



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**DOĞAL ATIK TOHUM KATKILI POLİMERİK
KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Zeynep Asena KARATEKİN

Kimya Anabilim Dalı

İzmir
2020

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**DOĞAL ATIK TOHUM KATKILI POLİMERİK
KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI
VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Zeynep Asena KARATEKİN

Danışman : Doc. Dr. Hakan AKAT

Kimya Bölümü Anabilim Dalı
Fizikokimya Yüksek Lisans Programı

İzmir
2020

Zeynep Asena Karatekin tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Doğal Atık Tohum Katkılı Polimerik Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’ nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 30/01/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Mehmet BALCAN

Raportör Üye

: Doç. Dr. Hakan AKAT

Üye

: Doç. Dr. Kamil SİRİN

İmza

Balcan
Akat
Kirin

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Doğal Atık Tohum Katkılı Polimerik Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

30 / 01 / 2020

 İmzası

Zeynep Asena KARATEKİN

ÖZET**DOĞAL ATIK TOHUM KATKILI POLİMERİK KOMPOZİT
MALZEMELERİN HAZIRLANMASI VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

KARATEKİN, Zeynep Asena

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan AKAT

30 Ocak 2020, 90 sayfa

Bu çalışmada, doğal atık tohumları katkı, farklı oranlarda doymamış polyester ve epoksi vinil ester reçinesi kullanılarak elde edilen kompozitlerin fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Kompozitler, farklı oranlarda kütlece %10, %20, %30, %40 ve %50 olmak üzere, atık kahve, pamuk ve zeytin çekirdekleri kullanılarak oluşturulmuştur. Reçine olarak stiren bazlı doymamış polyester ve epoksi vinil ester reçineleri kullanılmıştır. Numunelerin oluşturulmasında el yatırma tekniği kullanılmıştır. Bitkisel atık lifler ilk olarak öğütme işlemine alınıp, 500 mikron boyutundaki elekten geçirildikten sonra, reçine ile birleştirilip kalıplara dökülmüştür. Yaklaşık 70 °C sıcaklık altında etüvde kürlendikten sonra özelliklerini incelemek için çeşitli testler uygulanmıştır. Elde edilen kompozitler yoğunluk, sertlik, düşük hızda darbe mukavemeti, termal gravimetrik analiz ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sanayiye yönelik üretimde kullanılacak alternatif hammaddeler ortaya çıkarmak, maliyetlerin düşürülmesi ve atık olan eşyanın geri kazanılması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca atık olan eşyanın kazanımı çevre bilinci ve sosyal sorumluluk açısından önem arz etmektedir. Böylelikle daha düşük maliyetlerle daha dayanıklı çevre dostu yapılar oluşturulacaktır. Elde edilen veriler doğrultusunda ekolojik katkının yanı sıra, yeni iş kolları ve istihdam da sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmada, sanayiye yönelik üretimde kullanılacak alternatif hammaddeler ortaya çıkarmıştır ve sosyal sorumluluk çerçevesinde atık olan hammaddelerin geri kazanılarak katma değer sağlamıştır.

Anahtar sözcükler: Polimer, atık tohum, kompozit, bitkisel lif, stiren bazlı doymamış polyester reçine, epoksi vinil ester reçine, geri dönüşüm kompozit



ABSTRACT**PREPARATION OF NATURAL WASTE ADDED POLYMERIC
COMPOSITE MATERIALS AND INVESTIGATION OF THEIR
PHYSICAL PROPERTIES**

KARATEKİN, Zeynep Asena

MSc in Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan AKAT

30 January 2020, 90 pages

In this study, the physical properties of composites obtained using different ratios of unsaturated polyester and epoxy vinyl ester resins with natural waste seed were investigated. Composites were formed using waste coffee, cotton and olive beans in different proportions of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% by mass. Styrene-based unsaturated polyester and epoxy vinyl ester resins were used as resins. Hand laying technique was used to form the samples. The plant waste fibers were first milled, passed through a 500 micron sieve, then combined with resin and poured into molds. After curing in an oven at a temperature of about 70 °C, various tests were performed to examine its properties. The obtained composites were subjected to density, hardness, low speed impact strength, thermal gravimetric analysis and SEM analyses were performed.

It is an important advantage to find alternative raw materials to be used in industrial production, to reduce costs and to recycle waste. In addition, the recovery of waste goods is important for environmental awareness and social responsibility. Thus, more durable environmentally friendly structures will be formed at lower costs. In line with the data obtained, it is expected to provide new business lines and employment as well as ecological contribution. In this study, alternative raw materials to be used in industrial production have been revealed and within the framework of social responsibility, the raw materials that are waste are recovered and provided added value.

Keywords: Polymer, waste seed, composite, plant fiber, styrene-based unsaturated polyester resin, epoxy vinyl ester resin, recycled composite

ÖNSÖZ

Gelişen teknolojiler, artan tüketim alışkanlıkları, nüfus artışı gibi etkenler sonucunda, geri dönüştürülebilir ve çevre dostu malzemelerin araştırılması her geçen gün artmaktadır. Bu alanda özellikle atık olan eşyanın kazanımı ve elde edilen kompozitlerin çeşitli alanlarda kullanımı hem maliyet hem de çevresel sorumluluk anlamında oldukça önemlidir.

Yüksek lisans tez konusunun oluşması ve bu bağlamda desteği ve bilgisiyle yanımda olan danışman hocam Sayın Doc. Dr. Hakan AKAT' a ve bilgisi ile bizden desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet BALCAN' a teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR

30/01/2020

Zeynep Asena Karatekin



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	i
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxv
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler	4
1.2 Polimerler	4
1.3 Polimerlerin Sınıflandırılması	5
1.3.1 Termoplastikler	7
1.3.2 Elastomerler.....	8

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
1.3.3 Termosetting Polimerler.....	9
1.4 Polimerizasyon Yöntemleri.....	10
1.4.1 Zincir Katılma Polimerizasyonu	10
1.4.2 Kondenzasyon (Basamaklı) Polimerizasyon.....	11
1.5 Kompozit Malzemeler.....	12
1.6 Kompozit Malzemelerin Yapısı	13
1.7 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	13
1.7.1 Matriks Fazına Göre Kompozitler.....	14
1.7.2 Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	16
1.8 Kompozit Üretim Teknikleri.....	17
1.8.1 Termoset Kompozit Üretim Yöntemleri	17
1.9 Kompozitlerin Analiz Yöntemleri.....	21
1.9.1 Sertlik	21
1.9.2 Yoğunluk.....	21
1.9.3 Kalitatif Tokluk Deneyleri	22
1.9.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	23
1.9.5 Termal Gravimetrik Analiz (TGA/DSC)	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
2.1 Materyal Bilgileri	25
2.2 Kompozitlerin Oluşturulması	25
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	26
3.1 Sertlik Sonuçları	26
3.1.1 Atık Kahve Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AKÇK) Sertlik Grafikleri	28
3.1.2 Atık Zeytin Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AZÇK) Sertlik Grafikleri	29
3.1.3 Atık Pamuk Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (APÇK) Sertlik Grafikleri	30
3.2 Yoğunluk Sonuçları.....	31
3.2.1 Atık Kahve Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AKÇK) Yoğunluk Grafikleri	32
3.2.2 Atık Zeytin Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AZÇK) Yoğunluk Grafikleri	33
3.2.3 Atık Pamuk Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (APÇK) Yoğunluk Grafikleri	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3 Düşük Hızda Darbe Testi Sonuçları.....	35
3.3.1 Hız-Zaman (v-t) Grafikleri.....	35
3.3.2 Kuvvet-Zaman (F-t) Grafikleri.....	42
3.3.3 Çökme-Zaman (d-t) Grafikleri	49
3.3.4 Kuvvet-Çökme (F-d) Grafikleri	55
3.3.5 Enerji-Zaman (E-t) Grafikleri	62
3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	69
3.5 Termal Gravimetrik Analiz (TG) Sonuçları.....	75
3.5.1 Atık Kahve Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AKÇK) TG Grafikleri....	76
3.5.2 Atık Zeytin Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (AZÇK) TG Grafikleri	77
3.5.3 Atık Pamuk Çekirdeği Takviyeli Kompozitlerin (APÇK) TG Grafikleri....	79
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	81
KAYNAKLAR DİZİNİ	83
TEŞEKKÜR	88
ÖZGEÇMİŞ	89
EK AÇIKLAMALAR.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Polistiren gösterimi.....	4
1.2 Molekül ağırlık dağılım eğrisi	5
1.3 Polimerlerin bağ yapısının temsili gösterimi.....	6
1.4 Polimer gruplarının gösterimi.....	6
1.5 Zincir katılma polimerizasyonu.....	10
1.6 Doymamış polyester sentezinin şematik gösterimi	11
1.7 Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester sentezinin şematik gösterimi ..	12
1.8 Kompozitlerin sınıflandırılması.....	13
1.9 Kompozitlerin yapı bileşenlerine göre sınıflandırılması	14
1.10a Partikül kompozitlerin gösterimi.....	15
1.10b Sürekli kompozitlerin gösterimi	15
1.11 El yatırma Tekniği temsili örnek	19
1.12 Piknometre örnekleri	21
3.1 Sertlik ölçümlerinin yapılması	26
3.2 İpekotu-epoksi kompozit numunesine ait sertlik grafiği	27
3.3 SKÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği.....	28
3.4 EKÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

3.5	SZÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği.....	29
3.6	EZÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği	29
3.7	SPÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği.....	30
3.8	EPÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik grafiği.....	30
3.9	İpekotu-epoksi kompozit numunesine ait yoğunluk grafiği	31
3.10	SKÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği	32
3.11	EKÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği.....	32
3.12	SZÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği.....	33
3.13	EZÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği	33
3.14	SPÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği.....	34
3.15	EPÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği.....	34
3.16	Düşük hızda darbe dayanım test cihazı (a) cihazın genel görünümü, (b) Üst bölme ve çene ve (c) vurucu uç	35
3.17	Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterkahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği	36
3.18	Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (EKÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği	37
3.19	Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterzeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 3.20 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester -zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (EZÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği 39
- 3.21 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterpamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği 40
- 3.22 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği 41
- 3.23 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterkahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 43
- 3.24 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı poliester kompozitlere (EKÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 44
- 3.25 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterzeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 45
- 3.26 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (EZÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 46
- 3.27 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterpamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 47
- 3.28 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği 48
- 3.29 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterkahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği 49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 3.30 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği
k atkılı kompozitlere (EKÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği..... 50
- 3.31 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-
zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait çökme-zaman (d-t)
grafiği 51
- 3.32 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği
katkılı kompozitlere (EZÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği 52
- 3.33 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-
pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait çökme-zaman (d-t)
grafiği 53
- 3.34 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği
katkılı kompozitlere (EPÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği 54
- 3.35 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-
kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait kuvvet-çökme (F-d)
grafiği 56
- 3.36 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği
katkılı kompozitlere (EKÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği 57
- 3.37 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-
zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait kuvvet-çökme (F-d)
grafiği 58
- 3.38 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği
katkılı kompozitlere (EZÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği 59
- 3.39 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-
pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait kuvvet-çökme (F-d)
grafiği 60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 3.40 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği 61
- 3.41 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterkahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği 63
- 3.42 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (EKÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği 64
- 3.43 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterzeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği 65
- 3.44 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (EZÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği..... 66
- 3.45 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliesterpamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği 67
- 3.46 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği..... 68
- 3.47 İşlenmiş ve işlenmemiş jüt liflerinin TG termogramlarının karşılaştırılması, (a) Epoksi reçine, (b) doymamış polyester (Smith et al, 2010)..... 75
- 3.48 SKÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (⁰C) grafikleri..... 76
- 3.49 EKÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (⁰C) grafikleri..... 77
- 3.50 SZÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (⁰C) grafikleri 78
- 3.51 EZÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (⁰C) grafikleri 78

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 3.52 SPÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (0C) grafikleri 79
- 3.53 EPÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (0C) grafikleri 80



TABLolar DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Yaygın kullanılan termoplastikler.....	7
1.2 Yaygın kullanılan elastomerler	8
1.3 Termoset polimerlerin kompozisyonu ve kullanım alanları	9
1.4 Doğal liflerin sınıflandırılması.....	17
1.5 Kompozit üretim proseslerinin sınıflandırılması	18
1.6 Kompozit imalat işlemlerine örnekler	18
3.1 Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik değerleri	26
3.2 Doymamış poliestер-jüt ve doymamış poliestер-muz kompozit örneklerine ait sertlik değerleri	27
3.3 Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk değerleri	31
3.4 Stiren bazlı doymamış poliestер içerikli kompozitlerin (DPK) 5µ' luk SEM görüntüleri.....	71
3.5 Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester kompozitlerin (EVK), 5µ' luk SEM görüntüleri	74
3.6 AKÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri.....	76
3.7 AZÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri	77
3.8 APÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri	79



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
ρ	Özgöl ağırlık
v	Hız
F	Kuvvet
d	Çökme
E	Enerji
t	Zaman
<u>Kısaltmalar</u>	

PALF	Ananas yaprak lifi
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
UPE	Doymamış poliester
VE	Vinil ester
MMC	Metal matriksli kompozitler
CMC	Seramik matriksli kompozitler
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

TGA	Termal gravimetrik analiz
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
AKÇ	Atık kahve çekirdeği
ZKÇ	Atık zeytin çekirdeği
PKÇ	Atık pamuk çekirdeği
SKÇK	Stiren bazlı doymamış poliester-atık kahve çekirdeği kompozit
EKÇK	Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester-atık kahve çekirdeği kompozit
SZÇK	Stiren bazlı doymamış poliester-atık zeytin çekirdeği kompozit
EZÇK	Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester-atık zeytin çekirdeği kompozit
SPÇK	Stiren bazlı doymamış poliester-atık pamuk çekirdeği kompozit
EPÇK	Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester-atık pamuk çekirdeği kompozit
AKÇK	Atık kahve çekirdeği kompozitleri
AZÇK	Atık zeytin çekirdeği kompozitleri
APÇK	Atık pamuk çekirdeği kompozitleri
DPK	Stiren bazlı doymamış poliester kompozitler

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

DPK ₀	Takviye fazsız Stiren bazlı doymamış poliester kompozit
EVK	Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester kompozitler
EVK ₀	Takviye fazsız Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester kompozit



1. GİRİŞ

Endüstriye yönelik yeni ve çevre dostu hammadde arayışları, tüketimin artmasıyla beraber hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle son dönemde küresel boyutta dikkat çeken çevre kirliliğine karşı alınan önlemler doğrultusunda, atık olan eşyanın dönüşümü bir hayli önem kazanmaktadır. Doğal lif takviyeli malzemeler çevre duyarlılığı ve kendine has özellikleri nedeniyle yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Doğal liflerle çalışmak, tedarik edilmelerinin kolaylığı, sürdürülebilir ve ekonomik olması, basit ve güvenli kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Ege Bölgesi özellikle zeytin ve pamuk üretimi konusunda oldukça elverişli bir altyapıya sahiptir. Kahve atıkları için artan tüketim kafe, restoran gibi sosyal alanlardan tedarik edilebilir. Çıkan atıkların toplanmasıyla geri dönüşüme dikkat çekilerek ağaç ve orman ürünlerine olan ihtiyaçlar azaltılabilir. Uyarlanacak olan çalışma alanına göre (bina yalıtım, bina kaplama veya makine parçası...vb) daha az orman ürünleri tüketilerek pozitif değer sağlanmış olur. İlave olarak, dolaylı yoldan 'Sıfır Atık Projesi'ne destek verilebilir.

Son zamanlarda çevresel kaygıların, sürdürülebilirlik ve maliyet gibi sorunların artması ile kompozit alanındaki gelişmeler yeni arayışları beraberinde getirmiştir. Üretim alanındaki araştırmalar umut verici fırsatları olan biyomateryal teknolojiye odaklanmıştır. Kompoziti oluşturan materyallerin bertaraf kolaylığı ve son kullanma tarihinin olmaması gibi önemli özelliklerinden dolayı bu alan birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir. Son kullanma tarihi konusu önem arz etmektedir çünkü birçok sentetik hammadde için önemli bir sorun oluşturabilir. Sentetik liflere kıyasla doğal lifler düşük ağırlık, korozyon direnci ve yüksek mukavemet gibi avantajları biyokompozitleri daha avantajlı hale getirmektedir. Ancak, biyokompozitler, anizotropik ve ekstra nem emilimi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. (Yıldızhan ve diğ., 2018)

Doğal lif içeren biyokompozitler, petrol bazlı malzemelerle rekabet edebilmek ve ekoloji, ekonomi ve teknoloji arasında pozitif bir dengeyi koruyabilmek için halihazırda uygun bir maliyet-performans oranında bunu başarabilir. Petrol bazlı kompozit malzemelerin, doğal lif içerenlerle ikame edilmesi ve nihayetinde yerini alabilmesi için yeni bir tarımsal, çevre, üretim ve tüketici yararları sunarak bir fırsat yaratmaktadır. (Mitra, 2014)

Doğal elyaf takviyeli polimerik kompozitleri son günlerde çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Kolaylıkla bulunabilir ve sürdürülebilir olmalarından dolayı, polimerik kompozitlerin çoğunda takviye malzemesi olarak doğal lifler ve doğal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Hurma çekirdeği tozuyla doldurulmuş poliester kompozitlerin tribolojik davranışları üzerindeki etkisi incelendiğinde, sürtünme katsayısı, yüksek temas basıncı altında dolgu maddesi artışıyla %15 oranında azalırken, hız artışı sürtünme katsayısını %10'a kadar artırmaktadır. Uygulanan yükün (temas basıncı) ve kayma hızının, hurma çekirdeği ile doldurulmuş poliester kompozitin aşınma oranı üzerinde önemli bir etkisi vardır. (İbrahim et al, 2015)

Hurma tohumları ile benzer bir çalışma, doymamış poliestere reçineye doğal katkı sunmak amacıyla, kalsiyum karbonat yerine ağırlıkça %1, %2 ve %3 oranlarında ilave edilerek yapılmıştır. Hurma tohumları içeren numunelerin, kalsiyum karbonat içeren örneklere kıyasla daha yüksek dirençli bir yüke sahip olduğunu ve gerilme mukavemetindeki bu artışın, hurma tohumları ile arttığı, mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. (Al-Mosawi et al, 2018)

Zeytin ve hurma çekirdekleri ile epoksi reçinesi kullanılarak elde edilen kompozit numunelerinde, termal ve su emme özelliklerinin parçacıkların ağırlık fraksiyonunu arttırdıkça arttığını göstermektedir. Ayrıca, zeytin tohumları ile güçlendirilmiş (ağırlıkça %18) ve tane büyüklüğü (300 µm) olan örnekler için daha yüksek termal iletkenlik, termal yayılma, spesifik ısı ve su emme değerleri bulunmuştur. (Alaa Abd. M, 2015)

Ananas lifleri (PALF) ile yapılan çalışmada, liflerle yapılan kompozitlerin, günlük yaşamımızda kullanılan araç ve gereç yapımında umut verici çalışmalar yapılmaktadır. PALF genellikle birkaç on yıldan itibaren tekstil kumaşları için iplik yapımında kullanılır. Çeşitli amaçlar için mevcut PALF uygulaması tekstil, spor malzemesi, bagaj, otomobiller, dolaplar, paspaslar ve benzerleridir. Yüzey modifiye PALF, kemer kordonu, konveyör bant kordonu, transmisyon bezi, hava yastığı bağlama kordonları ve sanayi kullanımları için bazı bezler gibi makine parçaları yapmak için tanıtılmıştır. (Asim et al, 2015)

Benzer bir çalışma palmye ağacı lifi olan Borassus tohum lifleriyle gerçekleştirilmiştir. Takviye fazı olarak doğal borassus tohum elyafı ile oluşturulmuş kompozitler için çeşitli analizler gerçekleştirilmiş olup; lif içeriği hacimce ~ 0.116 ile ~0.305 arasında değişen kompozitlerin; her durumda gerilme, eğilme ve darbe özellikleri gibi mekanik özelliklerin değişimi incelenmiştir. Borassus tohum filizli elyaf kompozitinin gerilme ve bükülme mukavemeti, saf matrikse göre sırasıyla artış gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, kompozitlerin yoğunluğunda, lif oranının artması ile düşüşler saptanmıştır. (Ramanaiah et al, 2012)

Babu ve diğerleri, 2014 yaptıkları bir çalışmada, Calotropis Gigantea (ipek otu) meyve lifini yeni bir doğal lif olarak poliestere reçineye takviye ederek oluşturulan polimer kompozitlerin gerilme ve aşınma özelliklerini araştırmak için yapılan deneysel çalışmada kompozitlerin çekme mukavemetleri ve aşınma davranışı, malzeme içerisinde takviye olarak bulunan lif miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Böylece Calotropis gigantea meyveli elyaf-poliester kompozitlerin kompozitlerinin hafif olduğu, daha iyi mekanik ve aşınma özelliklerine sahip olduğu bulunmuştur. Bu, doğal elyaf takviyeli plastik kompozitlerin birçok uygulamada sentetik elyaf kompozitlerini değiştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Bir başka çalışmada ise, ağırlıkça farklı oranlarda yerfıstığı kabuğu atıkları ve epoksi reçinesi kullanılarak gerçekleştirilen kompozit oluşumunda termal genişleme sonuçlarına bakılmış ve birçok uygulamada ahşap esaslı panellerin yerine kullanılacak faydalı bir bileşik geliştirilerek başarıyla kullanılabileceğini belirtilmiştir. (Raju and Kumarappa, 2012)

Çam kozalağı ve mermer tozunun, poliester reçine ile birleştirilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve nihai ürüne ait eğilme mukavemeti, elastik modül, sertlik, yoğunluk ve su emme gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar göre; takviye fazın oranındaki artış ile kompozit malzemelerin dayanıklılığının ve sertliğinin azaldığını göstermiştir. Yapılan analizler doğrultusunda ara yüzey bağlanmasının zayıf olmasına rağmen, herhangi bir birleştirme ajanının eklenmemesi ve doğal malzemeler üzerinde herhangi bir kimyasal işlem olmaması, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu kanısına varılmıştır. (Gökdağ ve diğ., 2017)

Hindistan cevizi atıkları ile gerçekleştirilen farklı bir çalışmada ise, prensip olarak, hindistan cevizi elyafı ile güçlendirilmiş poliester kompozitlerin, birleştirilen elyafların miktarına bağlı olarak teknik olarak ahşap levhaların ya da alçı panellerin yerini alabileceği bulunmuştur. (Monteiro et al, 2005)

Kullanılmış ve öğütülmüş atık kahve içindeki yağ ekstraksiyonunun, kullanılmış kahve öğütülmüş-polipropilen kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkisi; yağ ekstraksiyonunun, dolgu maddesi ve PP matrisi arasındaki ara yüzey yapışmasını ve uyumluluğunu arttırmada yardımcı olduğu düşünülmüştür. Kompozitin nem emilimi, yağ özümlemesinden sonra çarpıcı bir düşüş göstermiştir. Sonuçlar ayrıca, yağ ekstraksiyonunun kompozitin termal özelliğini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. (Wu et al, 2016)

Sisal bitkisinden elde edilen lif örnekleriyle gerçekleştirilen kompozit çalışmalarında gerilme, bükülme ve darbe dayanımlarının ve mukavemet özelliklerinin arttığı belirlenmiştir. Çalışma bulgularına göre sisal bitkisiyle hazırlanan kompozitlerin yapı endüstrisi ve otomotiv sanayisi gibi alanlarda kullanılabileceği öngörülmüştür. (Uppal ve diğ., 2019)

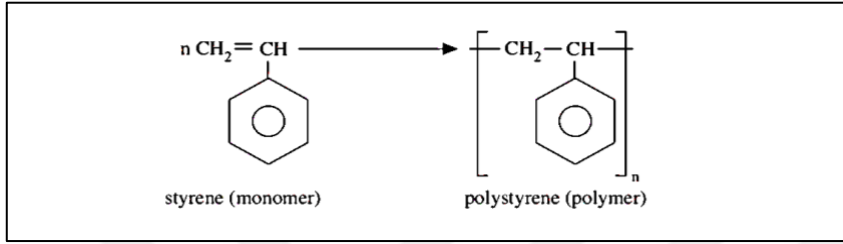
Antep fıstığı kabuğu tozu ve poliester matrisli kompozitler için elde edilen bulgular için; mekanik özelliklerde önemli kayıplar yüksek partikül içeriğinde bulunsada, çevre dostu ve düşük fiyatlı partikül polimer kompozitin üretilmesi, fıstık kabuğunun partikül dolgu maddesi olarak kullanılmasının faydaları olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. (Alsaadi ve diğ., 2018)

Bu çalışmada kütlece farklı oranlarda (%10, %20, %30, %40 ve %50 olmak üzere) doğal lif olan kahve, zeytin ve pamuk bitkilerine ait atıklar takviye faz olarak kullanılarak doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Reçine olarak stiren bazlı doymamış poliester ve Bisfenol-A bazlı epoksi vinil ester kullanılmıştır.

1.1. Genel Bilgiler

1.2. Polimerler

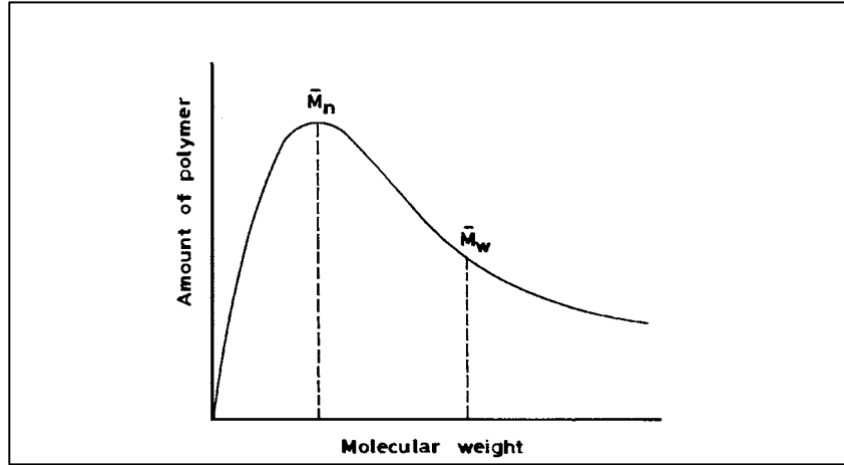
Polimer kelimesi, “çok” anlamına gelen klasik Yunanca poli'den türetilmiş ve “parçalar” anlamına gelir. Bu nedenle, bir polimer, küçük kimyasal birimlerin tekrarı tarafından oluşturulan büyük bir moleküldür (makromolekül). Bunu göstermek için Şekil 1.1 polimer polistiren oluşumunu gösterir.



Şekil 1.1 Polistiren gösterimi

Stiren molekülü bir çift bağ içerir. Kimyacılar bu ikili bağı açma yöntemleri geliştirerek binlerce stiren molekülü birbirine bağladılar. Köşeli parantez içine alınmış olan sonuç polimer polistirendir. Stiren'in kendisi, aynı veya farklı tipteki diğer moleküllerle birleştirilerek bir polimere dönüştürülebilen herhangi bir molekül olarak tanımlanan bir monomer olarak adlandırılır. Köşeli parantez içindeki birim tekrar eden birim olarak adlandırılır. Her ikisi de benzer göreceli pozisyonlara sahip özdeş atomlara sahip olmasına rağmen, tekrar eden birimin yapısının monomer ile tam olarak aynı olmadığına dikkat edin. Monomerin polimere dönüşümü, elektronların yeniden düzenlenmesini içerir. Bir polimerin hazırlanmasında kullanılan monomerin kalıntısı, yapısal birim olarak adlandırılır. Polistiren söz konusu olduğunda, polimer tek bir monomerden türetilir ve sonuç olarak polistiren zincirinin yapısal birimi tekrar eden birimiyle aynıdır. (Ebewele, 2000)

Polimerizasyon yönteminden bağımsız olarak hemen hemen tüm sentetik polimerler için, bir polimer zincirinin uzunluğu tamamen rastgele olaylar tarafından belirlenir. Sonuç olarak, verilen herhangi bir polimerik numune, farklı zincir uzunluklarına sahip moleküllerin bir karışımını içerir (proteinler gibi bazı tek, iyi tanımlanmış moleküler ağırlığa sahip proteinler gibi biyolojik polimerler hariç). Bu, sentetik polimerler için moleküler ağırlık dağılımının mevcut olduğu anlamına gelir. Bir polimer için tipik bir moleküler ağırlık dağılım eğrisi, şekil 1.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Molekül ağırlık dağılım eğrisi

Bir polimer numunesinde moleküler ağırlık dağılımının varlığı, verilen numunedeki herhangi bir moleküler ağırlık deneysel ölçümünün yalnızca ortalama bir değer verdiğini gösterir. İki tip moleküler ağırlık ortalaması en yaygın olarak kabul edilir: M_n tarafından temsil edilen sayı-ortalama moleküler ağırlık ve M_w ile gösterilen ifade, ağırlık-ortalama moleküler ağırlıktır. Ortalama sayıdaki moleküler ağırlık, gerçekte, verilen numunedeki molekül sayısını sayan ölçümlerden elde edilir. Öte yandan, ağırlık-ortalama moleküler ağırlık, her bir molekülün gözlenen etkiye katkısının büyüklüğüne bağlı olduğu yöntemlere dayanmaktadır.

Moleküler ağırlıklar M_w ve M_n tarafından verilen moleküllerin büyüklüğü hakkındaki bilgilere ek olarak, bunların M_w / M_n oranı, belirli bir numunedeki kurucu polimer moleküllerinin zincir uzunluklarındaki farklılıkların ne kadar geniş olduğuna dair bir göstergedir. Yani, bu oran bir çoklu dağılım ölçüsüdür ve sonuç olarak genellikle heterojenite endeksi veya polidispersite olarak adlandırılır. İdeal bir polimerde, tüm polimer molekülleri aynı büyüklüktedir ($M_w = M_n$ veya $M_w / M_n = 1$). Bu, sentetik polimerler için doğru olmamakla birlikte, M_w 'nin sayısal değeri her zaman M_n 'den daha büyüktür. Dolayısıyla, M_w / M_n oranı arttıkça, moleküler ağırlık dağılımı daha geniştir. (Ebewele, 2000)

1.3. Polimerlerin Sınıflandırılması

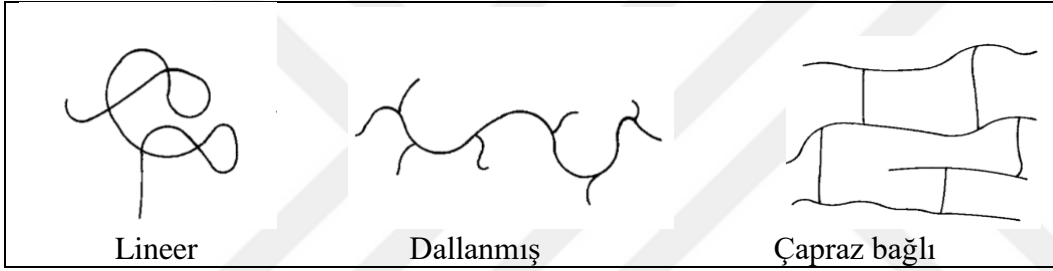
Polimerler birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. En belirgin sınıflandırma, polimerin kaynağına, yani doğal ve sentetik olana dayanır. Diğer sınıflandırmalar, polimer yapısına, polimerizasyon mekanizmasına, hazırlayıcı tekniklere veya termal davranışa dayanmaktadır. (Ebewele, 2000)

Polimerleri diğer klasik kimyasal maddelerden ayıran en önemli özellik, moleküllerinin büyüklüğüdür. Bu nedenle polimer kelimesi bütün yüksek molekül ağırlıklı maddeleri kapsar. Polimerlerin üstün özelliklerine makromoleküler yapılarının katkısı büyüktür. Örneğin; gerekli mekaniksel özellikler belli bir zincir büyüklüğü üzerinde kazanılır.

Davranış ve özellikleri nedeniyle polimerler katıların bir alt grubunu oluşturur. Katı hal ayrıca kendi içerisinde, küçük organik molekülleri kapsayan düşük molekül ağırlıklı katılar, polimerlerin yer aldığı yüksek molekül ağırlıklı katılar şeklinde iki ayrı grupta incelenebilir.

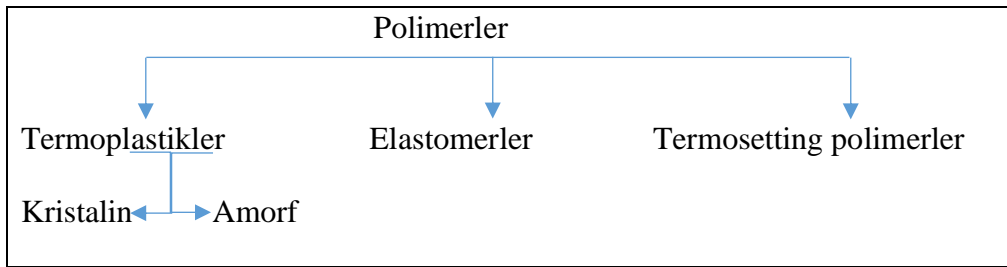
Polimerlerin yapısı, monomer birimlerinin çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. En basit polimer türü, aynı monomerden oluşan “homopolimer”dir. Homopolimer doğrusal, dallanmış ya da üç boyutlu yapıda olabilir. İki ya da daha fazla monomerden meydana gelen polimerler ise “kopolimer” olarak adlandırılırlar. Kopolimerler ise kendisini oluşturan monomer birimlerinin dizilişine göre blok, rastgele (random), graft (aşı) kopolimer biçiminde olabilirler.

Polimer zincirlerinin biçimleri polimer özelliklerini etkiler. Şekil 1.3’de verildiği gibi polimer molekülleri doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı yapılarda olabilir. Çapraz bağ oranının fazla olması ağ yapılı polimere yol açar. (Saçak, 2004)



Şekil 1.3 Polimerlerin bağ yapısının temsili gösterimi

Doğrusal ya da dallanmış zincirlere sahip bir polimer eritilebilir veya uygun çözücülerde çözünebilir. Ağ yapılı bir polimerin eritilmesi ya da çözünmesi olası değildir. Bu gibi zincir biçimlerinden kaynaklanan özelliklere göre polimerler kendi içlerinde ayrıca termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç ana grup altında ayrıca toplanabilir (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 Polimer gruplarının gösterimi

1.3.1. Termoplastikler

Termoplastikler, kuvvet etkisi altında şekil değiştirebilen ve kuvvetin oluşturduğu gerilme kalktığında başlangıç şekline geri dönebilen malzemelerdir. Camı geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtıldığında termoplastik bir polimer yumuşar. Daha sonra şekillendirilebilir ve soğutmada bu formda sertleşir. Bununla birlikte, yeniden ısıtmada, tekrar yumuşar ve sıcaklık düştüğünde sertleşmeden önce gerekirse yeniden şekillendirilebilir. Bu döngü tekrar tekrar gerçekleştirilebilir. (Cowie ve Arrighi, 2007)

Polimer	Tekrarlanan Birim	Yoğunluk (g/cm ³)	Kullanım Alanı
Polietilen Yüksek yoğunluklu Düşük yoğunluklu	$\text{-(CH}_2\text{CH}_2\text{)}_n$	0,94-0,94 0,92	Evsel ürünler, izolatör, pipet, şişe, oyuncak
Polipropilen	$\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_n$	0,90	Su boruları, entegre menteşeler, hastane ekipmanları
Poli(4-metilpentene-1) (TPX)	$\text{-(CH}_2\text{CH(CH}_2\text{CH(CH}_3\text{))}_n$	0,83	Hastane ve laboratuvar gereçleri
Poli(tetrafluoroetilen) (PTFE)	$\text{-(CF}_2\text{CF}_2\text{)}_n$	2,20	Yapışmaz yüzeyler, yalıtım, contalar
Poli(vinil klorür) (PVC)	$\text{-(CH}_2\text{CHCl)}_n$	1,35-1,45	Filmler, ev kaplamaları, şişeler, borular
Polistiren	$\text{-(CH}_2\text{CH(C}_6\text{H}_5\text{))}_n$	1,04-1,06	Aydınlatma panelleri, lensler, duvar fayansları (karolar), saksılar
Poli(metil metakrilat) (PMMA)	$\text{-(CH}_2\text{-C(CH}_3\text{)(COOCH}_3\text{))}_n$	1,17-1,20	Banyo armatürleri, topuzlar, taraklar, ışıklı tabelalar
Polikarbonatlar	-(R.O.COO)-	1,20	Soğutma fanları, denizcilik pervaneleri, güvenlik kaskları
Poli (2,6-dimetilfenilen oksit)	$\text{-(C}_6\text{H}_2\text{(CH}_3\text{))}_2\text{O}_n$	1,06	Sıcak su armatürleri, sterilize edilebilir, tıbbi ve cerrahi ekipmanlar

Tablo 1.1 Yaygın kullanılan termoplastikler

1.3.2. Elastomerler

Modern elastomer endüstrisi, Hevea brasiliensis ağacının lateksinden izole edilen doğal olarak oluşan ürün üzerine kurulmuştur. İlk önce yerli Güney Amerikalılar tarafından kullanıldı ve kauçuk olarak adlandırıldı, ancak daha sonra, Priestley tarafından keşfedildiğinde malzemenin kurşun kalem izlerini sildiği anlaşıldı.

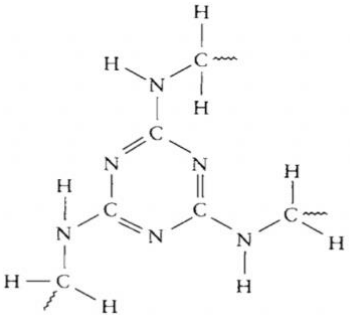
20. yüzyılın başlarından itibaren, kimyagerler özellikleri doğal kauçuk olanları çoğaltan veya aynı işlevi görecektir şekilde benzer malzemeleri sentezlemeye çalıştılar. Bu durum çok çeşitli sentetik elastomerlerin üretimine yol açmıştır. Bunlardan bazıları teknolojik açıdan önemli hale gelmiştir. Silikon, Poliüretan, EPR, SBR, ABS önemli bazı elastomerlere örnek olarak verilebilir. (Cowie ve Arrighi, 2007)

Elastomer	Tekrarlanan Birim	Kullanım Alanı
Doğal kauçuk (poliizopren-cis)	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	Genel amaçlı
Polibütadien	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	Araç lastikleri
Butil	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}} \right)_n$	İç borular, kablo kılıfları, çatı kaplama, tank hattı
SBR	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right)_n$	Lastik, genel amaçlı
ABS	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CN}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} - \text{CH}_2 \right)_n$ $\left(\text{CH} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_m$	Yağ hortumları, contalar, esnek yakıt depoları
Polikloropren	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{C}} = \text{CH} - \text{CH}_2 \right)_n$	Yağ direnci, hava koşullarına dayanıklı, yanıcılık özellikleri gerektiğinde kullanılır.
Silikon	$\left(\text{O} - \underset{\text{R}}{\overset{\text{R}}{\text{Si}}} \right)_n$	Contalar, kapı contaları, tıbbi uygulama esnek kalıpları
Poliüretan	$\left(\text{R}_1 - \text{NHCOOR}_2 \text{OCHN} \right)_n$	Baskı silindirleri, sızdırmazlık ve birleştirme ekipmanları
EPR	$\sim \left(\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)_m - \left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)_p \sim$	Pencere şeritleri ve kanallar

Tablo 1.2 Yaygın kullanılan elastomerler

1.3.3. Termosetting polimerler

Termoset plastikler, genellikle daha iyi bükülme ve darbe özelliklerine sahip olan termoplastiklerle karşılaştırıldığında üstün aşınma ve boyutsal stabilite özelliklerine sahiptir. Termoplastiklerin aksine, termoset polimerleri, adından da anlaşılacağı gibi, geri dönüşümsüz olarak eriyebilir, çözülebilir ürünlerden, akışla kalıplanamayan çapraz-bağlanabilir reçinelere dönüştürülür ve böylece çapraz bağlama işlemi sırasında imal edilmelidir. Termoset malzemeleri kritik bir sıcaklığın üzerinde ısıtıldığında kalıcı olarak sertleşir ve yeniden ısıtmada tekrar yumuşamayacaktır. Bu durumda genellikle çapraz bağlanırlar. Fenolik reçineler, Amino reçineleri, doymamış poliester reçineleri, epoksi reçineleri... örnek olarak verilebilir. (Cowie and Arrighi, 2007)

Termoset	Tekrarlanan Birim	Kullanım Alanı
Fenolikler Fenol- formaldehit Bakalit (amorf)	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ -\text{C}_6\text{H}_2-\text{CH}_2- \\ \\ -\text{CH}_2- \end{array}$	Elektriksel izolasyon malzemeleri
Epoksi (amorf)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Fiberglas matriksi, yapıştırıcılar
Poliester (amorf)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{CH}_2\text{OH} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ -\text{C}-\text{(CH}_2\text{)}_m-\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Fiberglas kompozit; epoksiden daha ucuz maliyetli
Melanin- formaldehit	 <p>(ve benzer şekilde, çeşitli bağlantılar ile rastgele bağlanan birimler)</p>	Kalıplanmış yemek takımı, ahşap, döşeme, mobilya için yapıştırıcı (genellikle selüloz dolgulu)

Tablo 1.3 Termoset polimerlerin kompozisyonu ve kullanım alanları (Ohring,1995)

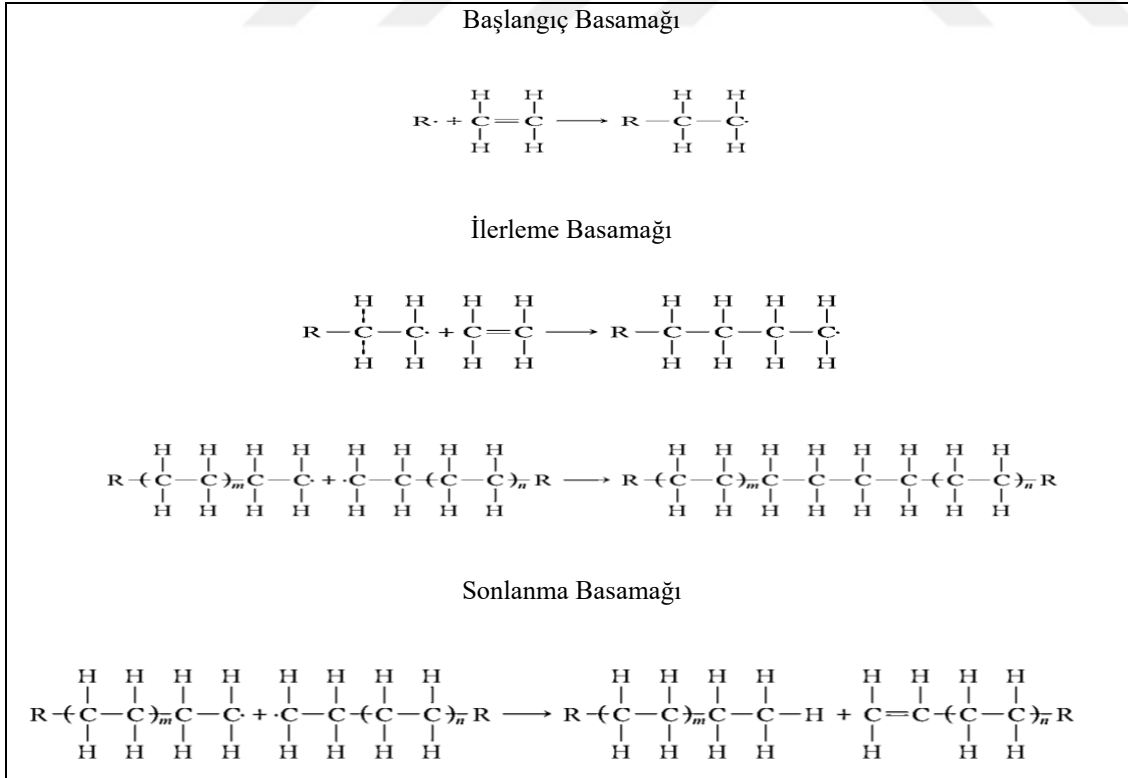
1.4. Polimerizasyon Yöntemleri

Büyük moleküllerin (polimerler) sentezi polimerizasyon olarak adlandırılır; temel bir ifadeyle, monomerlerin tekrar birimlerinden oluşan uzun zincirler üretmek için birbirine bağlandığı süreçtir. Genel olarak, sentetik polimerler için hammaddeler kömür, doğal gaz ve petrol ürünlerinden elde edilir. Polimerizasyonun meydana geldiği reaksiyonlar, reaksiyon mekanizmasına göre iki genel sınıflandırma halinde gruplandırılır. Monomerlerin polimerlere dönüştürülmesi, zincir (katılma) polimerizasyonu ve kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyonu olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir.

1.4.1. Zincir katılma polimerizasyonu

Monomer birimlerinin lineer bir makromolekül oluşturmak için her seferinde bir tek cins olarak bağlanma işlemidir. Elde edilen ürün molekülünün bileşimi, oluşan reaktan monomerinin tam katıdır.

Reaksiyon başlangıç, ilerleme ve sonlanma olmak üzere üç farklı aşamadan oluşmaktadır. Başlatma aşaması sırasında, bir başlatıcı (veya katalizör) türü ile monomer birimi arasındaki bir reaksiyon ile yayılma yeteneğine sahip aktif bir merkez oluşturulur. Örnek olarak şekil 1.5’ de yer alan polietilen reaksiyon verilebilir. (Callister and Rethwish, 2010)



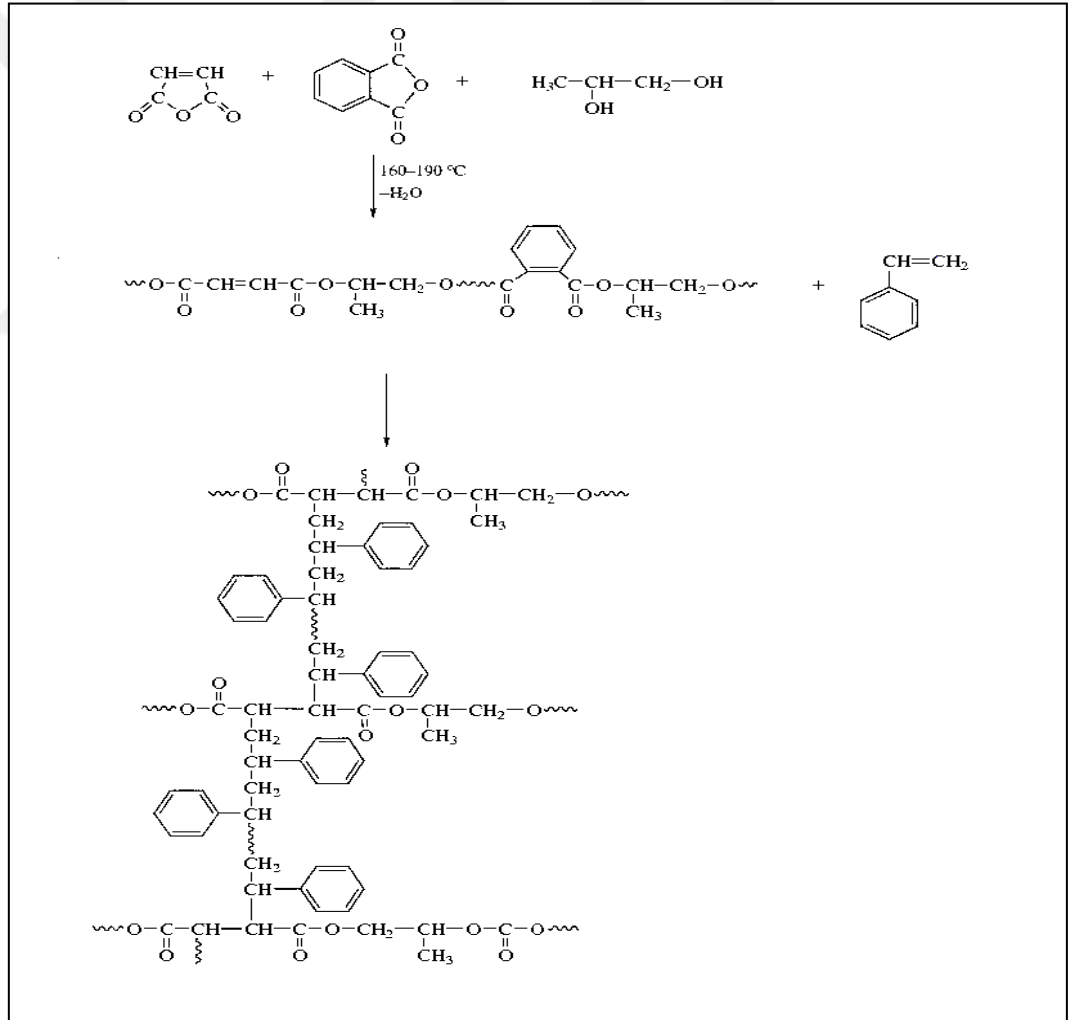
Şekil 1.5 Zincir Katılma Polimerizasyonu

1.4.2. Kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyon

Birden fazla monomer türünü içerebilecek şekilde moleküller arası kimyasal reaksiyonlarla polimerlerin oluşmasıdır. Genellikle elimine edilen, su molekülü gibi yan ürünü bulunur. Hiçbir reaktif tür, tekrar eden birimin kimyasal formülüne sahip değildir ve moleküller arası reaksiyon, tekrar birim her oluşturulduğunda meydana gelir.

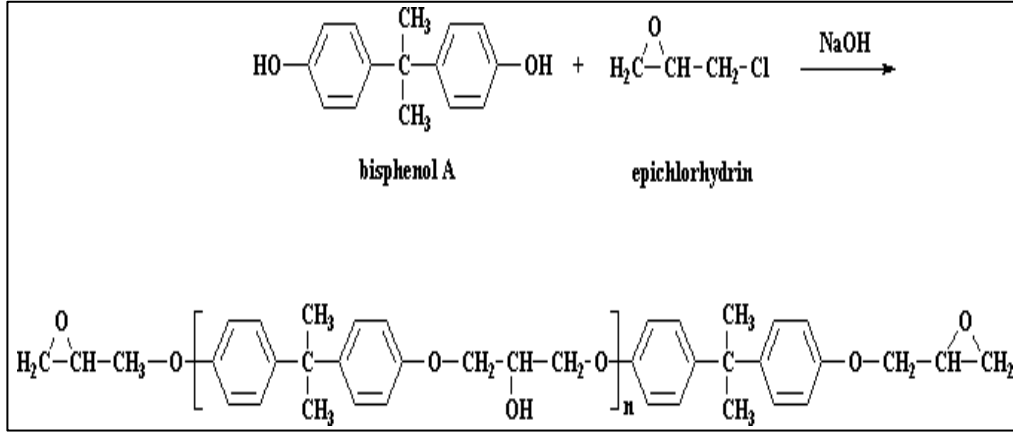
Bu reaksiyonda, art arda tekrarlanarak doğrusal bir molekül üretilir. Spesifik reaksiyonun kimyası önemli değildir, fakat basamaklı polimerizasyon mekanizması önemlidir. Ayrıca, basamaklı polimerizasyon için reaksiyon süreleri genellikle zincir katılma polimerizasyonundan daha uzundur. (Callister and Rethwish, 2010)

1.4.2.1. Doymamış poliester sentezi:



Şekil 1.6 Doymamış poliester sentezinin şematik gösterimi

1.4.2.2. Epoksi vinil ester sentezi:



Şekil 1.7 Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester sentezinin şematik gösterimi

1.5. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, tek tek bileşenlerin kendi başlarına elde edemedikleri özelliklere ulaşmak için farklı malzemelerin yapay kombinasyonu ile elde edilen çok fazlı malzemelerdir. Kompozit malzemeler, bileşenlerini, oranlarını, dağılımlarını, morfolojilerini, kristallik derecelerini, kristalografik dokularını ve ayrıca bileşenler arasındaki ara yüzün yapısını ve bileşimini uygun şekilde seçerek çeşitli özellikler için uyarlanabilir. Bu güçlü yükleme kolaylığı nedeniyle, kompozit malzemeler havacılık, otomobil, elektronik, inşaat, enerji, biyomedikal ve diğer sektörlerle ilgili teknolojilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanabilir. Sonuç olarak, kompozit malzemeler çoğu ticari mühendislik malzemesini oluşturur (Chung, 2010).

Özellikle, karbon fiber polimer-matris kompozitler aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Düşük yoğunluk (alüminyumdan düşük)
- Yüksek dayanım (yüksek dayanımlı çelikler kadar güçlü)
- Yüksek sertlik (titanyumdan daha sert, ancak yoğunlukta çok daha düşük)
- İyi yorulma direnci
- İyi sürünme direnci
- Düşük sürtünme katsayısı ve iyi aşınma direnci
- Tokluk ve hasar toleransı (uygun elyaf yönleri kullanılarak sağlandığı gibi)
- Kimyasal direnç (polimer matrisi tarafından kontrol edilen kimyasal direnç)
- Korozyon direnci
- Boyutsal kararlılık
- Titreşim sönümlenme yeteneği
- Düşük elektrik direnci
- Yüksek elektromanyetik girişim (EMI) koruma etkinliği
- Yüksek termal iletkenlik.

Gerçekte tüm bu özellikler aynı anda sağlanamaz. Kullanım alanlarına göre ihtiyaç duyulan özellik artırılır. Böylece, uygun kompozit malzemeler kullanılan matris ve fiberin özelliklerini taşıyacak şekilde elde edilebilir. Bu olumlu özelliklerine karşın, hammaddenin pahalı olması, gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görmeleri...vb etkenler de olumsuz taraflarıdır. (Onat, A., 2015)

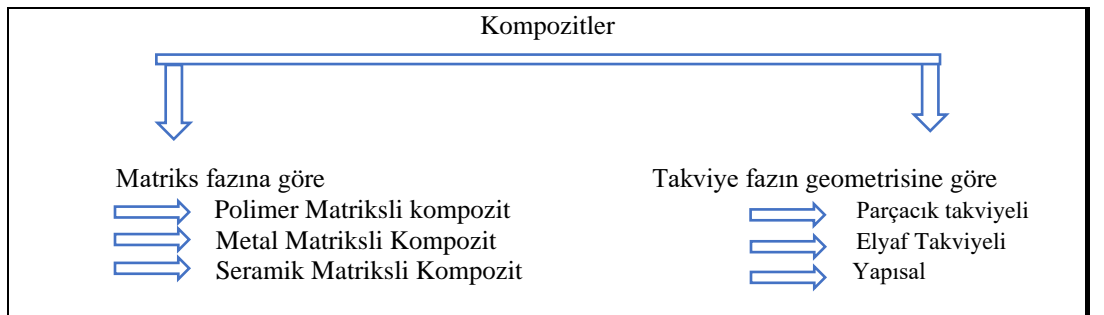
1.6. Kompozit Malzemelerin Yapısı

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, bir takviye edici malzeme ve bunun çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Burada takviye edici malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. (Onat, A., 2015)

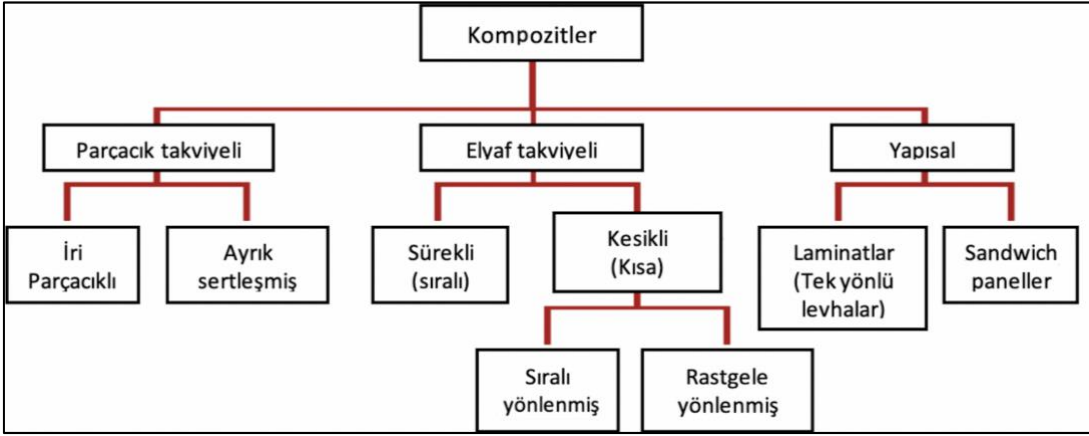
Takviye fazı çoğu zaman bir elyaf veya partikül olabilir. Partiküllü kompozitler, her yönde yaklaşık olarak eşit olan boyutlara sahiptir. Küresel, yassı veya başka herhangi bir normal veya düzensiz geometriye sahip olabilirler. Partiküllü kompozitler, sürekli fiber kompozitlere göre çok daha zayıf ve daha az sert olma eğilimindedirler, ancak genellikle daha ucuzdur. Parçacık takviyeli kompozitler, işlem zorlukları ve kırılabilirliklerinden dolayı genellikle daha az takviye içerir. (Campbell, 2010).

1.7. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris fazın yapısı ve takviye fazın geometrisine göre iki sınıfta incelenebilir. Matris fazına göre polimer, seramik ve metal matris olmak üzere 3 alt grupta toplanır.



Şekil 1.8 Kompozitlerin sınıflandırılması



Şekil 1.9 Kompozitlerin yapı bileşenlerine göre sınıflandırılması (Callister and Rethwish,2010)

Kompozitler yapı bileşenlerinin şekillerine göre sınıflandırıldığı gibi matriks malzemenin yapısına polimer, metalik ve seramik olmasına farklılıklar gösterir.

1.7.1. Matriks fazına göre kompozitler

1.7.1.1. Polimer matriks kompozitler

Polimer matriks kompozitler (PMC' ler), matriks olarak bir polimer reçineden, takviye ortamı olarak liflerden oluşur. Bu malzemeler, çeşitli kompozit uygulamaların yanı sıra, yüksek miktarlarda üretim, oda sıcaklığında kürlenme özellikleri, imalat kolaylığı ve uygun maliyetleri nedeniyle tercih edilir. (Callister and Rethwish, 2010)

Polimer-matriks kompozitler (PMC kısaltılmış) matriksin bir termoset veya bir termoplastik polimer olup olmadığına göre sınıflandırılabilir. Termoset matriks kompozitler geleneksel olarak çok daha yaygındır, ancak termoplastik matriks kompozitler hızla gelişmektedir. Lifli polimer-matriks kompozitler, liflerin kısa veya sürekli olup olmadığına göre sınıflandırılabilir. Sürekli lifler, kompozitin mekanik özellikleri, elektriksel direnç, ısı iletkenlik ve diğer özellikler üzerinde kısa liflerden çok daha fazla etkiye sahiptir. Ancak, daha anizotropik olan kompozitlere neden olurlar. Sürekli lifler, tek yönlü hizalanmış bant veya dokuma kumaş formunda kullanılabilir. Polimer-matriks kompozitler, metal-matriks, karbon-matriks ve seramik-matriks kompozitlerden daha kolay üretilir. Bunun nedeni polimer matriks kompozitleri üretmek için gereken nispeten düşük işlem sıcaklıklarıdır. (Chung, 2009)

Takviye ortamına göre cam, karbon ve aramid gibi türlere ayrılmasının yanı sıra son dönemde doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin uygulamaları dikkat çekmektedir. Doğal lif katkılı biyokompozitler olarak adlandırılan bu malzemeler bileşenlerden en az birinin doğal kaynaklardan elde edildiği kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak, biyo-kompozitler terimi, aşağıdakilerin kombinasyonundan yapılan kompozit malzemeleri kapsar:

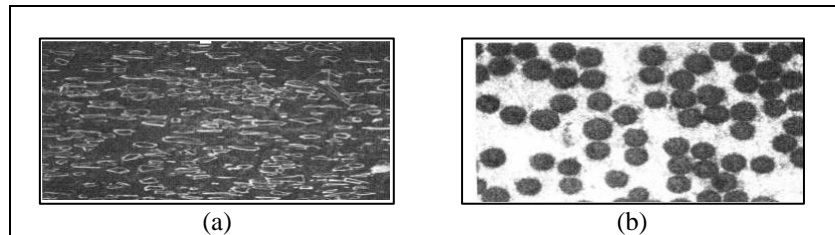
- Karbon elyafı, cam, Kevlar vb. biyo-polimerlerle güçlendirilmiş sentetik elyaflar;
- Doğal lifler-petrolde türetilmiş polimerler-sulfosüetilen (PE), polipropilen (PP), epoksi, doymamış poliester (UPE), vinil ester (VE)
- Doğal liflerle güçlendirilmiş biyo-polimerler.

Doğal elyafın, sentetik elyaftan göreceli olarak yenilenebilir kaynakları bakımından bolluğu, işlem ekipmanlarına daha az zarar vermesi, düşük ağırlık, düşük maliyet, çekme modülü ve eğilme modülü gibi mekanik özelliklerin iyi olması avantaj sağlamaktadır. Doğal elyaf takviyeli petrol türevi polimerlerin ve biyo-polimerlerin, cam ve karbon gibi güçlendirilmiş sentetik liflerin kombinasyonundan yapılan biyo-kompozit malzemeler biyolojik olarak parçalanamaz ve tamamen çevre dostu değildir. (Ngo, 2017)

1.7.1.2. Metal matris kompozitler

Metal matris kompozitler (MMC'ler), metal matris, takviye tipi ve takviye geometrisi tarafından tanımlanan nispeten geniş bir malzeme yelpazesini içerir. Matris alanında, metalik sistemlerin çoğu, Al, Be, Mg, Ti, Fe, Ni, Co ve Ag dahil olmak üzere metal matris bileşiklerinde kullanılmak üzere araştırılmıştır. Şimdiye kadar en büyük kullanım alüminyum matris kompozitlerdir. (Warren, 2000)

Metal-matris kompozitlerin (MMC) özelliklerini belirleyen, takviye, matris ve arayüzey olmak üzere üç bileşen vardır. Matris, kuvvetli ve katı lifleri ya da diğer takviye tiplerini tutmak için bir ortam ya da bağlayıcı madde olarak kabul edilir. Matrisin mikro yapısının ve dolayısıyla mekanik özelliklerinin bir kompozitin genel performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu özellikler metal matris kompozitleri için geçerlidir, çünkü bir takviye ekleme durumunda fiber, whiskers veya partikül-metalik matrisin mikro yapısında ve dolayısıyla yapıya duyarlı tokluk ve mukavemet gibi özelliklerinde değişiklikler ile sonuçlanabilir. Partikül takviyeli MMC'ler, kısa elyaf veya whiskers takviyeli MMC'ler ve sürekli elyaf veya tabaka takviyeli MMC'ler olmak üzere üç çeşit MMC vardır. Şekil 1.7.3. (a ve b), partikül (SiC partikülü / Al) ve sürekli fiber takviyeli (Al_2O_3 / Al-Li) kompozitlerin tipik mikro yapılarını gösterir. (Chawla, 2006)



Şekil 1.10 (a) Partikül kompozitlerin ve (b) sürekli kompozitlerin gösterimi

1.7.1.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozit malzemeler (CMC), yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif olmaları avantajıyla oldukça kullanışlıdır. CMC' ler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışılacak olan parçalar için kullanılırlar.

CMC' lerin genel özellikleri:

- Sert ve kırılğan olduklarından çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler.
- Ani sıcaklık değişimlerine yani termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bundan dolayı liflerle takviye edilirler.
- Çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler.
- Rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler.
- Elektriksel olarak çok iyi yalıtkan özelliği gösterirler. (Kaya, 2016)

1.7.2. Doğal Elyaf Takviyeli Kompozitler

Doğal elyaf kompozitler takviye faz olarak hindistan cevizi, jüt, baggase, pamuk, bambu, kenevir...vb doğal liflerin kullanıldığı yapılardır. Doğal lifler bitkilerden gelir. Bu lifler doğada lingo-selüloz içerir. Doğal lifler çevre dostudur; hafif, güçlü, yenilenebilir, ucuz ve biyolojik olarak parçalanabilir. Doğal lifler hem termoset hem de termoplastik matrisleri güçlendirmek için kullanılabilir. Epoksi, poliester, poliüretan, fenolik gibi ısıyla sertleşen reçineler kullanılarak, daha yüksek performanslı uygulamalar gerektiren prosesler ile dayanıklı kompozitler üretilmektedir. Kabul edilebilir derecede düşük fiyat seviyelerinde, özellikle sertlik ve mukavemet bakımından yeterli mekanik özellikler sağlarlar. Doğal elyaf kompozitler, düşük yoğunlukları ve geleneksel kompozitlere göre ekolojik avantajları nedeniyle endüstri için caziptir. Doğal elyaf kompozitlerle bina ve inşaat, ambalajlama, otomotiv...vb sanayileri için çok düşük maliyetli bir malzemeler her geçen gün daha çok ön plana çıkmaktadır. Bu kompozitler düşük yük taşıyan uygulamalar için yüksek maliyetli cam elyafın değiştirilmesi için potansiyel sağlar. Doğal lifler düşük yoğunluklu, düşük maliyetli, kısmen veya tamamen biyobozunurluk avantajlarına sahiptir. Bununla birlikte, doğal lif kompozitinin ana dezavantajları, nispeten yüksek nem emilimidir. Bu nedenle, fiber yüzey özelliklerini değiştirmek için kimyasal işlemler yapılır. (Bongarde and Shinde, 2014)

Tablo 1.10 'da doğal lifler için yaygın kullanılan bitkisel kaynaklar gösterilmiştir.

Doğal Lifler	Seluloz/Lignoseluloz	Kabuk Yaprak Tohum Meyve Odun (Talaş) Sap Tek Yıllık	Keten, Kenevir, Jüt, Rami Abaka, Muz, Ananas, Sisal Pamuk, Kapok Hindistan cevizi Sert ağaç, Yumuşak ağaç (ör. Okalıptüs) Buğday, Mısır, Yulaf, Pirinç Bambu, Mısır
	Hayvansal	Yün / Saç İpek	Kaşmir, Keçi yünü, At kılı, Kuzu yünü Dut
	Mineral	-	Asbest, Seramik elyaflar, Metal elyaflar

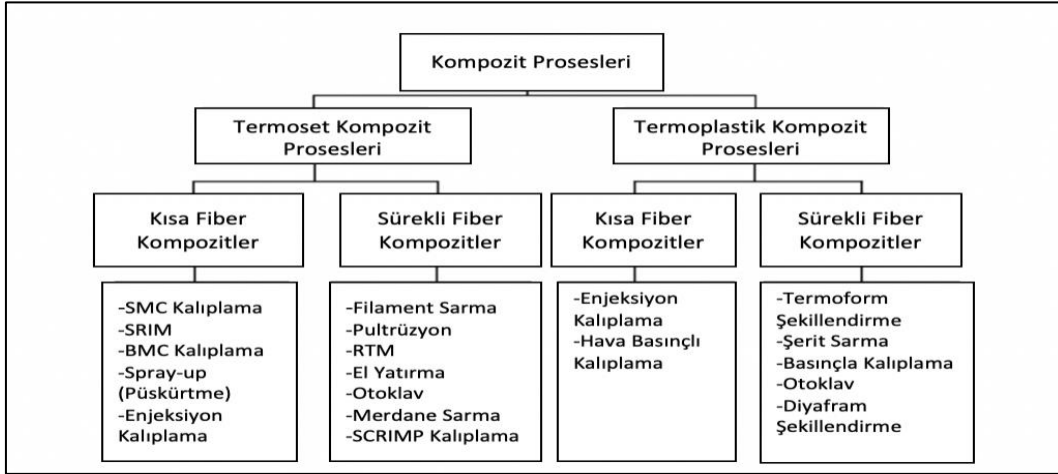
Tablo 1.4 Doğal liflerin sınıflandırılması (Peças et al, 2018)

1.8. Kompozit Üretim Teknikleri

1.8.1. Termoset kompozit üretim yöntemleri

Süreksiz fiber kompozitler, sürekli fiber kompozitlerin daha yüksek mukavemet ve sertliğinin gerekli olmadığı hallerde kullanılır, çünkü üretilmeleri çok daha ucuzdur. Püskürtme, basma ve transfer kalıplama, reaksiyon enjeksiyon kalıplama ve enjeksiyon kalıplama gibi imalat yöntemleri, sürekli fiber kompozit için kullanılan işlemlerden çok daha ucuzdur. Bu yöntemlerden bazıları, yılda milyonlarca parça üretebilen yüksek hacimli işlemlerdir, diğerleri ise daha küçük miktarlarla sınırlıdır. Bu bölümde deneysel kısımda kullanılan el yatırma tekniği detaylı olarak açıklanmıştır.

Kompozitlerin mukavemetini ve sertliğini belirleyen iki ana faktör elyaf uzunluğu ve oryantasyondur. Teoride, mükemmel yönlendirilmiş yeterli lif uzunluğuna sahip bir süreksiz lifli kompozit, sürekli lifli bir kompozitin kuvvetine ve sertliğine yaklaşacaktır. Gerçekte, süreksiz lifli kompozitlerdeki yönlendirmeyi kontrol etmek son derece zordur. İşleme sırasında reçine akışı ön kısımları elyafları etrafında iterek yanlış yönlendirmeye neden olur. Ek olarak, enjeksiyon kalıplama gibi bazı işlemler, elyafları mekanik olarak kırar, bu da başlangıç uzunluklarından daha kısa elyaf uzunluklarına yol açar. Bundan dolayı süreksiz veya kısa lifli kompozitler, kesintisiz lifli kompozitlerin mukavemet ve sertlik özelliklerini elde edemezler. (Campbell, 2010)



Tablo: 1.5 Kompozit üretim proseslerinin sınıflandırılması (Mazumdar, 2002)

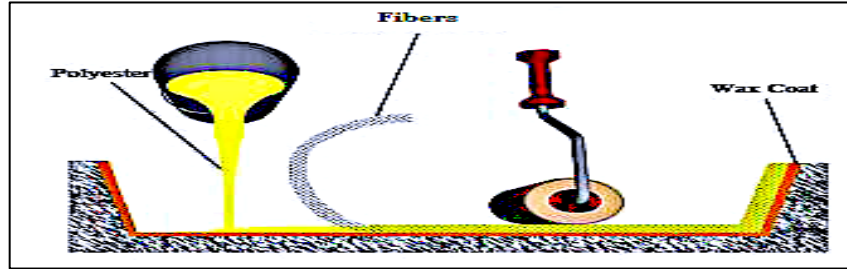
Proses	Başlatıcı	Araç-Ekipman	Üretim
Enjeksiyon kalıplama	Kısa lifli peletler	Alüminyum veya çelik kalıplar	Küçük karmaşık şekilli parçalar, yüksek hacimli
Ekstrüzyon	Kısa lifli peletler	Sürekli işlem için kalıp	Borular, T kesitleri, kesitsel olarak herhangi bir uzun kısmı
Basınçla kalıplama	Uzun süreksiz lifli veya sürekli lifli laminatlar	Alüminyum veya çelik kalıplar	Rüzgar reflektörleri gibi büyük net şekilli parçalar
El yatırma ve Şerit çekme	Tek yönlü sürekli elyaf prepregler	Tek taraflı çelik kalıp	Küçük düşük eğrilikli parçalar
Otoklav	Tek yönlü sürekli elyaf prepregler	Tek taraflı çelik kalıp	Parça boyutu otoklav boyutuyla sınırlıdır
Filament sarma	Prepregler veya fiber fitiller	Bir mandrel üzerinden açık kalıp işlemi (çelik / alüminyum)	Genellikle içi boş olan aksel simetrik parçalar
Sıvı kalıplama	Rastgele, dokuma, örme kumaş herhangi bir biçimde ön formları	Alüminyum veya çelik kalıp ile kapalı kalıp işlemi	Net şekilli parçalar
Pultrüzyon	Tek yönlü bant veya kumaş fitilleri	Çelikten imal edilmiş kapalı kalıp	Sürekli enine kesit parçaları
Sac şekillendirme	Önceden empenye edilmiş levhalar	Metal kalıp	Hafif eğrilikli parçalar

Tablo 1.6 Kompozit imalat işlemlerine örnekler (Advani ve Sözer, 2010)

1.8.1.1. El yatırma tekniği (hand lay-up)

El yatırma, kompozit imalat işlemlerinin en basit ve en eski açık kalıplama yöntemlerinden biridir. Cam veya tasarlanacak olan kompozite göre seçilen takviye lif açık kalıpta elle konumlandırılır ve reçine bu tabakaların üstüne dökülerek havası alınır. Tutulan hava, laminat yapısını tamamlamak için silecekler veya merdanelerle manuel olarak çıkarılır. Oda sıcaklığında sertleşen poliesterler ve epoksiler en çok kullanılan matriks reçineleridir. Sertleştirme, reçine sisteminde, fiber takviyeli reçine kompozitini dış ısı olmadan sertleştiren bir katalizör ile başlatılır. Yüksek kaliteli bir parça yüzeyi için, önce kalıp yüzeyine bir pigmentli jel kaplama uygulanabilir. El yatırma tekniği, doymamış poliester reçinelerini nihai ürünlere dönüştürmenin en basit yoludur. Ekipmanlara yoğun yatırım gerektirmez, oda sıcaklığında gerçekleşir ve çok çeşitli ürünler için kullanılır. Bu açık bir kalıp işlemidir. Ayrıca temas kalıplama denir.

Prototipler ve elyaf kompozit malzeme parçalarının düşük hacimli üretimi için uygun bir üretim tekniğidir. Kompozit kısım bir tarafta hoş bir pürüzsüz yüzeye, diğer tarafta çok pürüzlü bir yüzeye sahip olacaktır. Elyaf kalıba yerleştirildikten sonra metal bir merdane kullanılarak kullanılarak bir termoset reçine matrisi elyafın üzerine yuvarlanır. Daha fazla katman eklenebilir ve kuruduktan sonra, bileşik kısım kalıptan çıkarılabilir. Fiber yönlendirmesini kontrol etmek kolaydır. Dahası, süreç çok küçüktür, farklı büyüklükteki geometrilerin çok büyük bir kısmına kadar üretebildiği için çok esnek. Parça başına çevrim süresi çok uzundur ve yalnızca küçük seriler üretilebilir. (Muthukumar et al., 2011)



Şekil 1.11 El yatırma Tekniği temsili örnek

Avantajları:

- Tasarım esnekliđi
- Büyük ve karmaşık ürünler üretilebilir
- Üretim hızı gereksinimleri düşük
- Minimum ekipman yatırımı gereklidir
- Takım maliyeti düşük
- Şeklini koruyacak herhangi bir malzeme kalıp olarak kullanılabilir
- Başlangıç teslimat süresi ve maliyeti asgaridir
- Tasarım değişiklikleri kolayca yapılabilir
- Kalıplanmış kesici uçlar ve yapısal takviyeler mümkündür
- Sandviç yapılar mümkündür
- Yüksek hacimli kalıplama işlemleri için prototipleme ve üretim öncesi yöntem.
- Yarı vasıflı işçilere ihtiyaç duyulur ve kolayca eğitilirler

Dezavantajları:

- İşlem ve emek yoğun
- Sadece bir iyi (kalıplanmış) yüzey elde edilir
- Kalite, operatörün yeteneği ile ilgilidir
- Düşük hacimli bir işlemdir
- Daha uzun kür süresi gerekli
- Ürün homojenliğinin bir kısımda veya bir kısımdan diğerine korunması zordur
- Atık faktörü yüksek (Biron,2014)

1.9. Kompozitlerin Analiz Yöntemleri

1.9.1. Sertlik

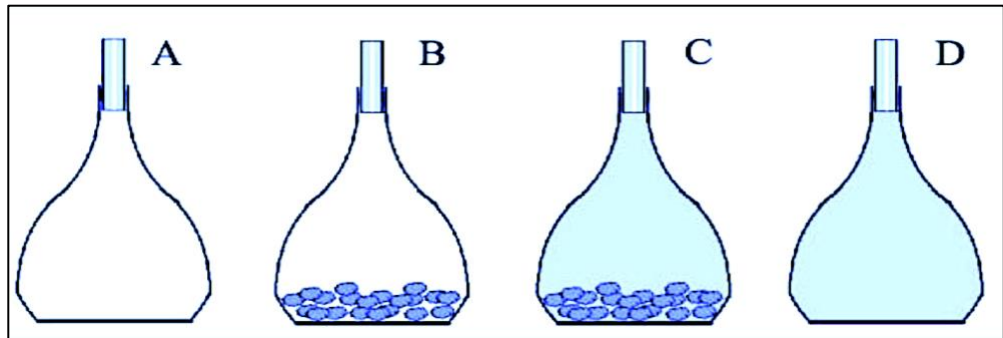
Mukavemet, süneklik ve tokluk hakkında bilgi sağlayarak, çekme testi bir malzemenin yüklemeye verdiği yanıtın en geniş profilini verir. Bununla birlikte, sertlik testi mekanik testlerin en yaygın olarak yapılanıdır. Bunun nedeni, testin kolaylığı ve hızı ve özel numune hazırlamaya gerek kalmadan yüzeylerin sertliğini tahribatsız bir şekilde test edebilme yeteneğidir. Bu, üretim sırasında kalite kontrol amaçları için idealdir.

Sertlik testleri, malzemenin yüzeyine belirtilen basınç yükü altında sert bir çelik bilya veya elmas (koni veya piramit) girinti bastırılarak gerçekleştirilir. Kaydedilen Brinell, Vickers veya Knoop sertlik sayıları, gerilimi veya girintinin birim yüzey alanı başına yükü yansıtır. (Ohring, 1995)

1.9.2. Yoğunluk

1.9.2.1. Piknometre ile yoğunluk tayini

Piknometre, çalışma sıvısında çözünmeyen katı cismin yoğunluğunu belirlemek için kullanılır. Şekil 1.12' de gösterilen piknometre, küçük bir balon jöje şeklinde olup, ağzına oluklu bir cam tapa yerleştirilmiştir. Yoğunluğu tayin edilecek olan malzeme piknometre içine yerleştirildikten sonra üzerine malzemeye uygun sıvı konulmaktadır. Sıvı olarak, suda çözünmeyen malzemeler için yoğunluğun tespitinde su kullanılır. Eğer malzeme suda çözünüyorsa numunede çözünmeyecek olan sıvılar kullanılmaktadır.



Şekil 1.12 Piknometre örnekleri

Yoğunluğu belirlenecek malzemedan alınan katı örnek öğütülür ve örnekten piknometrenin 1/4' ü dolacak şekilde örnek alınır ve tartım yoluyla kuru ağırlığı saptanır. (BTU laboratuvar notları, 2011)

Şekil 1.12' deki gibi yoğunluk saptanması için kullanılacak piknometre kılcal başlıkla birlikte önce 25°C de kurutulur ve tartılarak ağırlığı (A) hesaplanır. İçine kuru örnek koyulduktan sonra tartılarak ağırlığı saptanır (B). Sonra su ile yavaşça doldurulur ve aralıklı olarak çalkalanarak taneler arasında hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. Sonra kılcal başlıkla birlikte 25°C de kurutulup ağırlığı (C) saptanır. Piknometre boşaltılıp içindeki nemi kurutulur ve sonra su ile doldurulur ve aynı sıcaklıkta kurutulup tartılarak ağırlığı (D) saptanır. Bu durumda aşağıda verilen formülün tüm bilinmeyenleri saptanmış olduğundan gerçek yoğunluk hesaplanabilir duruma gelmiştir. (BTU laboratuvar notları, 2011)

Deneysel hatalardan kaynaklanan sapmaları engellemek için deney tekrarlanmalı ve bir ortalama değer bulunmalıdır.

A: piknometre

B: piknometre + katı

C: piknometre + katı + su

D: piknometre + su

ρ : kullanılan sıvının özgül ağırlığı (Saf su için kaç derecede ölçüm yapılıyorsa, ilgili yoğunluk değeri alınmalıdır.)

$$\text{Yoğunluk} = d_{\text{katı}} = \frac{B-A}{(D-A)-(C-B)} \times \rho$$

1.9.3. Kalitatif tokluk deneyleri

Düşük hızda darbe mukavemet testleri, kalitatif tokluk deneyleri arasındadır. ASTM, ağırlık düşürme deneylerini ve Izod, ağırlık düşürmeli yırtılma ve dinamik yırtılma deneyleri dahil olmak üzere ilgili birkaç yaklaşımı standartlaştırmıştır. Bu deneylerde matematiksel kesinlik ve kırılma mekaniği yöntemlerinin öngörü özellikleri olmamasına rağmen, bu yaklaşımlar malzeme tokluğunun kalitatif bir göstergesini sağlar. Bu kalitatif yöntemlerin avantajı kırılma mekaniği deneylerine göre daha ekonomik ve daha kolay olmalarıdır. Bu deneyler malzemelerin eklenmesi ve kalite kontrol amaçları için uygundur, ama yapısal bütünlük için güvenli göstergeler değildir. (Anderson, 2014)

1.9.3.1. Düşük hızda ağırlık düşürme testi

Darbeler düşük hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere ikiye ayrılır. Yapılan araştırmalar bu geçişin belirlenmesinde henüz net bir sonucun elde edilemediğini göstermektedir. Hedefin rijitliğine, malzeme özelliklerine ve çarpan cismin kütle ve rijitliğine bağlı olarak 1 ila 10 m/s arasında değişen hızdaki darbeler düşük hızlı darbe olarak değerlendirilmiştir. Düşük hızlı darbeler, oluşan hasar bakımından matris kırılması, delaminasyon (tabakalar arası ayrılma) oluşumu ve fiber kırılmalarının görüldüğü darbelerdir. Çarpma hızı ve absorbe edilen enerji miktarı düşük düzeylerde oluşmaktadır (bu değerler serbest düşen kütlenin ağırlık ve düşme yüksekliğine göre değişebilir). (Ceyhun ve Turan, 2003).

Fiber kompozitler, düşük tabakalar arası mukavemetlerinden dolayı delaminasyona tabi tutulur. Interlaminar gerilmeler, enine yükleme altında sınır laminatların tabakasında meydana gelir. Malzemedeki polimerik matris, içindeki enerjiyi dağıtır ve çarpma enerjisini absorplar. Düşük hızda bir etki durumu delme üretmez, ancak katmanlar arasında yüzeylerde gözle görülür bir hasar olmadan delaminasyonlar yaratır. Endüstriyel işlem sırasında, malzemede kirlenmiş takviye edici lifler, liflerin yetersiz ıslanması, işleme ve mekanik yükleme ve kalınlık yönünde takviye eksikliği nedeniyle delaminasyon meydana gelebilir.

Düşük hız darbeleri yükleme koşullarından dolayı kompozitlerdeki arıza modlarını etkileyen lif tipi, reçine, yerleşim, numune kalınlığı, hız ve vurucu tipi parametreler vardır. Metaller elastik ve plastik bölgelerde enerjiyi emerken, kompozit laminatlar çoğunlukla elastik deformasyonda enerjiyi emer. Çoğu kompozit doğada kırılğan olduğu için elastik deformasyondaki enerjiyi emebilir ve plastik deformasyona bağlı olmayan hasar mekanizmalarını alabilir. (Safri et al, 2014)

1.9.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Lif tipine ve gerilme uygulama şekline bağlı olarak liflerin kırılma biçiminde büyük farklılıklar vardır. Konu üç düzeyde incelenebilir: makroskopik uygulanan kuvvetler; lif kırılma yolunu gösteren mikroskobik seviye ve moleküllerin tepkisidir. Moleküler etkiler açısından brüt deneysel gözlemlerin teorik yorumlarında yapılan girişimler yanıltıcı olabilir, çünkü ilgili kuvvetler hakkındaki soyut açıklamalar yanlış anlaşılabilir yapıların soyut görünüşleriyle ilgilidir. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) somut kanıt sağladığı ara seviye, kusur mekanizmalarını anlamak için dikkate alınmalıdır. (Elices and Llorca, 2002)

Taramalı elektron mikroskobu, yeni ve son derece yararlı bir araştırma aracıdır. İncelenecek numunenin yüzeyi bir elektron ışını ile taranır ve yansıyan elektron ışını toplanır, sonrasında bir katod ışını tüpü üzerinde aynı tarama hızında gösterilir. Ekrandaki fotoğraf görüntüsü, numunenin yüzey özelliklerini temsil eder. Yüzeyin parlatılmış olmasından çok elektriksel olarak iletken olması daha önemlidir, iletken olmayan malzemelere çok ince bir metalik yüzey kaplaması uygulanmaktadır. Çok büyük alan derinliklerinde olduğu gibi, 10 ila 50.000 kat fazla büyütme de mümkündür. Aksesuar ekipmanı, çok yerleştirilmiş yüzey alanlarının temel bileşiminin kalitatif ve yarı kantitatif analizine izin verir. (Callister and Rethwish, 2010)

1.9.5. Termal gravimetrik analiz (TGA/DSC)

Termal analiz, bir malzemenin ısıtıldığı veya soğutulduğu sırada özelliklerini ölçen bir grup analitik teknik için verilen genel terimdir. Diferansiyel taramalı kalorimetre, termal mekanik analiz ve termogravimetrik analiz gibi teknikler, kürlenme derecesini, kürlenme oranlarını, reaksiyonların ısılarını, termoplastiklerin erime noktalarını ve termal stabiliteyi belirlemek için kullanılır.

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), kürlenme derecesini ve reaksiyon hızını elde etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir. Reçine örneği ile inert bir referans arasında termal denge elde etmek için gerekli olan bir kalorimetrede ısı akışına dönüştürülen diferansiyel voltajın ölçülmesine dayanır. (Campbell, 2010)



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal Bilgileri

- Stiren bazlı doymamış poliester reçinesi: Poliya marka Polipol 357-C (%6 Co katkı, yoğunluğu 1,06-1,65 gr/cm³)
- Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester reçinesi: Poliya marka Polives 701-TA (%6 Co katkı, yoğunluğu 1,044 gr/cm³)
- Metil etil keton peroksit (Promox marka, Promox P211TX)
- Atık kahve çekirdeği: Etiyopya menşeli Arabica kahve çekirdeği; espresso makinasından çekilerek kalan atıklar kullanılmıştır. Kahve zincirlerinde ayrı paketlerde ücretsiz olarak da verilmektedir.
- Atık zeytin çekirdeği: Akhisar Bölgesi'nde yer alan zeytinlerden elde edilen pirinanın son atık olan çekirdek atığı kullanılmıştır.
- Atık Pamuk tohumu çekirdeği: Söke bölgesindeki pamuk tohumu atıkları kullanılmıştır.

2.2. Kompozitlerin Oluşturulması

Bu çalışmada doğal elyaf olarak atık olan zeytin çekirdeği posası, kahve çekirdeği posası ve pamuk küspesi kullanılmıştır. Kahve, zeytin ve pamuk çekirdeği ince olarak öğütülerek 500 mikron boyutundaki elekten geçirilmiştir. Saflaştırma işleminin ardından etüvde nemi uçurulmuştur. Hazır hale gelen bitkisel atık numuneleri kütlece %10, %20, %30, %40 ve %50 olacak şekilde ilgili reçinelerle ortalama 20 dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırma işleminin ardından katalizör olarak Metil etil keton peroksit çözeltisi ilave edilerek 10 dakika daha işleme devam edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra 10 cm x10 cm kalıplara dökülerek, her numune için standart 70 °C altında 6 saat kurlenmeye bırakılmıştır.

Kürlenme işleminden sonra analiz için hazırlanan kompozitlere sertlik, yoğunluk, düşük hızda darbe testi, SEM ve termal gravimetrik analiz testlerine tabi tutulmuştur.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Sertlik Sonuçları

Çalışmada gerçekleştirilen sertlik değerleri Zwick/Roell Shoremetre ile Shore D cinsinden ölçülmüştür. Lif miktarı arttıkça sertlik değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir.

Gruplarına göre ayrılmış olan kompozitlere ait elde edilen değerler ve grafikler tablo 3.1' de yer almaktadır.



Şekil 3.1 Sertlik ölçümlerinin yapılması

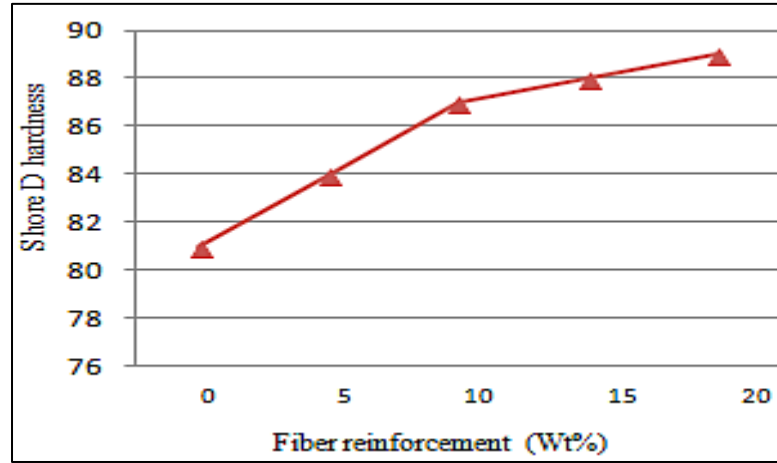
	SERTLİK DEĞERLERİ (Shore D)					
	Atık Kahve Çekirdeği Kompozitleri (AKÇK)		Atık Zeytin Çekirdeği Kompozitleri (AZÇK)		Atık Pamuk Çekirdeği Kompozitleri (APÇK)	
Atık Lif Katkısı (%)	SKÇK	EKÇK	SZÇK	EZÇK	SPÇK	EPÇK
0	90	88	90	88	90	88
10	88	85	88	86	89	83
20	85	82	88	85	83	83
30	83	82	87	84	83	84
40	73	72	86	84	83	85
50	60	62	80	84	83	85

Tablo 3.1 Kompozitlere ait lif yüzdesi-sertlik değerleri

Tablo 3.3 ve Şekil 3.2 'de literatürde yer alan farklı selülozik içeriklere sahip kompozitlerin sertlik değerleri verilmiştir. Üretim metodu olarak, basınçla kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen kahve, zeytin ve pamuk kompozitlerine ait sertlik değerlerinde selülozik içeriklerinin artmasıyla değişimler gözlenmiştir. Oluşturulan kompozitlerde yer alan takviye lif oranlarının artmasıyla özellikle atık kahve ve zeytin liflerine ait olan değerlerde azalmalar saptanmıştır.

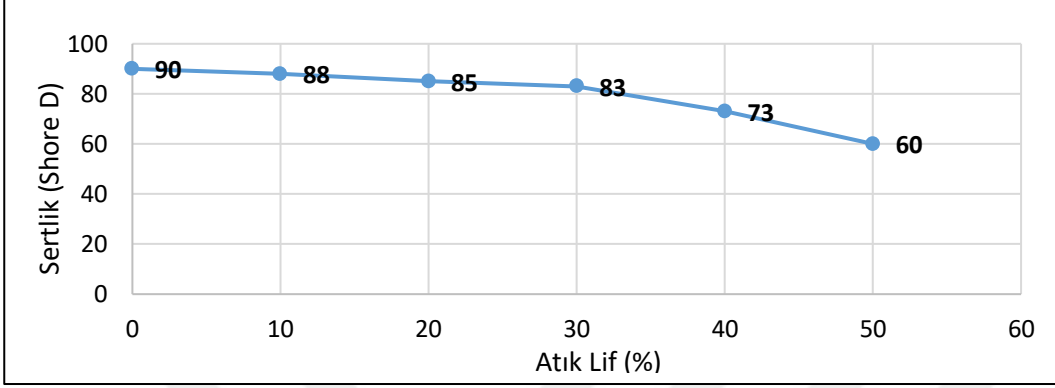
Bitkisel lif Oranı (5mm Kalınlık)	Doymamış poliestere-Jüt kompozit Sertlik (Shore D)	Doymamış poliestere-Muz kabuğu kompozit Sertlik (Shore D)
%5	82,36	79,54
%10	82,94	80,90
%15	84,64	81,50
%20	84,95	81,97

Tablo 3.2 Doymamış poliestere-jüt ve doymamış poliestere-muz kompozit örneklerine ait sertlik değerleri (Megha et al, 2017)

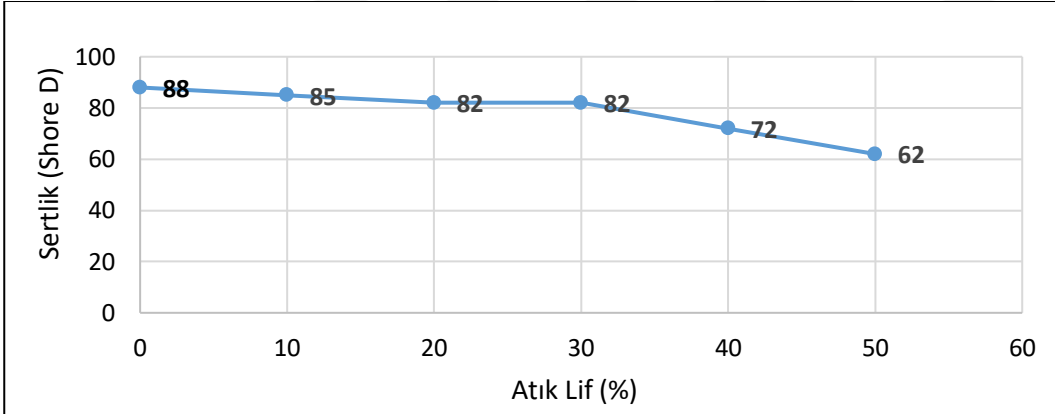


Şekil 3.2 İpekotu-epoksi kompozit numunesine ait sertlik grafiği (Raghu and Goud, 2017)

3.1.1. Atık kahve çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AKÇK) sertlik grafikleri

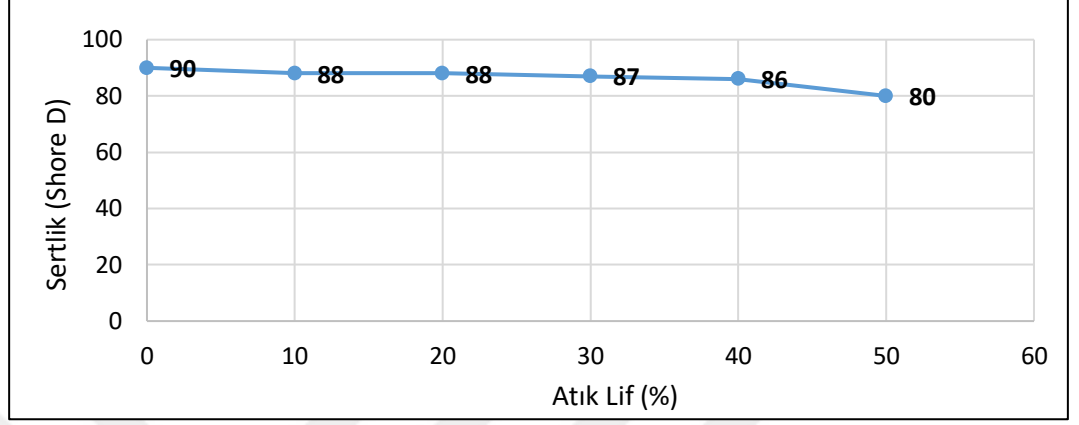


Şekil 3.3 SKÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği

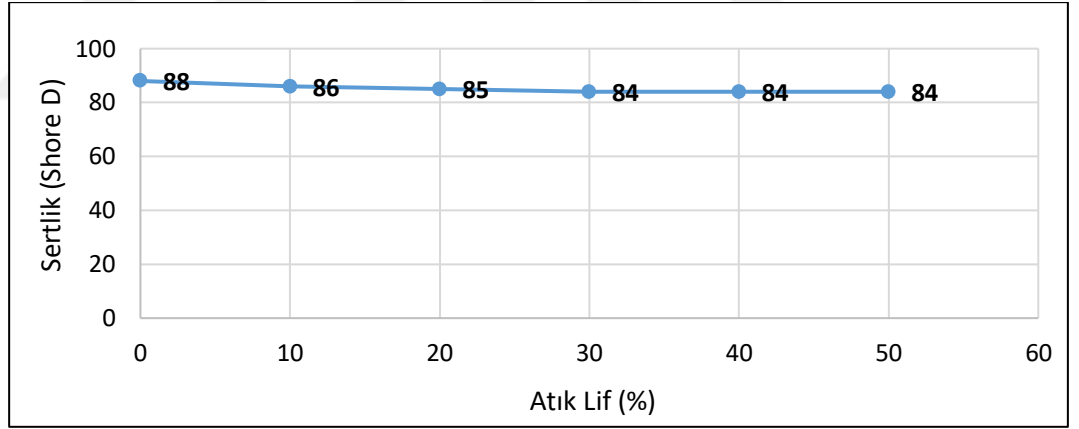


Şekil 3.4 EKÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği

3.1.2. Atık zeytin çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AZÇK) sertlik grafikleri

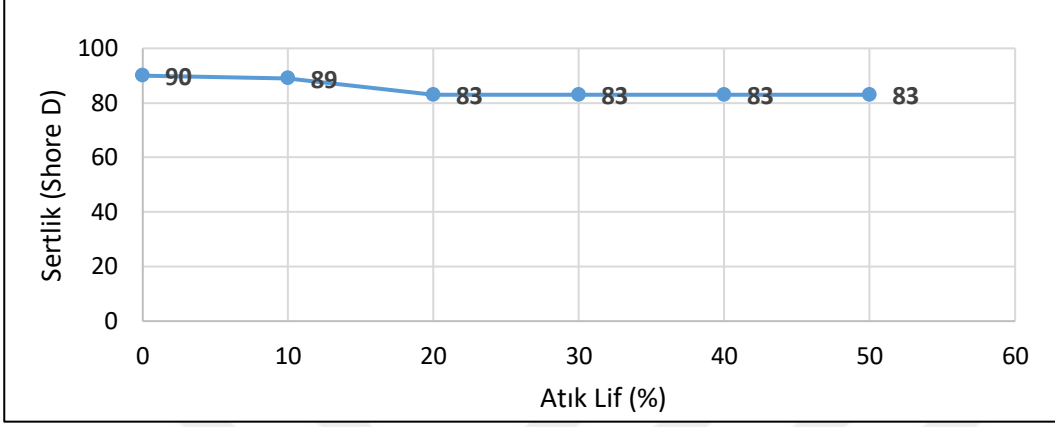


Şekil 3.5 SZÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği

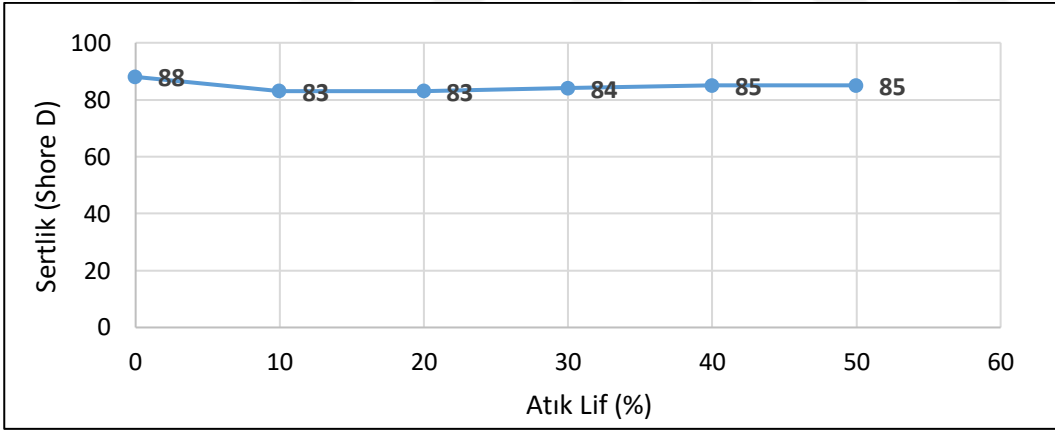


Şekil 3.6 EZÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği

3.1.3. Atık pamuk çekirdeği takviyeli kompozitlerin (APÇK) sertlik grafikleri



Şekil 3.7 SPÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği



Şekil 3.8 EPÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-sertlik grafiği

3.2. Yoğunluk Sonuçları

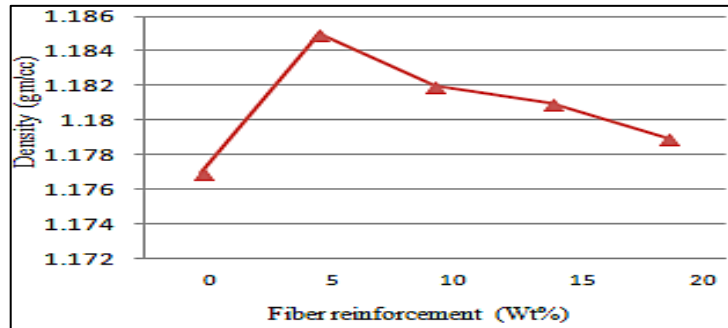
Piknometre kullanılarak, Stiren bazlı doymamış poliestere-atık bitkisel lif kompozit (DPK) ve Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester-atık bitkisel lif kompozit (EVK) numunelerinde yoğunluk tayinleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3 'de elde edilen değer ve grafikler yer almaktadır.

	YOĞUNLUK DEĞERLERİ (g/cm ³)					
	Kahve Çekirdeği Kompozitleri (KÇK)		Zeytin Çekirdeği Kompozitleri (ZÇK)		Pamuk Çekirdeği Kompozitleri (PÇK)	
Atık Lif Katkısı (%)	SKÇK	EKÇK	SZÇK	EZÇK	SPÇK	EPÇK
0	1,18	1,11	1,18	1,11	1,18	1,11
10	1,22	1,24	1,17	1,1	1,26	1,12
20	1,16	1,14	1,16	1,09	1,25	1,11
30	1,07	1,08	1,13	1,07	1,24	1,1
40	0,88	1,07	1,11	1,04	1,23	1,09
50	0,86	1,01	0,93	1,02	1,22	1,07

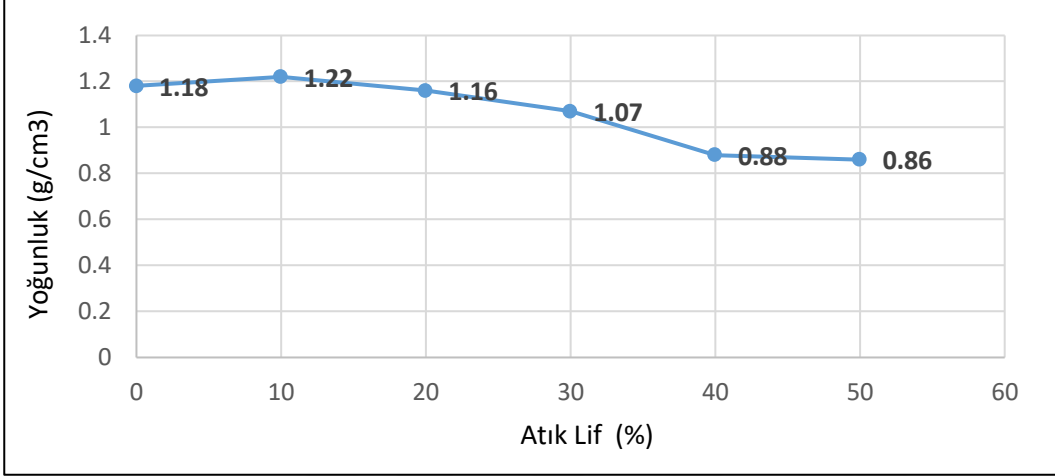
Tablo 3.3 Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk değerleri

Elde edilen yoğunluk değerleri lif oranı ile ters orantılı değişim göstermektedir. Literatürde yer alan ipekotu-epoksi kompozitlerin fiziksel özelliklerinin incelenmesine ait çalışmada, lif yüzdesinin artmasıyla yoğunluk değerlerinde azalmaların söz konusu olduğu belirtilmiştir. Elde edilen KÇK, ZÇK ve PÇK kompozitleri ile karşılaştırıldığında sonuçlar aynı bulguyu göstermektedir.

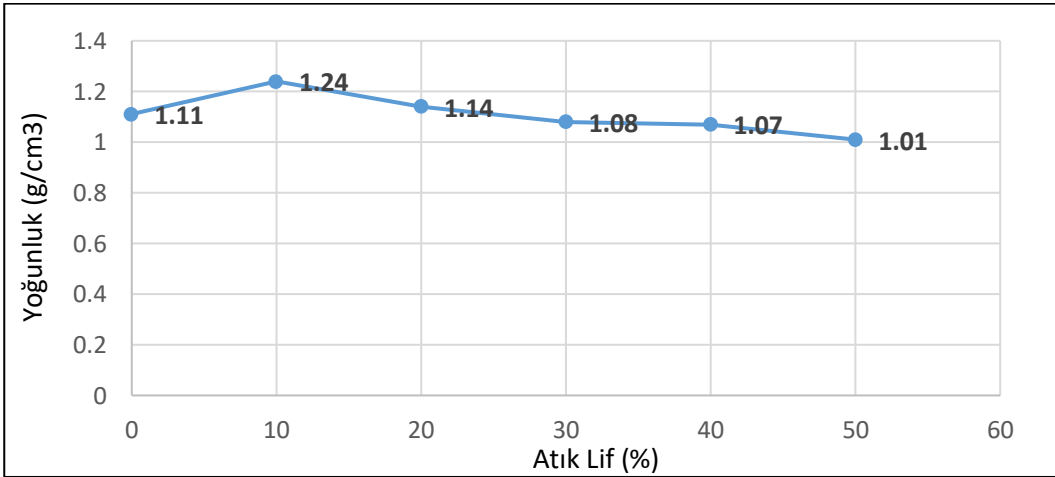


Şekil 3.9 İpekotu-epoksi kompozit numunesine ait yoğunluk grafiği (Raghu and Goud, 2017)

3.2.1. Atık kahve çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AKÇK) yoğunluk grafikleri

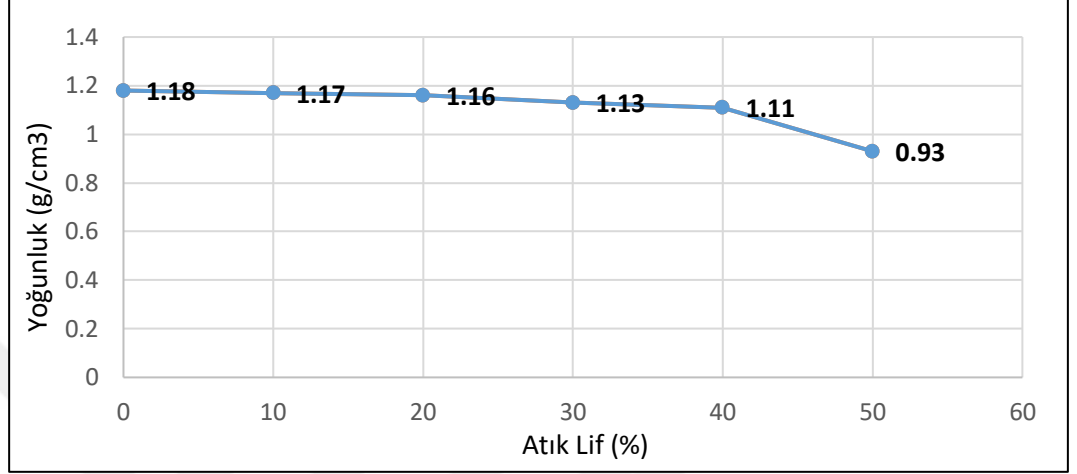


Şekil 3.10 SKÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği

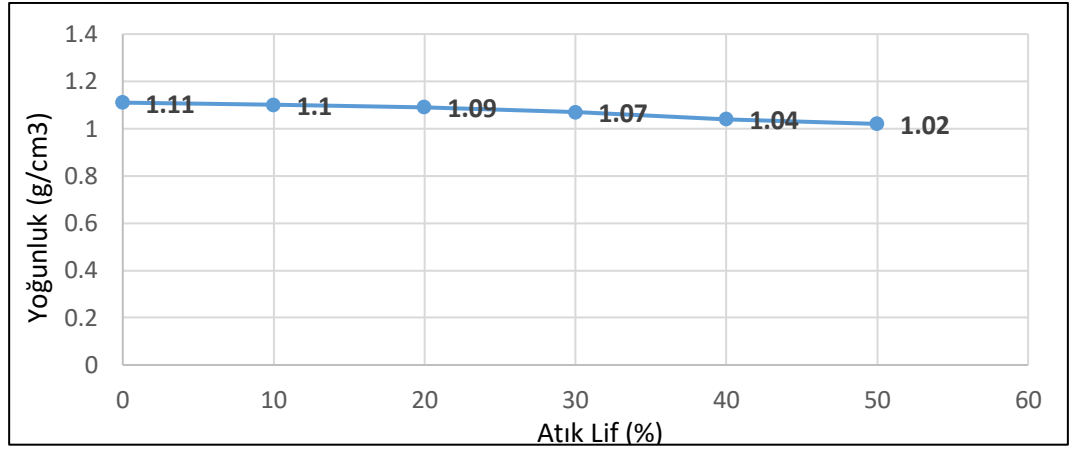


Şekil 3.11 EKÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği

3.2.2. Atık zeytin çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AZÇK) yoğunluk grafikleri

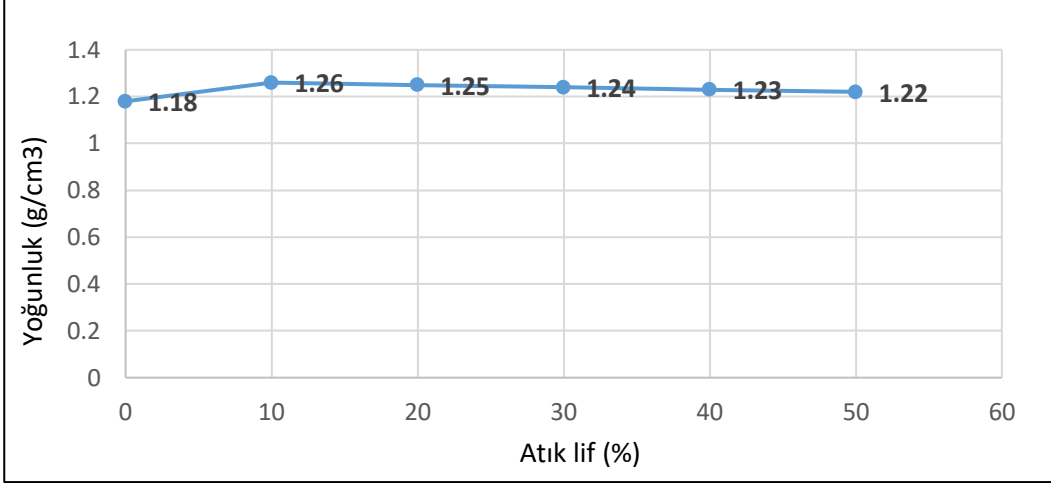


Şekil 3.12 SZÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği

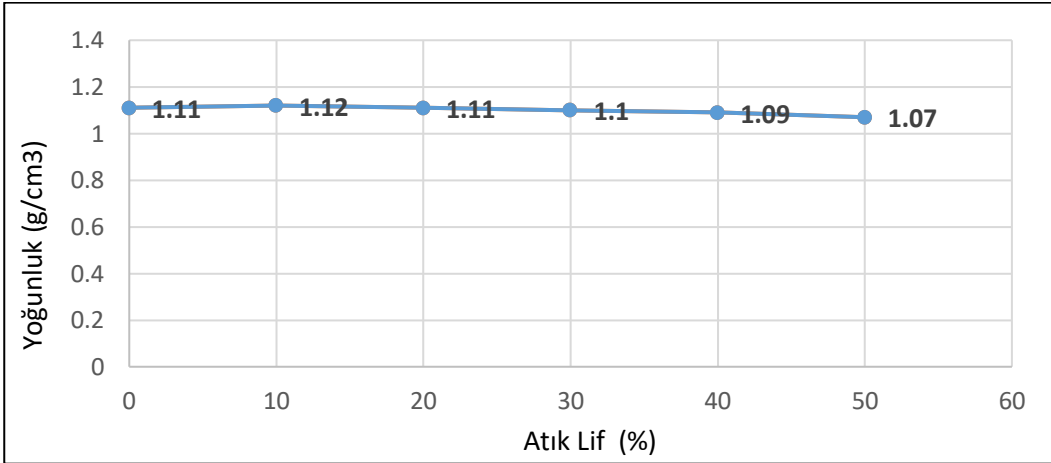


Şekil 3.13 EZÇK Kompozitlere ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği

3.2.3. Atık pamuk çekirdeği takviyeli kompozitlerin (APÇK) yoğunluk grafikleri



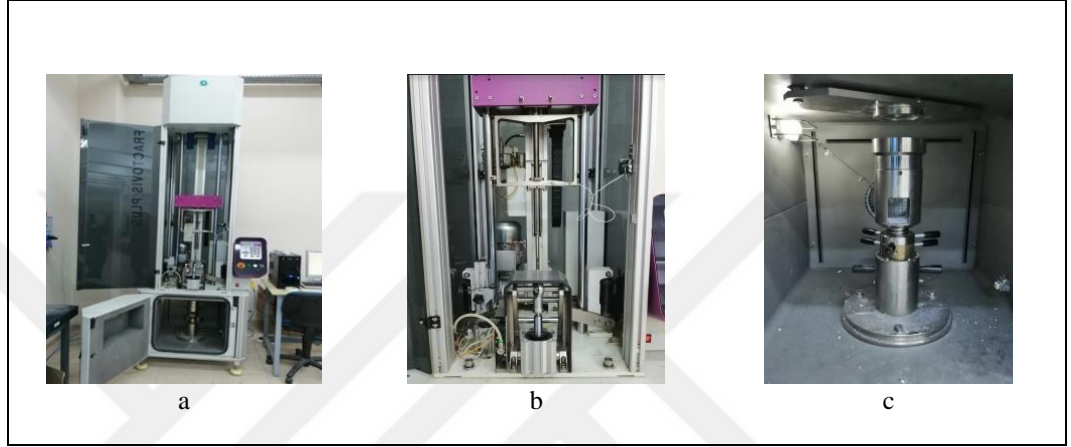
Şekil 3.14 SPÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği



Şekil 3.15 EPÇK Kompozitlerine ait lif yüzdesi-yoğunluk grafiği

3.3. Düşük Hızda Darbe Testi Sonuçları

Ortalama et kalınlığı genel olarak yaklaşık 5 mm arasında olan kompozitleri için Fractovis Plus darbe test cihazı kullanılarak, ASTM D 3763 standardına göre, 12,7 mm uç ve 20 J' lük enerji ile düşük hızda darbe dayanımlarına bakılmıştır. Ucun dayanabildiği maximum temas 22.5 kN' dur.



Şekil 3.16 Düşük hızda darbe dayanım test cihazı (a) cihazın genel görünümü, (b) Üst bölme ve çene ve (c) vurucu uç

Elde edilen bulgular doğrultusunda hız-zaman, kuvvet-zaman, kuvvet-çökme, çökme-zaman ve enerji-zaman grafikleri çizilmiştir.

3.3.1. Hız-zaman (v-t) grafikleri

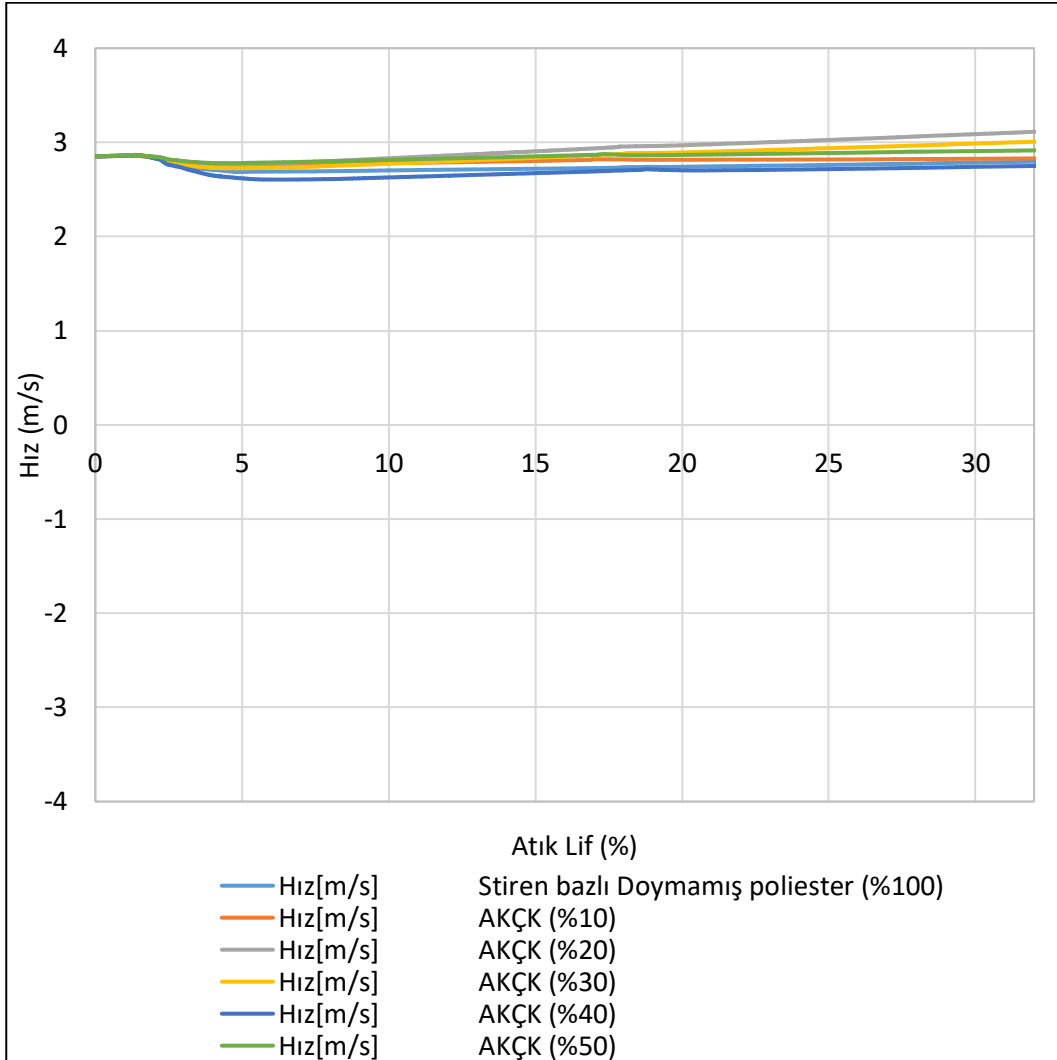
Hız zaman değişimleri incelendiğinde zaman başlangıcında hızın maksimum olduğu ve zaman ilerledikçe numune tipleri ve oranlarına göre değiştiği gözlemlenmektedir. Maksimum çökme anında hız sıfırlanmasına rağmen bazı grafiklerde geri sekmeler fark edilmektedir. Eğer geri sekme varsa vurucunun hızı çarpma yönüne ters olduğu için negatif değer alır. Bu durumda geri sekmelerin yaşandığı verilerde hız-zaman grafiklerinde artış şeklinde eğriler gözlenir. (Yapıcı ve diğerleri, 2012)

“Artan darbe enerjisi altında yapılan darbe testlerinde, ilk başta belli bir hıza sahip olan vurucunun numune ile ilk temasından sonra vurucunun hızı azalır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda, yukarı doğru hareket eden vurucu negatif bir hıza sahip olur. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise belli bir hız ile numuneye çarpan vurucunun numuneye saplanmasından dolayı vurucunun tekrar yukarı doğru geri sekmesi meydana gelmediğinden hız sıfırlanacaktır. Vurucunun numuneyi delip geçmesi durumunda ise belli bir hız ile numuneye saplanıp kalınlık boyunca ilerleyen vurucunun hızını yavaşlatan durum, vurucu ve numune arasındaki sürtünmedir. Bunun sonucunda da geri sekme meydana gelmediğinden vurucu pozitif bir hıza sahip olacaktır.”(Sayer ve Bektaş, 2009)

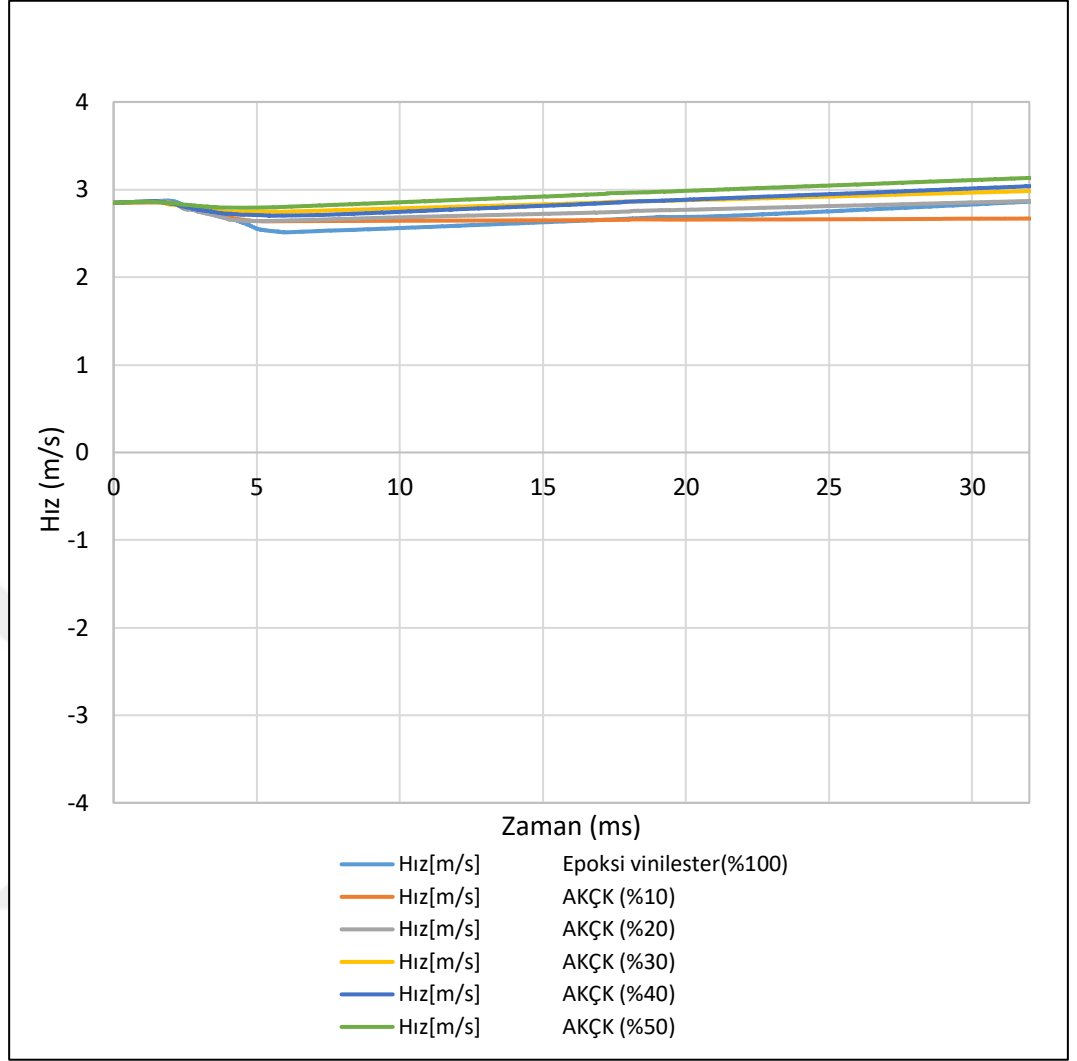
3.3.1.1. Atık kahve lifi kompozitleri (AKÇK) hız-zaman (v-t) grafikleri

Stiren bazlı doymamış poliester ve epoksi vinil ester reçineleri ile oluşturulan doğal takviyeli kompozitlerde başlangıçlardaki hızın zamanla yukarıya doğru pozitif artış göstermesi, numunenin aldığı darbe kuvveti sonrası saplanma ve sürtünme nedeniyle görülmektedir. Hızın azaldığı numunelerde delinme ve parçalanmalar gözlemlenmiştir.

SKÇK grubu numunelerinde özellikle lif oranı %20 ve %30 olan; EKÇK grubu için %40 ve %50 olan numunelerde vurucu uca saplanma etkisi ile azalma-artma şeklinde gözlenmektedir. Diğer numuneler için zamanla hızın azaldığı ve numunede delinme ve parçalanmalar olduğu görülmektedir.



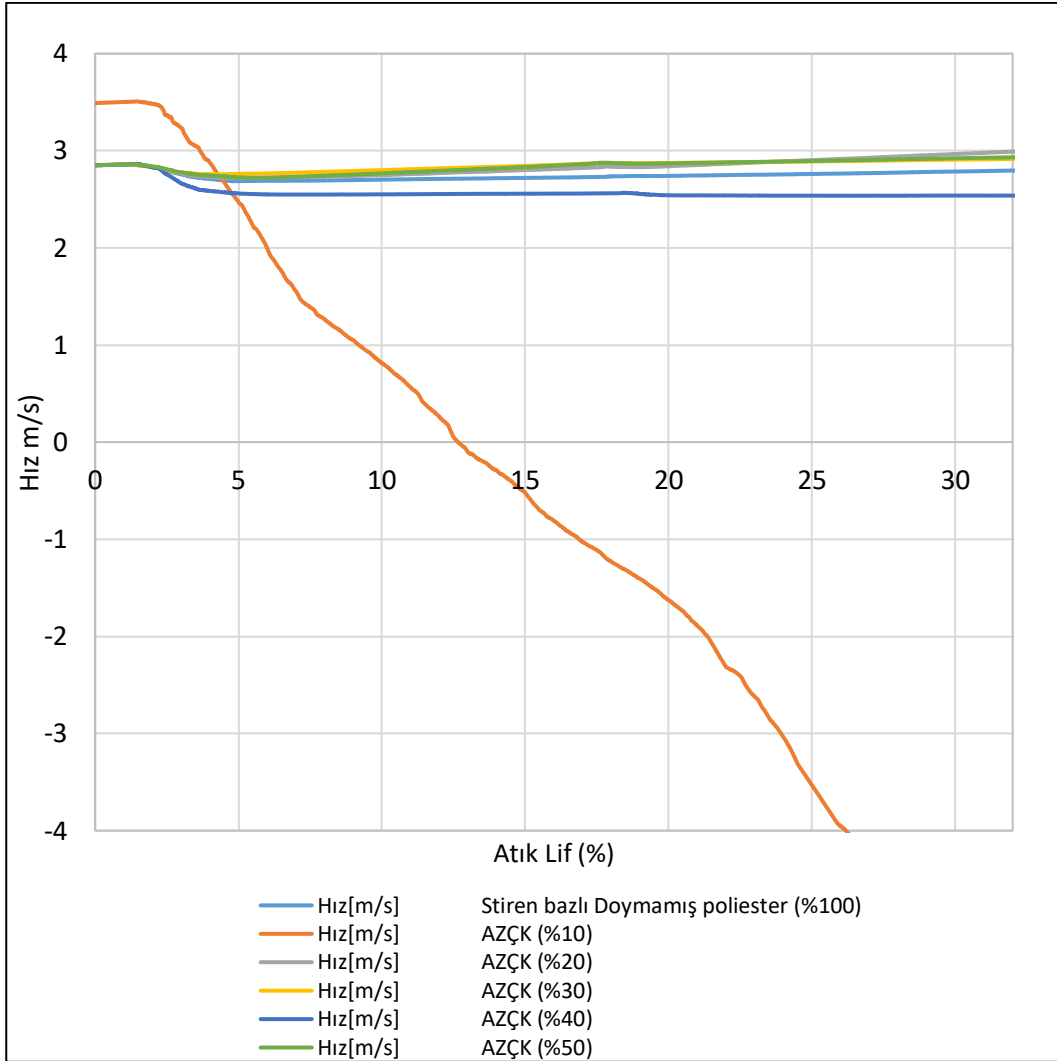
Şekil 3.17 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği



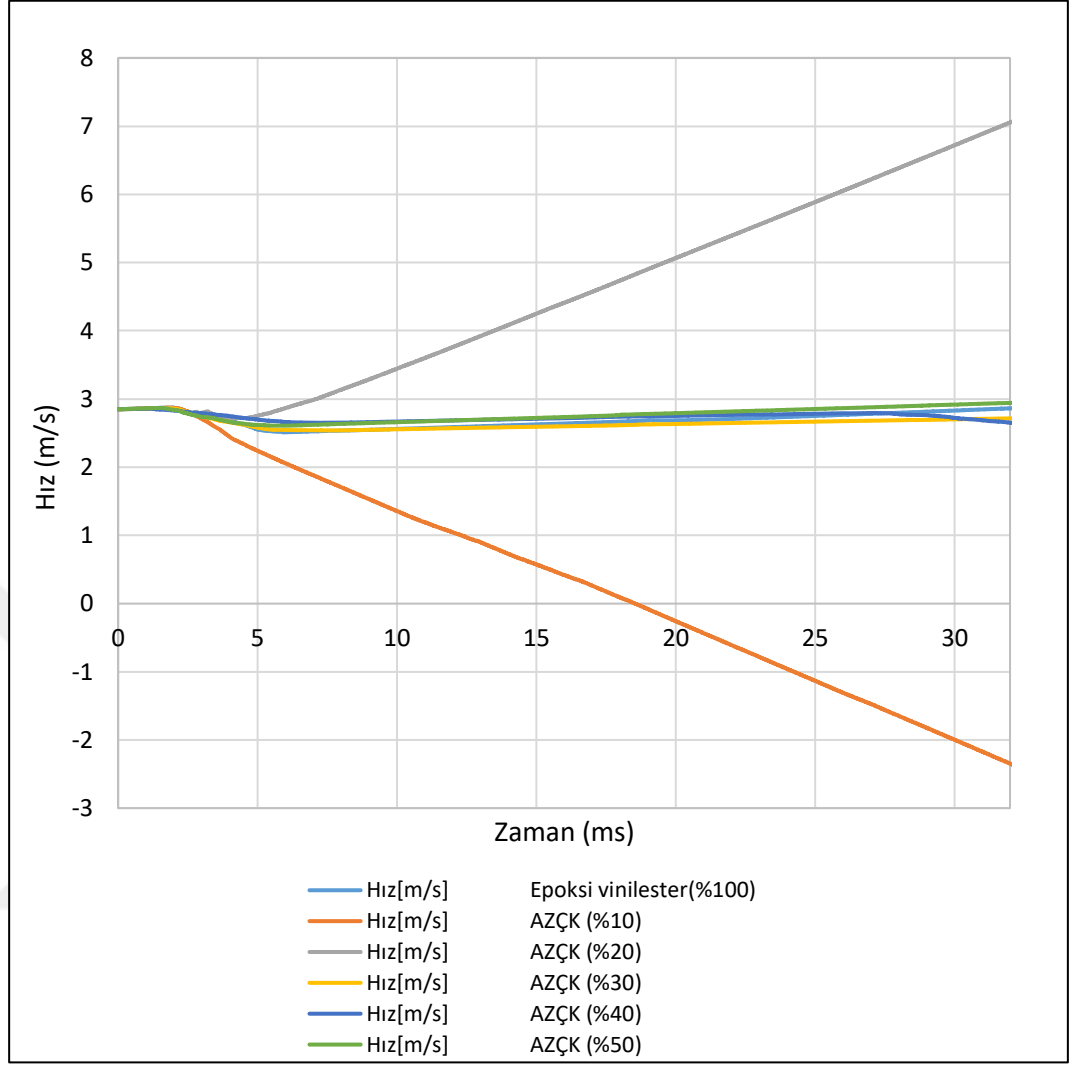
Şekil 3.18 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkıli kompozitlere (EKÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği

3.3.1.2. Atık zeytin lifi kompozitleri (AZÇK) hız-zaman (v-t) grafikleri

Özellikle her iki reçine kullanılan doğal takviyeli kompozitler için %10 lif oranına sahip numunelerde vurucunun hızı çarpma yönüne ters olduğundan dolayı geri sekmeler net bir şekilde gözlemlenmektedir. %20 lif oranına sahip epoksi kompozit numunesinde saplanmadan söz edebiliriz. Diğer numuneler için zamanla hızın azaldığı, delinme ve parçalanmalar olduğu görülmektedir.



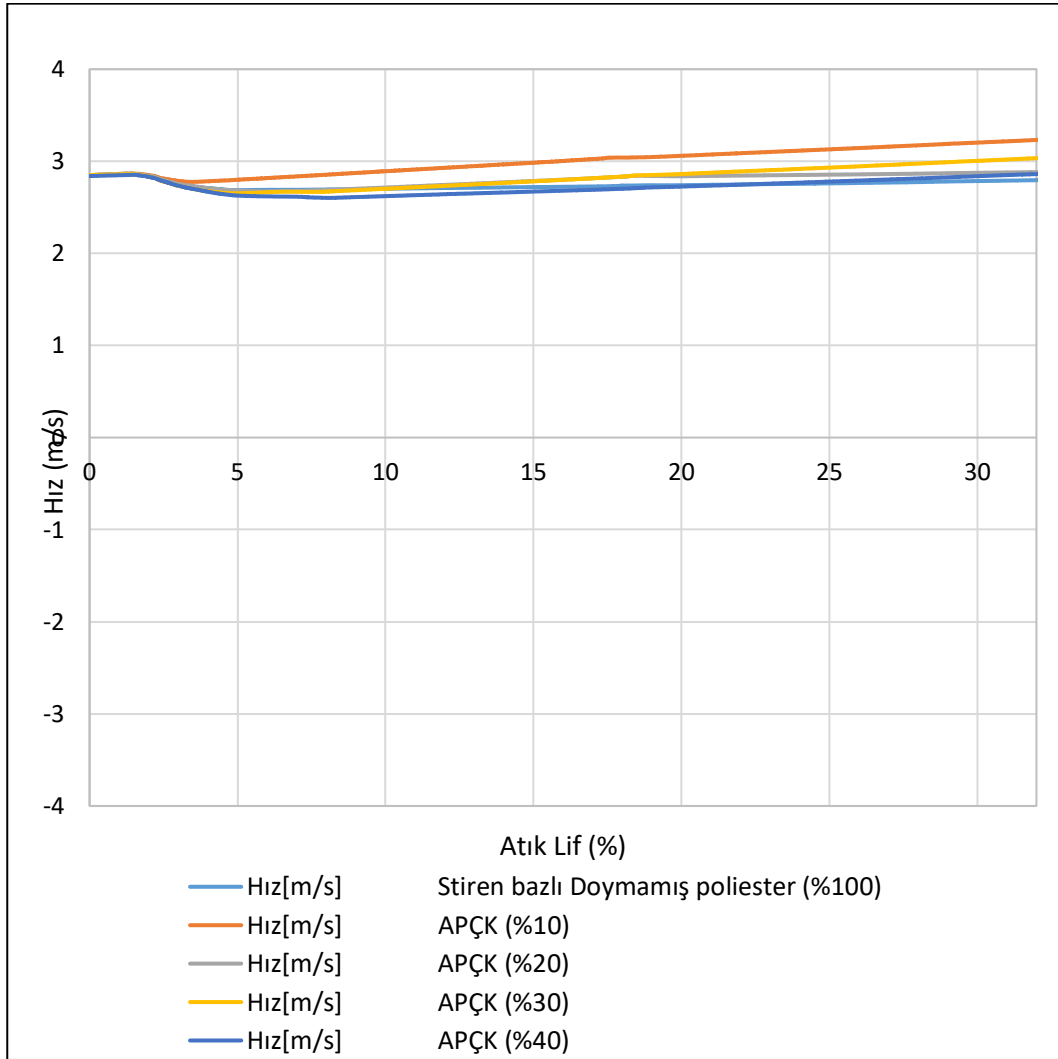
Şekil 3.19 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği



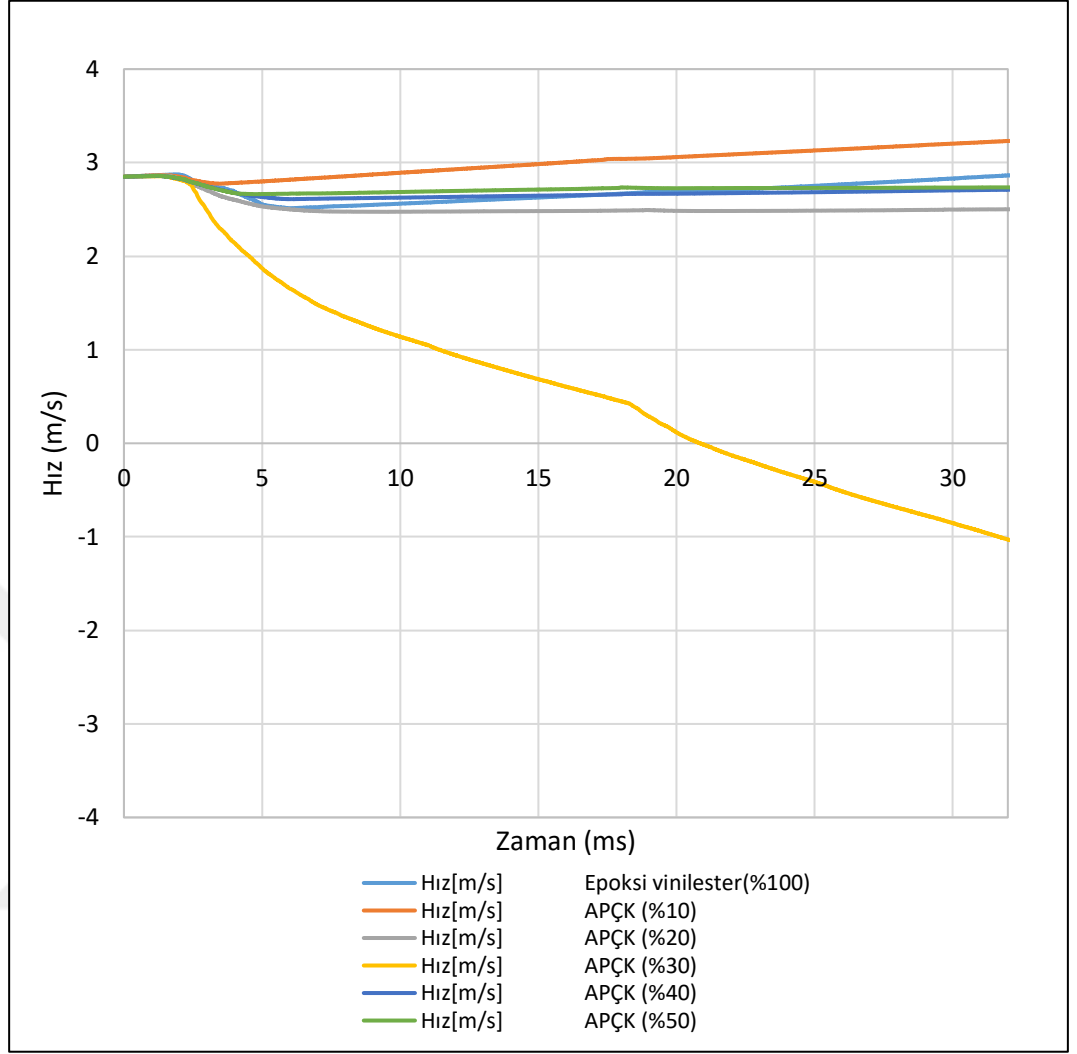
Şekil 3.20 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester -zeytin çekirdeği katkıli kompozitlere (EZÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği

3.3.1.3. Atık pamuk lifi kompozitleri (APÇK) hız-zaman (v-t) grafikleri

Saplanmanın gözlemlendiği en belirgin örnek %10 lif oranına sahip EPÇK numunesidir. Her iki grup için zamanla hızın azaldığı ve delinme ve parçalanma olduğu görülmektedir. %30 lif oranına sahip EPÇK numunesinde vurucu ucun yönü terstir ve geri sekmeden dolayı eğri negatiftir.



Şekil 3.21 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği



Şekil 3.22 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkıli kompozitlere (EPÇK) ait hız-zaman (v-t) grafiği

3.3.2. Kuvvet-zaman (F-t) grafikleri

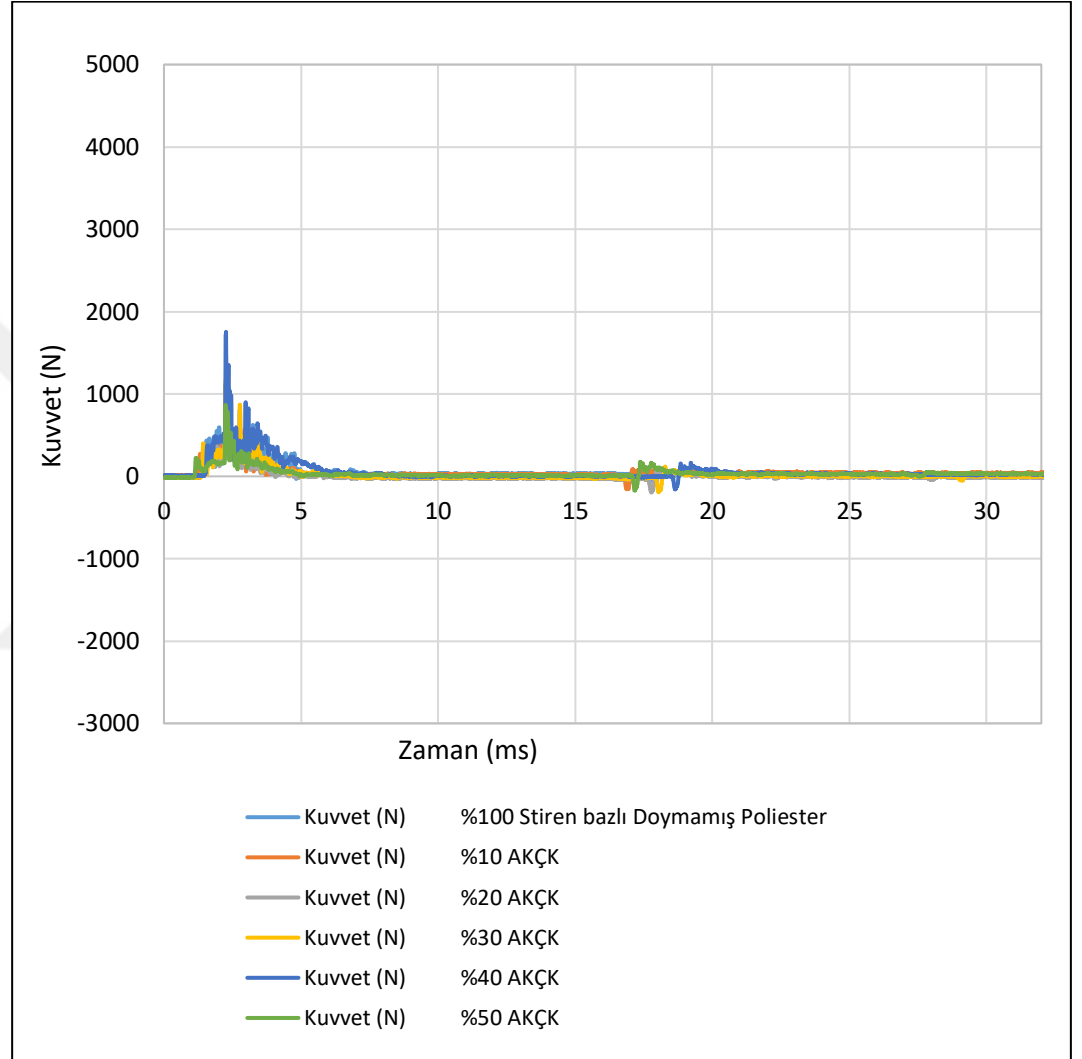
Hız-Zaman grafiklerinde olduğu gibi F-t grafiklerinde s¼rt¼nme ve geri sekmelerin yaşandığı kompozitlerde birbirine sık ve kesik kesik pik durumları söz konusudur. (Sayer ve Bektaş, 2009)

Uygulanan darbe enerjisi karşısında lif miktarı arttıkça meydana gelen kuvvet artmakta ve saplanma ve delinme eğrilerinde de gör¼ldüğü üzere maksimum kuvvet değeri de hemen hemen sabit bir değeri olmaktadır. Numunede delinme meydana geldiğinde kuvvetin sıfır olması gerekir; ama grafiklerden de gör¼leceğı üzere vurucu ve numune arasında s¼rt¼nme meydana geldiğinden eğrinin uç kısmı yatay eksene paralel ilerlemiştir.

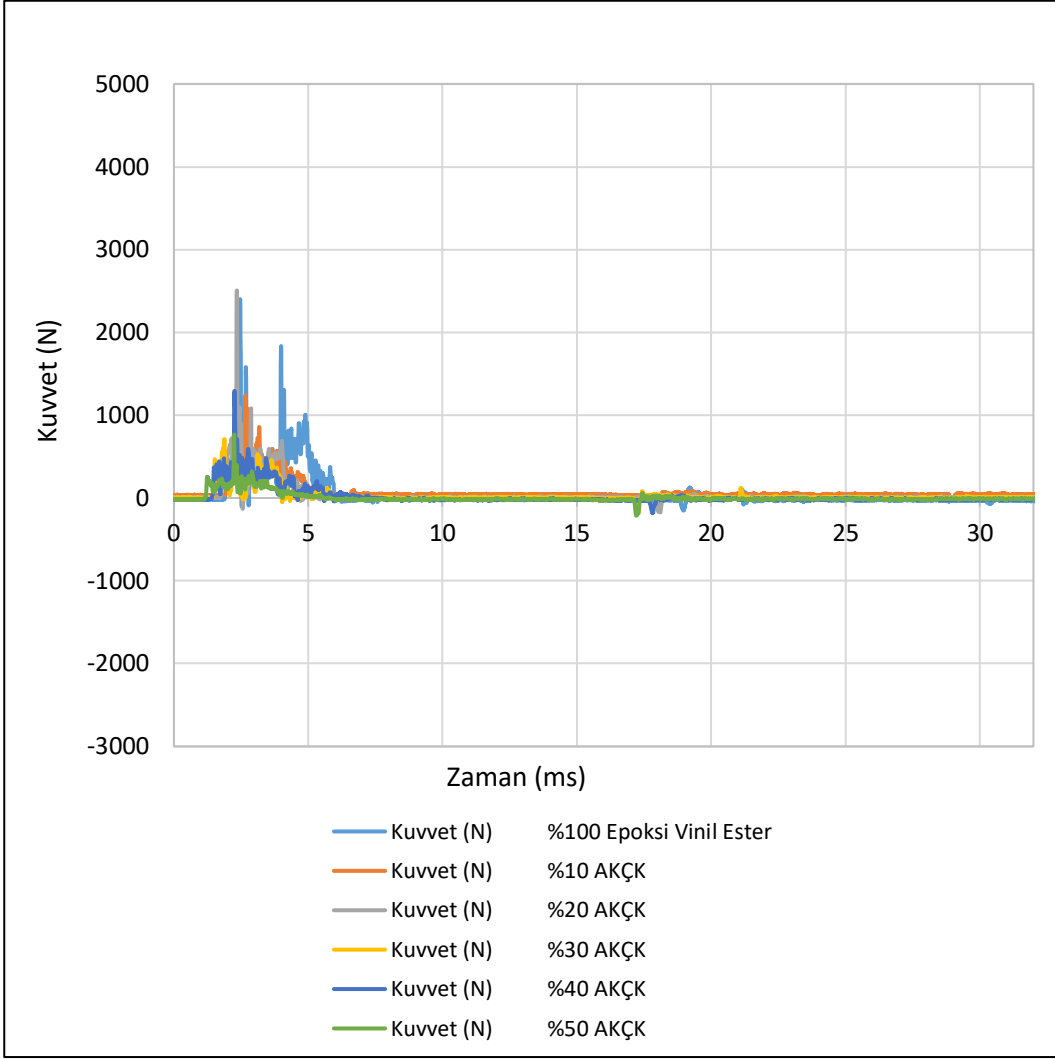


3.3.2.1. Atık kahve lifi kompozitlerin (AKÇK) kuvvet-zaman (F-t) grafikleri

Grafiklerde görülen yatay eksendeki ikincil pikler sürtünme kuvvetinin varlığını gösterir.



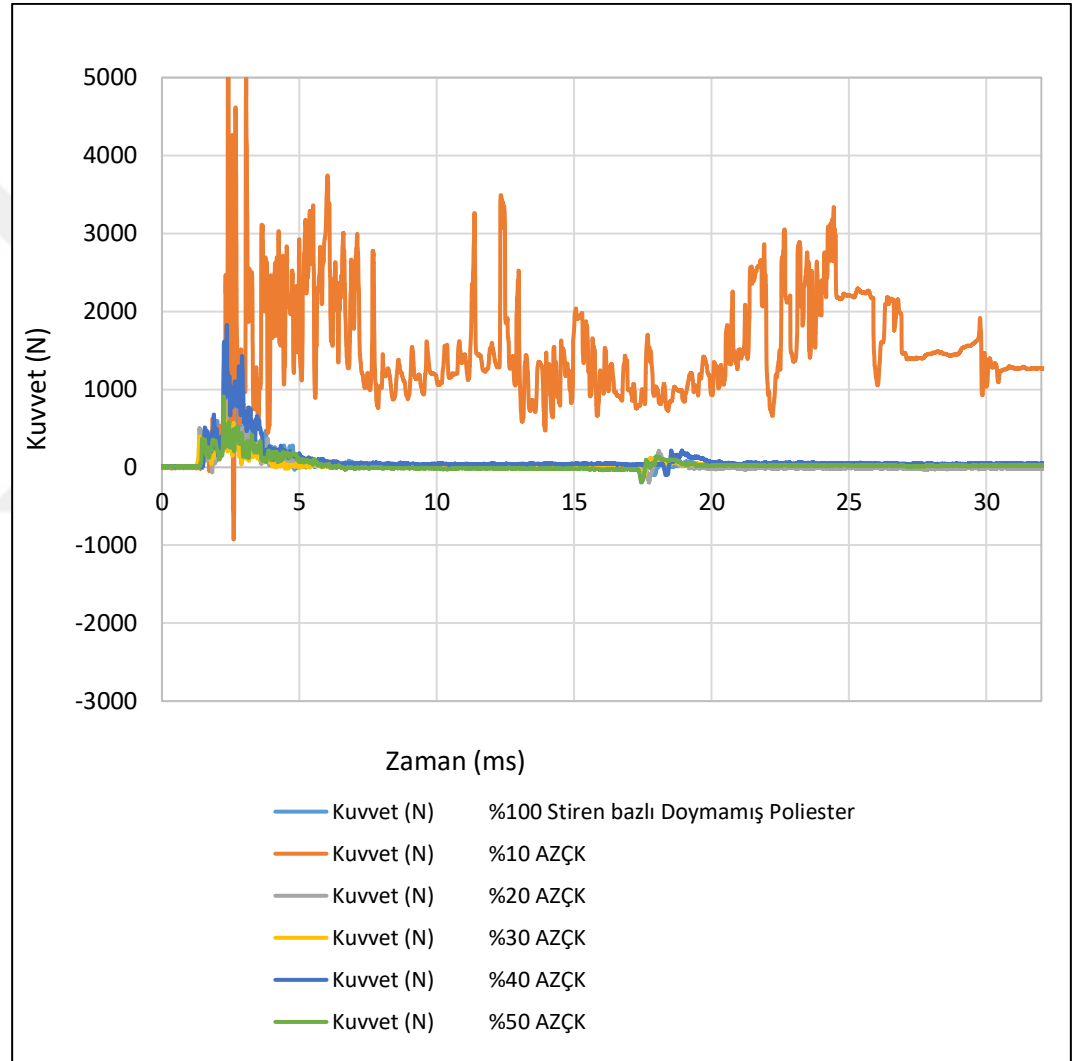
Şekil 3.23 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester- kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği



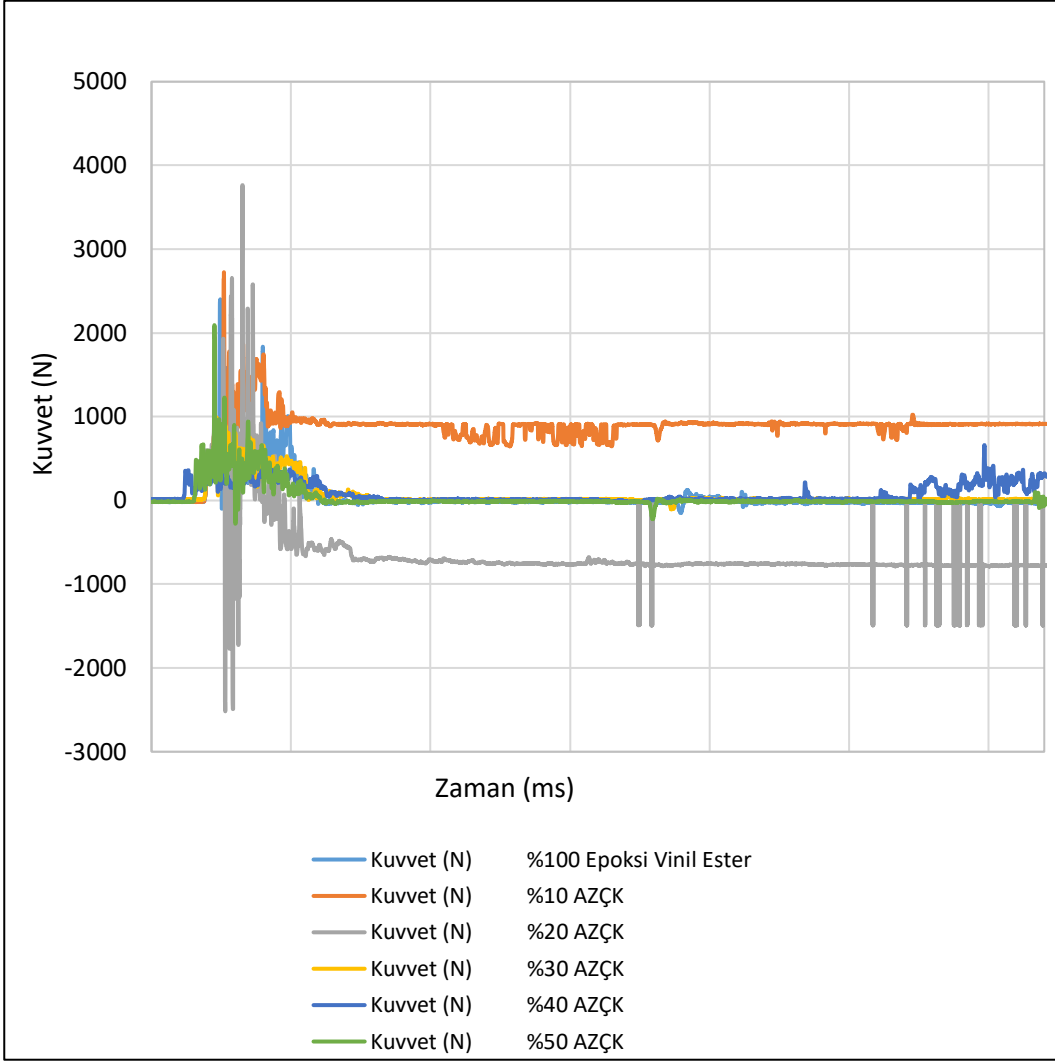
Şekil 3.24 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı poliester kompozitlere (EKÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği

3.3.2.2. Atık Zeytin Lifi Kompozitlerin (AZÇK) kuvvet-zaman (F-t) grafikleri

En belirgin örnek olarak; hız-zaman grafiğinde olduğu gibi %10 lif içeriğine sahip numunelerde, vurucu ile numune arasında sürtünme kuvvetinin varlığı yatay eksene paralel eğrilerle ilerlemiştir. Aynı durum %20 EZÇK numunesinde saplanma varlığında kendini göstermekte ve kesikli pikler sürtünmenin varlığına işaret etmektedir.



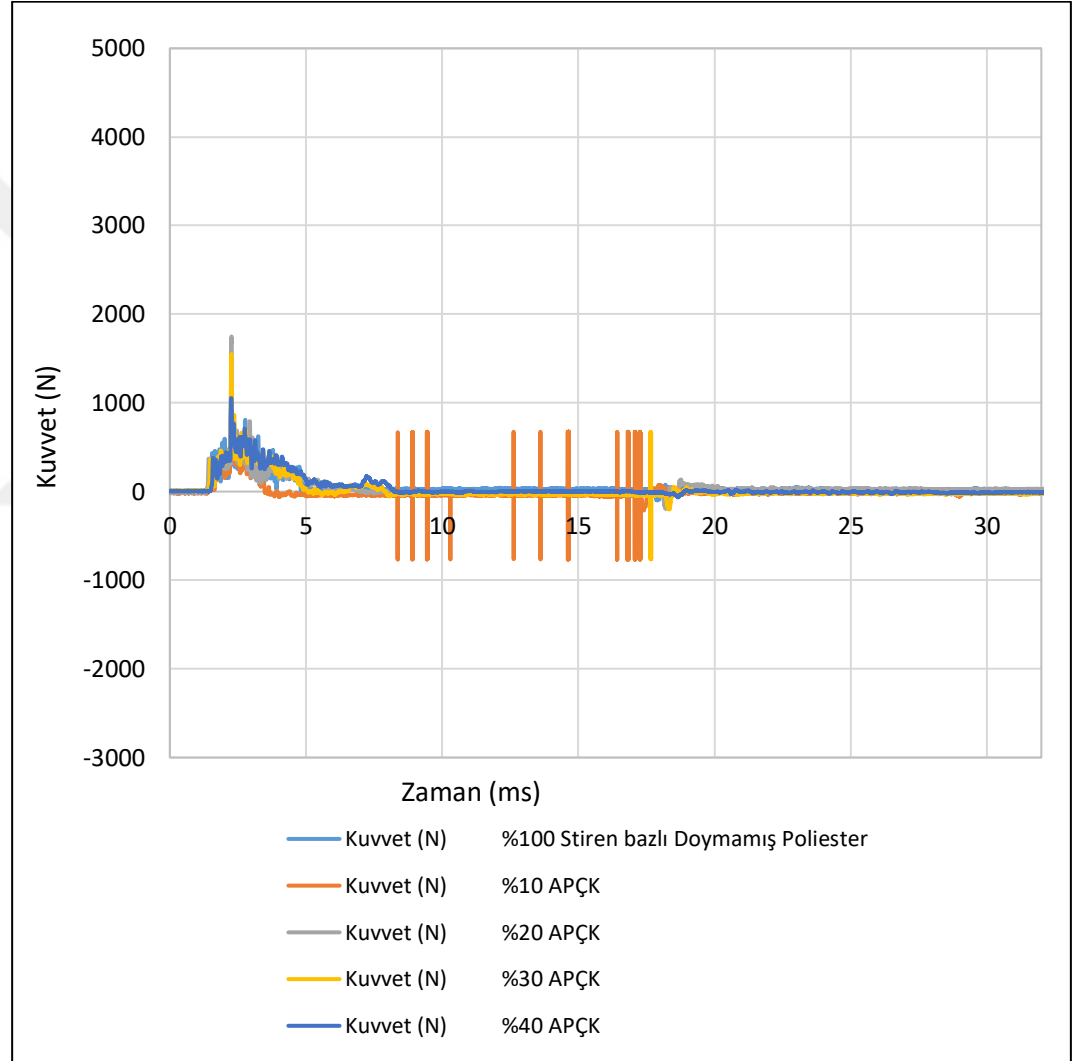
Şekil 3.25 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği



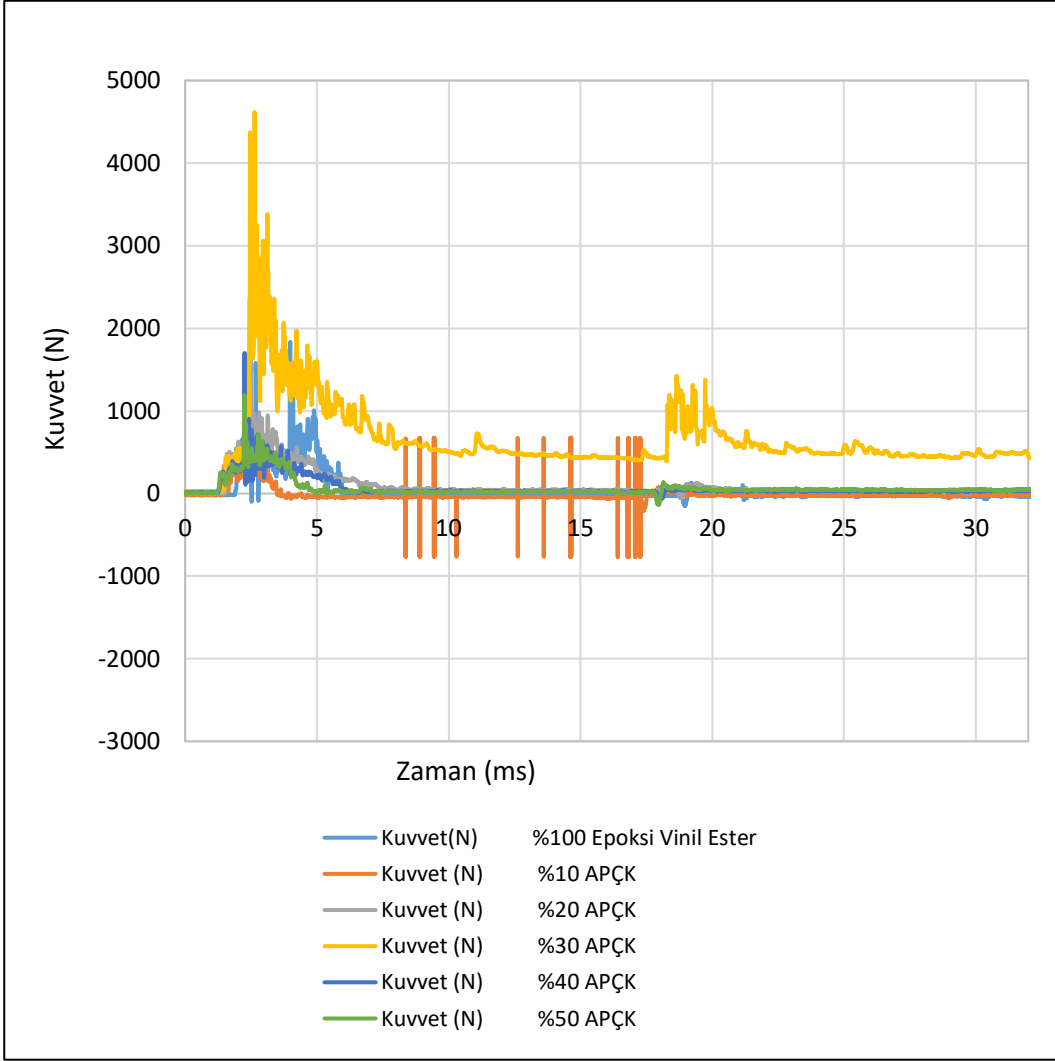
Şekil 3.26 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkıli kompozitlere (EZÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği

3.3.2.3. Atık Pamuk Lifi kompozitlerin (APÇK) kuvvet-zaman (F-t) grafikleri

%10 lif oranına sahip numunelerin sürtünme kuvveti kesikli piklerle net olarak görülmektedir. Ayrıca kalan numuneler için delinme ve vurucu ile numune arasındaki sürtünme kuvvetinin varlığından söz edilmektedir. %50 oranına sahip SPÇK numunesi için sağlıklı veriler elde edilememiştir.



Şekil 3.27 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği



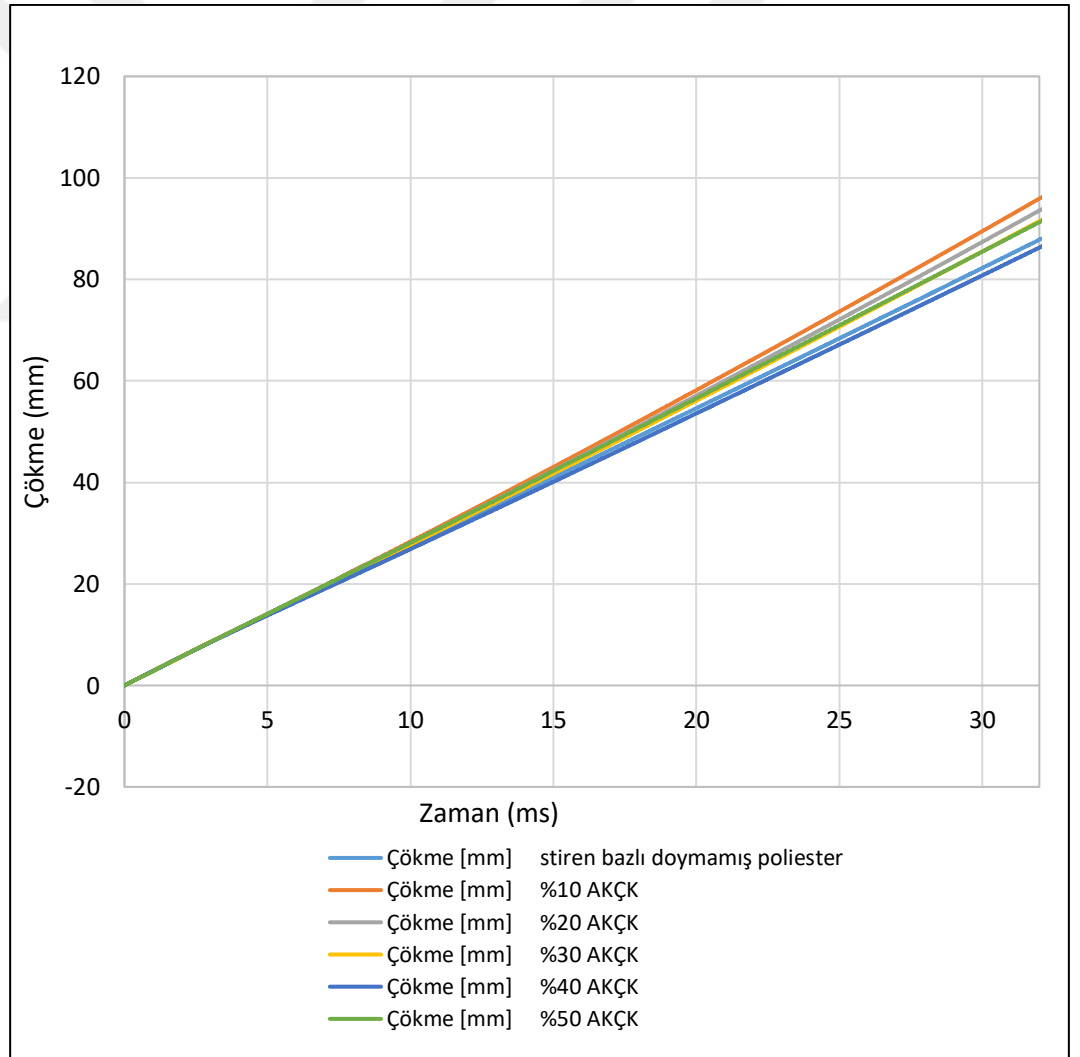
Şekil 3.28 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait kuvvet-zaman (F-t) grafiği

3.3.3. Çökme-zaman (d-t) grafikleri

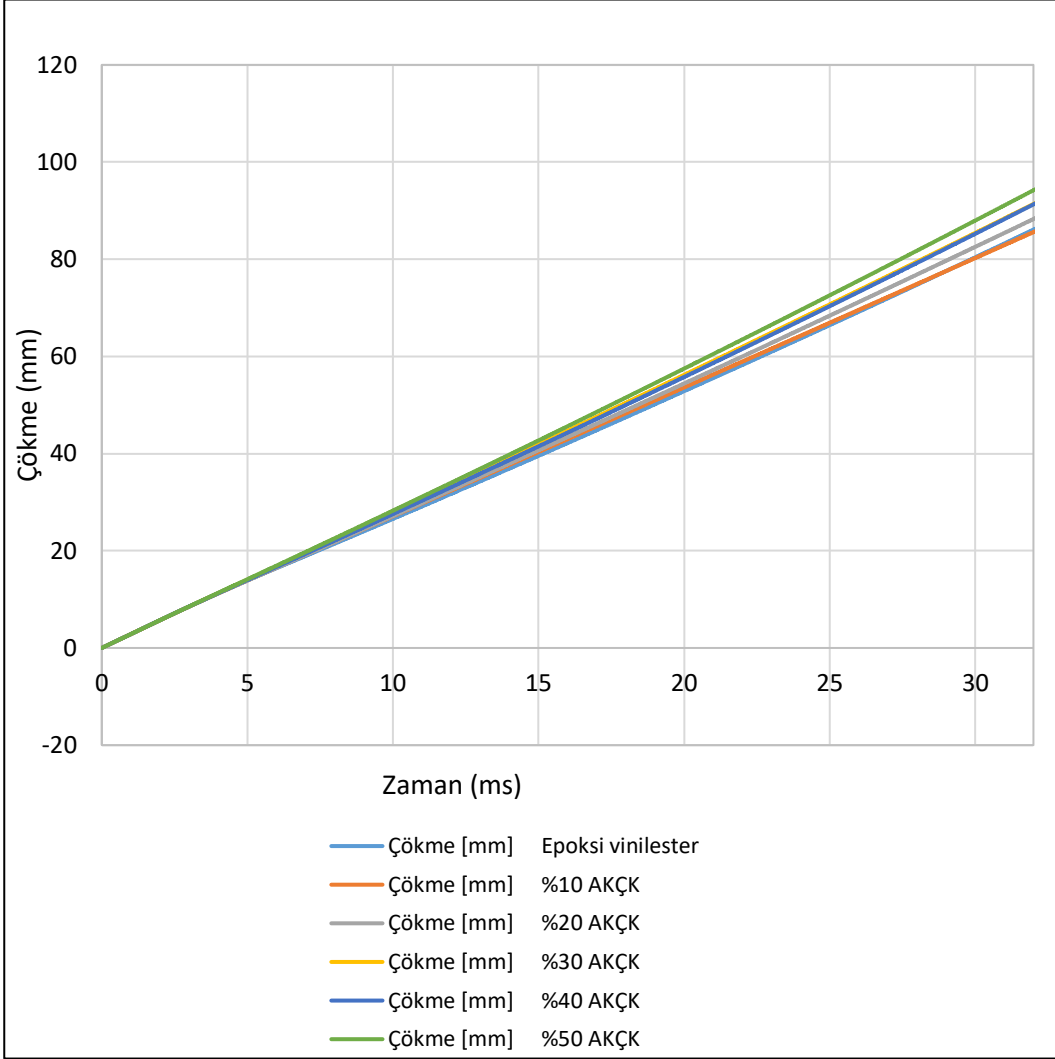
Kuvvet arttıkça, numunedeki çökme miktarı da doğru orantılı bir şekilde maksimum değerine çıkmaktadır. Darbe enerjisi arttıkça numunedeki çökme miktarı da artacaktır. Numuneye saplanma durumunda ise vurucu hızı sıfıra ulaştığından numunedeki çökme sabit bir değerde kalır. Fakat numunenin delinmesi durumunda ise vurucu numuneyi delip geçtikten sonra vurucu ve numune arasındaki sürtünme vurucunun ilerlemesini engeller ama çökmede bu esnada artarak devam eder. (Esendemir ve Caner, 2017)

3.3.3.1. Atık kahve lifi kompozitlerin (AKÇK) çökme-zaman (d-t) grafikleri

Her iki grup numune için SKÇK ve EKÇK için grafiklerden sabit eğrilerden zamanla çökmenin artması numunelerin delindiğini göstermektedir.



Şekil 3.29 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği

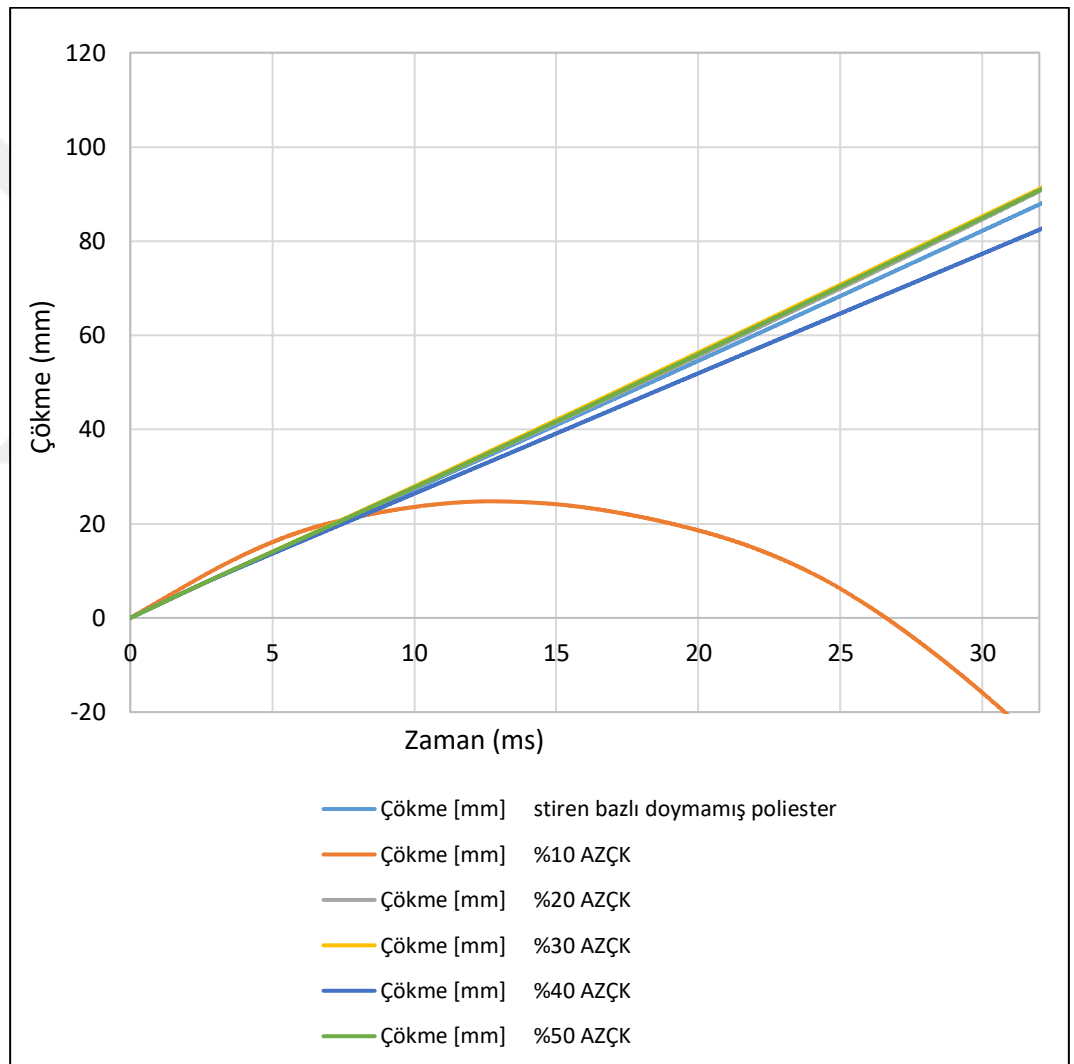


Şekil 3.30 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (EKÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği

3.3.3.2. Atık zeytin lifi kompozitlerin (AZÇK) çökme-zaman (d-t) grafikleri

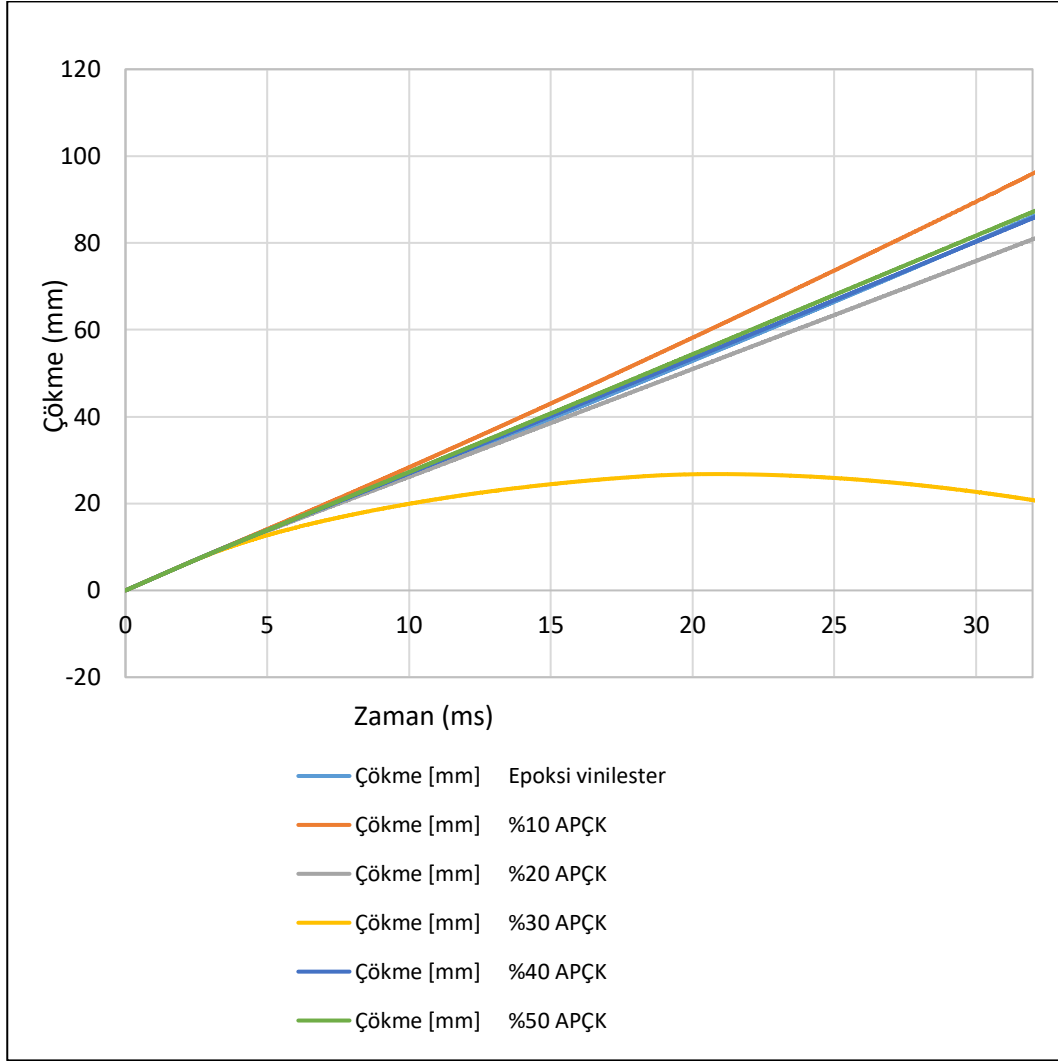
%10 luk life sahip numunelerde geri sekme söz konusudur. SZÇK grubu için diğer numunelerin zamanla çökme miktarlarının sabit bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum kuvvet altında numunelerin delindiğini gösterir.

EZÇK grubu için %20 lif oranına sahip kompozitin saplandığını ve %10 luk haricinde geri kalan oranların delindiği gözlenmektedir.



Şekil 3.31 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği

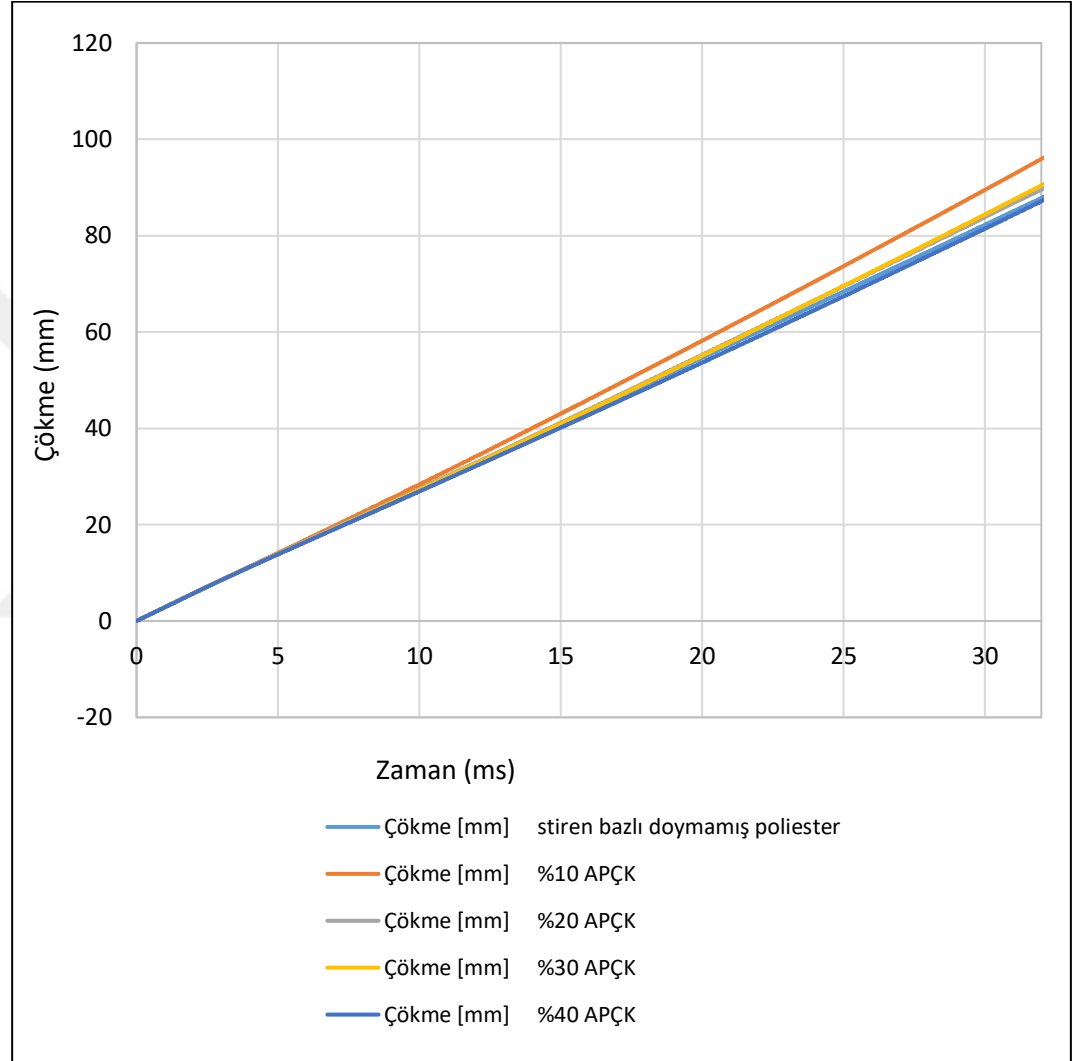
Şekil 3.31’de Zeytin atığı- Epoksi vinil ester numunelerine ait yüzeiden geri sekme (rebounding; %20 AZÇK) vurucu ucunun numuneye saplanması (penetration; %30, %40, %50 AZÇK) ve vurucunun numuneyi delip geçmesi (perforation; %10 AZÇK) gibi üç özel duruma ait çökme-zaman (d-t) grafiği yer almaktadır.



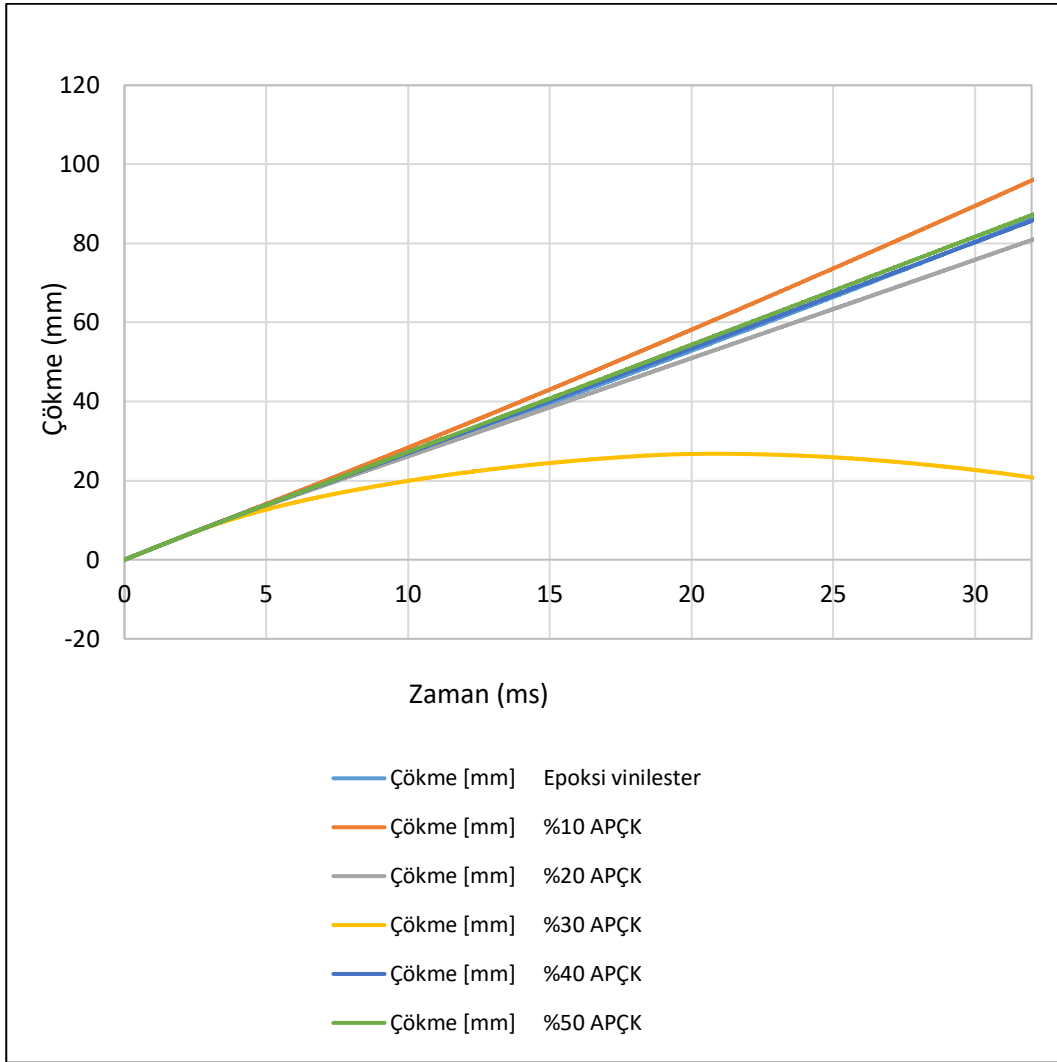
Şekil 3.32 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (EZÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği

3.3.3.3. Atık pamuk lifi kompozitlerin (APÇK) çökme-zaman (d-t) grafikleri

%30 lif oranına sahip EPÇK numunesi için geri sekmeyle birlikte bir delinme mevcuttur. Her iki grup için (EPÇK ve SPÇK) kalan numunelerin delindiği görülmektedir.



Şekil 3.33 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği



Şekil 3.34 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkıli kompozitlere (EPÇK) ait çökme-zaman (d-t) grafiği

3.3.4. Kuvvet-çökme (F-d) grafikleri

Kuvvet-çökme (F-d) eğrileri darbe olayı esnasındaki kompozit plakalara ait darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir tanesidir.

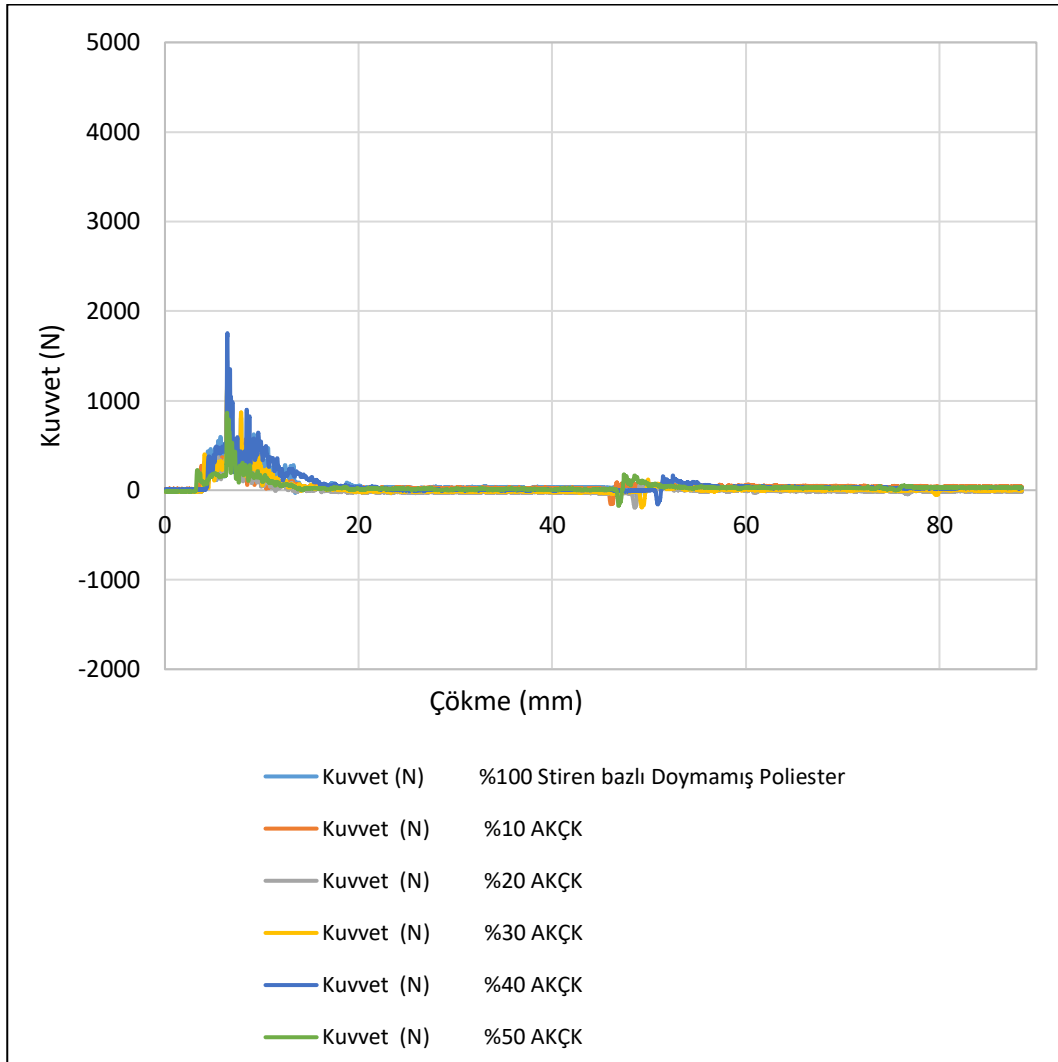
Her bir eğri yüklemde bir artma kısmına, ulaşılan bir maksimum kuvvet değerine ve yükten boşaltmada da bir azalma kısmına sahiptir. Kuvvet-çökme eğrisinde artma kısmı darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. Artan darbe enerjisi altında oluşan bu eğriler kapalı tip ve açık tip eğri olarak iki kısma ayrılır. Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temas etmesinden sonra vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesiyle oluşan eğrilerdir. Yani uygulanan darbe enerjisinin büyük bir kısmı numune tarafından absorbe edilmiş ve absorbe edilmeyen enerjide vurucunun geri sekmesi için kullanılmıştır.

Eğer bir eğri açık tip ise vurucu numuneye ya saplanmış ya da numune delinmiştir. Buna göre numuneye saplanan vurucu numune kalınlığı boyunca aşağı doğru hareket eder ve artık numune yüzeyinden geri sekme meydana gelmez. (Sayer, 2009)

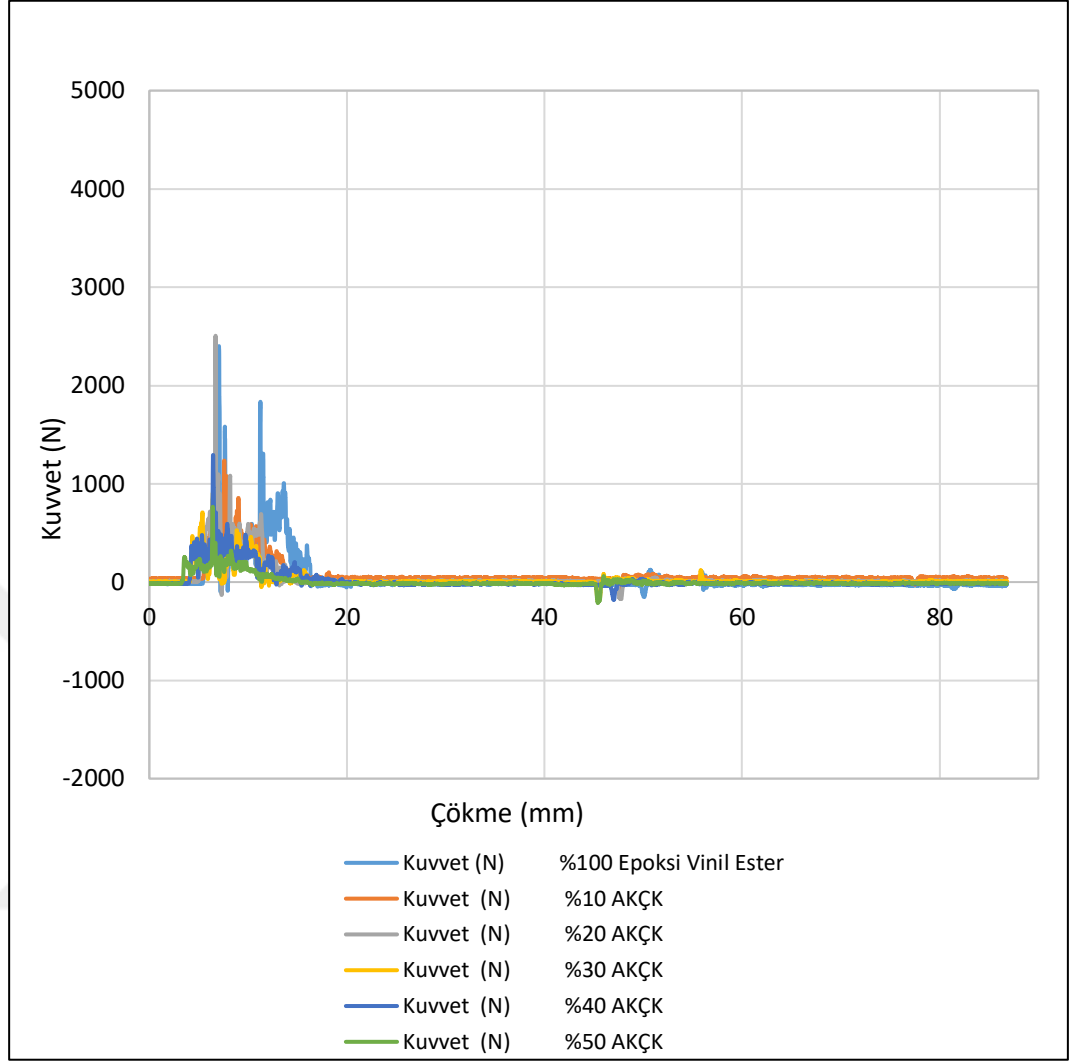
Örnek olarak, %30 'luk pamuk-epoksi numunesinde F-d grafiğinde yer alan eğri açık olup, numune delinmiş ve vurucu uca saplanmış olduğunu görülür. Pamuk-epoksi vinil ester kompozit örneklerinden yola çıkarak %30 %40 ve %50 oranlarındaki numunelerin delindiğini en sona doğru yer alan piklerden gözlemlenmektedir. Aynı durumu %40 ve %50 lif oranına sahip EKÇK ve %40 EZÇK, %40 ve %50 SKÇK örneklerinde görmek mümkündür.

3.3.4.1. Atık kahve lifi kompozitlerin (AKÇK) kuvvet-çökme (F-d) grafikleri

SKÇK grubu numuneler için %40 lif oranı ve EKÇK numunelerinde %50 lif oranına sahip numunelerin darbe yüküne karşı gösterdikleri dirençler birbirine kıyaslar daha iyi özellik gösterir.



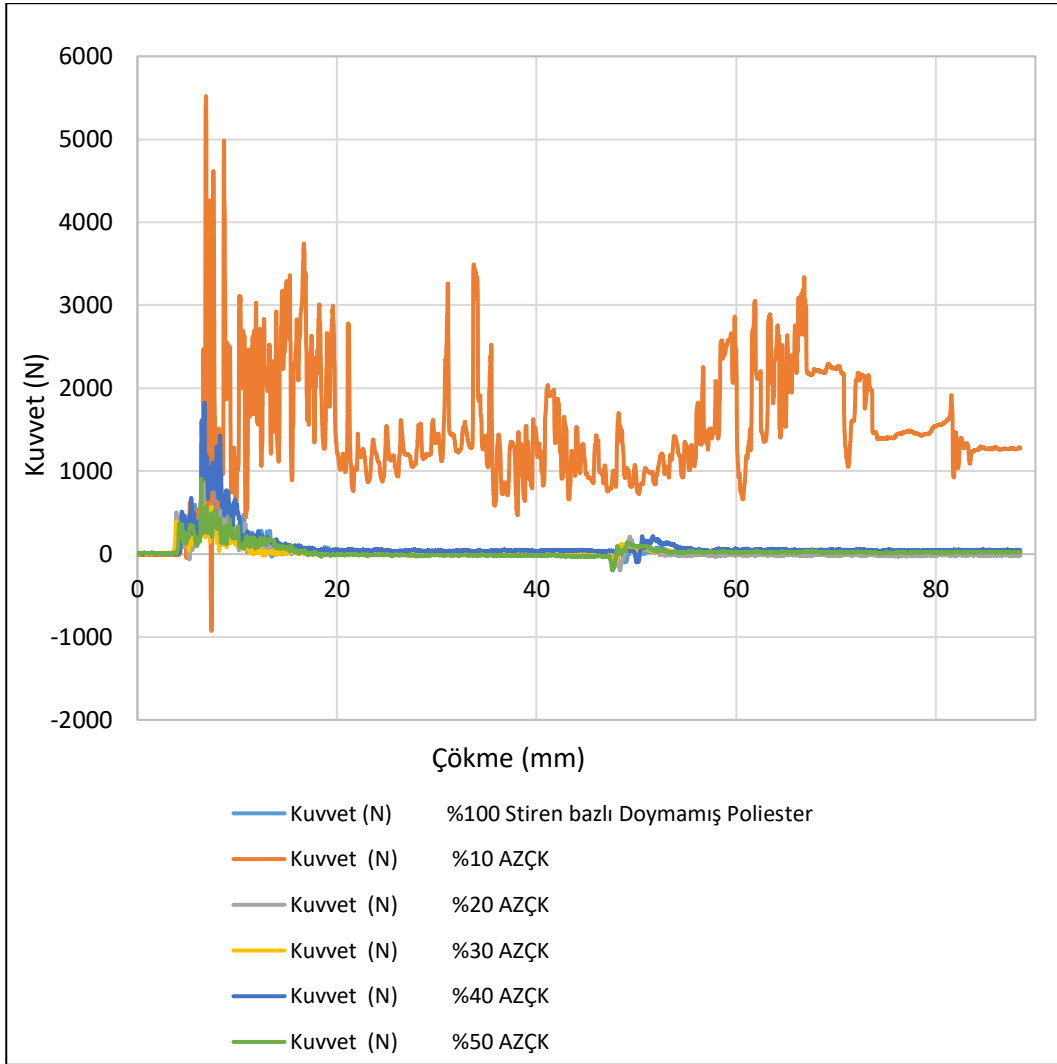
Şekil 3.35 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliestere-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (SKÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği



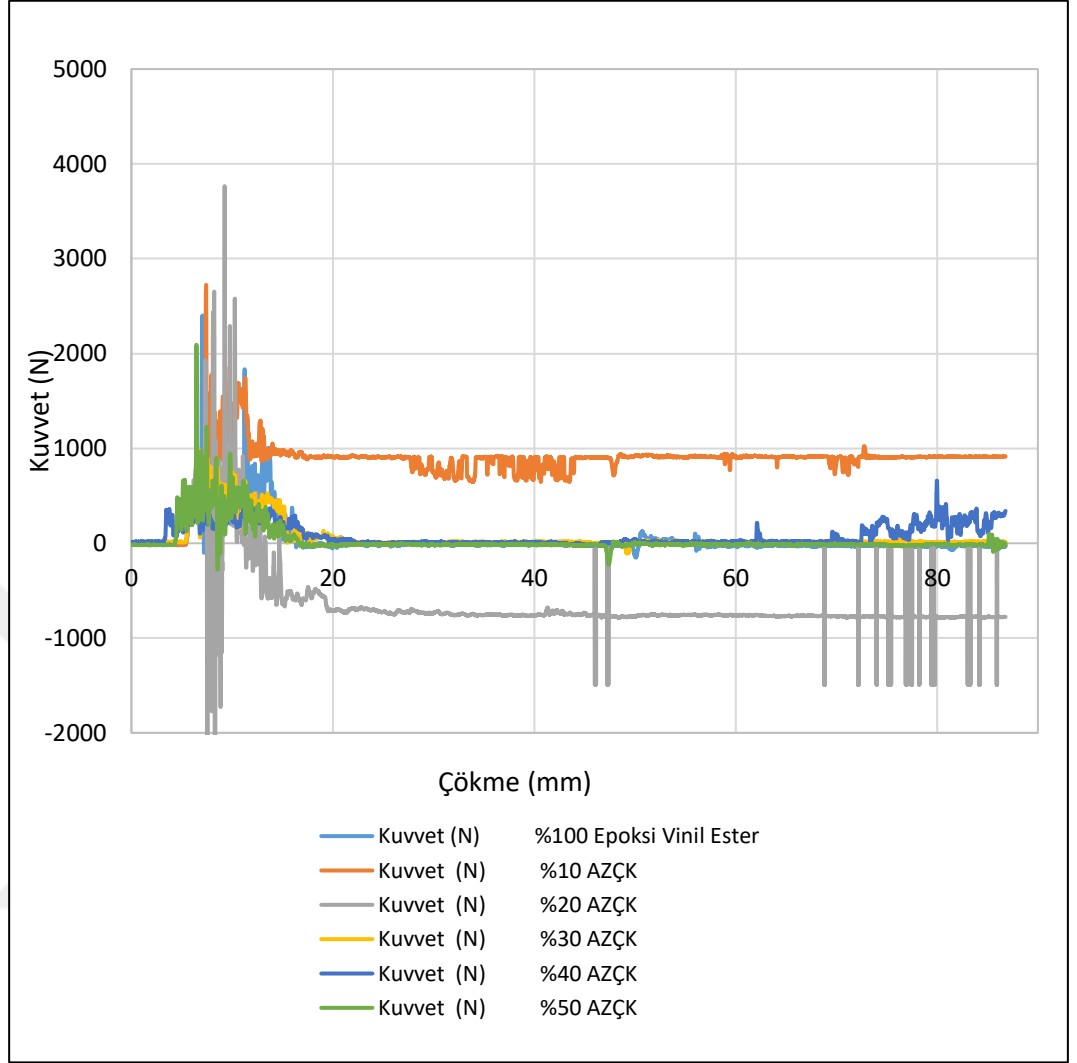
Şekil 3.36 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkılı kompozitlere (EKÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği

3.3.4.2. Atık zeytin lifi kompozitlerin (AZÇK) kuvvet-çökme (F-d) grafikleri

SZÇK grubu numunelerinde %10 lif oranına sahip numunenin ve EZÇK grubunda %10 ve %20 lif oranına sahip kompozitlerin kuvvet altında dayanma dirençleri eğrinin açık olarak devam etmesinden ötürü zayıf özellik göstermektedir. Özellikle %20 EZÇK numunesinde sürtünmenin şiddeti grafiğe yansımıştır.



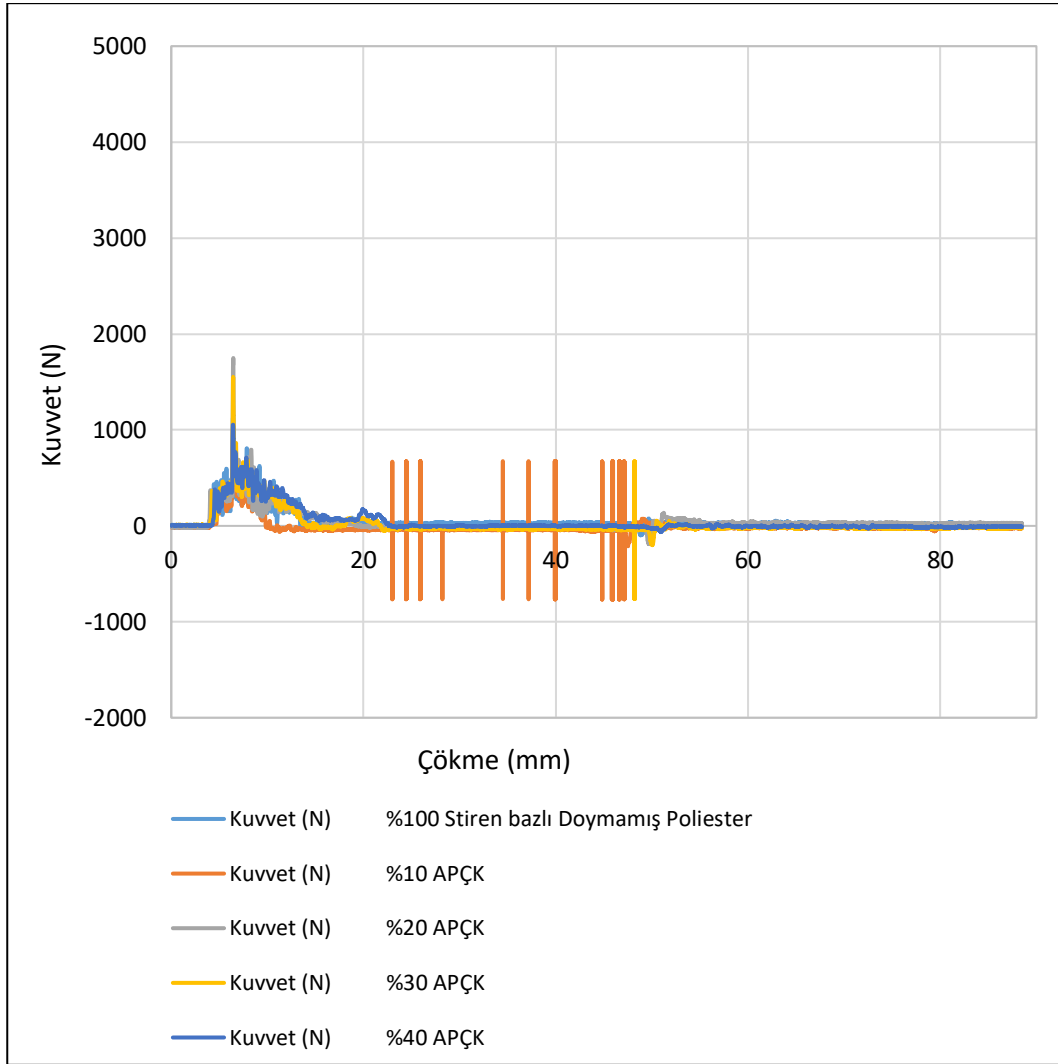
Şekil 3.37 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliestere-zeytin çekirdeği katkı katkılı kompozitlere (SZÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği



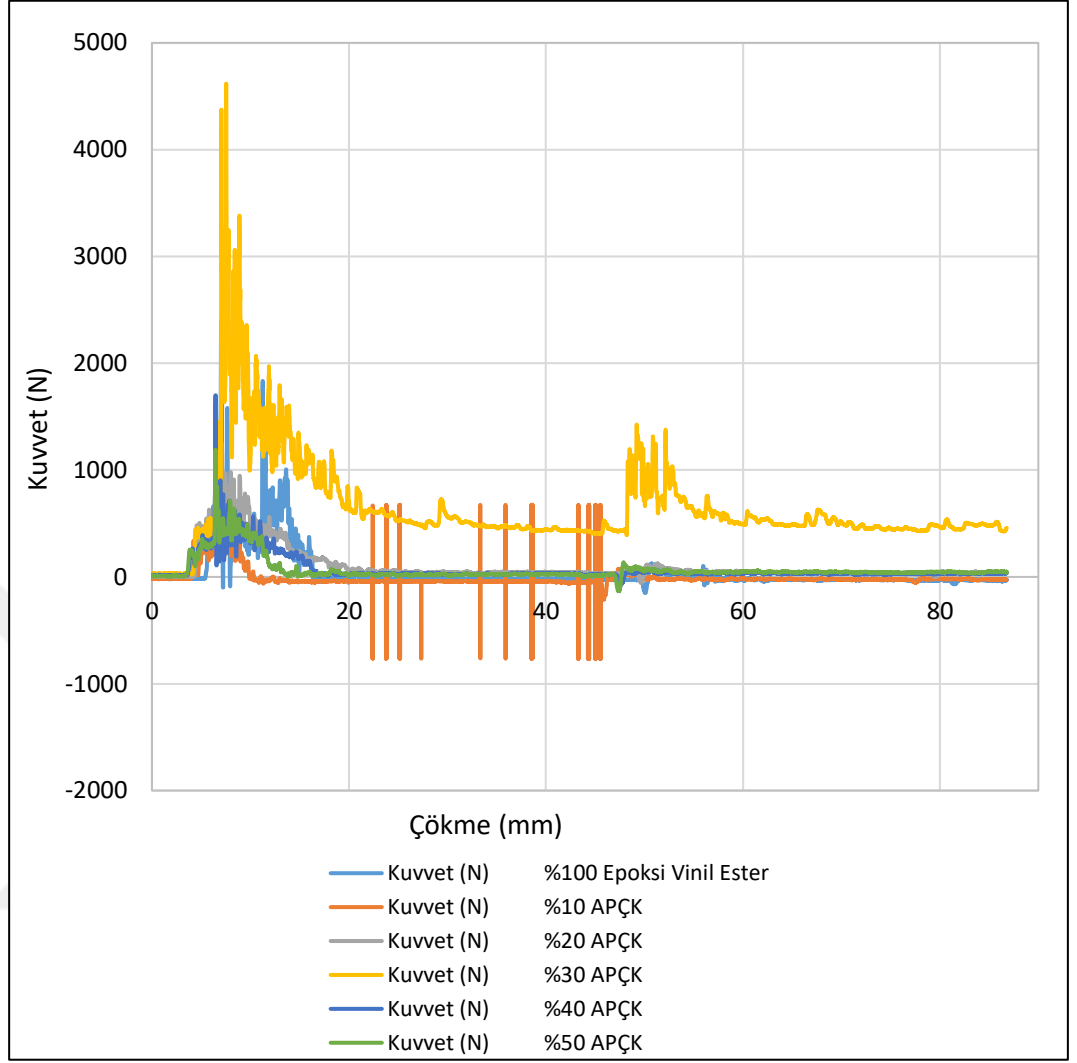
Şekil 3.38 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkıli kompozitlere (EZÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği

3.3.4.3. Atık pamuk lifi kompozitlerin (APÇK) kuvvet-çökme (F-d) grafikleri

SPÇK grubu numunelerinde %20 ve %30 lif oranına sahip numunenin ve EPEP grubunda %30 lif oranına sahip kompozitlerin kuvvet altında dayanma dirençleri daha zayıftır. %10 SPÇK numunesinde şiddetli sürtünme pikleri görülmektedir. %30 EPÇK numunesinin aldığı hasarın büyüklüğü eğrinin açık olarak yatayda ilerlemesi ile gözlemlenir.



Şekil 3.39 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği



Şekil 3.40 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait kuvvet-çökme (F-d) grafiği

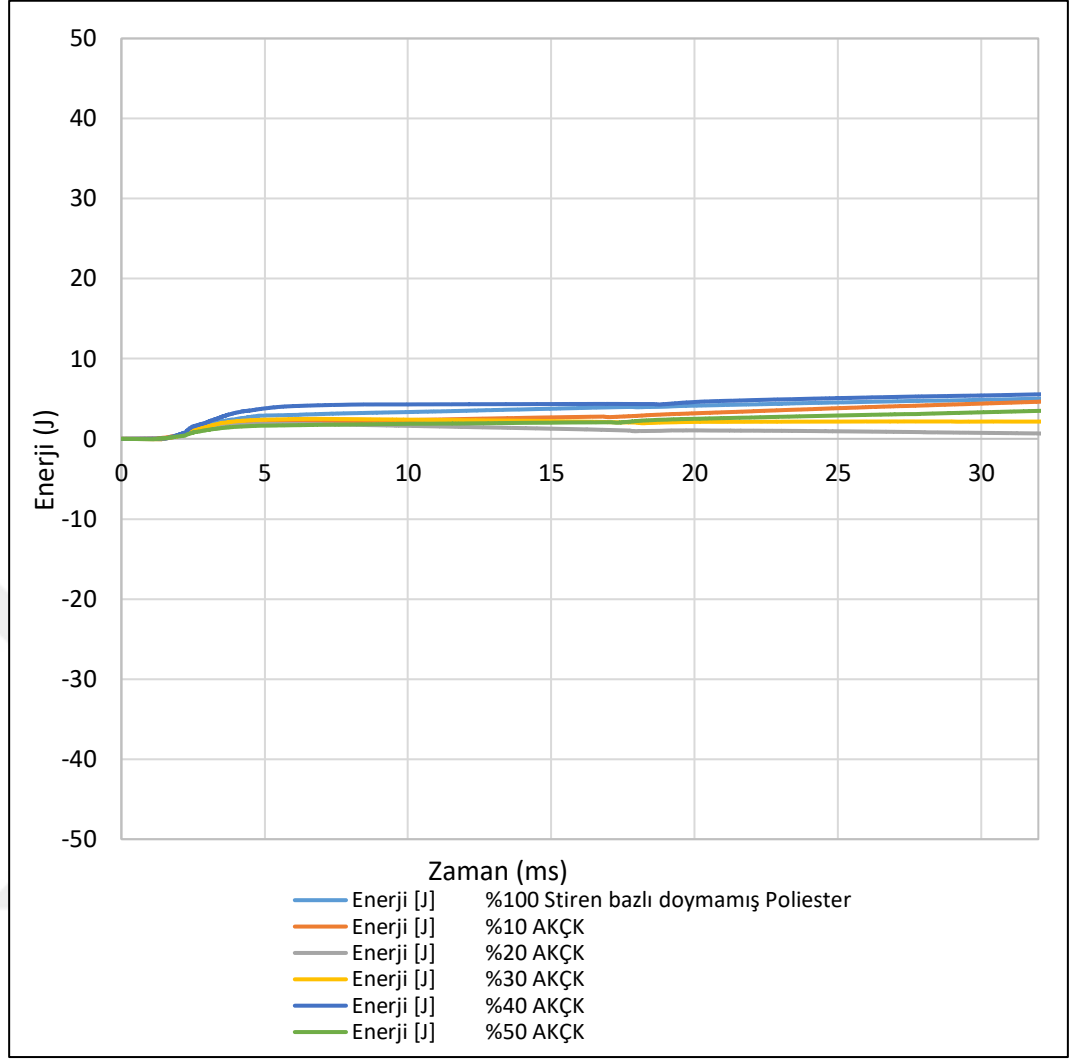
3.3.5. Enerji-zaman (E-t) grafikleri

Absorbe edilen enerji, kuvvet-çökme (F-d) eğrisinin altında kalan alandan hesaplanmaktadır. Vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi durumunda vurucunun sahip olduğu enerjinin hepsi numune tarafından absorbe edilemez ve absorbe edilemeyen darbe enerjisi de vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için harcanır. Vurucunun numuneye saplanması durumunda ise sahip olduğu darbe enerjisinin hepsi numune tarafından absorbe edilir ve eğrinin son kısmı şekilden de görüldüğü üzere hemen hemen yatay olarak devam eder.

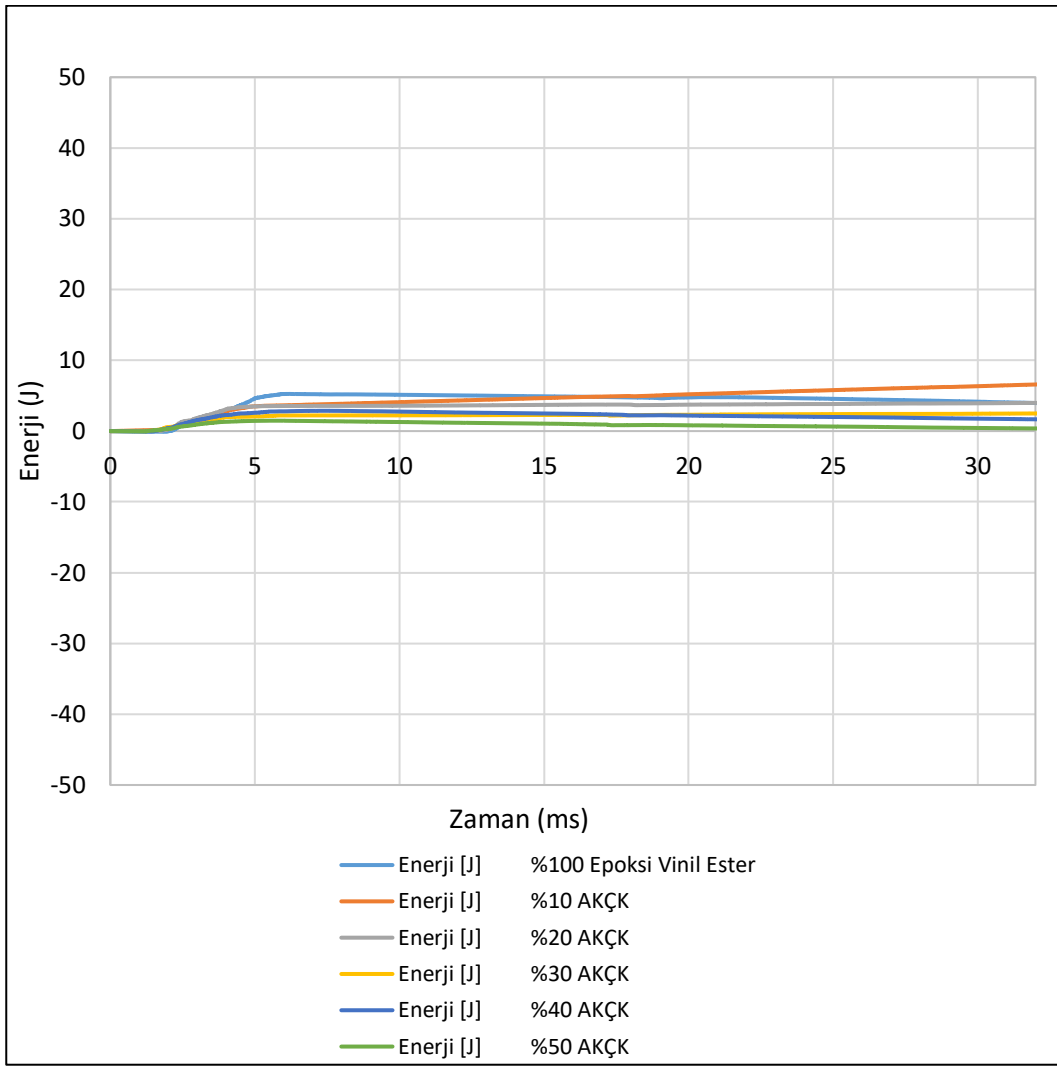
İlgili grafiklerden genel olarak lif miktarı attıkça absorplanan enerjinin artması beklenirken; %30 oranlardan sonra sağlıklı veriler elde edilememiştir.

3.3.5.1. Atık kahve lifi kompozitlerin (AKÇK) enerji-zaman (E-t) grafikleri

Absorbe edilen enerji bakımından, kompozitler kendi içlerinde değerlendirildiğinde %20 olan SKÇK ve EKÇK kompozit diğer örneklerine nazaran daha iyi özellik gösterir.



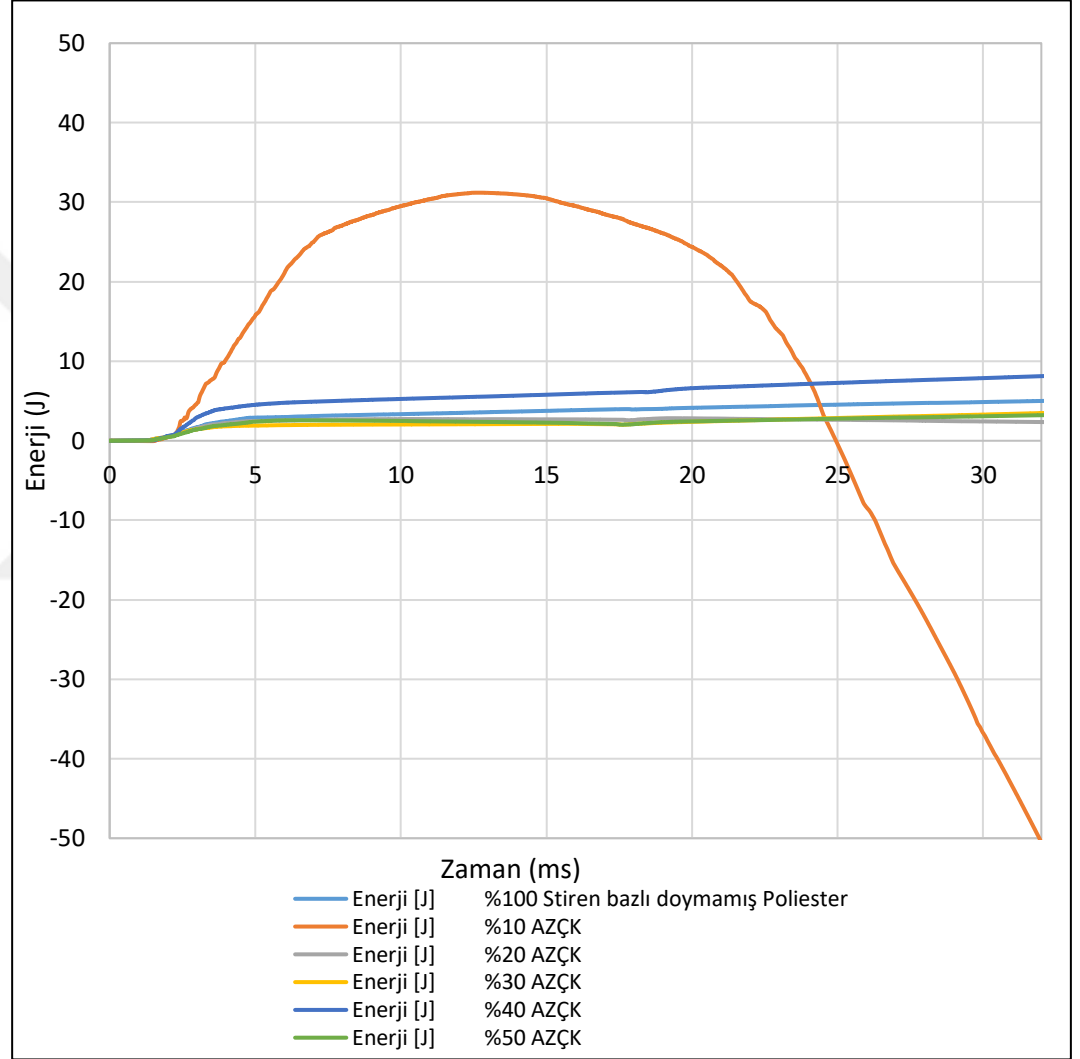
Şekil 3.41 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-kahve çekirdeği katkıli kompozitlere (SKÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği



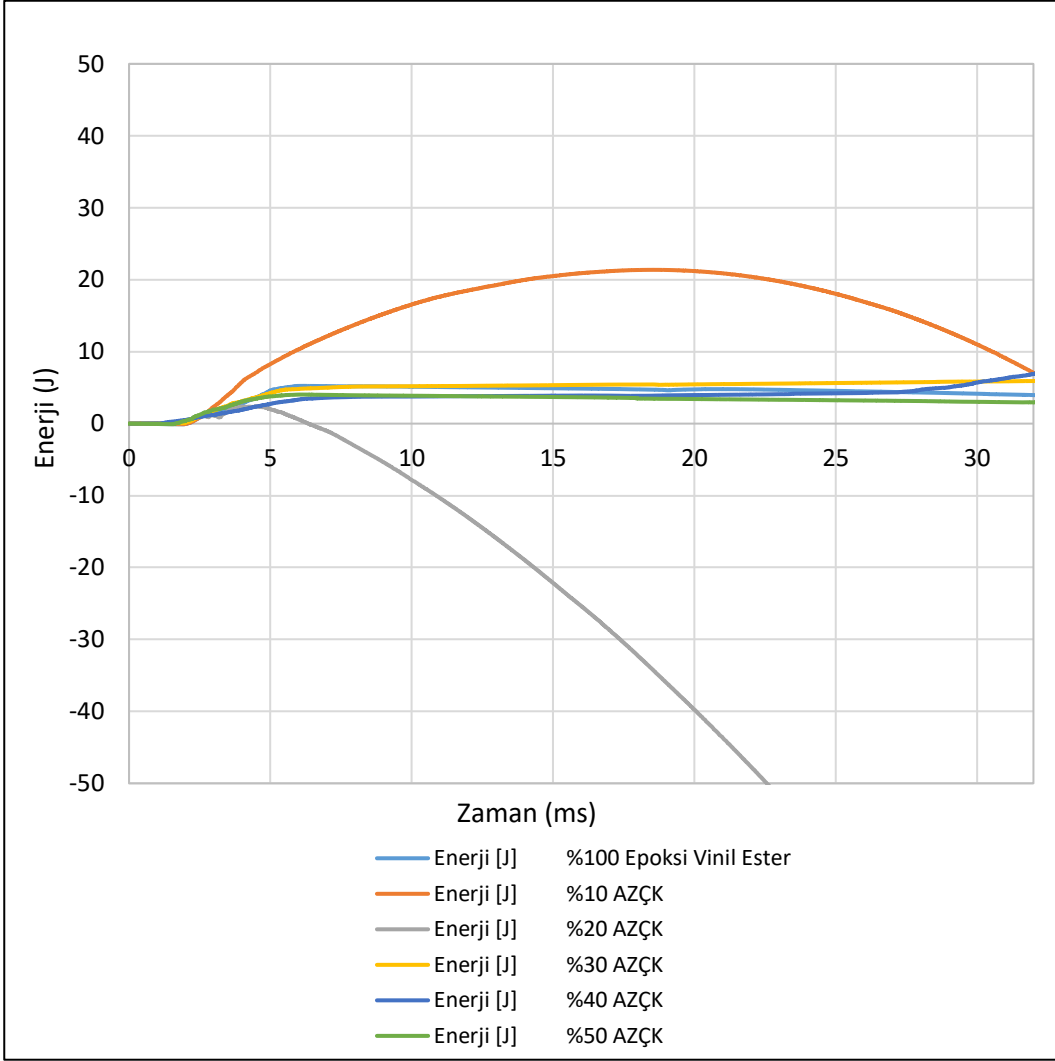
Şekil 3.42 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-kahve çekirdeği katkıli kompozitlere (EKÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği

3.3.5.2. Atık zeytin lifi kompozitlerin (AZÇK) enerji-zaman (E-t) grafikleri

%10 lif oranına sahip SZÇK ve EZÇK numuneleri geri sekme enerjisi ve sürtünme kuvvetlerinin varlığı net bir şekilde görülmektedir. %20 lif oranına sahip olan SZÇK ve %30 lif oranına sahip EZÇK numuneleri gelen darbe enerjisini daha iyi absorplama özelliğine sahiptir



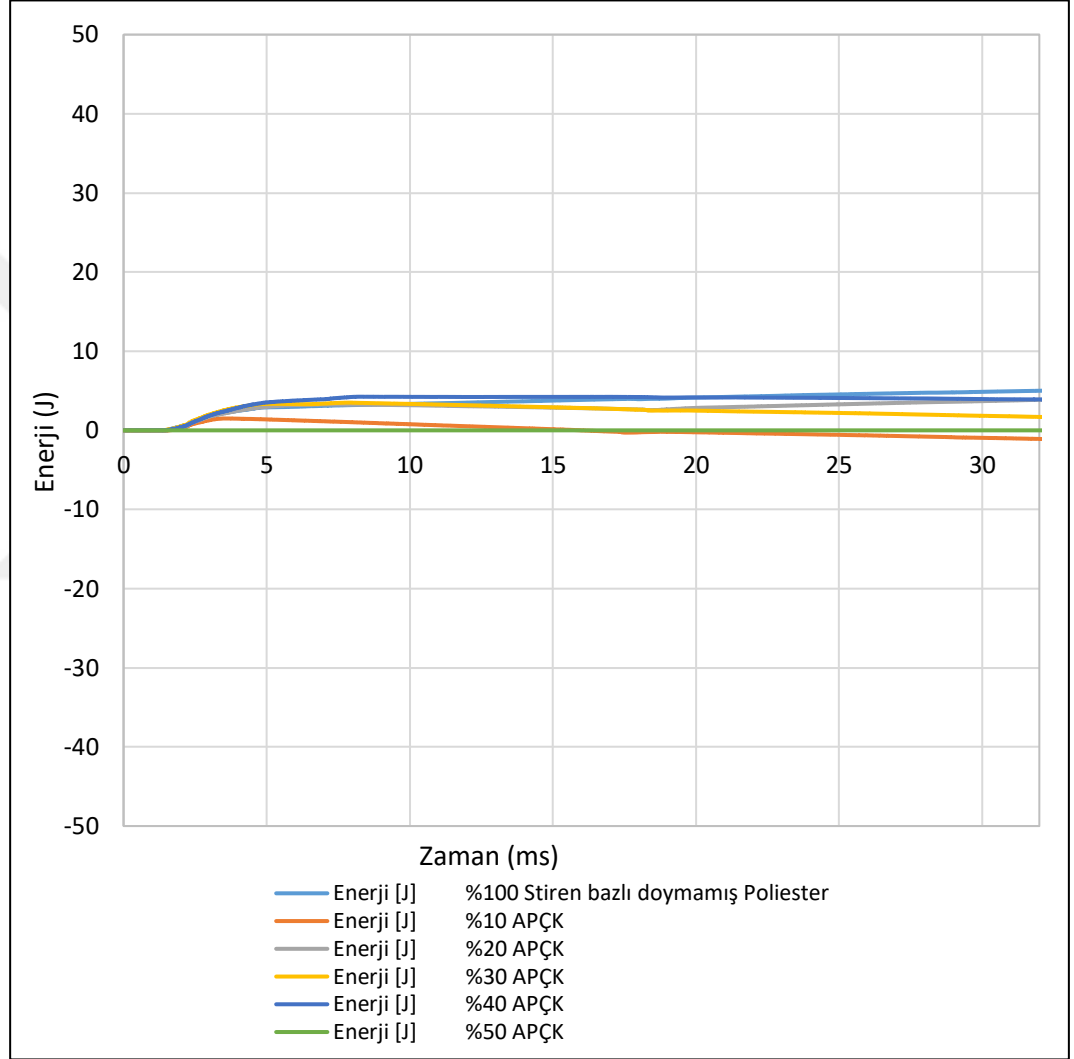
Şekil 3.43 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliester-zeytin çekirdeği katkılı kompozitlere (SZÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği



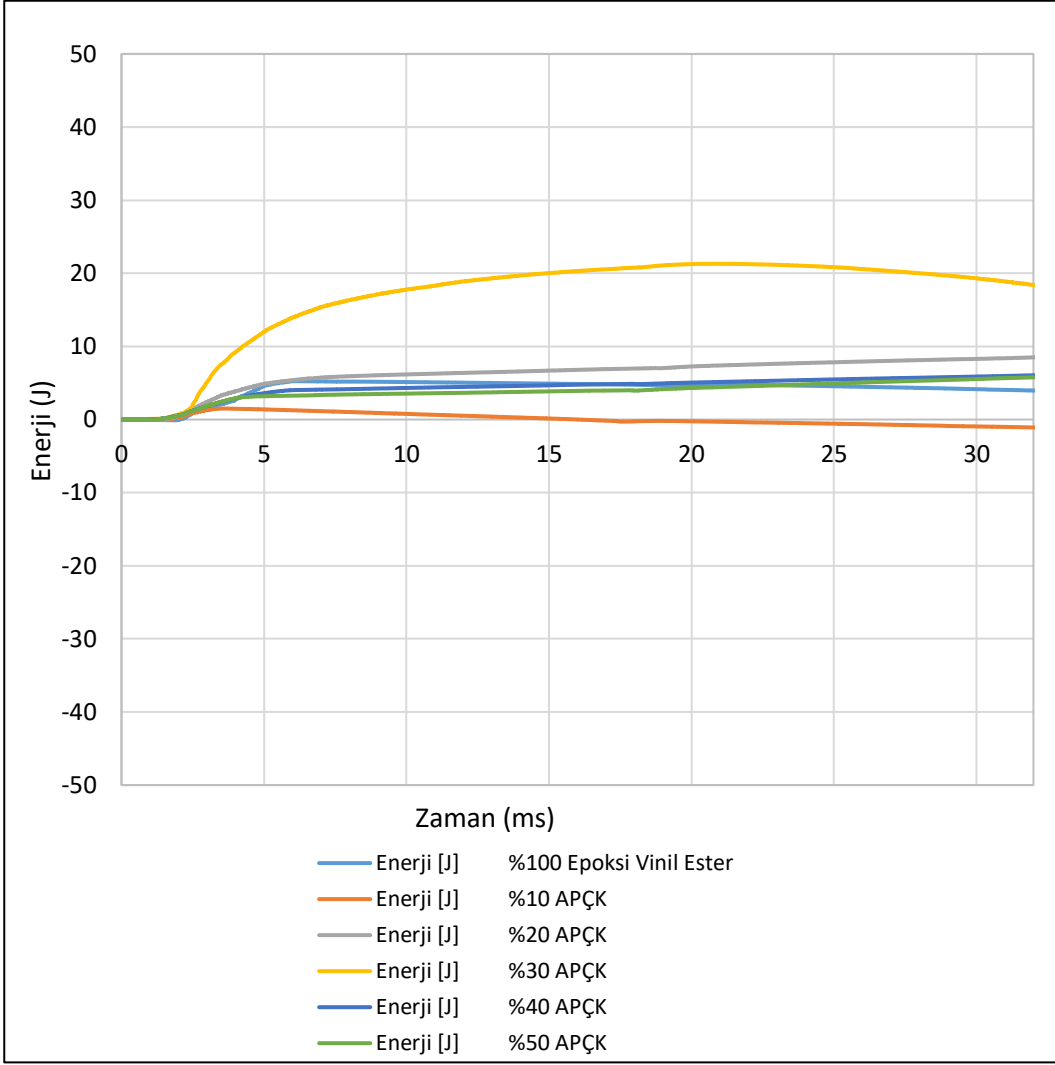
Şekil 3.44 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-zeytin çekirdeği katkıli kompozitlere (EZÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği

3.3.5.3. Atık pamuk lifi kompozitlerin (APÇK) enerji-zaman (E-t) grafikleri

%30 Lif oranına sahip SPÇK ve EPÇK grubu numunelerinin enerjiyi diğerlerine nazaran daha iyi absorbe ettikleri gözlenmiştir. Diğer numuneler için vurucunun hızının, çarpma yönüne ters olması etkisi, geri sekmeler, saplanmadan kaynaklı sürtünme kuvveti etkisi gözlenmektedir.



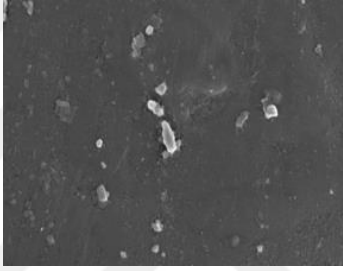
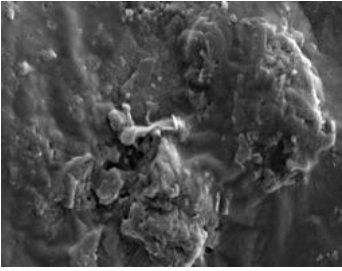
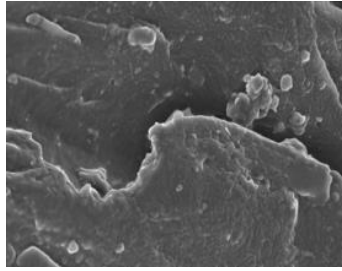
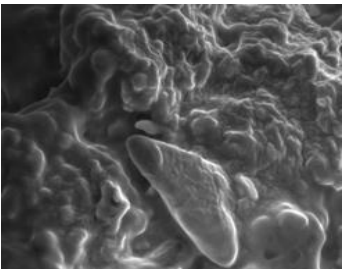
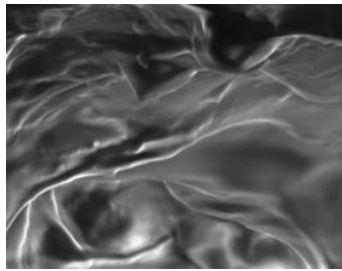
Şekil 3.45 Düşük hızda darbe dayanım testi, stiren bazlı doymamış poliestere-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (SPÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği

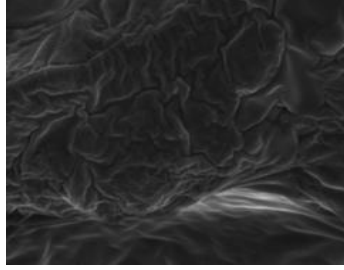
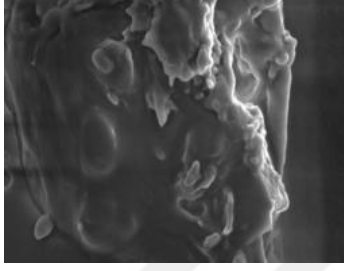

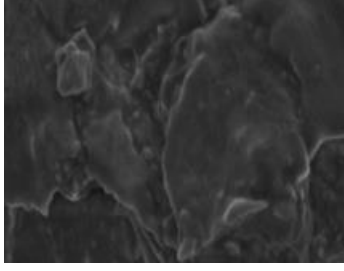
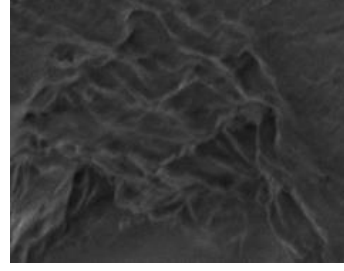
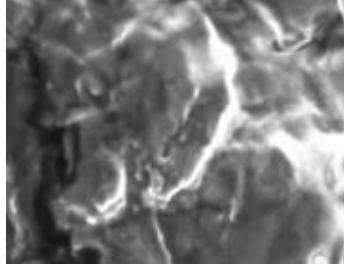


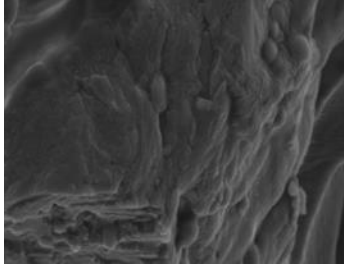
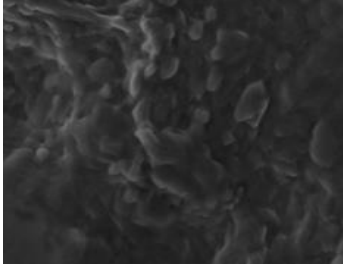
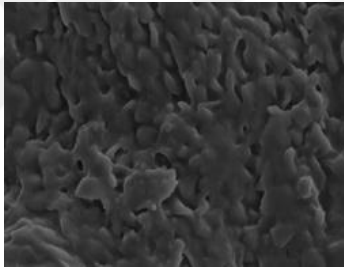
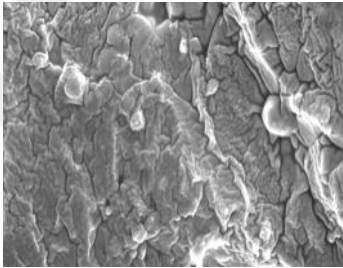
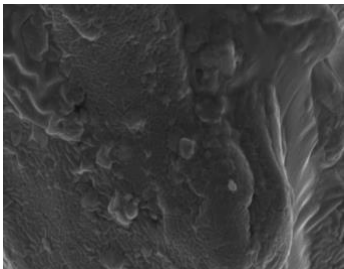
Şekil 3.46 Düşük hızda darbe dayanım testi, epoksi vinil ester-pamuk çekirdeği katkılı kompozitlere (EPÇK) ait enerji-zaman (E-t) grafiği

3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

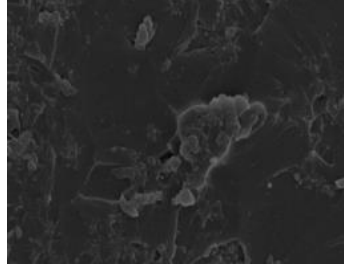
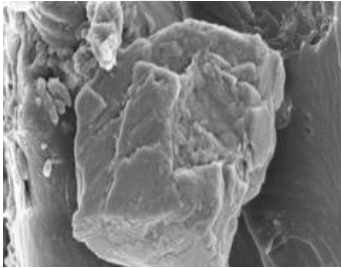
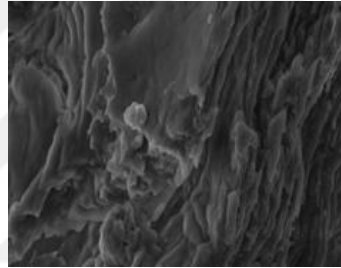
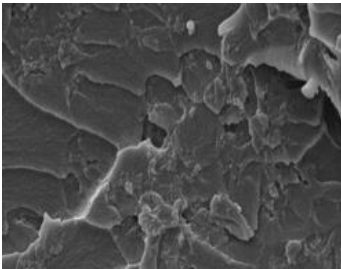
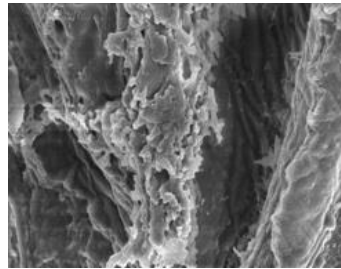
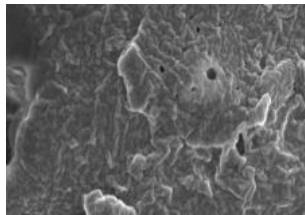
Elde edilen toplam 32 adet kompozit örneklerine ait kırılmaları gözlemek adına $5\ \mu$ 'daki SEM görüntüleri tablo 3.7 ve tablo 3.8'de belirtilmiştir. Kompozit yüzey görüntüleri, liflerin rastgele dağılımı ve çatlaklar konusunda bize öngörü verir. Lif oranı arttıkça numunelerdeki kusur artmaktadır.

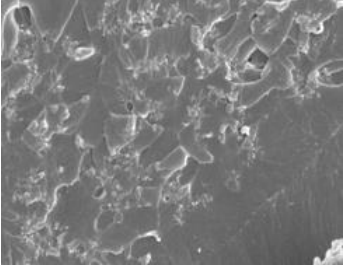
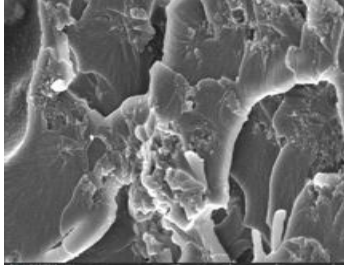
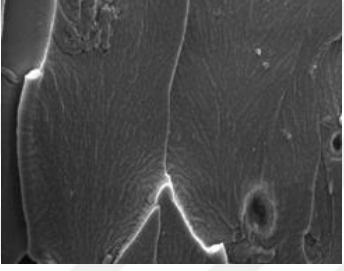
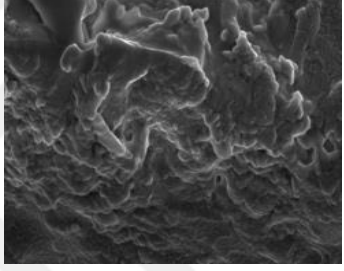
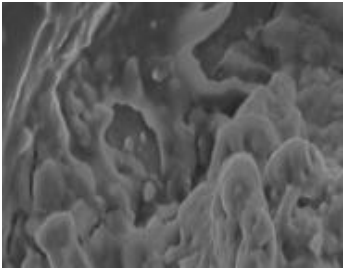
Stiren bazlı doymamış poliester içerikli kompozitler (DPK)	
Stiren bazlı doymamış poliester kompozit (DPK ₀) (Atık lif oranı %0)	
 5 μ	
Atık kahve çekirdeği kompozitler (AKÇK)	
%10	%20
 5 μ	 5 μ
%30	%40
 5 μ	 5 μ

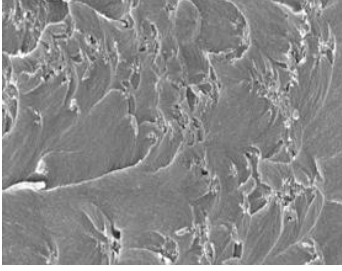
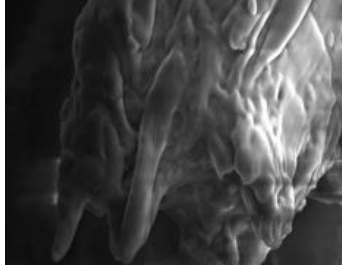
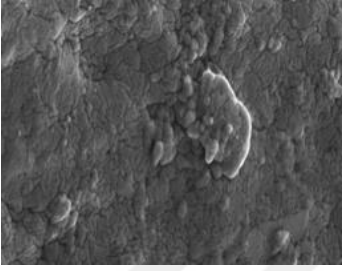
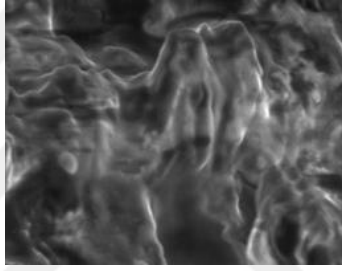
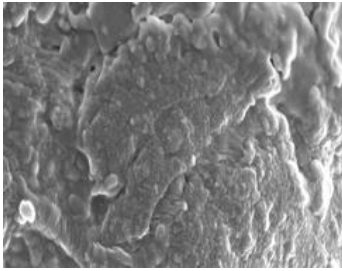
%50	
 <p>5 μ</p>	
Atık zeytin kompozitler (AZÇK)	
%10	%20
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%30	%40
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%50	
 <p>5 μ</p>	

Atık pamuk kompozitler (APÇK)	
% 10	% 20
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
% 30	% 40
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
% 50	
 <p>5 μ</p>	

Tablo 3.4 Stiren bazlı doymamış poliester içerikli kompozitlerin (DPK) 5 μ luk SEM görüntüleri

Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester kompozitler (EVK)Epoksi vinil ester kompozit (EVK₀) (Atık lif oranı %0)5 μ **Atık kahve kompozitler (AKÇK)****%10**5 μ **%20**5 μ **%30**5 μ **%40**5 μ **%50**5 μ

Atık zeytin kompozitler (AZÇK)	
%10	%20
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%30	%40
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%50	
 <p>5 μ</p>	

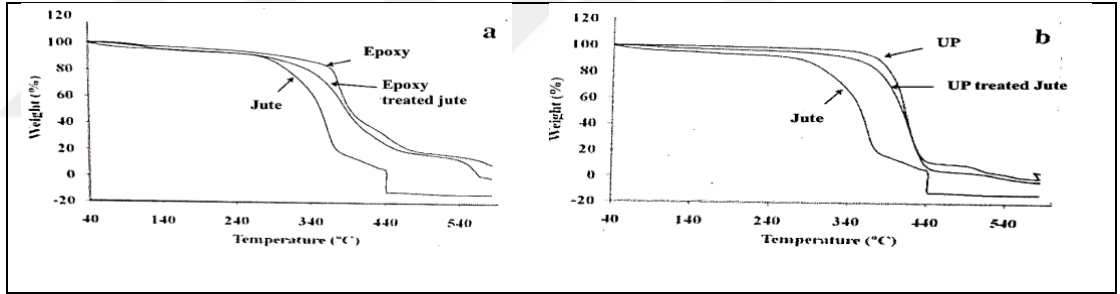
Atık pamuk kompozitler (APÇK)	
%10	%20
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%30	%40
 <p>5 μ</p>	 <p>5 μ</p>
%50	
 <p>5 μ</p>	

Tablo 3.5 Bisfenol-A içerikli epoksi vinil ester kompozitlerin (EVK), 5 μ 'luk SEM görüntüleri

3.5. Termal Gravimetrik Analiz (TG) Sonuçları

Kompozit numuneleri Perkin Elmer Pyris model Termogravimetrik analizör (TGA) ile incelenmiştir. Analizler, inert azot gazı atmosferinde, 5-10 mg numune kullanılarak, 25 °C ile 600 °C sıcaklık aralığında 20 °C/dk ısıtma hızı ile gerçekleştirilmiş ve sıcaklık artışından dolayı meydana gelen kütle kayıpları tespit edilmiştir. Elde edilen kütle kaybı-sıcaklık grafiklerinden, bağ kırılmasının meydana geldiği bozunma sıcaklıkları tespit edilmiştir.

Elde edilen grafiklerden termal bozunma sıcaklıklarının düştüğü gözlemlenmiştir. İlgili değerlerin, literatürde yer alan benzer bir çalışma olan doymamış poliester ve epoksi reçinesiyle muamele edilen jüt kompozitlerinin termal eğilimleriyle benzerlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.47 'de İşlenmemiş jüt liflerinin 274 °C' den sonra önemli ölçüde bozulmaya başladığı görülebilir. Bu arada, doymuş poliester ve epoksi reçineleri, sırasıyla 310 °C ve 372 °C'de ayarlanmış degradasyon sıcaklıklarında kaydedilmiştir. Bu nedenle, doymamış poliester veya epoksi reçinesi olan jüt liflerinin işlenmesi, sırasıyla 345 °C ve 282 °C'ye degradasyonlarını önemli ölçüde artıracaktır. Jüt liflerinin gelişmiş termal bozunma direnci, kompozitlerin daha yüksek sıcaklıkta üretilmesini mümkün kılacaktır. (Smith et al, 2010)



Şekil 3.47 İşlenmiş ve işlenmemiş jüt liflerinin TG termogramlarının karşılaştırılması, (a) Epoksi reçine, (b) doymamış polyester (Smith et al, 2010)

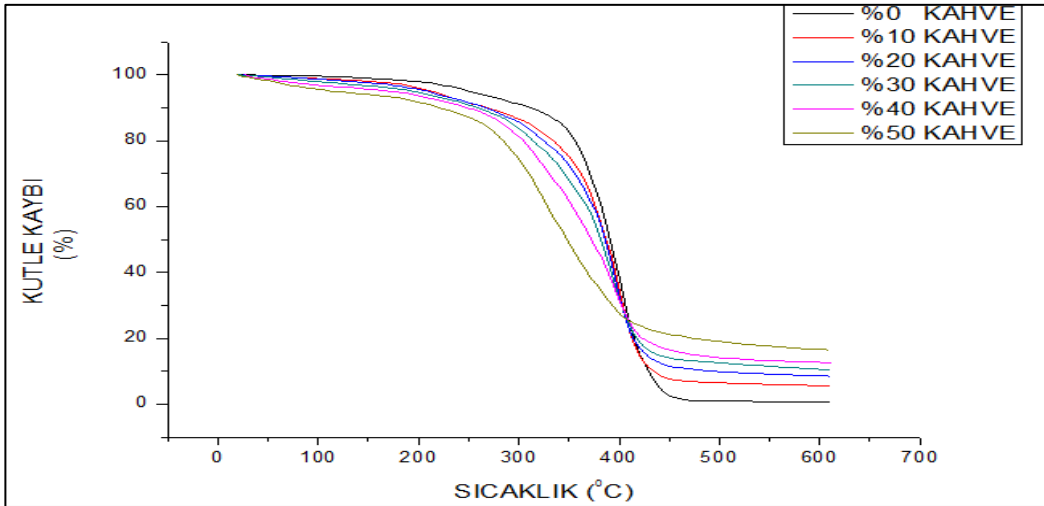
Elde edilen KÇK, ZÇK ve PÇK kompozitlerin termal bozunma sıcaklıklarında lif oranlarının artması ile azalmalar gözlemlenmiştir. Epoksi ve poliester kompozitlerin termal bozunma sıcaklıklarının düşmesi

3.5.1. Atık kahve çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AKÇK) TG grafikleri

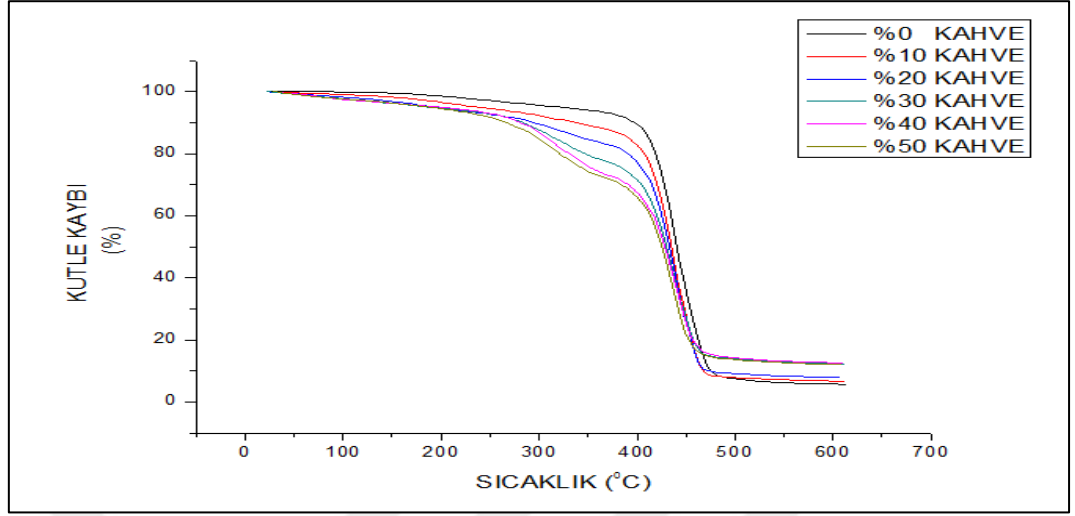
Takviye faz olarak atık kahve çekirdeği lifi içeren kompozitlerin termal gravimetri değerleri tablo 3.9'da belirtilmiştir.

AKÇK Numuneleri												
Lif oranı	0 Lif DPK	%10 SKÇK	%20 SKÇK	%30 SKÇK	%40 SKÇK	%50 SKÇK	0 Lif EVK	%10 EKÇK	%20 EKÇK	%30 EKÇK	%40 EKÇK	%50 EKÇK
%5 için bozunmaya başladığı sıcaklık (°C)	250	210	205	191	167	109	318	233	187	178	176	179
Toplam bozunan kütle kaybı (%)	99,43	94,43	91,52	89,61	84,42	83,53	94,33	93,32	92,09	87,78	87,47	87,95
600°C'deki kalıntı miktarı (%)	0,57	5,57	8,48	10,39	15,58	16,47	5,67	6,68	7,91	12,22	12,53	12,05

Tablo 3.6 AKÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri



Şekil 3.48 SKÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (°C) grafikleri



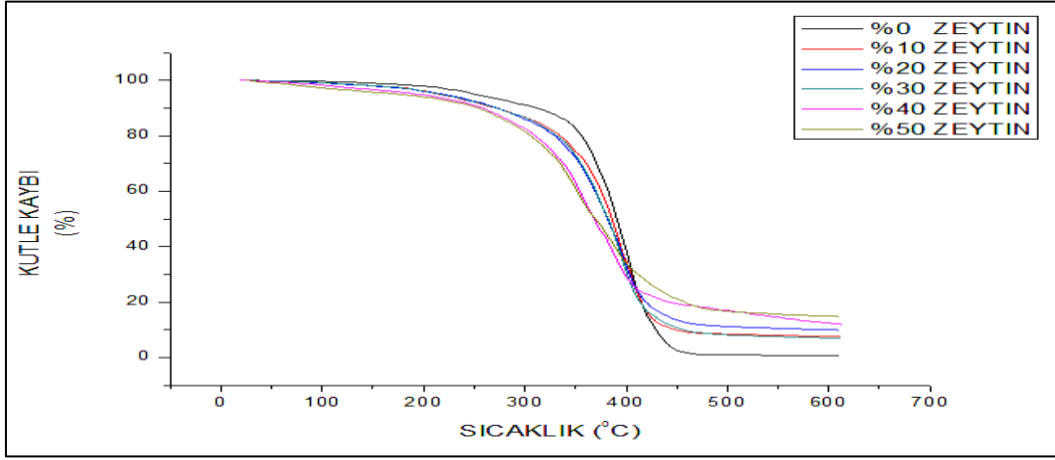
Şekil 3.49 EKÇK kompozitlerin kütle kaybı (%) - sıcaklık (°C) grafikleri

3.5.2. Atık zeytin çekirdeği takviyeli kompozitlerin (AZÇK) TG grafikleri

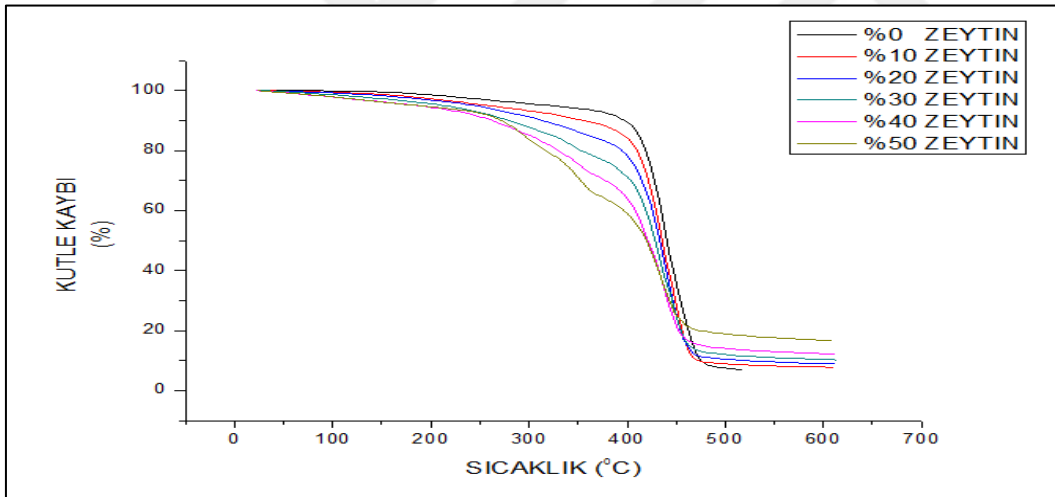
Takviye faz olarak atık zeytin çekirdeği lifi içeren kompozitlerin termal gravimetri değerleri tablo 3.10'da belirtilmiştir.

AZÇK Numuneleri												
Lif oranı	0 Lif DPK	%10 SZÇK	%20 SZÇK	%30 SZÇK	%40 SZÇK	%50 SZÇK	0 Lif EVK	%10 EZÇK	%20 EZÇK	%30 EZÇK	%40 EZÇK	%50 EZÇK
%5 için bozunmaya başladığı sıcaklık (°C)	250	216	210	207	189	171	318	255	242	213	182	179
Toplam bozunan kütle kaybı (%)	99,43	92,54	90,12	93,06	88,19	85,27	94,33	92,75	91,11	90	87,81	83,3
600°C'deki kahlntı miktarı (%)	0,57	7,46	9,88	6,94	11,82	14,73	5,67	7,75	8,89	10	12,19	16,7

Tablo 3.7 AZÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri



Şekil 3.50 SZÇK kompozitlerin kütle kaybı (%) - sıcaklık (°C) grafikleri



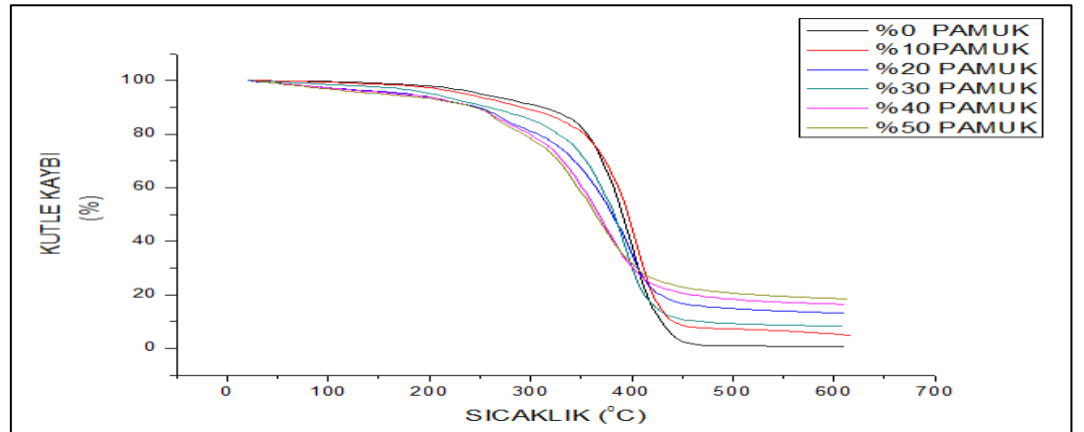
Şekil 3.51 EZÇK kompozitlerin kütle kaybı (%) - sıcaklık (°C) grafikleri

3.5.3. Atık pamuk çekirdeği takviyeli kompozitlerin (APÇK) TG grafikleri

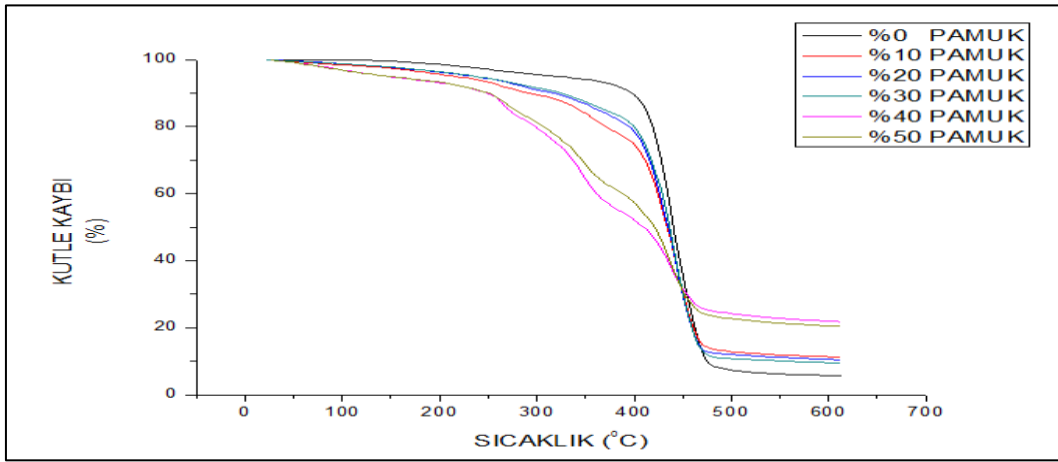
Takviye faz olarak atık pamuk çekirdeği lifi içeren kompozitlerin termal gravimetri değerleri tablo 3.11'de belirtilmiştir.

APÇK Numuneleri												
Lif oranı	0 Lif DPK	%10 SPÇK	%20 SPÇK	%30 SPÇK	%40 SPÇK	%50 SPÇK	0 Lif EVK	%10 EPÇK	%20 EPÇK	%30 EPÇK	%40 EPÇK	%50 EPÇK
%5 için bozunmaya başladığı sıcaklık (°C)	250	232	180	194	170	148	318	211	231	232	143	142
Toplam bozunan kütle kaybı (%)	99,43	95,15	86,95	91,72	83,58	81,54	94,33	88,77	89,63	90,57	78,23	79,64
600°C'deki kalıntı miktarı (%)	0,57	4,85	13,05	8,28	16,42	18,46	5,67	11,23	10,37	9,43	21,77	20,46

Tablo 3.8 APÇK kompozitlerin TG bozunma değerleri



Şekil 3.52 SPÇK kompozitlerin kütle kaybı (%) - sıcaklık (°C) grafikleri



Şekil 3.53 EPÇK kompozitlerin kütle kaybı (%)-sıcaklık (°C) grafikleri

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında atık tohumlar kullanılarak, el yatırması (Hand lay-up) tekniği ile oluşturulan epoksi ve doymamış poliester bazlı kompozitlerin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sertlik, yoğunluk, düşük hızda darbe, SEM, TGA analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda lif oranı arttıkça (%10 'dan %50'ye) örneklerin değerlerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

Sertlik değerlerinde, genel olarak lif oranının artmasıyla düşüşler bulundu. Kahve (AKÇK), pamuk (APÇK) ve zeytin (AZÇK) kompozitlerindeki değerlerde minimal artış ve azalmalar yapıların heterojenliğinden kaynaklanmaktadır. Pamuk kompozitlerin sertliklerinin daha yüksek olmasının sebebi, lif yapısından kaynaklanmaktadır. Pamuk lifinin ıslanma ve reçineyi içine çekme özelliğinden dolayı, kompozit örneklerinin yüzeyi ve yapısı daha sert özellik göstermiştir. Ayrıca pamuk lifinin daha yağlı bir yapıya sahip olması, reçineyle çapraz bağ yapma olasılığını arttırmış ve bütünlük sağlayarak daha hızlı kürlenme sağlandığı düşünülmüştür. Epoksi vinil ester ve doymamış polyester kompozitleri benzer sertlik özellikleri göstermesine rağmen muz-doymamış poliester, jüt-doymamış poliester (Megha et al, 2017) ve ipekotu-epoksi kompozit (Raghu and Goud, 2017) örnekleri ile karşılaştırıldığında özellikle kahve ve zeytin lifi içeren yapılarda kullanılan metodun yeterli gelmediği düşünüldü. El yatırması tekniği ile oluşturulan kompozitlerde homojenizasyon sağlanamamıştır.

Lif oranının artmasıyla yoğunlukların azaldığı bulunmuştur. Elde edilen veriler ve ipekotu-epoksi kompozit (Raghu and Goud, 2017) çalışmasında yer alan karşılaştırmalarda lif miktarı artışı yoğunluklarda azalamalara neden olmaktadır. Yapı içindeki lif boyutu ve lif dağılımının rastgele oluşu, tanecikler arası boşluk ve yapı kusurlarını arttırmaktadır. Bu durum, kompozit örneklerinin ağırlıklarının etkilemenin yanı sıra SEM görüntülerinde de belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile 5 µ boyutta alınan görüntülerde, lif oranının artmasıyla; mikro çatlak, çapraz bağ kırılmaları ve yapı kusurlarının belirgin biçimde arttığını görülmüştür.

Termal gravimetrik analiz sonuçlarına göre; genel olarak lif oranı arttıkça termal kararlılık azalmaktadır. Doğal lif takviyeli kompozitlerin seluloz ve lignin içerikleri yüksek olması termal bozunma sıcaklığını düşürmektedir. Grafikler incelendiğinde 20-600 °C arasında lif miktarı arttıkça %5 bozunma için bozunma sıcaklığının azaldığı ve kalıntı miktarının arttığı görüldü. TG eğrilerinde lif içeriği olmayan poliester ve epoksi örneklerine ait termal bozunma değerleri, atık lif katkıları olanlara oranla daha yüksektir. Elde edilen değerlere ait grafik ve termal eğilimler daha önce literatürde yer alan jüt-doymamış polyester ve jüt-epoksi kompozit örneklerinin değerleriyle benzerlik göstermektedir. (Smith et al, 2010) Takviye fazındaki lifin içerdiği mineral varlığı da kalıntı miktarını etkilemiştir. Ayrıca kompozitleri oluşturan reçinelerin %6 kobalt katkı olması, termogram değerlerinde belirgin bir şekilde kalıntı olarak fark edilmektedir. Doymamış polyester ve epoksi vinil ester numunelerini karşılaştırıldığında ise epoksi vinil ester kompozitlerinin daha yüksek termal bozunma gerçekleştirildiği fark edilmektedir.

Mukavemet değerleri ile ilgili darbe testi sonuçları; Hız-zaman (v-t), Kuvvet-zaman (F-t), çökme-zaman (d-t), Kuvvet-ökme (F-d) ve Enerji-zaman (E-t) grafiklerini incelediğimizde netlik kazanmaktadır. Tüm parametreler kendi içinde değerlendirilmiştir. Epoksi vinil ester ve doymamış polyester grubu kompozitler yük altında

Kuvvet-zaman, çökme-zaman ve kuvvet-çökme değerleri için mukavemet bakımından çok güçlü yapılar oluşturulmadığı gözlemlendi. Çökme grafiklerindeki açık eğriler ve eğrilerin yataya paralel olarak devam etmesi, kompozitlerin kuvvet altında aldığı hasarın boyutunun yüksek olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kuvvet-zaman, çökme-zaman ve kuvvet-çökme değerleri için mukavemet bakımından kompozitlerin güçlü yapılar oluşturmadığı sonucuna varıldı. Özellikle ökme grafiklerindeki pikler, oluşan sürtünme kuvvetinin en belirgin göstergesidir. Ayrıca, takviye fazın düzensiz lif dağılımı, vurucu ucun moment etkisiyle, numune yüzeyine aktardığı kuvvet hatlarının yön değiştirmesine ve yüzeyde gerilmelerin artmasına neden olmaktadır. Böylelikle, kompozitlerin kuvvet altında çökme, delinme, saplanma ve kırılma...vb durumları oluşmaktadır.

Hız-zaman grafikleri, vurucu ve numunenin darbe sırasındaki etkilerini göstermekte olup, negatif yöndeki eğriler geri sekmelerin varlığını ve oluşan sürtünme kuvvetini göstermektedir.

Enerjiyi absorbe etmesi bakımından, kompozitler kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Stiren bazlı doymamış poliester kompozit grubu için %20 lif oranına sahip kahve ve zeytin, %30 pamuk numunelerinin daha iyi özellik gösterdiği gözlemlendi. Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester grubunda ise %20 EKÇK, %30 EPÇK ve EZÇK numunelerinin gelen darbe enerjisini daha iyi absorplama özelliğine sahip olduğu fikrine varıldı. Epoksi vinilester grubu kompozitler, takviye fazın dağınık lif yapısından dolayı, polyester grubu kompozitlerle benzer mukavemet özellikler göstermiştir. Epoksi vinil ester kompozitlerinin yüksek yapışma özelliği ve hızlı sertleşme etkilerini zeytin içerikli kompozitlerin grafik değerlerinden rahatlıkla anlaşılmaktadır. Bisfenol A içerikli epoksi vinil ester reçinesinin, stiren bazlı doymamış polyestere göre daha yüksek darbe direncine ve lif tutucu özelliğine sahip olması mukavemet özelliklerine takviye fazın kompozit içinde rastgele dağılımı nedeniyle net olarak yansımamıştır.

Malzemelerin kendi aralarında karşılaştırdığımızda enerjiyi iyi absorplama özelliklerinin olması, mukavemet özelliklerinin iyi olması anlamında bir kesinlik sağlamamaktadır. Deneyler sırasında gözlemlenen en belirgin örneklerden birisi olan %40 pamuk kompozitlerde malzeme delinmesi sırasında tamamen bir parçalanma olmamasıdır. Lif oranının artması darbe kuvveti ile gelen enerjinin, malzeme içindeki lif, partikül ve boşluklara aktararak absorplandığını göstermektedir. Aslında yapı kusuru olarak adlandırılan durumun kullanılabilirliği fikrine varılmıştır. İlgili kompozitler için üretim tekniği değiştirilip, daha hassas metotlar kullanıldığında özellikle ses yalıtım veya ısı izolasyon konusunda yeni malzemeler üretiminde kullanılabilceği düşünölmüştür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Advani, S., G., Sözer, M.,** 2010, Process Modelling in Composites Manufacturing, CRC Press LLC, Boca Raton, New York, 16 p.
- Al-Mosawi, A., I., Abdulsada, S., A., Hashim, A., A.,** 2018, Sustainable procedure for using waste of date seeds as a reinforcement material for polymeric composites, Open Access Library Journal, Volume 5: e4384 p.
- Alaa, A., M.,** 2015, Investigation of Tensile and Impact of Composite Materials Reinforced with Natural Materials, Eng. &Tech.Journal, Vol. 33, Part (A), No.4, 919-933 pp.
- Alsaadi, M., Erkliğ, A., Albu-khaleefah, K.,** Effect of pistachio shell particle content on the mechanical properties of polymer composite, Arabian Journal for Science and Engineering, 43:4689-4696 pp.
- Anderson, T., L.,** 2014, Kırılma Mekaniği, Esaslar ve Uygulamalar, Taylor & Francis Group, CRC Press Inc., 342 s.
- Asim, M., Khalna, A., Jawad, M., Nasr, M., Dashtzadeh, Z., Ishak, M., R., Hogue, E., M.,** 2015, A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites, International Journal of Polymer Science, Volume 2015, Article ID 950567, 16 p.
- Biron, M.,** 2014, Thermosets and Composites: Material Selection, Applications, Manufacturing and Cost Analysis, [<https://books.google.com.tr/books?id=IZwIAAAQBAJ&pg=PA352&lpq=PA352&dq=hand+lay+up+teknik+disadvantages&source=bl&ots=wpzXnopszc&sig=ACfU3U1jZ2vP15lwr8Dvam7VXJaB67jGBw&hl=tr&sa=X&ved=2ahUKewj2sdbYwqbmAhUSyKYKHUcKAlk4ChDoATACegQIBhAB#v=onepage&q=hand%20la>], (Erişim Tarihi: 07 Aralık 2019)
- Bongarde, U., S., Shinde, V., D.,** 2014, Review on natural fiber reinforcement polymer composites, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 3, Issue 2, March 2014

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Laboratuvar Ders Notları,**
[http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/yogunluk_olcumu_denevi.pdf] (Erişim Tarihi: 26.11.2019)
- Callister, W., D., Rethwisch D., G.,** 2010, Material Science & Engineering, John Wiley&Sons Inc, NJ, 607-609 pp.
- Callister, W., D., Rethwisch D., G.,** 2010, Material Science & Engineering, John Wiley&Sons Inc, NJ, 629p.
- Callister, W., D., Rethwisch D., G.,** 2010, Material Science & Engineering, John Wiley&Sons Inc, NJ, 647p.
- Callister, W., D., Rethwisch D., G.,** 2010, Material Science & Engineering, John Wiley&Sons Inc, NJ, 111 p.
- Campbell, F., C.,** 2010, Structural Copposite Materials, ASM International, Ohio, 31p.
- Campbell, F., C.,** 2010, Structural Copposite Materials, ASM International, Ohio, 119 p.
- Campbell, F., C.,** 2010, Structural Copposite Materials, ASM International, Ohio, 94p.
- Ceyhun, V., Turan, M.,** 2003, Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışı, Mühendis ve Makine Dergisi, 44 (516), Ocak 2003, 35-41 s.
- Chawla, K., K.,** 2006, Material Science and Technology, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Vol:4, 125-126p.
- Chung, D., D., L.,** 2010, Composite Materials, Science and Application, Springer-Verlag London Inc, London, 1-4 pp.
- Cowie, J., M., G., Arrighi, V.,** 2007, Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials, Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton, Florida, 20-22 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dilli, B., G., Sivaji, B., K., Nanda, K., P.,** 2014, *Procedia Engineering* ,97 (2014) 531-535 pp.
- Ebewele, R., O.,** 2000, *Polymer Science and Technology*, CRC Press LLC, Boca Raton, New York, 17-19 pp.
- Elices, M., Llorca, J.,** 2002, *Fiber Fracture*, Elsevier Science Ltd., 72 p.
- Esendemir, Ü., Caner, A., Y.,** 2017, Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Sayı 1, 207-215 s.
- Gökdaı, D., Akpınar, B., A., Açıkbıaş, G.,** 2017, Effect of marble: pine cone waste ratios on mechanical properties of polyester matrix composites, *Cumhuriyet Sci. J.*, Vol.38-4: 603-610 pp.
- Ibrahem, R., A.,** 2015, Effect of date palm seeds on the tribological behaviour of polyester composites under different testing conditions, *Journal of Material Sciences & Engineering*, 4:206 p.
- Kaya, A., İ.,** 2016, Kompozit malzemeler ve özellikleri, *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45 s.
- Mazumdar, S., K.,** 2002, *Composites Manufacturing Materials, Products and Process Engineering*,, CRC Press LLC, Boca Raton, New York, 12 p.
- Megha, B., E., Keerthi Gowda, B., S., Easwara Prasad, G., L.,** 2017, A study on hardness attributes of banana and jute polyester composites, *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE)*, Vol 2, Issue 4, April 2017
- Mitra, B., C.,** 2014, Environment friendly composite materials: biocomposites and green composites, *Defence Science Journal*, Vol. 64, No. 3, May 2014, 244-261 pp.
- Monteiro, S., N., Terrones, L., A., H., Lopes, F., P., D., d'Almeida, J., R., M.,** 2005, Mechanical strength of polyester matrix composites reinforced with coconut fiber wastes, *Revista Matéria*, Vol. 10, N. 4, 571 – 576 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Muthukumar, V., Ventkatasamy, R., Sureshbabu, A., Arunkumar, D.,** 2011, A Study on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Laminates of Epoxy (Ly 556) Polymer Matrix Composites, International Journal of Production Technology and Management Research, July-December, Volume 2:2, 67-72 pp.
- Ngo, T., D.,** 2017, Natural Fibers for Sustainable Bio-Composites, [<https://www.intechopen.com/books/natural-and-artificial-fiber-reinforced-composites-as-renewable-sources/natural-fibers-for-sustainable-bio-composites>] (Erişim Tarihi: 15 Ekim 2019)
- Ohring, M.,** 1995, Engineering Material Science, Academic Press, Inc., California, 151p.
- Ohring, M.,** 1995, Engineering Material Science, Academic Press, Inc., California, 348 p.
- Onat, A.,** 2015, **Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksek Okulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalürji Programı, Kompozit Malzemeler Ders Notları, 3 s.**
- Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., Leite, M.,** 2018, Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review, Journal of Composite Science, Vol 2, 66; doi:10.3390/jcs2040066
- Raghu, M., J., Goud, G.,** 2017, Mechanical properties of milkweed fiber reinforced composites, International Journal of Engineering Researches and Management Studies, ISSN: 2394-7659
- Raju, G., U., Kumarappa, S.,** 2012, Polymers from Renewable Resources, Vol. 3, No. 3, 2012, 117-138 pp.
- Ramanaiah, K., Ratna, P., A., V., Hema, C., R., K.,** 2012, J. Mater. Environ. Sci., 3 (3) (2012) 374-378 pp.
- Saçak M.,** 2004, Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi, Ankara, 9 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Safri, S., N., A., Sultan, M., T., H., Mustapha, F.,** 2014, Low velocity and high velocity impact test on composite materials-a review, The International Journal Of Engineering And Science (IJES), Volume 3:9, 50-60 pp.
- Sayer, M., Bektaş, N., B.,** 2009, Darbe yükü altındaki hibrit kompozit plakalara sıcaklığın etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, Sayı 3, 337-343 s.
- Smith, T., Leong, Y., W., Hamada, H.,** 2010, Development of natural fiber reinforced at high temperature thermoplastic composites, 61-62, Design, Manufacturing and Applications of Composites, Ngo, A. D., Denault, J., Nakai, A., Morii, T., Hoa, S., V., Hamada, H. (eds), Destech Publications Inc, 455p.
- Uppal, N., Pappu, A., Patidar, R., Gowri, S., V.,** 2019, Synthesis and characterization of short sisal fibre polyester composites, Bull. Mater. Sci., 42:132 pp.
- Warren, H., H.,** 2000, Compherensive Composite Materials, Elsevier Ltd., Vol.6, 1p.
- Wu, H., Hu, W., Zhang, Y., Huang, L., Zhang, J., Tan, S., Cai, X., Liao, X.,** 2016, Effect of oil extraction on properties of spent coffee ground-plastic composites, J. Mater Sci, 51:10205–10214 pp.
- Yapıcı, A., Yapıcı, İ.,** 2012, E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, (2012), 48-60 s.
- Yıldızhan, Ş., Çalık, A., Özcanlı, M., Serin, H.,** 2018, Bio-composite materials: a short review of recent trends, mechanical and chemical properties, and applications, European Mechanical Science, 2(3):83-91 pp.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bilgilerini benimle paylaşan, araştırmanın her aşamasında ilgisini esirgemeyen danışmanım Doc. Dr. Hakan Akat'a teşekkür ederim.

Araştırmanın gerçekleşmesine katkı sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Doc. Dr. Yusuf Arman ve Doc. Dr. Okan Özdemir'e, Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı (EGE MATAL) yetkililerine, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü'ne ve katkılarından dolayı Dr. Sıla Balcan'a teşekkür ederim. Ayrıca bu araştırma için fon konusunda destek olan Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (BAP) teşekkürü borç bilirim.

Bu süreç içerisinde, sevgi ve desteklerini sürekli hissettiren değerli aileme ve eşim Ali Soysal Karatekin'e teşekkür ederim.

30 / 01 / 2020

İmzası

Zeynep Asena Karatekin

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Asena Karatekin

1986 Beyoğlu/İstanbul doğumluyum. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü 2012 mezunuyum. Bugüne kadar çeşitli şirketlerde ‘Sürdürülebilir Tarım ve Gıda’ konularında satış ve danışmanlık departmanlarında farklı pozisyonlarda görevler aldım. Çalışma hayatım boyunca gerek kalite ve üretim, gerekse satış konularında eğitimler aldım. En son çalıştığım plastik ve polyester ürünler üreten özel bir kuruluş olan işyerinde sorumlu müdür olarak çalıştım.

e-posta: azeynpgurler@gmail.com

EK AÇIKLAMALAR

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje Numarası: 20643

This study is supported by Ege University Scientific Research Projects Coordination Unit.

Project Number: 20643

