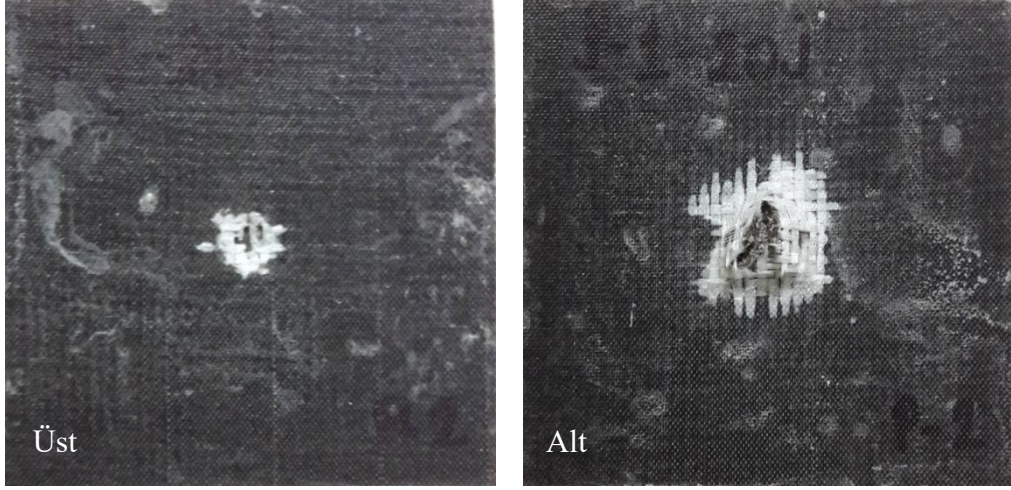
Şekil 4.80 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



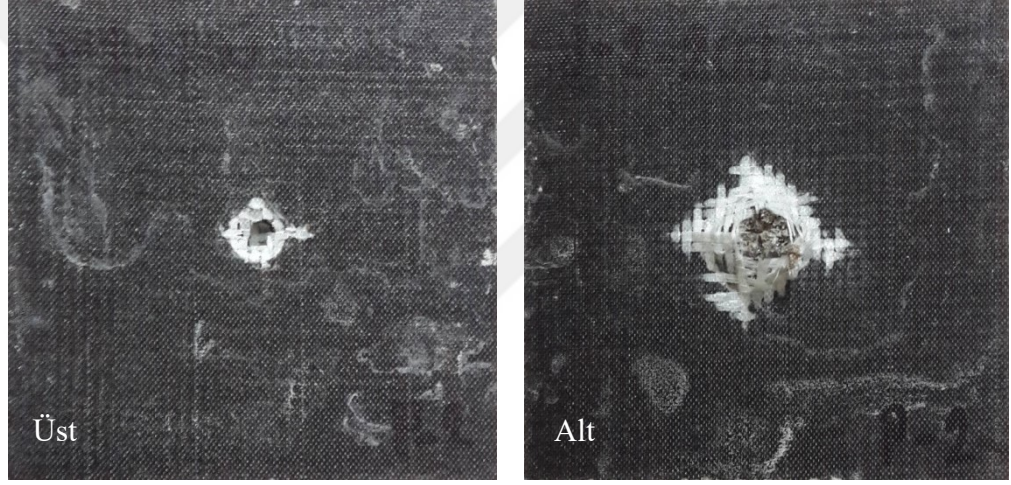
Şekil 4.81 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.26 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

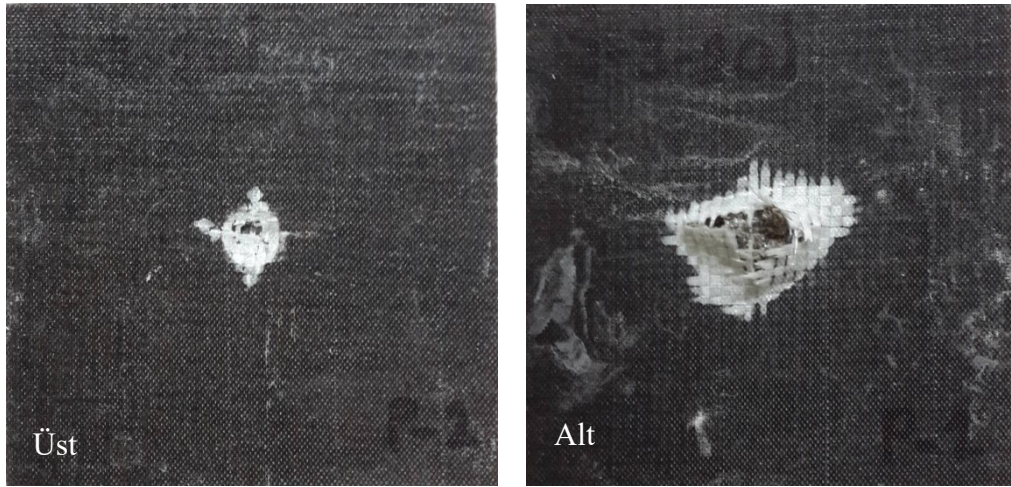
Numune No	P2-3-20J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	20
Absorbe Edilen Enerji (J)	16,21
Maksimum Çökme (mm)	8,37
Kalıcı Çökme (mm)	3,84
Maksimum Kuvvet (N)	3418



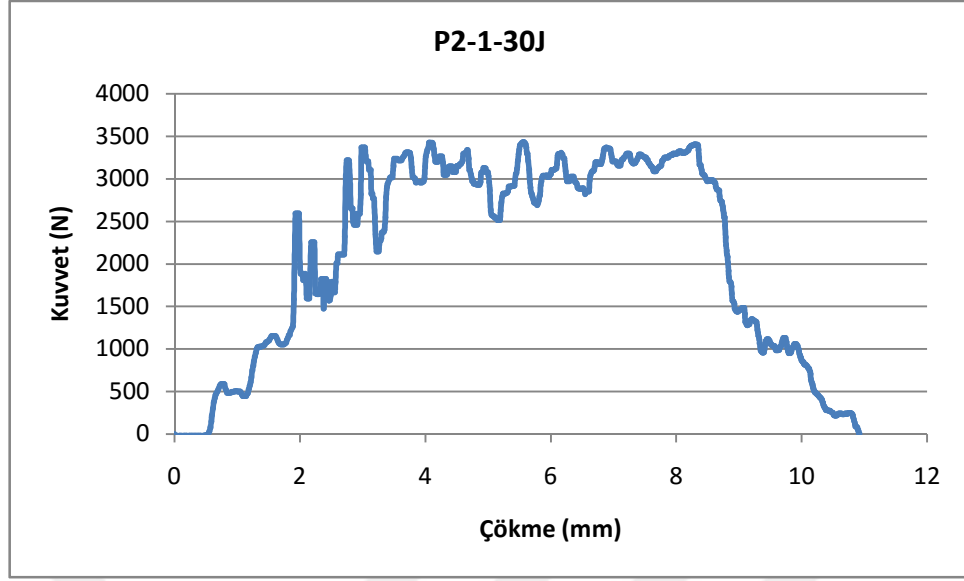
Şekil 4.82 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



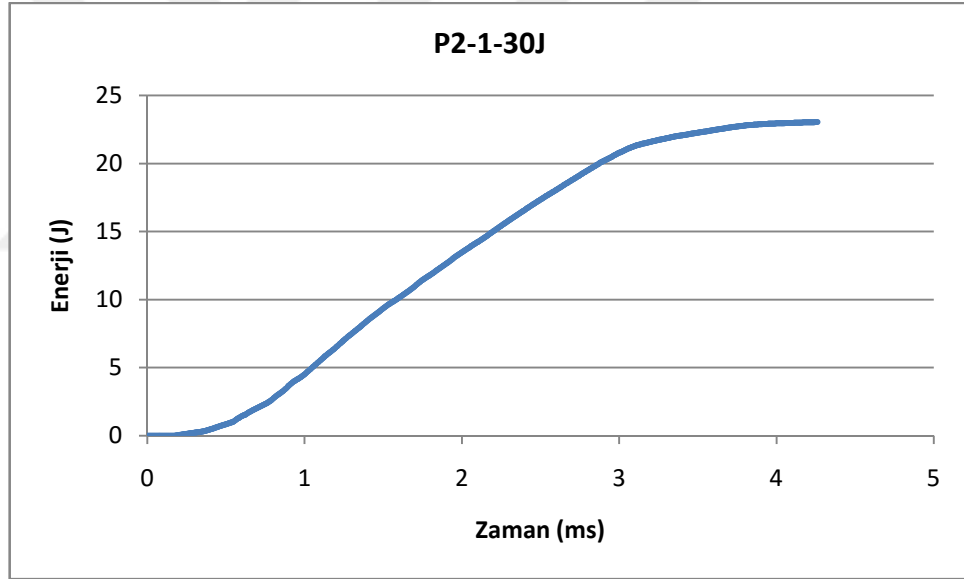
Şekil 4.83 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



Şekil 4.84 Plaka 2'nin, 20J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



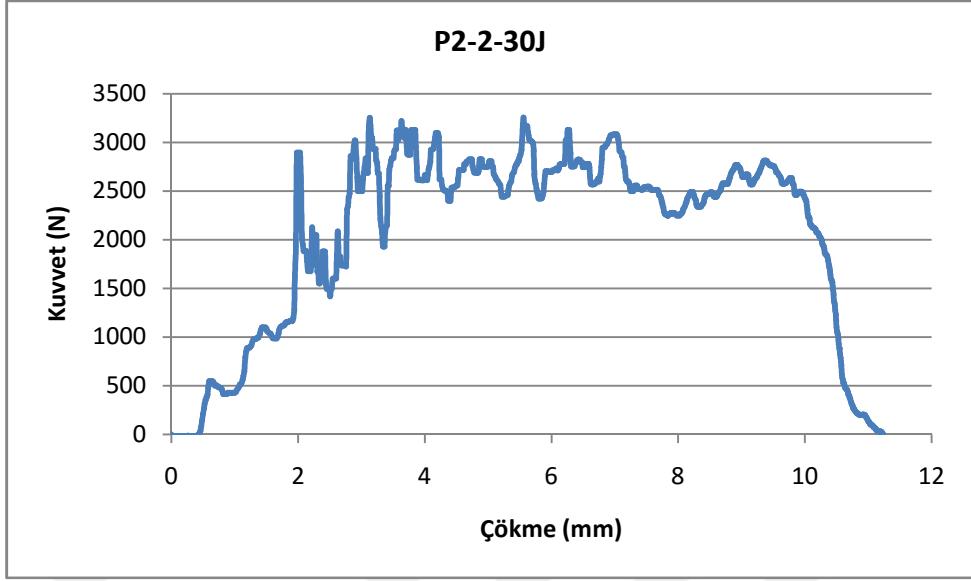
Şekil 4.85 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



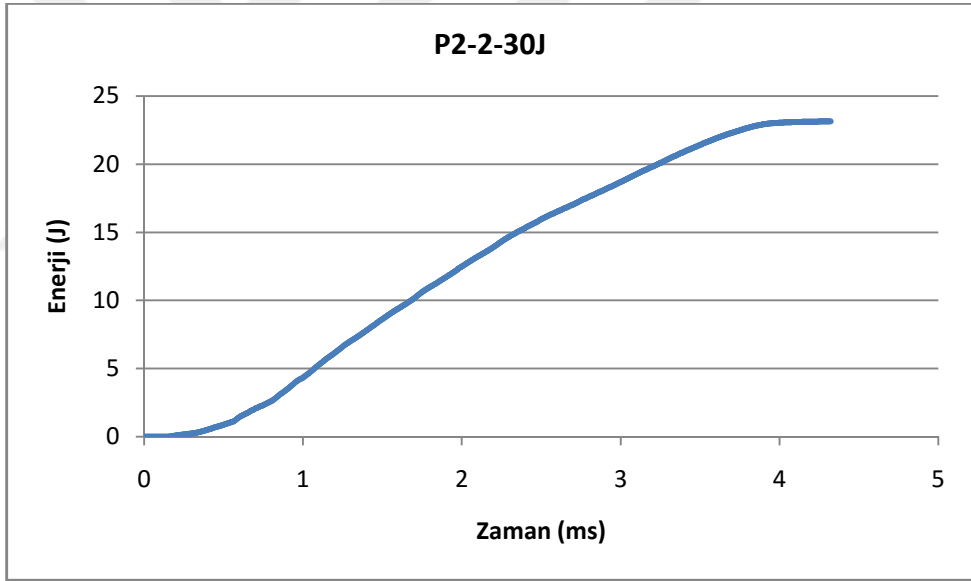
Şekil 4.86 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.27 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-1-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	23,02
Maksimum Çökme (mm)	10,92
Kalıcı Çökme (mm)	10,92
Maksimum Kuvvet (N)	3429



Şekil 4.87 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için kuvvet-çökme grafiği

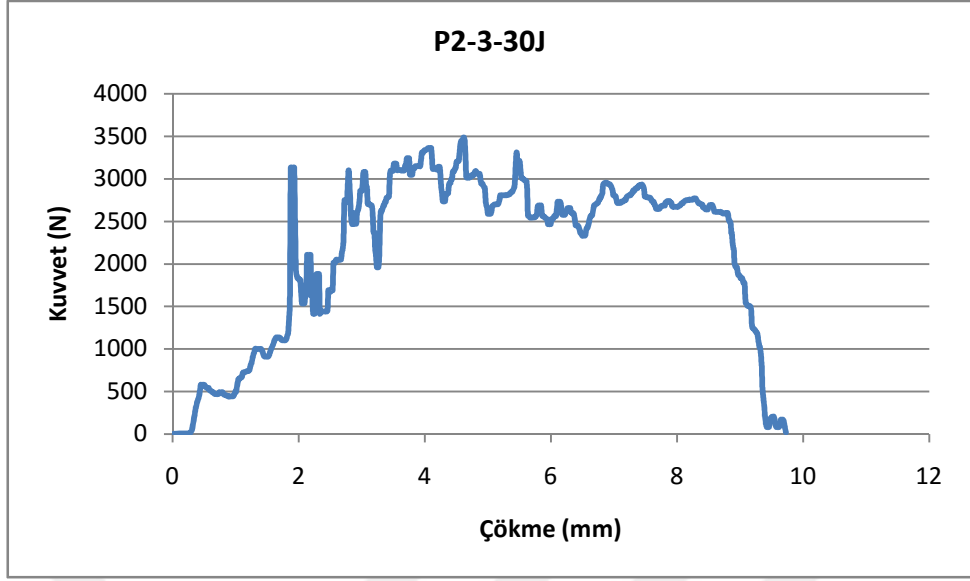


Şekil 4.88 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için enerji-zaman grafiği

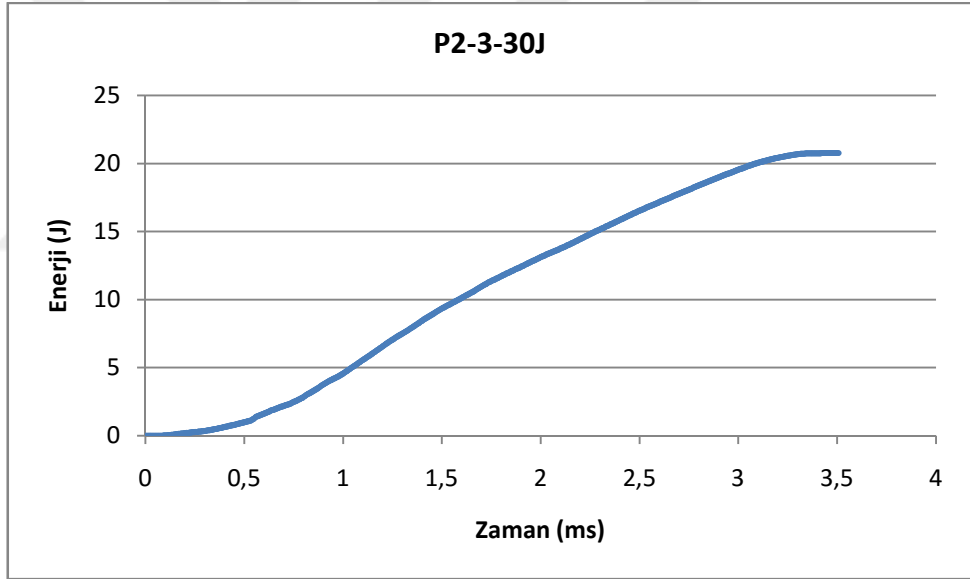
Tablo 4.28 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için elde edilen veriler

Numune No	P2-2-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	23,11
Maksimum Çökme (mm)	11,23
Kalıcı Çökme (mm)	11,23
Maksimum Kuvvet (N)	3256





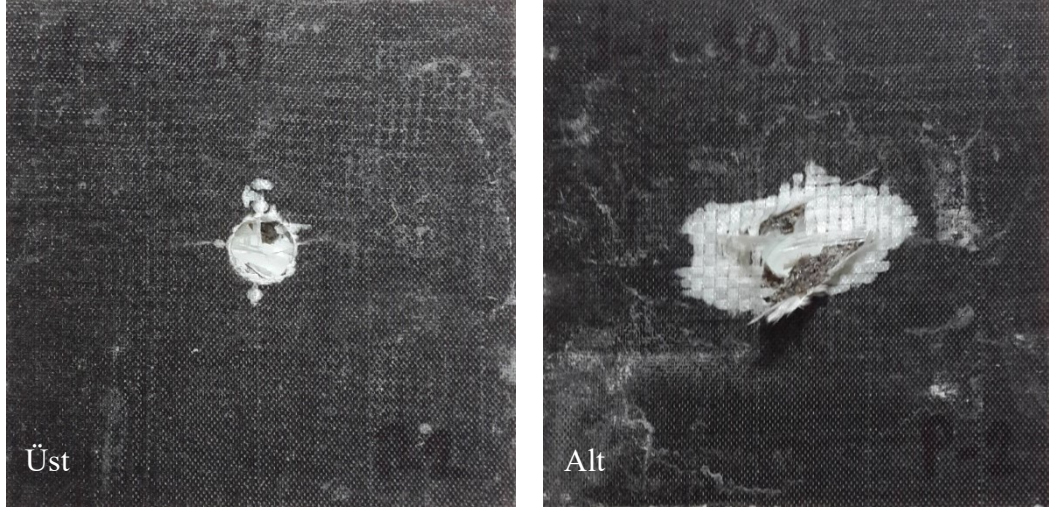
Şekil 4.89 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için kuvvet-çökme grafiği



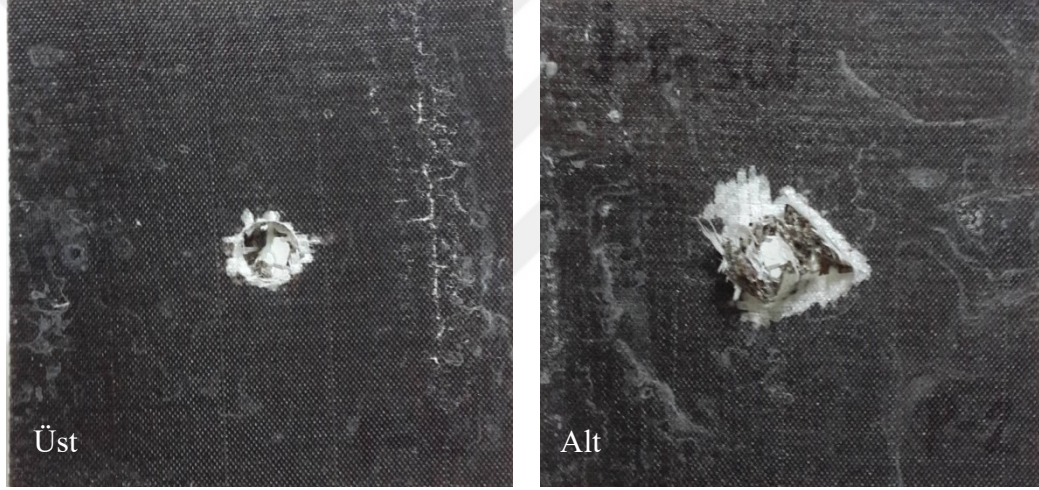
Şekil 4.90 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için enerji-zaman grafiği

Tablo 4.29 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için elde edilen veriler

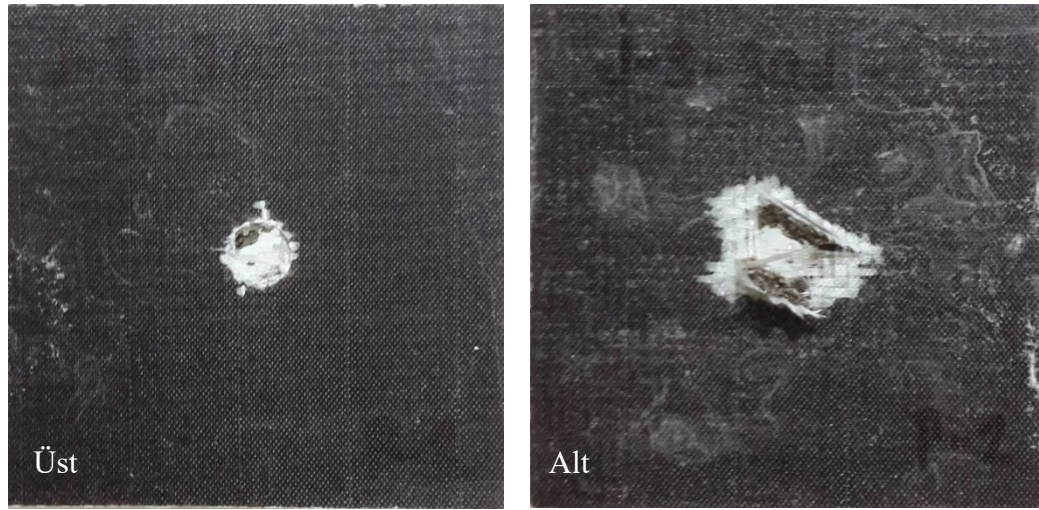
Numune No	P2-3-30J
Uygulanan Darbe Enerjisi (J)	30
Absorbe Edilen Enerji (J)	20,72
Maksimum Çökme (mm)	9,72
Kalıcı Çökme (mm)	9,72
Maksimum Kuvvet (N)	3480



Şekil 4.91 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 1. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



Şekil 4.92 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 2. numunesi için darbe hasarı görüntüsü



Şekil 4.93 Plaka 2'nin, 30J darbe enerjisi uygulanan 3. numunesi için darbe hasarı görüntüsü

#### 4.2.2 Darbe Testleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Darbe cihazından elde edilen veriler ile her numune için kuvvet-çökme ve enerji-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Kuvvet-çökme eğrileri, kompozit malzemelerin darbe yüküne olan tepkisini gösterir. Açık ve kapalı olmak üzere iki çeşit eğri oluşur. Darbe enerjisi az olduğunda kapalı tip eğri oluşur ve geri sekme olayı gerçekleşir. Bu yüklemelerde darbe yükü, numunelere matris çatlakları dışında ciddi bir hasar vermez. Kapalı eğri oluşturan diğer hasar şeklide nüfuziyettir. Bu durumda geri sekme olmaz ve darbe ucu numuneye saplanır. Oluşan hasarlarda matris çatlaklarının yanında takviye malzemeleri de hasar görür. Darbe enerjisi nüfuziyetten daha fazlaysa numune delinir. Bunun sonucunda açık tip eğri oluşur. Açık olan eğrilerde ise eğrinin sonunda oluşan yatay kısım, delinmeden sonraki sürtünmeyi ifade eder. Numunelerdeki hasar oluşumundan kaynaklanan gerçek enerji absorpsiyonunu tespit etmek için delinme sonrası sürtünme kısmı eğriden çıkarılır. Bu amaçla eğrinin inen kısmının sonundan çökme eksenine doğru eğri uzatılır (Ataş ve Sayman, 2008).

Kompozit yapıların darbeden sonra hasar sürecini belirlemek için iki ana parametre vardır. Bunlar darbe enerjisi ( $E_i$ ) ve absorbe edilen enerji ( $E_a$ )'dir.  $E_i$  darbe ucunun kinetik enerjisidir.  $E_a$  ise darbeden sonra absorbe edilen enerji miktarıdır. Absorbe edilen enerji numuneyi hasara uğratmayı sağlayan enerjidir. Absorbe edilen enerji kuvvet-çökme eğrilerinden hesaplanabilir. Eğrinin altında kalan alan absorbe edilen enerji miktarını verir. Ayrıca enerji-zaman grafiklerinden de absorbe edilen enerji miktarını bulmak mümkündür. Bu eğriler belli bir miktar artış gösterip uygulanan enerji seviyesine ulaştıktan sonra yataylaşıp sabit bir değere ulaşır. Bu değer absorbe edilen enerjidir (Ataş ve Sayman, 2008).

10J darbe enerjisinde test edilen numuneler incelendiğinde, darbe yüzünde sadece küçük bir iz olduğu, numunenin diğer yüzünde ise küçük bir bölgede matris çatlakları olduğu görülmüştür. Oluşan tüm kuvvet-çökme eğrileri kapalı tiptir. Test sırasında her numunede geri sekme olayı gerçekleşmiştir. Plaka 1'in jüt yüzüne uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 6,9J, Plaka 1'in keten yüzüne

uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 6,77J ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 6,56J'dür.

20J darbe enerjisinde test edilen numuneler incelendiğinde, Plaka 1'in jüt yüzüne darbe uygulanan numunelerinde, 2. numune hariç tüm numunelerde geri sekme görülmüştür. Kuvvet-çökme eğrileri kapalı tiptir. 2. Numunesinde ise delinme gerçekleşmiştir. Elde edilen eğri açık tiptir. Bu numune ortalama absorbe edilen enerji miktarı hesaplanırken göz ardı edilecektir. Plaka 1'in keten yüzüne darbe uygulanan tüm numunelerinde geri sekme görülmüştür. Kuvvet-çökme eğrileri kapalı tiptir. Darbe uygulanan yüzde darbe ucunun izi oluşup diğer yüzde matris çatlağı ve az miktarda elyaf kırıkları oluşmuştur. Plaka 2'nin de tüm numunelerinde geri sekme gerçekleşmiştir. Ancak Plaka 1'in her iki yüzüne darbe uygulanan numunelerinden daha fazla hasar oluşmuştur. Numunelerin darbe uygulanan yüzlerinde darbe ucunun küresel formunda çökme oluşmuş, diğer yüzlerinde ise matrisle birlikte elyaflar da kırılmıştır. Plaka 1'in jüt yüzüne uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 16,55J, Plaka 1'in keten yüzüne uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 15,95J ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 16,81J'dür.

30J darbe enerjisinde test edilen numuneler incelendiğinde, uygulanan enerji seviyesinin delinme eşiğini aşmaya yettiği görülmüştür. Delinme eşiği darbe ucunun numunenin arka yüzüne ulaşması için absorbe edilen enerji olarak tanımlanabilir. Darbe uygulanan yüzde dairesel bir delik ve bu delik etrafında kısa matris çatlakları görülmektedir. Diğer yüzde ise elyaf ve matris hasarı oluşmuştur. Tüm kuvvet-çökme eğrileri açık tiptir. Plaka 1'in jüt yüzüne uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 27,7J, Plaka 1'in keten yüzüne uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 23,3J ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarı 22,28J'dür.

## BÖLÜM BEŞ SONUÇLAR

Bu çalışmada son yıllarda popülerliğini hızla artıran doğal elyaflarla takviye edilmiş karma kompozit malzemenin oluşturulması ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi konu edilmiştir.

Sıklıkla kullanılan doğal elyaflar ile takviye edilmiş kompozit malzemeleri içeren çalışmalar incelenmiş ve bunların özetleri sunulmuştur. Başta keten ve jüt olmak üzere kompozitlerde yaygın kullanılan doğal elyaflar hakkında bilgiler verilmiştir.

Jüt ve keten dokuma kumaş takviyeli, matrisi epoksi olan karma kompozitler, vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle üretilmiştir. Kumaşların farklı sırayla istiflenmesi ile iki ayrı plaka halinde üretilen kompozitler, 4 kat jüt ve 4 kat keten kumaşlar ile %48 lif hacim oranında oluşturulmuştur. Ayrıca her iki plakanın dış yüzeylerinde birer kat cam dokuma kumaş, yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

Jüt ve keten kumaşlara ayrı ayrı alkali işlem uygulanmıştır. %1'lik NaOH çözeltisi içinde 2 saat süreyle bekletilen kumaşlar, daha sonra çeşme suyunda ph 7 olana dek yıkanmıştır.

Plakalardan ASTM 3039'a göre 25,4x229mm ölçülerinde 3'er adet çekme testi numunesi kesilmiştir. Çekme testleri 1mm/dk hızla gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sonucunda her plaka için test edilen 3 numunenin ortalaması alınarak kopma gerilmeleri sırasıyla 93,55MPa ve 98,15MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değerler incelendiğinde aynı sayı ve türde kumaş içeren farklı kompozitlerden benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Her iki plakadan 100x100mm ölçülerinde kesilen numunelere 10J, 20J ve 30J enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testi yapılmıştır. Plaka 1'in hem jüt yüzü hem de keten yüzü için darbe testleri gerçekleştirilmiştir. 10J darbe enerjisi ile yapılan

testler sonucunda tüm numunelerde geri sekme olmuştur. Plaka 1'in jüt yüzüne, Plaka 1'in keten yüzüne ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarları sırasıyla 6,9J, 6,77J ve 6,56J'dür.

20J darbe enerjisi ile yapılan testler sonucunda geri sekme ve sadece bir numunede delinme görülmüştür. Bu numune ortalama absorbe edilen enerji miktarları bulunurken dikkate alınmamıştır. Plaka 1'in jüt yüzüne, Plaka 1'in keten yüzüne ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarları sırasıyla 16,55J, 15,95J ve 16,8J'dür.

30J darbe enerjisi ile yapılan testler sonucunda tüm numuneler delinmiştir. Plaka 1'in jüt yüzüne, Plaka 1'in keten yüzüne ve Plaka 2'ye uygulanan darbe sonucunda ortalama absorbe edilen enerji miktarları sırasıyla 27,7J, 23,3J ve 22,28J'dür.

Numunelerde oluşan hasarların ve absorbe edilen enerji miktarlarının incelenmesi sonucunda:

-Plaka 1'in jüt yüzüne darbe uygulanmasının keten yüzüne darbe uygulanmasından daha iyi sonuç verdiği,

-Numunenin alt yüzünün keten olmasının jüt olmasına göre daha az hasar oluşturduğu,

-Numunenin üst yüzünün jüt olması durumunda daha fazla enerji absorbe edebildiği görülmüştür.

Sonuçlar göstermiştir ki aynı tip ve sayıda kumaş ile farklı sıralarda istiflenerek elde edilen kompozitlerde, darbe davranışları ve çekme özellikleri farklılık göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- Ahmed, K.S., Vijayarangan, S. ve Kumar, A. (2007). Low velocity impact damage characterization of woven jute-glass fabric reinforced isothalic polyester hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26 (10), 959-976.
- Arıcasoy, O. (2006). *Kompozit sektör raporu*. İstanbul Ticaret Odası, 14 Aralık 2015, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-57.pdf>.
- Ataş, C. ve Sayman, O. (2008). An overall view on impact response of woven fabric composite plates. *Composite Structures*, 82, 336-345.
- Ataş, C. (2009). *Kompozit üretim yöntemleri*. 24 Aralık 2015, [http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4\\_%20Uretim%20Yontemleri.pdf](http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.pdf).
- Bakkal, M. ve Savaş, M. (2012). Cam elyafla güçlendirilmiş doğal elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi. *3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir.
- Baltic, (b.t.). *Long flax fiber*. 15 Ocak 2016, <http://www.baltic-flax.com/flax-fibres/long-flax-fiber>.
- Başer, İ. (2002). *Elyaf bilgisi* (2. Baskı). İstanbul: Marmara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Teknik Eğitim Fakültesi.
- Braga, R.A. ve Magalhaes Jr., P.A.A. (2015). Analysis of the mechanical and thermal properties of jute and glass fiber as reinforcement epoxy hybrid composites. *Materials Science and Engineering C*, 56, 269-273.
- Bulut, Y. ve Erdoğan Ü.H. (2011). Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 18 (82), 26-35.

- Chaudhary, V., Gohil, P.P. ve Shaikh A.A. (2015). Development of potential composites through natural fiber reinforcement. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 74, 93-97.
- Croccolo, D., De Agostinis, M., Fini, S., Liverani, A., Marinelli, N., Nisini, E. ve ark. (2015). Mechanical characteristics of two environmentally friendly resins reinforced with flax fibers. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61 (4), 217-226.
- Dhakal, H.N., Arumugam, V., Aswinraj, A., Santulli, C., Zhang, Z.Y. ve Lopez-Arraiza, A. (2014). Influence of temperature and impact velocity on the impact response of jute/UP composites. *Polymer Testing*, 35, 10-19.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. ve Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. *Progress in Polymer Science*, 37, 1552-1596.
- Gedik, G., Avinç, O.O. ve Yavaş, A. (2010). Kenevir lifinin özellikleri ve tekstil endüstrisinde kullanımıyla sağladığı avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4 (3), 39-48.
- George, J., Ivens, J. ve Verpoest, I. (1999). Mechanical properties of flax fibre reinforced epoxy composites. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 272 (4747), 41-45.
- Hossain, R., Islam, A., Vuurea, A.V. ve Verpoest I. (2013). Tensile behavior of environment friendly jute epoxy laminated composite. *Procedia Engineering*, 56, 782-788.
- Huo, S., Thapa, A. ve Ulven, C.A. (2013). Effect of surface treatments on interfacial properties of flax fiber-reinforced composites. *Advanced Composite Materials*, 22 (2), 109-121.

Interloom, (b.t.). *Organic flax harvest*. 15 Ocak 2016, <http://www.interloom.org/fabrics/canvas-100-organic-linen-151cm-265gm2-bleached-white/egon-heger-oeko-flachs-raufen/>.

İnkaya, S. (2011). Dünyada ve Türkiye’de kompozit sektörü. *Mühendis ve Makina*, 52 (613), 30-34.

Janata, (b.t.). *Jute*. 15 Ocak 2016, <http://www.janata-sadat-jute.com/>.

Jutekott, (b.t.). *What is jute*. 15 Ocak 2016, <http://jutekott.ee/eng/what-is-jute/>.

Jütsan Ambalaj Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (b.t.). *Jüt nedir*. 25 Aralık 2015, <http://www.jutsanambalaj.com.tr/jut.html>.

Karabulut, N. ve Aktaş, M. (2014). Jüt lifi takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin yüzey modifikasyon işlemiyle iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 55 (649), 43-49.

Kvavadze, E., Bar-Yosef, O., Belfer-Cohen, A, Boaretto, E., Jakeli, N., Matskevich, Z. ve ark. (2009). 30,000-year-old wild flax fibres. *Science*, 325 (5946), 1359.

Mula, K.H. (2006). Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile kalıplama. *Kompozit Dünyası*, 3, 4-7.

Muralidhar, B.A., Giridev, V.R. ve Raghunathan, K. (2012). Flexural and impact properties of flax woven, knitted and sequentially stacked knitted/woven preform reinforced epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31 (6), 379-388.

Pai, A.R. ve Jagtap, R.N. (2015). Surface morphology & mechanical properties of some unique natural fiber reinforced polymer composites. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6 (4), 902-917.

Pandita, S.D., Yuan, X., Manan, M.A., Lau, C.H., Subramanian, A.S. ve Wei, J. (2014). Evaluation of jute/glass hybrid composite sandwich: Water resistance, impact properties and life cycle assessment. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33 (1), 14-25.

Poliya, (b.t.). *İnfüzyon - Vakum Torbalama*. 28 Aralık 2015, [https://www.poliya.com/tr/products/materials/infusion\\_vacuum\\_bagging/](https://www.poliya.com/tr/products/materials/infusion_vacuum_bagging/).

Rami, (2013). *Rami nedir, rami bitkisi ve lifi*. 25 Aralık 2015, <http://tekstilsayfasi.blogspot.com.tr/2013/01/ramie-rami-lifi.html>.

Rediscoverhemp, (b.t.). *Hemp stem fibers*. 15 Ocak 2016, <http://rediscoverhemp.com/wp-content/uploads/2013/01/hemp-stem-fiber.jpg>.

Sağbaşı, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. (2009). Keten lifleri ile takviye edilmiş polyester esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1-2), 185-192.

Sanctuarysoil, (b.t.). *Coco coir*. 15 Ocak 2016, <http://sanctuarysoil.com/2012/coco-coir-the-ideal-medium-for-root-development-and-optimal-plant-growth/>.

Santulli, C., Sarasini, F., Tirillo, J., Valente, T., Valente, M., Caruso, A.P. ve ark. (2013). Mechanical behavior of jute cloth/wool felts hybrid laminates. *Materials and Design*, 50, 309-321.

Sever, K., Sarıkanat, M., Seki, Y., Tavman, İ.H. ve Sever, K. (2011). Isıl çevrimin jüt fiber/yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitlerin tabakalararası kayma dayanımına etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ.

Sisal, (b.t.). *Sisal*. 15 Ocak 2016, <http://www.sisal.ws/page1/page1.html>.

Tekstil, (2013). *Jüt lifleri ve özellikleri*. 25 Aralık 2015, <http://tekstilsayfasi.blogspot.com.tr/2013/01/jute-lifi-jut-nedir-ozellikleri.html>.

Textileacademia, (b.t.). *Kenaf*. 15 Ocak 2016, <http://textileacademia.com/natural-fiber/kenaf/>.

Wikipedia-abaca, (b.t.). *Abaca*. 15 Ocak 2016, [https://en.wikipedia.org/wiki/Abaca%C3%A1#/media/File:Abaca\\_fiber\\_drying\\_in\\_Abaca\\_farm,\\_Costa\\_Rica.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Abaca%C3%A1#/media/File:Abaca_fiber_drying_in_Abaca_farm,_Costa_Rica.jpg).

Wikipedia-ceiba, (b.t.). *Kapok*. 15 Ocak 2016, [https://en.wikipedia.org/wiki/Ceiba\\_pentandra](https://en.wikipedia.org/wiki/Ceiba_pentandra).

Wikipedia-pamuk, (b.t.). *Pamuk*. 25 Aralık 2015, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Pamuk>.

Vijaya Ramnath, B., Elanchezhian, C., Nirmal, P.V., Prem Kumar, G., Santhosh Kumar, V., Karthik, S. ve ark. (2014). Experimental investigation of mechanical behavior of jute-flax based glass fiber reinforced composite. *Fibers and Polymers*, 15 (6), 1251-1262.

Vijaya Ramnath, B., Manickavasagam, V.M., Elanchezhian, C., Vinodh Krishna, C., Karthik, S. ve Saravanan, K. (2014). Determination of mechanical properties of intra-layer abaca-jute-glass fiber reinforced composite. *Materials and Design*, 60, 643-652.

Yan, L., Chouw, N. ve Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites. *Composites: Part B*, 56, 296-317.

Zhang, Y., Li, Y., Ma, H. ve Yu, T. (2013). Tensile and interfacial properties of unidirectional flax/glass fiber reinforced hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 88, 172-177.

Zhu, J., Zhu, H., Njuguna, J. ve Abhyankar, H. (2013). Recent development of flax fibres and their reinforced composites based on different polymeric matrices. *Materials*, 6, 5171-5198.

