

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KARBON ELYAF KAPLAMA TÜRLERİNİN VE**  
**UYUMLAŞTIRICILARIN KARBON ELYAF TAKVİYELİ**  
**POLİ(FENİLEN SÜLFİD) KOMPOZİTLERİNİN**  
**ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**BEDRİYE ÜÇPINAR**

**KOCAELİ 2018**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KARBON ELYAF KAPLAMA TÜRLERİNİN VE**  
**UYUMLAŞTIRICILARIN KARBON ELYAF TAKVİYELİ**  
**POLİ(FENİLEN SÜLFİD) KOMPOZİTLERİNİN**  
**ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**BEDRİYE ÜÇPINAR**

**Doç.Dr. Ayşe AYTAÇ**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi**  
**Yrd.Doç.Dr. Mehmet KODAL**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi**  
**Yrd.Doç.Dr. İkrime ORKAN UÇAR**  
**Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 02.01.2018**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, iki farklı yöntem kullanılarak KE takviyeli PPS kompozitlerinin arayüzey bağlanmasının ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesine çalışılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında desteğini her zaman hissettiğim, bilgisini ve deneyimlerini sabırla aktaran, her daim yol göstericim olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasının yapılmasında 216M005 No'lu 1002 Hızlı Destek Projesi kapsamında finansal destek veren TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Kimya Mühendisliği lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve yönlendirmelerini esirgemeyen tüm hocalarıma teşekkür ederim. Aynı laboratuvarı paylaştığım tüm arkadaşlarıma bilgi paylaşımları için teşekkür ediyorum. Ayrıca, tez çalışmama başladığım günden itibaren çalışmam için vakit ayıran Meral ÇOBAN ve Seda HAZER'e bilgi paylaşımları ve destekleri için teşekkür ederim.

En güçsüz zamanlarımda beni yüreklendiren ve sabırla, anlayışla her zaman yanımda olan sevgili Umut Mete DURMAZ'a teşekkür ediyorum.

Bugün fiilen yanımda olamasa da bir yerlerden çok mutlu bir şekilde beni izlediğini bildiğim, bugüne gelmemdeki en büyük motivasyon kaynağım canım babam ve varlığıyla bana güç veren, maddi manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım annem başta olmak üzere tüm aileme en içten şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Ocak - 2018

Bedriye ÜÇPINAR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT .....	x
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	4
1.1. Polimer Matrisli Kompozitler .....	4
1.2. Elyaf Takviyeli Polimerik Kompozitler.....	7
1.2.1. Elyaf takviyeli kompozitlerde arayüzey .....	8
1.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	11
1.3.1. Poli(fenilen sülfid) (PPS).....	11
1.3.2. Karbon elyaf (KE) .....	13
1.3.3. Uyumlaştırıcılar .....	14
1.4. Çalışmada Kullanılan Kompozit Üretim Teknikleri.....	16
1.4.1. Ekstrüzyon İşlemi .....	16
1.4.2. Enjeksiyonlu kalıplama .....	17
1.5. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri.....	18
1.5.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	18
1.5.2. Çekme testi .....	19
1.5.3. Dinamik mekanik analiz (DMA).....	20
1.5.4. Termogravimetrik analiz (TGA).....	21
1.5.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC).....	22
1.5.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	23
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	30
3.1. Malzemeler.....	30
3.2. Yöntem.....	31
3.3. Karakterizasyon.....	33
3.3.1. Elyaf boyu dağılımı analizi.....	33
3.3.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	33
3.3.3. Çekme testi .....	34
3.3.4. Dinamik mekanik analiz (DMA).....	34
3.3.5. Termogravimetrik analiz (TGA).....	35
3.3.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre .....	35
3.3.7. Taramalı elektron mikroskobu.....	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	37
4.1. Ön Kaplanmış KE/PPS Kompozitlerinin Karakterizasyon Sonuçları .....	37
4.1.1. Elyaf boyu dağılımı analizi.....	37
4.1.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR).....	38
4.1.3. Çekme testi sonuçları.....	44

4.1.4. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçları .....	47
4.1.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi .....	49
4.1.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz sonuçları .....	51
4.1.7. Termogravimetrik analiz sonuçları .....	52
4.2. Uyumlaştırılmış KE/PPS Kompozitlerinin Karakterizasyon Sonuçları.....	54
4.2.1. Elyaf boyu analizi .....	54
4.2.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR) .....	55
4.2.3. Çekme testi sonuçları.....	58
4.2.4. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçları .....	66
4.2.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi .....	71
4.2.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz sonuçları .....	75
4.2.7. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları .....	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	79
KAYNAKLAR .....	84
EKLER.....	93
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	99
ÖZGEÇMİŞ .....	100

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Kompoziti oluşturan bileşenlerin gösterimi .....	5
Şekil 1.2.	Kompozitlerin takviye türüne göre sınıflandırılmasının şematik gösterimi: (a) plaka takviyeli (b) elyaf takviyeli (c) parçacık takviyeli .....	6
Şekil 1.3.	Elyaf-matris arası arayüzey bağlanma şekilleri: (a) kimyasal etkileşim (b) elektrostatik etkileşim (c) mekanik kilitleme.....	9
Şekil 1.4.	Elyaf yüzey kaplaması .....	11
Şekil 1.5.	PPS'nin kimyasal yapısı.....	11
Şekil 1.6.	PPS'nin kondenzasyon tepkimesi .....	12
Şekil 1.7.	PPS'nin kullanım alanları .....	12
Şekil 1.8.	PAN temelli KE üretim prosesi.....	14
Şekil 1.9.	Joncryl'in kimyasal yapısı .....	15
Şekil 1.10.	APOSS'un kimyasal yapısı .....	15
Şekil 1.11.	PBO'nun kimyasal yapısı .....	16
Şekil 1.12.	Vidalı ekstruderin genel görünümü.....	17
Şekil 1.13.	Enjeksiyonlu kalıplama makinesinin genel görünümü .....	17
Şekil 1.14.	FTIR'ın çalışma prensibi.....	18
Şekil 1.15.	Kimyasal bağların hareketleri .....	19
Şekil 1.16.	Çekme cihazı bileşenleri .....	20
Şekil 1.17.	DMA'da malzemeye uygulanan gerinim ve malzemede oluşan gerilim eğrileri.....	21
Şekil 1.18.	TGA cihazının şematik görünümü .....	22
Şekil 1.19.	DSC'nin şematik gösterimi.....	23
Şekil 1.20.	SEM'in şematik görünümü.....	24
Şekil 3.1.	Laboratuvar ölçekli mini-ekstruder.....	32
Şekil 3.2.	Laboratuvar ölçekli enjeksiyon cihazı.....	32
Şekil 3.3.	(a) Kül fırınında yakıldıktan sonra kalan, (b) optik mikroskoptan alınan görüntülerden örnekler .....	33
Şekil 3.4.	Kullanılan FTIR cihazının genel görünümü.....	34
Şekil 3.5.	Kullanılan çekme cihazının genel görünümü.....	34
Şekil 3.6.	Metravib DMA cihazı genel görünümü .....	35
Şekil 3.7.	Mettler Toledo TGA 1 test cihazı .....	35
Şekil 3.8.	Mettler Toledo DSC 1 cihazı .....	36
Şekil 4.1.	Elyaf türlerinin KE/PPS kompoziti içindeki boyut dağılımı.....	38
Şekil 4.2.	PPS matrisinin FTIR spektrumu .....	39
Şekil 4.3.	PU-KE'ye ait FTIR spektrumu .....	40
Şekil 4.4.	Saf PPS, PU-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu .....	41
Şekil 4.5.	EP-KE'ye ait FTIR spektrumu .....	41
Şekil 4.6.	Saf PPS, EP-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	42
Şekil 4.7.	PA-KE'ye ait FTIR spektrumu .....	43
Şekil 4.8.	Saf PPS, PA-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu .....	44

Şekil 4.9. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri.....	45
Şekil 4.10. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri.....	45
Şekil 4.11. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri .....	46
Şekil 4.12. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri.....	47
Şekil 4.13. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin sönümlenme faktörü değerleri.....	48
Şekil 4.14. EP-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografı .....	49
Şekil 4.15. PU-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografı .....	50
Şekil 4.16. PA-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografı .....	50
Şekil 4.17. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri.....	52
Şekil 4.18. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin TGA eğrileri .....	53
Şekil 4.19. Joncryl içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	55
Şekil 4.20. PBO içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu.....	56
Şekil 4.21. APOSS içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu .....	57
Şekil 4.22. %1,5 Uyumlaştırıcı içeren kompozitlerin FTIR spektrumları .....	58
Şekil 4.23. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri.....	59
Şekil 4.24. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri .....	59
Şekil 4.25. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri.....	60
Şekil 4.26. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının çekme dayanımı değerleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	61
Şekil 4.27. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri .....	62
Şekil 4.28. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri .....	62
Şekil 4.29. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri.....	63
Şekil 4.30. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının kopma uzaması değerleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	64
Şekil 4.31. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri .....	64
Şekil 4.32. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri .....	65
Şekil 4.33. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri .....	65
Şekil 4.34. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	66
Şekil 4.35. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri .....	67
Şekil 4.36. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri .....	68
Şekil 4.37. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri.....	68
Şekil 4.38. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının depo modülü değerleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	69
Şekil 4.39. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümlenme faktörleri .....	70
Şekil 4.40. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümlenme faktörleri .....	70
Şekil 4.41. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümlenme faktörleri.....	71
Şekil 4.42. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının sönümlenme faktörleri üzerine etkisinin incelenmesi .....	71
Şekil 4.43. PA-KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500).....	72

Şekil 4.44. % 0,5 Joncryl içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı(x1500).....	73
Şekil 4.45. % 1,5 Joncryl içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500).....	73
Şekil 4.46. % 1,5 PBO içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500).....	74
Şekil 4.47. % 1,5 APOSS içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500).....	75
Şekil 4.48. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin TGA eğrileri.....	77
Şekil A.1. Joncryl'in FTIR spektrumu .....	94
Şekil A.2. PBO'nun FTIR spektrumu .....	94
Şekil A.3. APOSS'un FTIR spektrumu .....	95
Şekil A.4. % 1,5 uyumlaştırıcı içeren kompozitlerin ve KE'nin karşılaştırmalı FTIR spektrumu .....	95
Şekil A.5. Joncryl içeren kompozitlerin FTIR spektrumları .....	96
Şekil B.1. Farklı oranlarda Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri .....	97
Şekil B.2. Farklı oranlarda PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri .....	97
Şekil B.3. Farklı oranlarda APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri .....	98

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Polimerik kompozitlerde kullanılan bazı polimerlerin özellikleri.....	6
Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler .....	30
Tablo 3.2. Hazırlanan kompozitlerin bileşimleri .....	31
Tablo 4.1. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin DSC sonuçları .....	52
Tablo 4.2. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin TGA verileri.....	54
Tablo 4.3. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC sonuçları.....	76
Tablo 4.4. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin TGA sonuçları .....	78



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$E'$	: Depo modülü, (Pa)
$E''$	: Kayıp modülü, (Pa)
$T$	: Sıcaklık, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_g$	: Camı geçiş sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_m$	: Erime sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{endset}}$	: Bozunmanın son erdiği sıcaklık, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{max}}$	: Bozunma hızının max olduğu sıcaklık, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{onset}}$	: Bozunmanın başladığı sıcaklık, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\tan \delta$	: Sönümlenme faktörü
$T_{cc}$	: Soğuk kristalizasyon sıcaklığı, ( $^{\circ}\text{C}$ )
$X_c$	: Kristalinite, (%)
$\Delta H_c$	: Kristalizasyon entalpisi, (J/g)
$\Delta H_f$	: Erime entalpisi, (J/g)

### Kısaltmalar

APOSS	: Aminopropil izobütil poli (hedral oligomerik silseskuiookzan)
DMA	: Dinamical Mechanical Analysis (Dinamik Mekanik Analiz)
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EP-KE	: Yüzeyi Epoksi-Fenoksi Kaplanmış Karbon Elyaf
FTIR	: Fourier Transforms Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
KE	: Karbon Elyaf
PA-KE	: Yüzeyi Poliamid Kaplanmış Karbon Elyaf
PAN	: Poliakrilonitril,
PBO	: 1,4 Fenilen bis (2-oksazolin)
PU-KE	: Yüzeyi Poliüretan Kaplanmış Karbon Elyaf
PPS	: Poly(phenylene sulfide) (Poli(fenilen sülfid))
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)

# KARBON ELYAF KAPLAMA TÜRLERİNİN VE UYUMLAŞTIRICILARIN KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİ(FENİLEN SÜLFİD) KOMPOZİTLERİNİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerde matris-elyaf arayüzey bağlanması malzemenin son mekanik özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Arayüzey bağlanmasını artırmak için elyaf yüzeyinin ön kaplanması ve uyumlaştırıcı ilavesi gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmanın amacı da; karbon elyaf (KE) takviyeli poli(fenilen sülfid) (PPS) kompozitlerinin arayüzey bağlanmasının ve son özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bu amaçla öncelikle, üç farklı kaplama malzemesi ile ön kaplanmış KE takviyeli PPS kompozitleri hazırlanmıştır. Kaplama malzemesi olarak poliüretan (PU), epoksi-fenoksi (EP) ve poliamid (PA) seçilmiş ve KE matrise %10 oranında ilave edilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri çekme, dinamik mekanik analiz (DMA) diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), termogravimetrik analiz (TGA), taramalı elektron mikroskobu (SEM), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizleri ile incelenmiştir. Tüm test sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek mekanik özellikleri PU kaplamasının sağladığı görülmüştür. Mekanik ve morfolojik açıdan en düşük özellikleri gösteren ise PA-KE/PPS kompoziti olmuştur. Bu yüzden PA-KE/PPS kompozitinin özelliklerini iyileştirmek amacı ile kompozite üç farklı uyumlaştırıcı % 0,5, 1 ve 1,5 oranlarında eklenmiştir. Uyumlaştırıcı olarak Joncryl, 1,4-fenilen bis(2-oksazolin) (PBO) ve aminopropil izobütül poli(hedral oligomerik silseskuiokzan) (APOSS) kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının kompozitlerin özellikleri üzerine etkisi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tüm uyumlaştırıcı türleri kompozitin özelliklerinde iyileşme sağlamıştır. FTIR ve SEM ve DMA analizi sonucunda, PPS ve KE arasında en iyi arayüzey etkileşimini % 1,5 Joncryl ilavesinin sağladığı görülmüştür. Yine çekme testi sonuçları da % 1,5 Joncryl ilave edilen kompozitin en yüksek mekanik özellikleri sağladığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon elyaf, Ön kaplama, Poli(fenilen sülfid), Uyumlaştırıcı.

## **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CARBON FIBER SIZING AGENTS AND COMPATIBILIZERS ON THE PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED POLY(PHENYLENE SULPHIDE) COMPOSITES**

### **ABSTRACT**

Interfacial adhesion between the matrix and fiber has significant effect on the mechanical properties of the fiber reinforced thermoplastic composites. There are various methods to improve the interfacial adhesion, such as sizing and compatibilization. The aim of this study, to improve the interfacial adhesion and final properties of carbon fiber (CF) reinforced poly(phenylene sulfide) (PPS) composites. For this purpose firstly, polyurethane (PU), epoxy-phenoxy (EP) and polyamide sized CF reinforced PPS composites were prepared. The mechanical, thermal and morphological properties of prepared composites were investigated by tensile test, dynamic mechanical analysis (DMA), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis (TGA), scanning electron microscopy (SEM), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). When all the test results were evaluated, the highest mechanical properties were observed for the PU sized CF. PA-CF/PPS composites showed the lowest mechanical and morphological characteristics. Therefore, in order to improve the properties of PA-CF/PPS composites, three different compatibilizers were added at the rates of 0.5, 1 and 1.5 wt%. Joncryl, 1,4-phenylene bis(2-oxazoline) (PBO) and aminopropyl isobutyl polyhedral oligomeric silsesquioxane (APOSS) were used as compatibilizers. The effect of the type and amount of compatibilizers on the properties of the composites was compared. As a result, all compatibilizers improved the properties of composites. FTIR and SEM and DMA analysis results showed that 1.5 wt% Joncryl addition provides the best interface interaction between PPS and CF. The tensile test results also showed that 1.5 wt% Joncryl added composite exhibited the highest mechanical properties.

**Keywords:** Carbon fiber, Sizing, Poly(phenylene sulfide), Compatibilizer.

## GİRİŞ

Son yıllarda polimerik malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanımı oldukça artmıştır [1]. Fakat polimerlerin düşük dayanım ve sertlik gibi çeşitli özellikleri ileri mühendislik malzemesi olarak kullanımlarını sınırlandırabilmektedir. Bunun çözümü olarak, polimerler iki veya daha fazla malzemenin bileşimi olarak kompozit formunda kullanılmaktadır [2].

Kompozitler, matris ve takviye malzemesi olarak iki ana bileşenden oluşur. Elyaf ile takviye edilmiş polimer kompozitler, geleneksel malzemelere nazaran fiziksel ve mekanik açıdan üstün özellikler sunar. Karbon elyaf (KE) takviyeli polimer matris kompozitler 1960'lı yıllardan beri ticari olarak kullanılmaktadır. Bu kompozitler KE'nin sahip olduğu üstün mekanik ve ısıl özellikleri ve hafifliği sayesinde havacılık, otomotiv gibi sektörler başta olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanım olanağı bulmuştur [2-4].

Polimer matris kompozitlerde kullanılan matris yapısı termoset ve termoplastik olarak sınıflandırılır. Mühendislik polimeri olarak da adlandırılan termoplastik malzemeler yüksek tokluk, yüksek darbe dayanımı, kimyasal direnci ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri nedeniyle son yıllarda kompozit üretiminde tercih edilirler [2,5].

Yarı kristalin termoplastik bir polimer olan poli(fenilen sülfid) (PPS) yüksek ısıl direnci, boyutsal kararlılığı, organik çözücülere olan direnci gibi özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir [6]. Kullanım alanlarının gerekliliği olarak PPS'nin diğer özelliklerine nazaran düşük olan mekanik özelliklerinin dolgu malzemesi kullanımı, diğer polimerlerle karıştırma ve elyaf takviyesi gibi yöntemlerle geliştirilmesine çalışılmaktadır. Bu tez çalışmasında da PPS matris olarak kullanılmış ve KE ile takviye edilerek kompozit malzemeler elde edilmiştir.

KE takviyeli polimerik kompozitlerde takviye işleminin etkili bir şekilde gerçekleşebilmesi için matris ile elyafın arayüzeyinde iyi bir bağlanma (yapışma ya da etkileşim) olmalıdır.

Elyaf matris arayüzey etkileşiminin ya da yapışmasının güçlü olması kompozitin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Termoplastiklerdeki fonksiyonel grupların azlığı nedeni ile termoplastik matris ve elyaf arasında güçlü kovalent bağlar kurulamaz ve yeterli ıslanma elde edilemez. Bunun sonucu olarak termoplastik matrislerin elyaf ile etkileşimi termosetlere nazaran daha zayıftır. Bu nedenle çeşitli yöntemler kullanılarak elyaf-matris bağlanmasının artırılması için çalışılmaktadır. Bu amaçla genel olarak, elyaf yüzey işlemleri ve matris modifikasyonu (uyumlaştırma) adı verilen iki yöntem kullanılmaktadır. [2,7].

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, öncelikle yüzeyleri farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış (sizing) olan KE'ler kullanılarak PPS kompozitleri eriyik harmanlama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle hazırlanmış ve kompozitlerin mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Ardından seçilen KE/PPS kompozitine arayüzey bağlanmasını artırmak amacıyla çeşitli uyumlaştırıcı kimyasallar (compatibilizing agent) kullanılarak, matris modifikasyonu işlemi uygulanmış ve karakterizasyon testleri yapılmıştır.

Tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1'de kompozitler ve çalışmada kullanılan malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Kompozitlerin üretim yöntemleri, kullanılan cihazlar ve üretilen kompozitlere uygulanan karakterizasyon teknikleri ile ilgili detaylı bilgilere yer verilmiştir. Bölüm 2'de elyaf takviyeli termoplastik kompozitler, elyaf-matris arayüzeyi ve elyaf-matris ara yüzeylerinin kompozit özelliklerine etkisi üzerine literatüre genel bir bakış sunulmuştur. Bölüm 3'de kompozit üretiminde kullanılan malzemelerin temin edildikleri firmalar, üretim ve test koşulları verilmiştir. Bölüm 4'te polimerik matris ile arayüzey bağlanmasını iyileştirmek için seçilmiş 3 farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış olan KE'ın PPS ile uyumu ve kompozitin son özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Daha sonra, PPS ile arayüzey bağlanması en zayıf olan kaplama malzemesi seçilmiş ve buna 3 farklı uyumlaştırıcı kimyasal eklenmiş ve çeşitli karakterizasyon testleri kullanılarak uyumlaştırıcılı kompozitlerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Bölüm 5'de ise, elde edilen tüm sonuçlar derlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, özellikle havacılık sektöründe sıklıkla kullanılan KE takviyeli PPS kompozitleri üzerine, iki farklı arayüzey uyumlaştırma yönteminin etkilerini incelemektir. Bu amaçla, yüzeyi üç farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış KE takviyeli PPS kompozitleri hazırlanmış ve kompozitlerin morfolojik, mekanik, ısı özellikleri karakterize edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında matris modifikasyonu için üç farklı uyumlaştırıcı kimyasal kullanılmış ve mekanik özelliklerin daha da artırılması amaçlanmıştır.

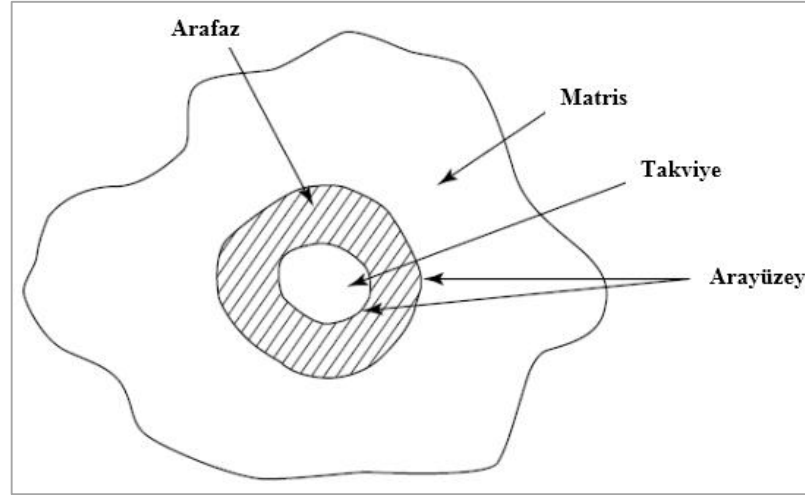


## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimerler uzun yıllardan beri çeşitli malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda en çok kullanılan mühendislik malzemesi olan polimerlerin üretimi çelik üretimini aşmıştır [5]. Polimerik malzemeler, gelişmiş elektriksel ve ısı izolasyon, korozyona karşı yüksek direnç, düşük özgül ağırlık ve işlenme kolaylığı gibi özellikleri ile geleneksel malzemelere göre birçok üstünlük sunmaktadırlar. Tüm bu avantajlarının yanında genel anlamda bazı eksiklikleri mevcuttur. Bunlara zayıf sertlik ve dayanım, ortam koşullarına hassasiyet (ışık, nem vs.) örnek olarak verilebilir. Bu eksikliklerinden bazıları, özellikle mekanik özellikler, polimerlerin farklı malzemeler ile karıştırılarak kompozit olarak kullanımı ile geliştirilebilir [2].

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin birbiri içinde çözünmeyecek şekilde karıştırılmasıyla elde edilirler. Birleştirilen malzemeler arasında bir tepkime veya faz dönüşümleri görülmez. Üretilen malzemede bileşenlerin sinerjik etkisi ile bileşenlerde tek başına var olmayan çeşitli özelliklerin geliştirilmesi amaçlanır [8,9]. Tipik bir kompozit malzemenin şematik gösterimi Şekil 1.1’de verilmiştir. Temelde polimerik kompozitler, matris denilen polimer ana yapı ve takviye edici malzeme olmak üzere iki bileşenden oluşur. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi matris fazı süreklidir ve içinde dağılmış olan takviye fazını çevreler. Takviye malzemesi ise kompozit içinde yükün transferini sağlarken, kompozite mekanik dayanım kazandırır. Matris ile takviye malzemesi arasında kalan bölge arayüzeyi oluşturur. Bu fazlar arasında bulunan bölge kompozitin nihai özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir [10,11].



Şekil 1.1. Kompoziti oluşturan bileşenlerin gösterimi [11]

Kompozitler 1960'lı yıllardan beri ticari olarak spor ürünleri, otomotiv parçaları ve havacılık sektörü gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [5]. Polimer matrisli kompozitler iki ana kategoriye ayrılabilirler; takviye edilmiş plastikler ve ileri kompozit malzemeler. Takviye edilmiş plastikler göreceli olarak daha ucuzdur ve genellikle düşük sertlikte cam elyaf ile takviye edilmiş polyesterleri içerirler. Bu tip polimerik kompozitler uzun yıllardır tekne gövdeleri, boru ve panel üretimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. İleri kompozit malzemeler, özellikle havacılık sektöründe kullanılırlar ve bu ileri kompozitlerde gelişmiş özellikli bir matris içinde ince bir çapa sahip yüksek performanslı takviye malzemesi bulunur. Kompozit malzemeler çoğu durumda yüksek verim sağlarlar. Örneğin havayolu taşımacılığında, dayanım ve sertlik gibi mekanik özellikleri düşürmeden uçakların kütlelerinin azalması istenir. Bu özellik geleneksel metal alaşımlarının polimerik kompozit malzemelerle değiştirilmesi ile mümkündür. Diğer pek çok kullanım alanı için de kompozitler; geliştirilmiş mukavemet, sertlik, yorulma ve darbe direnci, ısıl iletkenlik, korozyon direnci vb. gibi çeşitli üstünlükler sunarlar [12,13].

Polimer matrisli kompozitlerde matris türüne ve takviye malzemesi türüne göre sınıflandırma yapılır. Matris türüne göre kompozitler; termoplastik ve termoset matrisli kompozitler olarak sınıflandırılırlar [8].

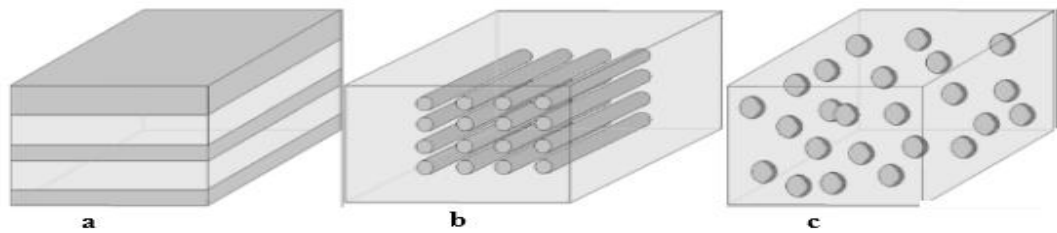
Termosetler poliester, vinilester, epoksi, fenolikler ve bismaleimidi kapsar. Başlangıçta düşük viskoziteli olan termosetler ısıtıldıklarında çapraz bağlanırlar ve yapılarındaki çapraz bağlardan dolayı yeniden işlenemeyen sert yapıya dönüşürler.

Termoplastikler ise polieterimid, poliamid imid, polieter-eter keton ve poli(fenilen sülfid) gibi polimerleri içerir. Termoplastikler ısıtıldıklarında çapraz bağlanmazlar, yumuşar ve erirler. Böylece tekrar tekrar işlenebilme özelliğine sahiptirler. Termoset ve termoplastiklerin yapısal farklılıklarından doğan özellikler karşılaştırıldığında termoplastiklerin daha üstün oldukları görülür. Termoplastiklerin yeniden ve kolay işlenebilir olmaları, ısı ile şekillendirilebilmeleri, yüksek tokluk, darbe direnci ve çevresel etkilere dayanım gibi özellikleri kompozit üretimi için oldukça dikkat çekicidir [13–15]. Tablo 1.1’de polimerik kompozitlerde matris olarak kullanılan bazı polimerlerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1.1. Polimerik kompozitlerde kullanılan bazı polimerlerin özellikleri[5,11]

Matris	İşleme Sıcaklığı (°C)	En yüksek Kullanım Sıcaklığı(°C)	Çekme Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Termoset				
Epoksi	150	125	2,5–5,0	50–110
Fenoksi	250	200	2,7–4,1	35–60
Termoplastik				
Poli(fenilen sülfid)	300	150	3,4	80
Polieter eter keton	370	175	3,5–4,4	100
Poliamid	250	100	1,3–3,5	55–90

Polimerik matrisli kompozitler de diğer bir sınıflandırma kullanılan takviye çeşidine göre yapılır. Bunlar elyaf takviyeli, parçacık takviyeli ve plaka takviyelidir [8]. Şekil 1.2’de bu kompozitlerin şematik gösterimleri verilmiştir.



Şekil 1.2. Kompozitlerin takviye türüne göre sınıflandırılmasının şematik gösterimi: (a) plaka takviyeli (b) elyaf takviyeli (c) parçacık takviyeli

## 1.2. Elyaf Takviyeli Polimerik Kompozitler

Teknolojik olarak en önemli kompozitler matris içindeki dağıtılan fazın elyaf olduğu kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerin tasarım amaçları sıklıkla ağırlık bazında yüksek mukavemet ve/veya sertlik içerir. Düşük yoğunluklu elyaf ve matris malzemeleri kullanılarak son derece yüksek dayanım ve modüle sahip kompozitler üretilebilir [9]. Bölüm 1.1.'de de bahsedildiği gibi bu tip kompozitlerde matris olarak termoplastikler sıklıkla kullanılır. Termoset kompozitlere kıyasla yüksek tokluk, geri dönüştürülebilirlik, yeniden işlenme gibi imkânlar sunan termoplastik kompozitlerin kullanımı küresel çevre sorunları açısından da önemlidir [16].

Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi matris içinde sürekli veya kesikli, tek yönlü ya da çok yönlü, dokunmuş ve organik, inorganik yapıda olabilir. Bu durum kompozitin özelliklerini etkiler. Kompozitin son özelliklerini etkileyen diğer faktörler ise; elyaf ve matris malzemesinin ayrı ayrı özelliklerini, işleme koşullarını ve elyaf-matris arayüzey bağlanmasını içerir. Tüm bu faktörlerin etkilerinin anlaşılabilmesi için öncelikle elyaf ve matrisin kompozit içindeki işlevleri bilinmelidir [5,8].

Matris, kompozit bir malzemede çeşitli işlevleri yerine getirir. Bu işlevlerin çoğu yapının istenen performansı sağlaması için hayati önem taşır. Elyaf ise kendisini tutacak bir yapı yani matris malzemesi olmadan çok az kullanılır.

Matrisin kompozit malzemede üstlendiği işlevler [5];

- Matris, lifleri izole eder. Böylece lifler ayrı ayrı hareket edebilir.
- Matris kompozite sertlik ve şekil kazandırır.
- Kompozite uygulanan yükün elyafa aktarılmasını sağlar.
- İçerisinde dağılmış olan elyafı mekanik ve kimyasal etkilere karşı korur.
- Kullanılan matrisin özelliklerine bağlı olarak kompozitin mekanik ve ısı özelliklerini etkiler. Kompozitte istenen performans özelliğine göre matris seçimi yapılır. Termoplastikler yüksek tokluk istendiği durumlarda tercih edilir.

Elyafın kompozitte üstlendiği görevler ise [5];

- Kompozite uygulanan yükün % 70-90'ını taşırlar.
- Kompozite dayanım, ısı kararlılık ve kullanılan elyaf türüne bağlı olarak elektriksel iletkenlik veya yalıtım sağlarlar.

Elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerde en çok tercih edilen yüksek performanslı elyaf türleri; bor, aramid, cam ve karbon elyaf olarak sıralanabilir [5,17]. Bu elyaf türlerinin kendi özellikleri kompozitin performansını önemli derecede etkiler.

Bor elyafı, yüksek sıcaklıklarda borun substrat bir tel üzerine kimyasal buhar birikimi ile üretilir. Bor elyafı, mekanik dayanım, sertlik ve öz kütle özellikleri açısından eşsiz özellikler sunar. Fakat pahalı olduğundan dolayı kullanımı ekonomik değildir [2,18].

Diğer bir yüksek performans elyafı olan aramid, aromatik bir poliamid elyafıdır ve eriyikten çekme yöntemi ile üretilir. İlk kez 1970'lerde DuPont firması tarafından Kevlar ismi ile piyasaya sunulmuştur. Diğer yüksek performanslı elyaf türleri gibi hafiftir ve kompozite yüksek mekanik özellikler sağlar. Ancak yüzey işleme için uygun olmadığından termoplastik matris ile bağlanması zayıftır [2,17,18].

Cam elyafı, ekstrüzyon yöntemiyle eritilen camın düzelerden geçirilmesi ile üretilir. Cam elyaf düşük maliyet, galvanik veya kimyasal korozyon direnci ve birçok formda kullanılabilirliği sayesinde kompozit uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Fakat karbon elyaf takviyeli kompozitler ile karşılaştırıldığında ısıl genleşme katsayısı ve modül açısından eksikliklere sahiptir. Aramid elyaf ile kıyaslandığında ise mekanik özellikleri açısından daha geride olduğu görülür [18].

Bileşiminde ağırlıkça en az % 92 karbon içeren karbon elyafı poliakrilonitril (PAN), zift gibi çeşitli hammaddeler kullanılarak üretilir. Yüksek gerilme mukavemeti ve sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek ısıl kararlılığı ve elverişli elektrik iletkenliği gibi mükemmel özelliklerinden dolayı havacılık, otomotiv ve spor eşyaları endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır [4]. Bu tez çalışmasında KE, takviye malzemesi olarak tercih edilmiştir.

### **1.2.1. Elyaf takviyeli kompozitlerde arayüzey**

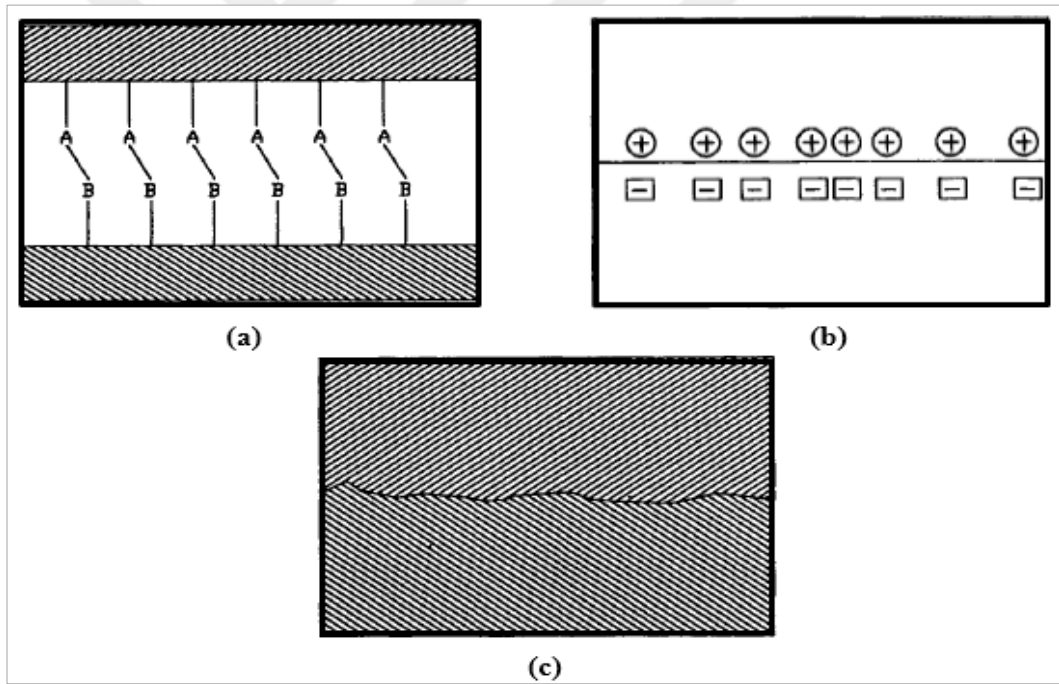
Elyaf takviyeli kompozitlerde, elyaf ve matris kendilerine özgü fiziksel ve kimyasal özelliklerini korurlar. Bu arada, tek başına hareket eden bileşenlerden herhangi biriyle elde edilemeyen mekanik özellikler farklı malzemelerin birleşimi ile elde edilir. Bunun nedeni, bu iki bileşen arasındaki bir arayüzeyin varlığıdır. Elyaf-matris arayüzeyi kompozite uygulanan yükü matristen elyafa aktarma görevi görür. Bu arayüzeyin

özellikleri iki bileşen arasındaki kimyasal/morfolojik yapı ve iki bileşen arasındaki fiziksel/termodinamik uyumluluğa bağlıdır ve kompozitin son performans özellikleri üzerinde etkilidir [4,7,13,19–21].

Arayüzeyde gerçekleşebilecek bağlanma olayları (etkileşim, yapışma) genel olarak şu şekilde sıralanabilir [7,12];

- Kimyasal etkileşimler (fonksiyonel kimyasal grupların adsorpsiyonu ve kovalent bağ)
- Fiziksel etkileşimler (Asit-baz etkileşimleri, van der wals etkileşimleri, elektrostatik etkileşimler)
- Mekanik kilitlenme (elyaf yüzeyinin doğal pürüzlülüğü veya aşındırılması sonucu)

Bu arayüzey bağlanma biçimleri Şekil 1.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



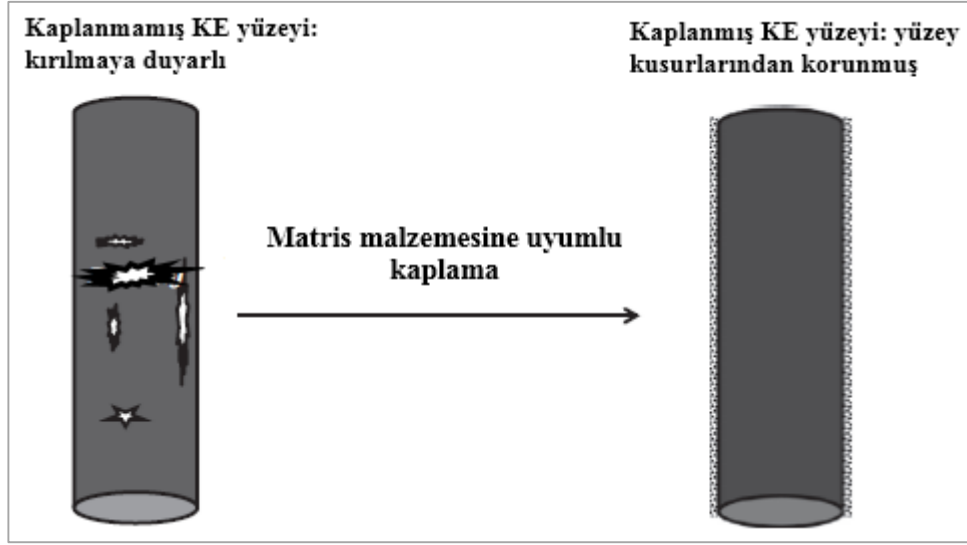
Şekil 1.3. Elyaf-matris arası arayüzey bağlanma şekilleri: (a) kimyasal etkileşim (b) elektrostatik etkileşim (c) mekanik kilitlenme [21]

Elyaf-matris arayüzey etkileşimleri, termoplastik ve termoset matris kullanıldığı durumda farklı olmaktadır. Termoplastik matrisler termosetlere nazaran daha az reaktif grup içerdiklerinden dolayı arayüzey bağlanmaları daha zayıftır [7,22]. Ayrıca KE, üretimi sırasında yüksek sıcaklıktaki karbonizasyon/grafitizasyon adımının varlığı sebebiyle yüzeyinde oldukça az reaktif grup içerir. Bunun yanında KE'nin

apolar bir yapıya sahip olması, yüzeyindeki pürüzsüzlük ve düşük adsorpsiyon gibi özellikleri de arayüzey bağlanmasının zayıf olmasına neden olur [3,23]. KE'nin polimerle bu zayıf etkileşimi ve PPS zincirlerindeki hidrofilik grupların zayıf olması nedeniyle KE/PPS kompozitlerinin mekanik özellikleri mükemmel değildir [24]. Bu yüzden daha yüksek dayanımlı bir kompozit elde edebilmek için elyaf-matris arayüzey bağlanmasının iyileştirilmesi önemli bir gereksinimdir.

Arayüzey bağlanmasını artırmak için elyafa veya matrise uygulanan çeşitli yöntemler mevcuttur. Karbon elyaf yüzeyine uygulanan işlemler temelde ıslak kimyasal modifikasyon, kuru modifikasyon ve çok ölçekli modifikasyonlar olarak sınıflandırılır. 'Islak' yöntemler arasında polimer kaplama uygulamaları, asit ile kimyasal modifikasyon ve elektrokimyasal modifikasyon bulunur. 'Kuru' yöntemler yüksek enerjili ışınlama, plazma ve ısı işlemleri içerir. 'Çok ölçekli modifikasyon' ise, elektroforetik biriktirme (electrophoretic deposition, EPD), kimyasal buhar birikimi (chemical vapor deposition, CVD) ve daldırma gibi yöntemler kullanılarak KE yüzeyinin nano parçacıklar, karbon nano tüpler ve grafen ile kaplanmasını içerir. Bu yöntemlerin birçoğu, elyaf yüzeyini fonksiyonelleştirir ve yüzey enerjisini artırır. Diğer yandan bahsedilen yöntemlerin yüksek maliyet, yüksek enerji tüketimi ve tek lif mukavemetinde düşüşe sebep olma gibi eksiklikleri de vardır [3,25].

Islak kimyasal yöntemlerden birisi olan ön kaplama (sizing) işlemi, çeşitli malzemelerin üretimi sırasında elyafın korunması için yüzeyine organik bir film uygulanmasıdır (Şekil 1.4). Kaplama malzemesi miktarı, elyafın türüne ve uygulama alanına bağlı olarak ağırlıkça % 0,5-1,5 olabilir [21]. Kaplama malzemesi, elyafı hasardan korur, sağlamlaştırır ve kompozit uygulamalarında kullanımında işlenebilirliği ve elyaf-matris arayüzeyini geliştirir. Etkin bir arayüzey bağlanmasının sağlanabilmesi için uygulanacak ön kaplama malzemesi matrisle uyumlu olacak şekilde belirlenmelidir [3].



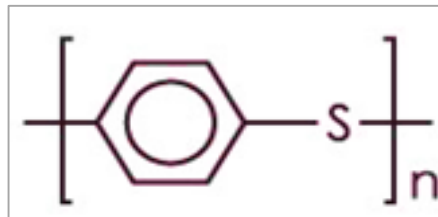
Şekil 1.4. Elyaf yüzey kaplaması [3]

Matris modifikasyonu ise elyaf-matris arayüzey bağlanmasının, dolayısıyla kompozit mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılan bir diğer yöntemdir [23,24]. Bu yöntemde matris ve elyaf yüzeyi ile kimyasal olarak benzer olan ve bağ yapabilecek uyumlaştırıcı kimyasal maddeler kullanılır. Bu maddelerin bir ucu polimere diğer ucu elyaf yüzeyine bağlanarak elyaf-matris arasında kimyasal bir köprü oluşturur ve böylece arayüzey bağlanmasının iyileşmesine yardımcı olur [23,26]. Matris modifikasyonu diğer yöntemlere göre düşük maliyetli, basit, güvenilir, etkin ve büyük ölçekli endüstriyel bir yöntemdir [23,24,27].

### 1.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

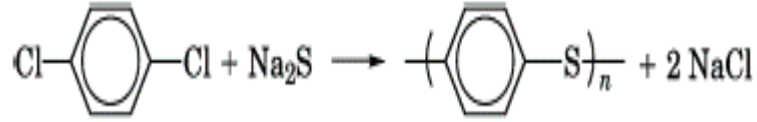
#### 1.3.1. Poli(fenilen sülfid) (PPS)

Poli(fenilen sülfid) (PPS), poli(tiyofenilen) veya poli(tiyo-1,4-fenilen), yapısında para-fenilen aromatik halkası ve sülfid bağları içeren yarı kristalin bir polimerdir. Kimyasal yapısı Şekil 1.5'te gösterilmiştir [28].



Şekil 1.5. PPS'nin kimyasal yapısı

PPS üretimi ile ilgili ilk çalışmalar Friedel ve Crafts tarafından 1898 yılında raporlanmıştır. 1967 yılında ise Phillips Petroleum Company tarafından, PPS sentezi için p-diklorobenzen ve sodyum sülfid'in polar bir organik çözücünde yüksek sıcaklık ve basınçta polimerleştirilmesini içeren ticari bir süreç geliştirilmiştir (Şekil 1.6) [28].



Şekil 1.6. PPS'nin kondenzasyon tepkimesi

Tepkime sonucunda elde edilen PPS, yüksek çekme dayanımı ve modülü, boyutsal kararlılık gibi özellikleri ile karakterize edilen bir mühendislik polimeridir [29]. Erime noktası yaklaşık 285-290 °C olan PPS'nin ısıya karşı dayanımı oldukça yüksektir [28–31]. Ayrıca kimyasal direnci de yüksek olan PPS, 200 °C'nin altında birçok çözücü de çözünmez. Yanmaz, kendi kendini söndüren bir yapıda (LOI>45) olan PPS'nin nem absorpsiyonu düşük, dielektrik özellikleri iyidir. Tüm bu özellikleri sayesinde havacılık, otomotiv, elektronik gibi alanlarda geniş bir kullanım alanına sahip olan PPS polimeri reçine, film ya da kompozit yapılar olmak üzere çeşitli şekillerde kullanılabilir (Şekil 1.7). Fakat, bu özelliklerinin yanında PPS'nin darbe dayanımı ve sürtünme katsayısı istenen düzeyde değildir [7,28–30,32].



Şekil 1.7. PPS'nin kullanım alanları

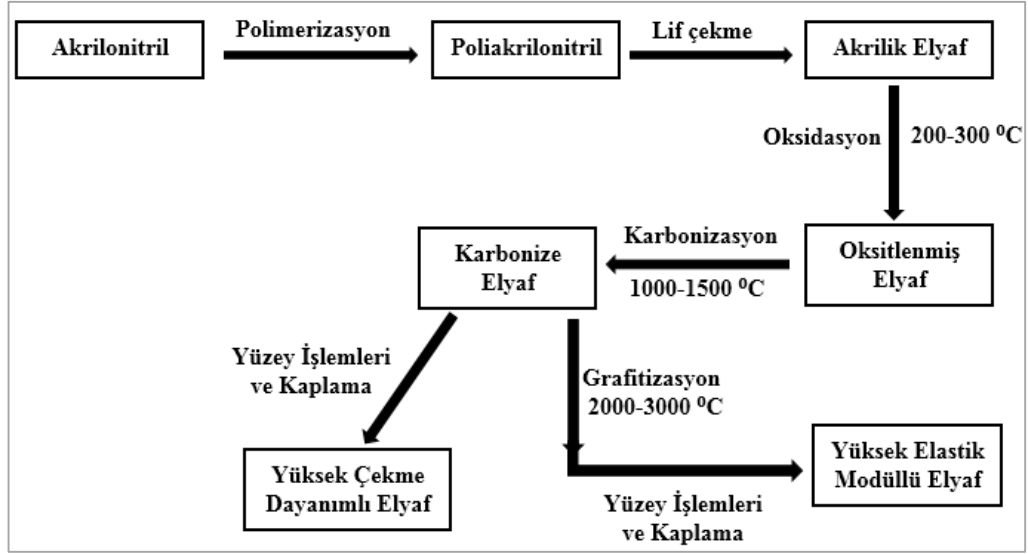
PPS'nin 200 °C'nin altında çözünmüyor oluşu molekül ağırlığı dağılımı, son grup türleri ve miktarı gibi özelliklerinin belirlenmesini zorlaştırır [33]. KE/PPS kompozitlerinde arayüzeyde iyi bir bağlanma sağlanabilmesi açısından PPS'nin son gruplarının bilinmesi önemlidir. Literatürde PPS zincirinde bulunan uç gruplar nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ile belirlenmiştir ve PPS'nin uç gruplarının -Cl ve tiol (-SH) olduğu raporlanmıştır [33,34].

### **1.3.2. Karbon elyaf (KE)**

Karbon elyaf, bileşiminde en az % 92 karbon ihtiva eden destek malzemesidir. 1960'lardan beri ticari olarak kullanılmakta olan KE, yüksek performanslı bir malzeme olarak dünya çapında ilgi çekmiştir. Yüksek çekme dayanımı ve sertlik, düşük yoğunluk, yüksek ısı kararlılık ve elverişli elektrik iletkenliği gibi mükemmel özelliklerinden dolayı havacılık, otomotiv ve spor endüstrilerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır [4]. KE üretildiği öncü maddelere göre; poliakrilonitril (PAN), rayon ve zift temelli olarak sınıflandırılabilir [35].

Son zamanlarda daha çok PAN ve zift temelli KE üretilmektedir. Zift temelli KE genellikle elyaf yönünde daha yüksek Young modülüne ve daha iyi ısı ve elektriksel iletkenliğe sahipken, PAN temelli KE daha yüksek bir çekme dayanımı sergiler. Fakat genel olarak, zift temelli KE'nin özellikleri PAN temelli olana göre daha düşüktür. Çünkü zift temelli elyaf, özel olarak yüksek sıcaklıklarda piroliz işleminden geçirilmediğinde izotropik bir yapıya sahiptir. Bu işlem elyafa mükemmel özellikler kazandırsa da oldukça pahalıdır [4,35].

PAN temelli KE üretimi akrilonitrilin polimerleştirilmesi, lif haline getirilmesi, oksidasyon, karbonizasyon ve grafitleştirme adımlarını içerir [4]. KE üretim basamakları Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



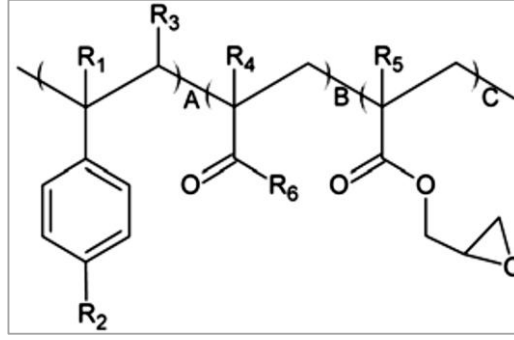
Şekil 1.8. PAN temelli KE üretim prosesi [4]

Polimerizasyondan sonra ıslak, yağ veya eriyikten çekme gibi lif çekme yöntemleri ile akrilik liflerin hazırlanmasının ardından oksidasyon aşamasına geçilir. Oksidasyon adımında PAN elyafı çapraz bağlanarak termoplastik yapıdan termoset hale geçer. Böylece elyafın sıcaklık dayanımı artırılmış olur. İnert bir ortamda gerçekleştirilen karbonizasyon işleminde karbon olmayan tüm bileşimler yapıdan atılır ve tam karbonlaşma sağlanır. Karbonizasyon ve grafitizasyonun ardından, elyaf yüzeyini fonksiyonelleştirmek için yüzey işlemesi yapılır [4,15].

### 1.3.3. Uyumlaştırıcılar

#### 1.3.3.1. Joncryl

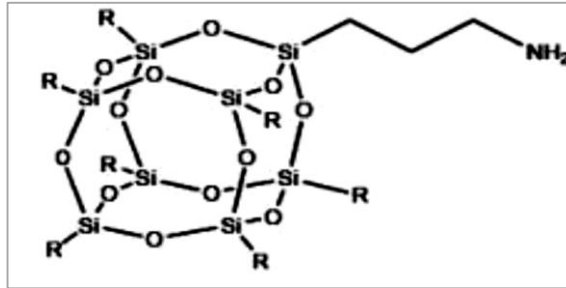
Joncryl, yüksek miktarda epoksi fonksiyonel grubu içeren çok yönlü oligomerik bir zincir uzatıcı/uyumlaştırıcıdır. İçeriğindeki fonksiyonel grupları sayesinde polikondenzasyon ile üretilen termoplastiklerle tepkime verebilir. Isıl kararlılığı yüksek (320 °C) olan Joncryl, ekstrüzyon prosesi için uygundur. Joncryl'in kimyasal yapısı Şekil 1.9'da gösterilmiştir. Yapıda R<sub>1</sub>-R<sub>5</sub> hidrojen (H), metil (CH<sub>3</sub>), alkil grupları ya da tümünü içeren grupları ifade ederken R<sub>6</sub> bir alkil grubu ifade eder. Ayrıca A ve B indisleri 1-20 aralığında C indisi ise 1-12 aralığında bir değer alabilir [36-38].



Şekil 1.9. Joncryl'in kimyasal yapısı [37]

### 1.3.3.2. Aminopropil izobütil POSS (APOSS)

Yapısal olarak kafes şeklinde moleküller olan polihedral oligomerik silseskuiookzan (POSS)'ların ampirik formülü  $(\text{RSiO}_{1.5})_n$ 'dir. POSS'lar reaktif ve/veya reaktif olmayan organik yan gruplara sahiptirler. Organik yan gruplar, POSS ve polimerler arasındaki uyumluluğu kontrol eder. APOSS'un kimyasal yapısı Şekil 1.10'da verilmiştir. Yapıda ki R, i-bütil grubunu göstermektedir. Ayrıca aminopropil grubunda primer bir aminin ( $\text{NH}_2$ ) varlığının POSS'un diğer maddeler ile etkileşimine katkı sağlayacağı düşünülebilir[39,40].

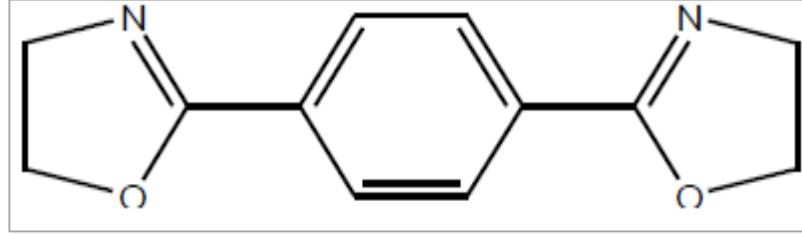


Şekil 1.10. APOSS'un kimyasal yapısı [40]

### 1.3.3.3. 1,4 fenilen bis(2-oksazolin) (PBO)

Uzun süredir bilinen 2-oksazolinler,  $-\text{N}=\text{C}-\text{O}-$  dizisini içeren basit siklik imino eterlerdir. Tüm siklik imino eter türleri, yüksek reaktiviteleri sebebiyle birçok kullanım alanına sahiptirler. Örneğin, organik asitler, fenoller, tioller veya anilinler ile tepkimeye giren bir tepkime maddesi olarak kullanılabilirler [41]. Ayrıca PBO, polikondenzasyon ile üretilen termoplastikler için etkin bir zincir uzatıcı ve reaktif bir uyumlaştırıcıdır.

Bu işlevlerini yukarıda belirtilen fenol, tiol gibi grupların yanında polimerin amin ya da karboksilik asit uç gruplarını bağlayarak gerçekleştirir [38,42]. PBO'nun kimyasal yapısı Şekil 1.11'de gösterilmiştir.



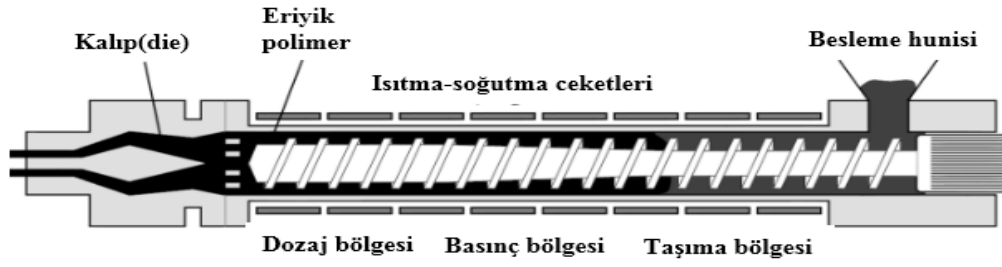
Şekil 1.11. PBO'nun kimyasal yapısı [41]

#### 1.4. Çalışmada Kullanılan Kompozit Üretim Teknikleri

##### 1.4.1. Ekstrüzyon İşlemi

Ekstrüzyon, ekstruder adı verilen bir cihazda sıcaklık, basınç, karıştırma ve besleme hızı gibi belirli süreç koşulları altında katı haldeki polimerleri bir kafadan (die) geçirerek ürün üretilmesi işlemidir. Genel anlamda toz veya granül halindeki polimerleri eritmek ve polimer harmanları hazırlamak için kullanılır [43,44]. Sürekli bir süreç olan ekstrüzyon plastik ambalaj, boru, levha ve elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin üretiminde sıklıkla kullanılır [43].

Polimerlerin eritilmesi ve pompalanması için kullanılan ekstruder, metalik bir kovan içerisinde dönen vida veya vidalardan oluşan bir cihazdır [45]. Polimer endüstrisinde kullanılan ekstruderler vidalı, pistonlu, spiral diskli gibi birçok farklı tasarıma sahiptir. Bunların arasında vidalı ekstruderler en çok kullanılan türdür ve tek vidalı veya çift vidalı olabilirler. Vidalı bir ekstruderin genel görünümü Şekil 1.12'de verilmiştir. Bu tip ekstruderlerde vida en önemli kısımdır. Çünkü taşıma, eritme, karıştırma gibi işlemler burada gerçekleşir. Vidalı ekstruderlerin temel işlevi oldukça basittir. Öncelikle besleme haznesine giren malzeme vidaların bulunduğu kovan kısmına geçer. Malzeme bu bölümde vida yardımıyla kovan boyunca taşınarak hareket ettirilir. Aynı zamanda kovan etrafında bulunan ısıtıcı ekipmanlar sayesinde polimerin erimesi sağlanır. Ardından eriyik haldeki polimer kalıba yönlendirilir [43–46].

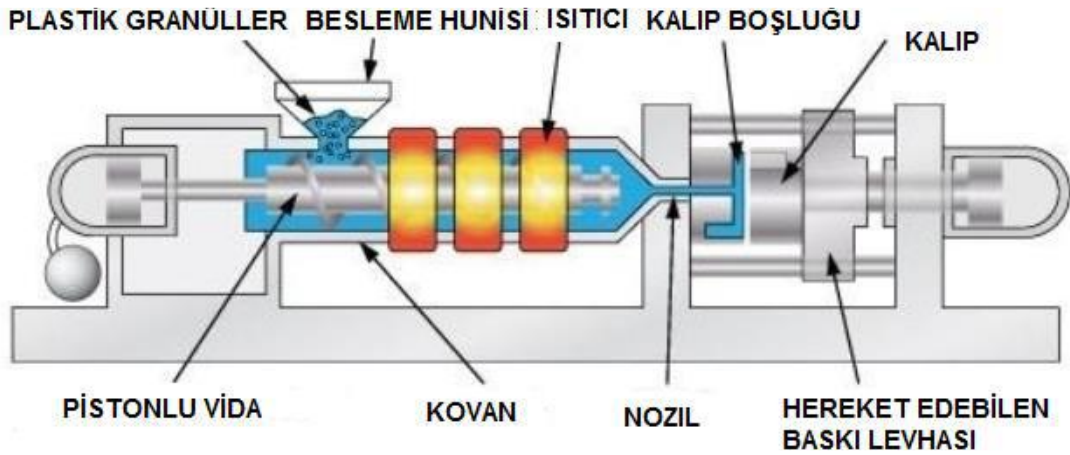


Şekil 1.12. Vidalı ekstruderin genel görünümü [46]

#### 1.4.2. Enjeksiyonlu kalıplama

Enjeksiyonlu kalıplama, yüksek basınç koşullarında, çoğu termoplastik, bazı termoset ve bazı elastomerler de dahil olmak üzere, ısı ile yumuşatılmış malzemeleri kalıplama için en sık kullanılan işleme yöntemlerinden biridir. Plastik sektöründe genellikle farklı boyut ve şekillerde nesnelere üretmek için kullanılır.

Enjeksiyon makinaları, enjeksiyon ünitesi ve sıkıştırma ünitesi olmak üzere iki kısımdan oluşur (Şekil 1.13). Enjeksiyon ünitesi, malzemenin kovan içine beslendiği bir besleme hunisi ve erimenin gerçekleştiği vidalı ekstruder kısmından oluşur. Sıkıştırma ünitesi ise kalıbın ve bunun açılıp kapanmasını sağlayan bir pistonun olduğu kısımdır. Enjeksiyon ünitesinde sıcaklık ve basınç yardımıyla eriyik hale getirilen malzeme ileri geri hareket ederek, piston görevi gören vidalar yardımıyla sıkıştırma ünitesine enjekte edilir. Eriyik ile dolan kalıp kapanır ve malzeme katılaşmaya kadar beklenir. Ardından kalıp açılır ve şekli verilen ürün kalıptan çıkarılır [43,46].



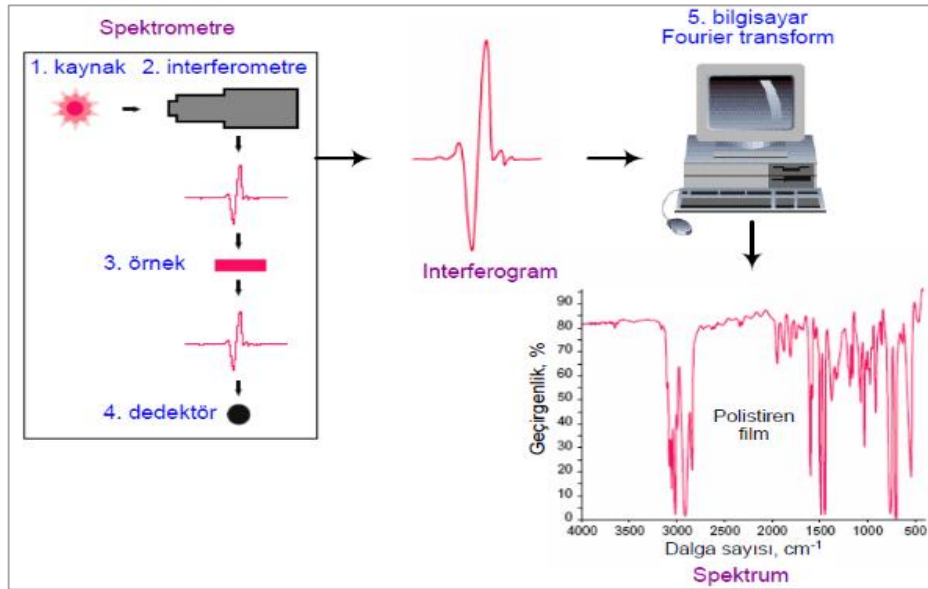
Şekil 1.13. Enjeksiyonlu kalıplama makinesinin genel görünümü [47]

## 1.5. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

### 1.5.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Kızılötesi spektroskopisi (IR), bir molekülün atomlarının titreşimlerine dayanan ve yapısal analizlerde kullanılan bir tekniktir. Bu analiz ile moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak, malzemenin yapısındaki fonksiyonel gruplar ve bunların konsantrasyonları, yapının aromatik veya alifatik oluşu gibi özellikler belirlenebilir. Günümüzde kullanılan çeşitli IR spektrometreler vardır. Ancak bunların arasında en sık kullanılanı Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisidir (FTIR) [48,49].

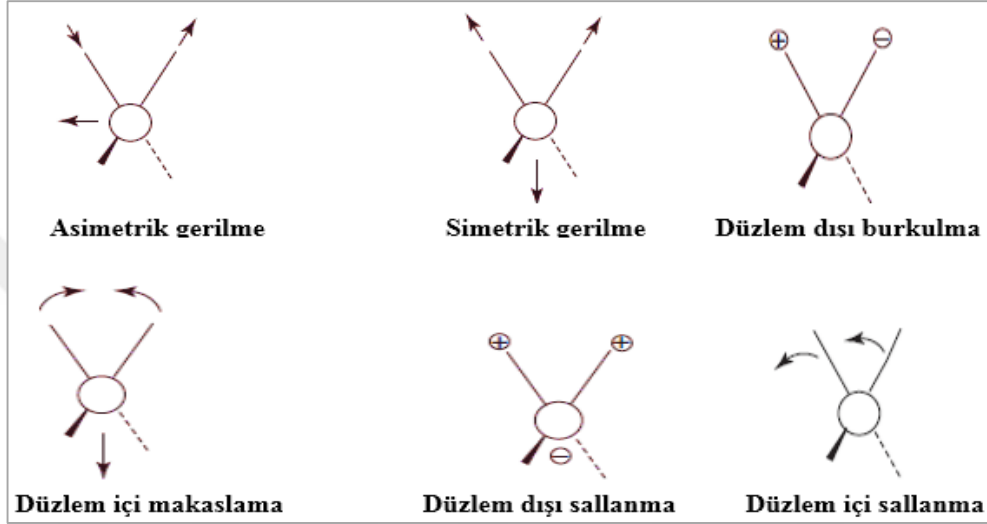
FTIR'ın temel prensibi, analiz edilen maddenin kızılötesi ışınlarına maruz bırakılması sonucu, molekül veya atomların bağlarında meydana gelen değişikliklerin ve hareketlerin saptanmasıdır [49]. FTIR cihazının çalışma prensibi Şekil 1.14'de gösterilmiştir. FTIR analizinde, kaynaktan elde edilen ışın demeti spektral kodlamanın yapıldığı interferometre vasıtası ile örnek üzerine aktarılır. Işın demeti örneğin özelliğine göre yansıtılır veya absorblanır. Örnekten geçen ışın demeti detektöre ulaşır ve sinyaller ölçülür. Ölçülen sinyaller sayısallaştırılarak bilgisayara gönderilir [50].



Şekil 1.14. FTIR'ın çalışma prensibi [50]

Bir spektrumda gözlenen sinyal ve pikler molekülün yapısına bağlı olan spesifik frekansta numunenin absorbe ettiği enerjiye karşılık gelir. Bir sinyali saptamak için, ışınlama sırasında moleküller elektrik dipollerini değiştirmelidirler.

Bu da atomlar ve kimyasal bağlar arasındaki spesifik hareketlerin üretilmesi anlamına gelir. Titreşim olarak adlandırılan bu hareketler bağ uzunluğunda (gerilme) veya bağ açısında (eğilme) olan değişiklikleri içerir. Gerilme titreşimleri asimetrik veya simetrik olabilirken; eğilme titreşimleri makaslama (scissoring), düzlem içi sallanma (rocking), burkulma (twisting) gibi çeşitli şekillerde olabilmektedir. Bu titreşimler Şekil 1.15'te verilmiştir [49].

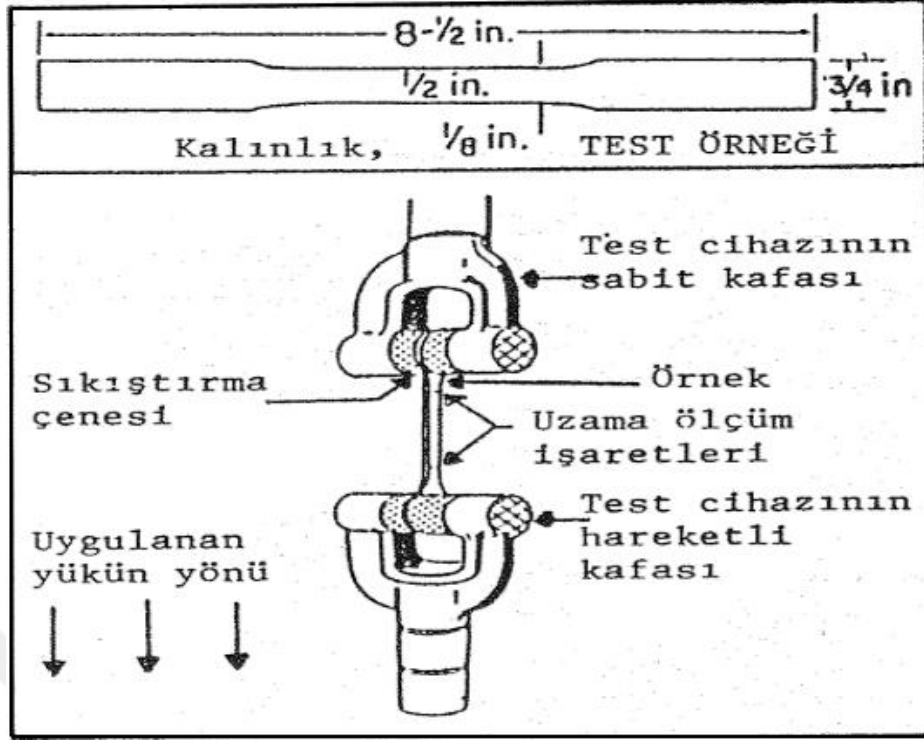


Şekil 1.15. Kimyasal bağların hareketleri [49]

### 1.5.2. Çekme testi

Polimerik malzemelerin basınç, gerilme, titreşim veya çekme gibi her türlü dış kuvvete maruz kaldığı günlük kullanımlarda, mekanik özelliklerin en önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Bu malzemelerin mekanik performanslarını belirlemek için çeşitli testler mevcuttur. Bu testlerin birçoğu standartlaştırılmıştır [49]. Çekme testi bunların en önemlilerinden biridir. Bu testin amacı malzemenin uygulanan yük karşısında gösterdiği elastik ve plastik davranışını belirlemektir [38].

Çekme test cihazının temel bileşenleri Şekil 1.16'da gösterilmiştir. Şekilde 1.16'da verilen test örneğinin şekli ve boyutları, kullanılan malzemenin türüne ve kullanılan standarda göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca çenelerde de farklı dizaynlar uygulanabilmekte ve hareketli çenenin yeri değiştirilebilmektedir [51].

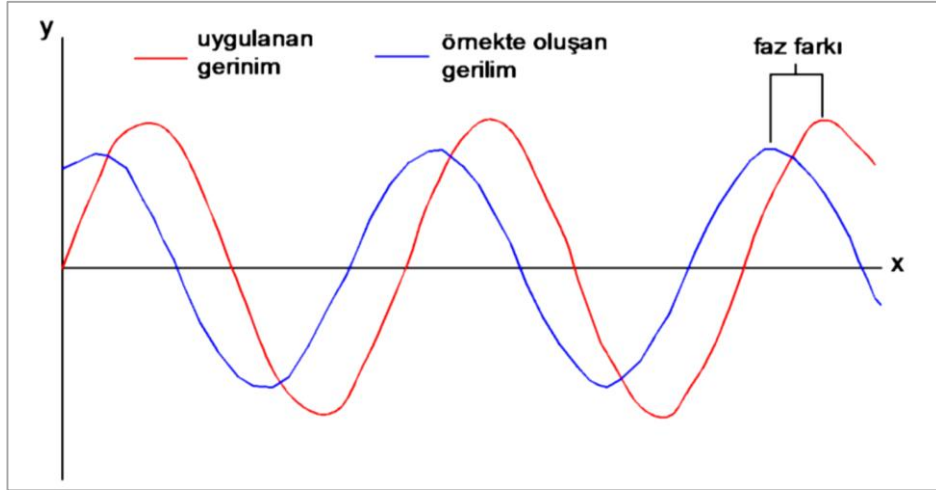


Şekil 1.16. Çekme cihazı bileşenleri

Çekme testinde örnek cihazın iki çenesi arasına yerleştirilir ve çenelerin birbirinden sabit hızla uzaklaştırılması yoluyla, örneğe çekme kuvveti uygulanır ve örnek gerdirilir. Aynı anda bu kuvvete karşılık gelen uzama değerleri kaydedilir [51]. Uygulanan çekme testi sonucunda, malzemenin çekme dayanımı, kopma uzaması ve elastik modülü belirlenebilir.

### 1.5.3. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Dinamik mekanik analiz (DMA), sinüsoidal bir titreşim ve deformasyona maruz kalan bir malzemenin, bu duruma verdiği yanıtın ölçüldüğü bir tekniktir. Test esnasında örneğe bir gerinim uygulanır ve numune tarafından buna yanıt olarak verilen gerilim ölçülür. Şekil 1.17’de görüldüğü gibi malzemenin uygulanan kuvvete verdiği yanıtın gecikmesi sonucu oluşan faz farkından faz açısı  $\delta$  belirlenir [52].

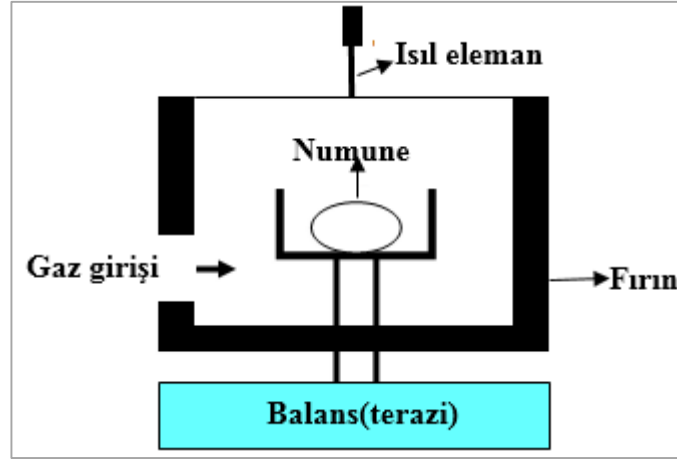


Şekil 1.17. DMA’da malzemeye uygulanan gerilim ve malzemede oluşan gerilim eğrileri [38]

Polimerik malzemeler viskoelastik yapıdadırlar, yani mekanik özellikleri zamana, frekansa ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir. DMA polimerlerin viskoelastik özelliklerini belirlemek için önemli bir tekniktir. Bu viskoelastik özellikler, malzemenin depo (elastik) modülü ( $E'$ ), kayıp modülü ( $E''$ ) ve sönümlenme faktörü ( $\tan \delta$ ) gibi değerlerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ile belirlenir [2,52]. Depo modülü malzemenin elastik davranışını gösterirken, kayıp modülü viskoz davranışının bir ölçüsüdür. Enerji dağılımının bir ölçüsü olan  $\tan \delta$  değeri ise kayıp modülünün depo modülüne oranı sonucu elde edilir.  $\tan \delta$  eğrileri, malzemenin camı geçiş sıcaklığı ve elyaf takviyeli kompozitlerde arayüzey bağlanması hakkında bilgi verir. Bu eğrilerde pik yüksekliğinin düşük olması iyi bir arayüzey bağlanmasını işaret eder. Elyaf ile matris arasında iyi bir bağlanma olduğunda moleküler aktivite düşerek sabit bir ara faz oluşur. Bu durumda da enerji dağılımı daha az olacağından  $\tan \delta$  pik yüksekliği düşer [23,53].

#### 1.5.4. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), çok çeşitli malzemeleri karakterize etmek için kullanılan ısıl analiz yöntemlerinden biridir. TGA cihazının temel bileşenleri Şekil 1.18’de gösterilmiştir. Alüminyum bir kroze içindeki numune, cihazın hassas terazine yerleştirilir ve istenilen sıcaklık aralığında analiz gerçekleştirilir.



Şekil 1.18. TGA cihazının şematik görünümü

TGA, kontrollü bir atmosferde ve kontrollü bir ısıtma hızında tutulan bir malzemenin kütlesinin sıcaklık veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü bir tekniktir. Ticari TGA'lar için sıcaklık aralıkları, genellikle ortam sıcaklığından 1000 °C'ye kadar veya daha fazla olup, bu da polimer uygulamaları için yeterli bir üst sınırdır. Ölçüm sırasında polimerler genelde kütle kaybı gösterirler. Ancak zaman zaman, oksitleyici bir atmosferdeki yavaş ısıtma hızlarında, bozunmadan önce kütle artışı da gözlemlenebilir [54,55].

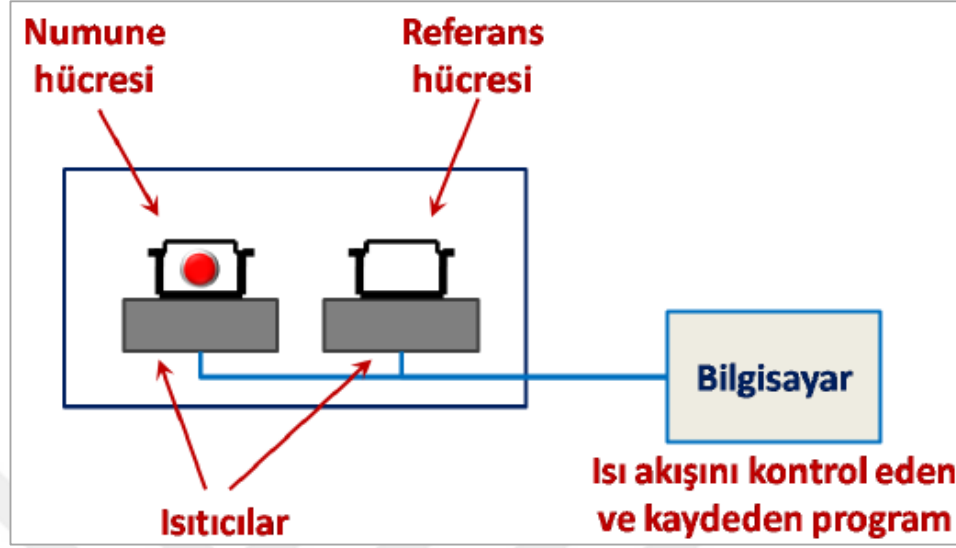
TGA ile malzemenin ısıl ve oksidatif kararlılığı, nem ve uçucu madde içeriği, çok bileşenli malzemelerin veya harmanların bileşen analizi ve ayrışma kinetiği ile ilgili bilgiler elde edilebilir [55].

### 1.5.5. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), en çok kullanılan ısıl analiz tekniği ve enstrümanıdır. DSC temelde, kontrollü bir sıcaklığa tabi tutulan numunenin ve referansın ısı akış hızı farkının sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmesi tekniğidir [54]. Numunenin ısıtılması, soğutulması esnasındaki soğurulan veya salıverilen enerji miktarı ölçülür [56].

Şekil 1.19'da görüldüğü gibi, bir DSC hücresi iki farklı kalorimetreden oluşur. Bunlardan birine referansı diğerine ise numuneyi içeren kroze (pan) yerleştirilir. Ölçüm boyunca referans ve numunenin sıcaklıkları eşit tutulur.

Örnek ile referans arasında sıcaklık farkı saptandığında örneğe verilen ısı miktarı değiştirilir ve böylece faz geçişleri sırasındaki ısı transfer miktarı belirlenir.



Şekil 1.19. DSC'nin şematik gösterimi [56]

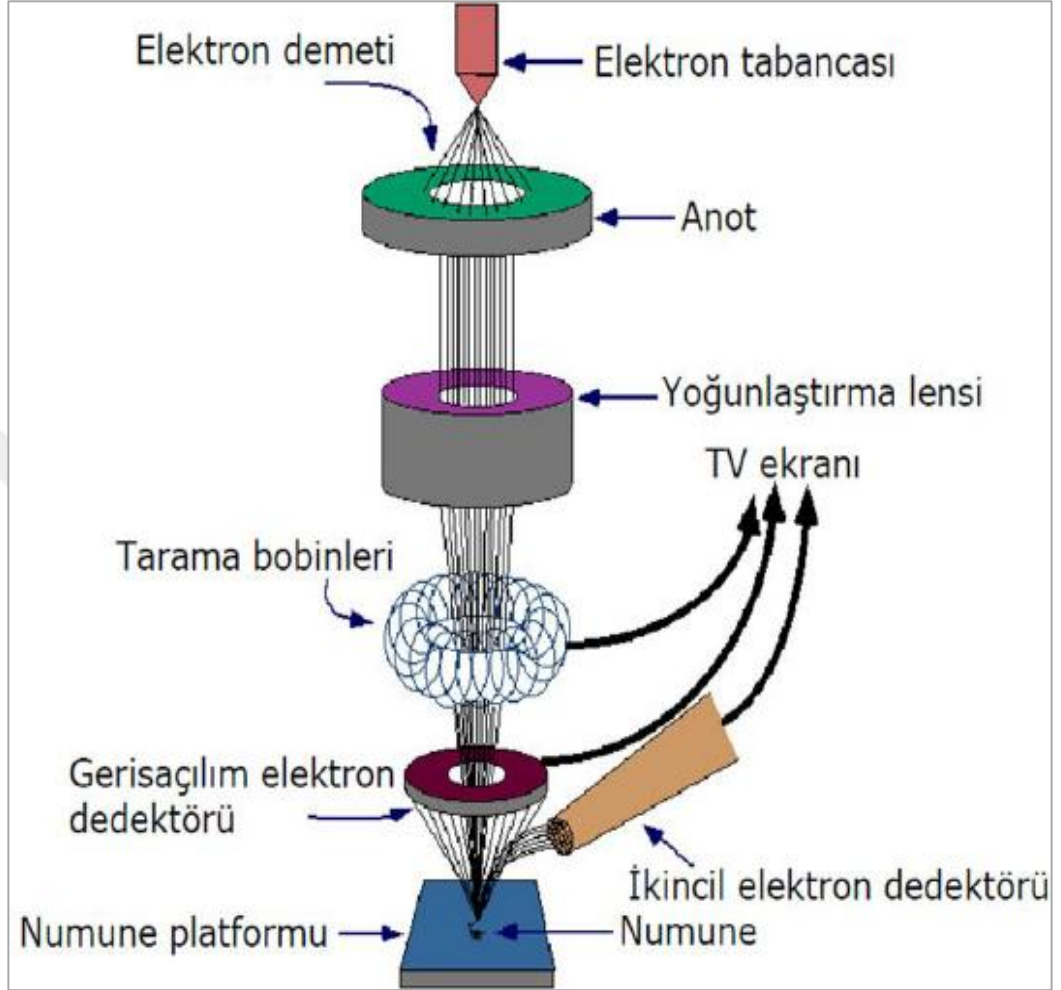
Bir polimeri düşük sıcaklıklardan itibaren ısıtmaya başladığımızda, sahip olduğu morfolojiye (kristalin ve amorf özellikler) bağlı olarak değişik ısıl geçişler gözlenebilir. DSC analizi ile polimerik malzemenin camsı geçiş, erime, kristalizasyon sıcaklıkları ve entalpi değişimleri belirlenebilir [54,56].

### 1.5.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile malzemenin yüksek çözünürlüklü bir görüntüsünün alınabildiği elektron mikroskobu türüdür. Temel prensibi, numunenin kilovolt enerjili odaklanmış bir elektron demeti ile taranması ve ışın ile numune arasındaki etkileşimlerin elektronik olarak algılanıp güçlendirilmiş sinyaller oluşturulmasına dayanır [57,58].

SEM'in pek çok avantajından biri, birincil ışının numune ile etkileşiminin bir takım farklı sinyaller oluşturabilmesidir. Bu sinyallerden bazıları numune hakkında kimyasal bilgi sağlamaya da elverişlidir. Topografik (görüntü) kontrast mekanizmaları SEM'in temel görüntüleme süreçleridir ve örneklerin şekli, boyutu ve yüzey dokusu gibi yüksek kaliteli 3D ayrıntıları sağlar. Görüntüler ya numunenin yüzeyinden çok sığ (birkaç nanometre) kaçış derinliğine sahip ikincil elektronlar (SE) ya da numunede

daha derinde (çok nanometre) üretilen geri saçılan elektronlar (BSE) tarafından üretilir [59]. SEM'in genel şematik görünümü Şekil 1.20'de verilmiştir.



Şekil 1.20. SEM'in şematik görünümü [38]

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde yapılan tez çalışmasının amacına yönelik araştırılan bilimsel çalışmalar sunulmuştur. Literatürde, bu tez çalışmasının 1. bölümünde elyaf-matris arayüzey bağlanmasını iyileştirmek için kullanılan, elyaf yüzeyi ön kaplama yöntemi ile ilgili farklı matrisli çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, KE yüzeyine uyguladıkları ön kaplama ve elektrokimyasal oksidasyon işlemlerinin çekme özelliklerine, yüzey karakteristiğine ve epoksi matris ile bağlanmasına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elektrokimyasal oksidasyon işleminin tek karbon lifinin çekme dayanımını artırdığı, ön kaplama işleminin ise çekme dayanımını etkilemediğini görülmüştür. Ön kaplama ve oksidasyon işlemlerinin her ikisinin de KE'nin ıslanabilirliğini ve yüzey enerjilerini geliştirdiği bulunmuştur. Epoksi ile karbon lifi arasındaki arayüzey kayma dayanımının (IFSS) belirlenmesi için yapılan mikro damlacık testi (microbond test) sonucunda oksidasyon işleminin arayüzey kayma dayanımını, düşük mekanik kenetlenme sonucu fazla etkilemediği, kaplama işleminin ise elyaf ile matris arasında oluşan kimyasal bağlanmanın sonucu olarak önemli derecede artırdığı görülmüştür [60].

Yi ve arkadaşları, KE takviyeli termoplastik matrislerin arayüzey etkileşimlerinin zayıf olmasından yola çıkarak zift temelli KE takviyeli poliamid 6 kompozitleri hazırlamışlardır. Arayüzey bağlanmasını artırmak amacı ile KE yüzeyini fenolik reçine temelli iki farklı kaplama malzemesi ile kaplamışlardır. Karbon elyafın yüzey analizi için X-ışını fotoelektron spektroskopu (XPS), TGA ve dinamik temas açısı ölçüm metotlarını kullanmışlardır. Sonuçta, uygun bir kaplama malzemesinin arayüzey bağlanmasını iyileştirerek kompozitin mekanik özelliklerini artırabileceğini görmüşlerdir [61].

Yuan ve arkadaşları çalışmalarında, KE takviyeli epoksi kompozitlerinin arayüzey bağlanmasını artırmak amacı ile elyaf yüzeyini modifiye poliakrilat kaplama malzemesi ile kaplamışlar ve elyaf yüzey özelliklerini incelemişlerdir. Analizler sonucunda elyafın ıslanabilirlik özellikleri gelişirken, yüzey pürüzlülüğünün bir miktar azaldığını gözlemişlerdir. Tüm verileri değerlendirdiklerinde, modifiye poliakrilat kaplama malzemesinin KE-epoksi kompozitleri için uygun olduğu sonucuna varmışlardır [19].

Liu ve arkadaşları çalışmalarında, öncelikle KE yüzeyini çözeltiye daldırma yöntemi ile etilen metil akrilat-glisidil metakrilat (E-MA-GMA) terpolimer ile kaplamışlar ve bu durumu FTIR, TGA ve SEM analizleri ile teyit etmişlerdir. Ardından yüzeyi E-MA-GMA ile kaplanmış ve kaplanmamış KE ile polipropilen (PP) kompozitlerini ve maleik anhidrit aşılansız PP'in uyumlaştırıcı olarak kullanıldığı kompozitleri hazırlamışlardır. Yapılan XPS testi sonucunda KE yüzeyindeki oksijen içeren grupların, dolayısıyla KE'in reaktivitesinin arttığı bulunmuştur. Mekanik testler sonucunda kompozitlerin mekanik özelliklerinin KE yüzey kaplaması ile iyileştiğini ve bu durumun uyumlaştırıcının eklenmesi ile daha da arttığını gözlemlemişlerdir [62].

Bu tez çalışmasında elyaf-matris arayüzey bağlanmasını geliştirmek amacıyla kullanılan bir diğer yöntem de matris modifikasyonudur. Bu nedenle, PPS'den farklı matrisli elyaf takviyeli kompozitlerde uyumlaştırıcıların kullanıldığı çalışmalar araştırılmış ve bazıları aşağıda verilmiştir.

Kaynak ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, matris ve elyaf yüzey modifikasyonunun KE/epoksi kompozitleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla KE yüzeyi silan bağlanma ajanı, epoksi matris ise hidroksil grubu ile sonlandırılmış polibütadien ile modifiye edilmiş ve üretilen kompozitlerin özellikleri değerlendirilmiştir. Silan bağlanma ajanının kullanılması ile arayüzey bağlanmasını iyileştirdiği, mekanik özelliklerdeki artış ile gözlenmiştir. Matris modifikasyonunun ise özellikle, kompozitin tokluğunu artırdığı görülmüştür [63].

Li ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, aminlenmiş poli (ftalazinon eter keton) (PPEK-NH<sub>2</sub>) bileşiği farklı oranlarda amin içerek şekilde üretilmiş ve KE takviyeli kopoli(ftalazinon eter sülfon) (PPBES) kompozitleri için uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır.

Kompozitler çözelti emdirme ve basınçla kalıplama yöntemleri ile hazırlanmıştır. Yapılan testler sonucunda kompozitin mekanik özelliklerinde artış olduğu gözlenmiştir [23].

Bunlara ek olarak elyaf-matris arayüzey bağlanmasının geliştirilmesi için poli(hedral oligomerik silseskuiookzan) (POSS) nano parçacıklarının KE yüzeyine modifiye edilmesi [64,65] ve maleik anhidrit, bismaleimid, itakonik anhidrit, metakrilatlar gibi polar moleküller kullanılarak polimer modifikasyonu yöntemi [27,66,67] ile yapılan çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Bunun yanında, yine POSS bileşiklerinin yapısındaki fonksiyonel yan grupların polimerler ile uyumlaşma sağladığı raporlanmıştır [39].

Bu malzemelere ek olarak bifonksiyonel zincir uzatıcı kimyasalların da elyaf-matris uyumlaştırma işlemi için kullanılabilirliği mümkündür. Karşılıklı tarafından yapılan doktora tez çalışmasında, fenilendiizosiyanat (PDI), 1,4-fenilenbisoksazolin (PBO), Joncryl ve karbonil bis(1-kaprolaktam) (CBC) zincir uzatıcıları poliamid 6,6 ve poli(bütillen teraftalat) matrisleri için bağlanma ajanı olarak kullanılmıştır [38]. Ayrıca literatürde, bu bifonksiyonel kimyasalların polikondenzasyon polimerleri için etkin zincir uzatıcıları oldukları raporlanmıştır [42,68]. Fakat bu zincir uzatıcıların KE takviyeli PPS kompozitlerinde uyumlaştırıcı olarak kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Ayrıca literatürde, yapısında epoksi grupları içeren kimyasalların PPS için etkin bir zincir uzatıcı ve uyumlaştırıcı oldukları raporlanmıştır [69,70]. Bu tez çalışmasında uyumlaştırıcı olarak kullanılan Joncryl'in, yapısında epoksi fonksiyonel grupları içerdiğinden PPS kompoziti için iyi bir uyumlaştırıcı olabileceği düşünülmüştür.

Gui ve arkadaşları çalışmalarında, poli(fenilen sülfid) (PPS)/poliamid elastomer(PAe) karışımının reaktif uyumlaştırılması için ikili polimer karışımına epoksi(EP) ilave etmişlerdir. Üretilen PPS/PAe/EP üçlü sisteminin yapısını, özelliklerini ve reaktif uyumlaşma mekanizmasını FTIR analizi, reolojik ve mekanik testler ile incelemişlerdir. Uygulanan analizler sonucunda, epoksi içeren karışımın mekanik ve reolojik özelliklerinin epoksi içermeyen karışıma kıyasla büyük ölçüde iyileştiği gözlenmiştir. Epoksi ile polimerler arasında bir dizi tepkimelerin olduğu ve epoksinin uyumlaştırma görevini yerine getirdiği anlaşılmıştır [71].

Bu tez çalışmasında, KE takviyeli PPS kompozitleri hazırlandığından, literatürde KE yüzey işleminin KE/PPS kompozitlerinin özelliklerinin üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalar araştırılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Liu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, elyafa uygulanan tavlama ve atmosferik plazma işlemlerinin KE/PPS kompozitleri üzerindeki etkisi mikro damlacık testi ile incelenmiştir. Tavlama işleminin ara yüzey kayma dayanımını artırırken, plazma işleminin bu dayanımı düşürdüğü gözlemlenmiştir. Atmosferik plazma işlemi uygulanan KE'a yapılan SEM analizi sonuçları elyaf yüzey pürüzlülüğünün arttığını göstermiştir [72].

Ramanathan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek modüllü ve yüksek mukavemetli olmak üzere iki farklı KE kullanılmış ve bunlara tavlama, ısıl oksidasyon, asidik yüzey aktivasyonu, bazik yüzey aktivasyonu gibi işlemler uygulanarak toplamda altı farklı KE sistemi hazırlanmıştır. Tek lif çekme testinden (single-fiber pull-out test) yararlanılarak, elyaf yüzeyinin asidik-bazik karakterlerinin, PPS matris ile olan arayüzey kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda, uygulanan yüzey işlemlerinin dolayısıyla asidik-bazik karakterlerin kırılma davranışı üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür [73].

Xu ve arkadaşları çalışmalarında, elyaf-matris arayüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla KE yüzeyini bir kaplama malzemesi içinde çözdükleri grafen ile kaplamışlar ve PPS kompozitlerini hazırlamışlardır. Yapılan incelemeler, grafen kaplamasının elyaf yüzey pürüzlülüğünü ve kompozitin arayüzey çekme dayanımını artırdığını göstermiştir [74].

Literatürde, matris modifikasyonu ile elyaf takviyeli PPS kompozitlerinin özelliklerinin geliştirilmeye çalışıldığı sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar aşağıda paylaşılmıştır.

Zhang ve arkadaşları çalışmalarında, uyumlaştırıcı olarak kullanılan aminlenmiş poli(fenilen sülfid)'in (PPS-NH<sub>2</sub>) KE takviyeli PPS kompozitlerinin mekanik özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Kompozitler, eriyik harmanlama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile hazırlanmıştır.

Mekanik test, DMA, mikro damlacık testi ve SEM sonuçları PPS-NH<sub>2</sub> uyumlaştırıcısının KE ve PPS matrisinin makro-mekanik özelliklerini ve arayüzey bağlanmasını artırabildiğini göstermiştir [75].

Ren ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, üç farklı molekül ağırlığında hazırlanan PPS-NH<sub>2</sub> bileşiği cam elyaf takviyeli PPS kompoziti için uyumlaştırıcı olarak kullanılmıştır. PPS-NH<sub>2</sub> bileşiğinin saf PPS ile mükemmel bir fiziksel uyumu olduğu raporlanmıştır. DMA ve makro-mikro mekanik test sonuçlarının, kullanılan uyumlaştırıcı bileşiğin cam elyaf /PPS kompozitinin mekanik ve arayüzey özelliklerini geliştirdiği görülmüştür [76].

Ren ve arkadaşları bir diğer çalışmalarında, karboksil grubu içeren PPS (PPS-COOH) bileşiği üreterek bu bileşiği KE/PPS kompoziti için uyumlaştırıcı olarak kullanmışlardır. Yüksek basınç altında üretilen karboksil grubu içeren PPS kopolimeri incelendiğinde, hidrofilik özelliğinin arttığını ve saf PPS ile arasında iyi bir fiziksel uyum olduğunu görmüşlerdir. PPS-COOH bileşiği KE/PPS kompozitine eklendiğinde, ara yüzey kayma gerilimi % 36 oranında artırılmıştır [77].

Yapılan literatür araştırmasında, KE'nin PPS matrisi ile uyumunu artırmak için bu çalışmada tercih edilen poliamid, epoksi-fenoksi ve poliürethan kaplama malzemeleri ile kaplanmış KE kullanılarak KE/PPS kompozitlerinin üretildiği bir çalışma yoktur. Ayrıca Joncryl, PBO ve APOSS uyumlaştırıcıları kullanılarak KE/PPS kompozitlerinin üretildiği ve özelliklerinin karakterize edildiği bir çalışmaya da rastlanmamıştır.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Malzemeler

Tez çalışması kapsamında matris olarak kullanılan PPS, Fortron1200 L1 ticari adıyla Ticona firmasından temin edilmiştir. Takviye malzemesi olarak yüzeyi üç farklı ön kaplama malzemesi ile kaplanmış 0,6 cm boyundaki KE kullanılmıştır. Kullanılan KE çeşitleri AKSACA ticari adıyla DowAksa Türkiye'den temin edilmiştir. Kaplama malzemesi türleri poliüretan (PU), epoksi-fenoksi (EP) ve poliamid (PA) olarak seçilmiştir.

Elyaf-matris arayüzey uyumlaştırması için üç farklı uyumlaştırıcı kullanılmıştır. Joncryl (ADR 4300F) BASF firmasından, aminopropil isobütil POSS AMO265 adıyla Hybrid Plastic'ten, 1,4 fenilen bis(2-oksazolin) (PBO) ise Santa Cruz Biotechnology firmasından temin edilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında kullanılan tüm malzemeler ve özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler

Malzeme	Ticari Adı ve Firma	Özellikleri
PPS	TICONA Fortron 1200 L1	Pelet Yoğunluk: 1,35 g/cm <sup>3</sup> Isıl eğilme sıcaklığı: 115 °C Erime sıcaklığı: 280 °C
Karbon Elyaf	Dowaksa AKSACA	Elyaf çapı: 7 µ Elyaf boyu: 6 mm
APOSS	Hybrid Plastic AMO265	Molekül ağırlığı: 874,58 g.mol <sup>-1</sup> R grubu: izobütil T <sub>m</sub> : 270 °C
Joncryl	Joncryl® ADR-4300- BASF	Molekül ağırlığı: 5500 g.mol <sup>-1</sup> , Eşdeğer epoksi ağırlığı: 445 g.mol <sup>-1</sup> Verimlilik sıcaklık aralığı: 170-330 °C
PBO	Santa Cruz Biotechnology	Molekül formülü: C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Molekül ağırlığı: 216,24 g.mol <sup>-1</sup> T <sub>m</sub> : 246 °C

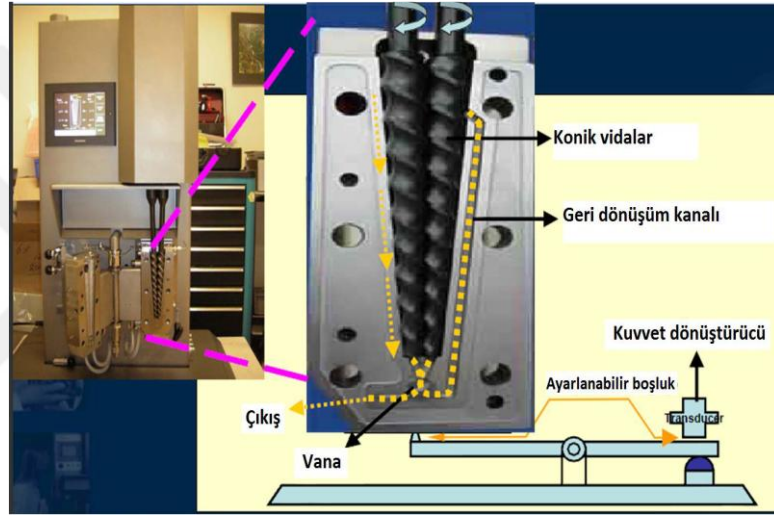
### 3.2. Yöntem

Yüksek lisans tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda yüzeyi poliüretan, epoksi-fenoksi ve poliamid ile ön kaplanmış KE takviyeli PPS kompozitleri hazırlanmış ve karakterizasyon testleri yapılmıştır. Bu kaplama malzemeleri arasında en düşük mekanik özellikleri veren PA kaplama malzemesi kaplanan KE olmuştur. Uyumlaştırıcı etkisini görebilmek adına PA-KE seçilerek, PA-KE'nin kullanıldığı kompozitin özelliklerinin iyileştirilebilmesi için ikinci bölüme geçilmiştir. İkinci bölümde PA-KE takviyeli PPS kompozitlerine Joncryl, PBO ve APOSS uyumlaştırıcıları farklı oranlarda ilave edilmiş ve üretilen uyumlaştırıcı kompozitlerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin bileşimleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Hazırlanan kompozitlerin bileşimleri

Numune Kodu	Bileşen	%Bileşim
PPS	PPS	100
PU-KE/PPS	PU-KE/PPS	10/90
EP-KE/PPS	EP-KE/PPS	10/90
PA-KE/PPS	PA-KE/PPS	10/90
0,5 Joncryl	PA-KE/PPS/Joncryl	KE10/PPS 89,5/Joncryl 0,5
1 Joncryl	PA-KE/PPS/Joncryl	KE10/PPS 89,0/Joncryl 1,0
1,5 Joncryl	PA-KE /PPS/Joncryl	KE10/PPS 88,5/Joncryl 1,5
0,5 PBO	PA-KE /PPS/PBO	KE10/PPS 89,5/PBO 0,5
1 PBO	PA-KE /PPS/PBO	KE10/PPS 89,0/PBO 1,0
1,5 PBO	PA-KE /PPS/PBO	KE10/PPS 88,5/PBO 1,5
0,5 APOSS	PA-KE /PPS/APOSS	KE10/PPS 89,5/APOSS 0,5
1 APOSS	PA-KE /PPS/APOSS	KE10/PPS 89,0/APOSS 1,0
1,5 APOSS	PA-KE /PPS/APOSS	KE10/PPS 88,5/APOSS 1,5

Kompozitlerin üretiminde, laboratuvar ölçekli çift vidalı Xplore marka bir mini-ekstruder (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Kovan hacmi 15 cm<sup>3</sup> olan ekstruder, hem kesikli hem de sürekli olarak işletilebilmektedir. Ekstrudere beslenen ham maddeler belirlenen sıcaklık ve vida hızında belirli süre karıştırıldıktan sonra bir vana yardımıyla kafa kısmına yönlendirilir. Çalışmada karıştırma hızı 100 rpm ve karıştırma sıcaklığı 320 °C olarak ön denemeler sonucu belirlenmiştir. Karıştırma süresi ise, 1 dakika besleme ve 3 dakika karıştırma olmak üzere toplam 4 dakika olarak belirlenmiştir. Kovan içinde polimerin karıştırılması esnasında termo-oksidatif bozunmayı en aza indirmek için ortama argon gazı beslenmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvar ölçekli mini-ekstruder [47]

Karışım süresi sonunda elde edilen eriyik, laboratuvar ölçekli Xplore marka enjeksiyon makinesinin (Şekil 3.2) 320 °C olan haznesine aktarılmış ardından 80 °C olan kalıba 10 bar basınç altında basılmıştır. Elde edilen papyon numuneleri kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 3.2. Laboratuvar ölçekli enjeksiyon cihazı

### 3.3. Karakterizasyon

#### 3.3.1. Elyaf boyu dağılımı analizi

Üretilen KE/PPS kompozitlerinde elyaf boyu dağılımı analizinin yapılabilmesi için öncelikle krozelere bir miktar numune konularak kül fırınında 650 °C’de 1 saat bekletilerek numuneler yakılmıştır. Yakmanın ardından krozelerde kalan numuneler cam lamelerde dağıtılarak James Swift-England markalı optik mikroskop cihazı ile incelenmişlerdir. İnceleme sırasında yaklaşık 450 lifin boyu ölçülmüştür. Optik mikroskoptan alınan görüntüler bir görüntü analiz yazılımı olan Image J programı ile işlenmiş ve elyaf boyu dağılımı belirlenmiştir. Şekil 3.3’de kül fırınında yakıldıktan sonra kalan ve optik mikroskopta incelenen numuneler ve alınan görüntülerden örnek verilmiştir.



Şekil 3.3. (a) Kül fırınında yakıldıktan sonra kalan, (b) optik mikroskoptan alınan görüntülerden örnekler

#### 3.3.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

FTIR analizleri Perkin Elmer Spectrum 100 model infrared spektroskopisi (Şekil 3.4) ile yapılmıştır. Örnekler için 650-4000  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığının taranmasıyla spektrumlar elde edilmiş ve kimyasal etkileşimler incelenmiştir.



Şekil 3.4. Kullanılan FTIR cihazının genel görünümü

### 3.3.3. Çekme testi

Üretilen numunelerin çekme testleri ISO 527 standardına göre üniversal test cihazında (Şekil 3.5) 5 mm/dk çekme hızında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Her bir bileşim için 5 numune test edilip numunelerin çekme dayanımları, kopma uzamaları ve modül değerleri ortalama değer alınarak verilmiştir.



Şekil 3.5. Kullanılan çekme cihazının genel görünümü

### 3.3.4. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Numunelerin DMA testleri gerilim modunda Metravib DMA50 cihazı (Şekil 3.6) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler 25 °C'den 200 °C'ye 5 °C/dk ısıtma hızıyla,  $5 \times 10^{-6}$  m dinamik yer değiştirme ve 1 Hz frekansla kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda her bir örnek için, tan delta ( $\tan \delta$ ) ve depo modülü ( $E'$ ) değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Metravib DMA cihazı genel görünümü

### 3.3.5. Termogravimetrik analiz (TGA)

Kompozitlerin ısıl bozunma sıcaklıkları Metler Toledo TGA 1 cihazı (Şekil 3.7) kullanılarak belirlenmiştir. Analizler 25 °C ile 850 °C arasında 10 °C/dk ısıtma hızında, azot ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Mettler Toledo TGA 1 test cihazı

### 3.3.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre

Diferansiyel taramalı kalorimetre analizleri Mettler Toledo DSC 1 cihazı (Şekil 3.8) kullanılarak azot atmosferinde yapılmıştır. Örnekler 25 °C'den 300 °C'ye 10 °C/dk ısıtma hızı ile ısıtılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Cihaz verilerinden, her bir numune için erime noktası ( $T_m$ ), camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) ve entalpi ( $\Delta H$ ) değerleri belirlenirken, % kristalinite ( $\% X_c$ ) değeri hesaplanmıştır.



## **4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **4.1. Ön Kaplanmış KE/PPS Kompozitlerinin Karakterizasyon Sonuçları**

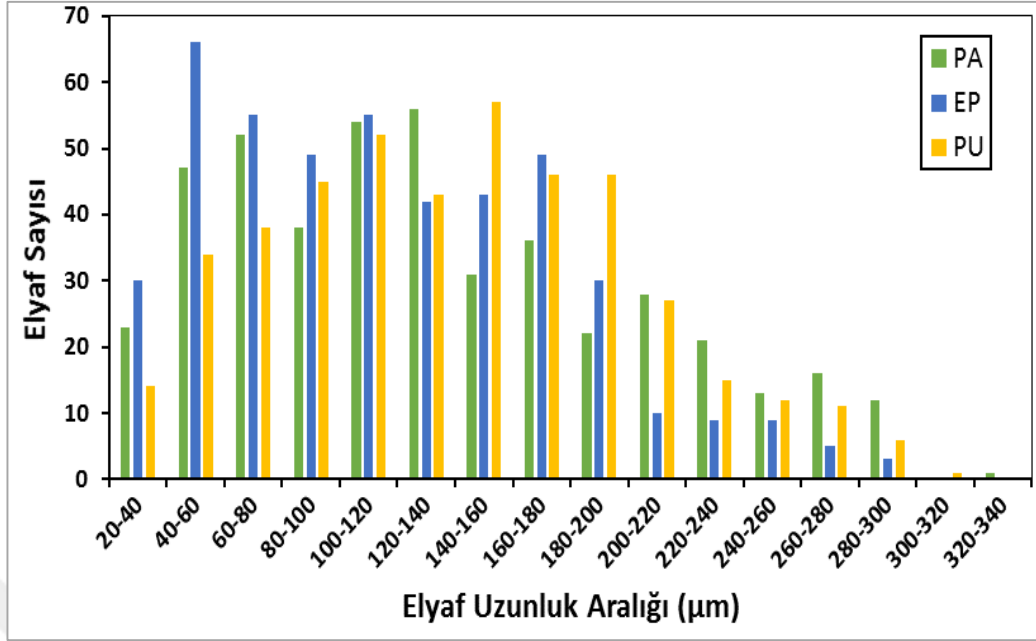
#### **4.1.1. Elyaf boyu dağılımı analizi**

Elyaf takviyeli kompozitlerde elyaf uzunluğu ve dağılımı malzemenin özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Karıştırma işlemi esnasında uygulanan kuvvet elyaf kırılmasına neden olup, kompozit malzemelerde geniş lif uzunluğu dağılımlarına neden olur [79,80].

Kompozitlerin çekme dayanımı esas olarak arayüzey bağlanması tarafından belirlenir. Elyaf-matris arasındaki arayüzey bağlanması kritik elyaf uzunluğundan etkilenmektedir. Elyaf uzunluğu kritik değerden daha kısa olursa lif, çekme kuvveti nedeniyle matristen sıyrılıp çekilir. Elyaf uzunluğu kritik değerden daha uzunsa, elyaf kırılır ve kompozitin dayanımı elyafın çekme dayanımı ile belirlenir [80].

KE takviyeli kompozitlerde, kompozitin mukavemeti ve sertliği elyaf boyu arttıkça artış göstermektedir. Kompozit içinde elyaf boyunun kısa olması daha fazla elyaf sonunun varlığını gösterir. Malzemeye uygulanan çekme gerilmesi sırasında elyaf sonlarında daha yüksek gerilme konsantrasyonu olur ve mikro çatlaklar bu noktalardan başlar. Elyaf boyunca ilerleyen çatlaklar kritik bir noktaya geldiğinde kompozitte kırılma gerçekleşir. Yani elyaf boyunun kısa olduğu durumda kompozitin mekanik özellikleri olumsuz etkilenir [81,82].

Üretilen kompozitlerin içindeki elyaf boyu dağılımını incelemek amacıyla tüm ön kaplama türleri için elyaf boyu dağılımı analizi yapılmıştır. Karıştırma öncesi tüm elyaf boyları eşit ve 6 mm'dir. Üretim sonrası elde edilen elyaf boyu dağılımı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Elyaf türlerinin KE/PPS kompoziti içindeki boyut dağılımı

Karıştırma işlemi sonrası tüm elyaf türlerinin boylarında elyaf-polimer, elyaf-elyaf ve elyaf-ekstruder duvarı arasındaki etkileşimlere [82] bağlı olarak genel bir azalma olmuştur. Tüm kaplama türleri için ortalama elyaf boyu yaklaşık olarak 110-140 µm aralığındadır ve ortalama elyaf boyu PU için 139 µm, PA için 133 µm ve EP için 116 µm'dir. Ayrıca, en fazla elyaf 100-120 µm boy aralığında görülmüştür.

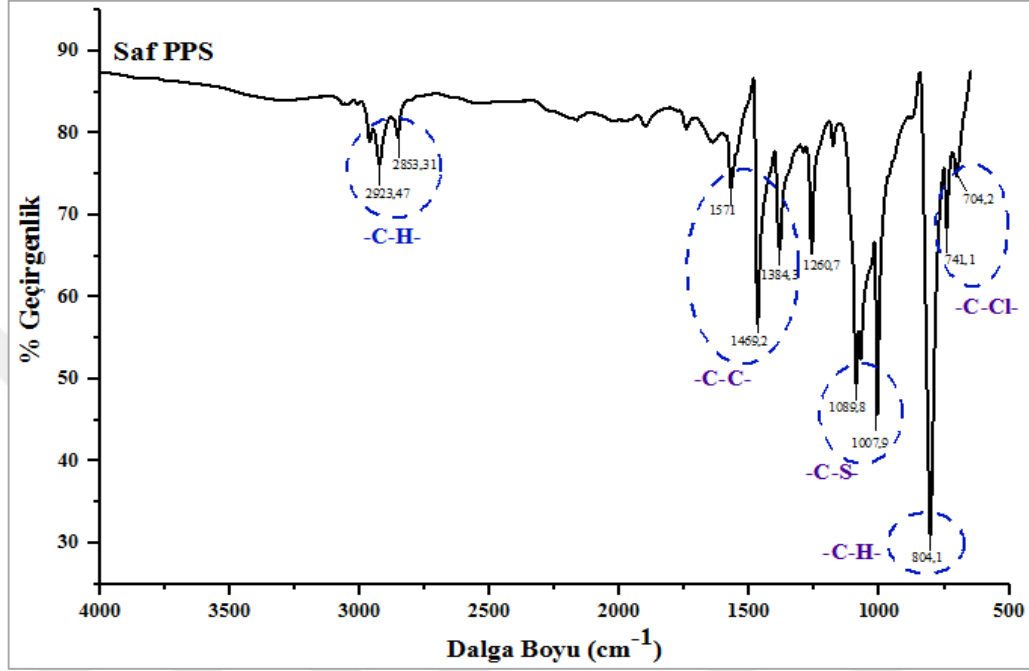
Şekil 4.1'den en kısa elyaf boyu aralığının 20-40 µm olduğu ve bu aralıkta en fazla epoksi-fenoksi (EP) kaplamalı elyafın bulunduğu görülmektedir. En uzun elyaf boyu aralığı ise 280-300 µm'dir ve bu aralıkta en çok PA kaplı elyaf gözlenmiştir. Grafiğe göre ekstrüzyon işleminden elyaf boyu açısından en çok etkilenen KE türü EP kaplamalı KE olarak belirlenmiştir.

#### 4.1.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR)

Tez çalışmasında kullanılan farklı ön kaplama malzemeleri ile kaplanmış tüm KE çeşitlerinin yüzey analizleri FTIR kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elyaf yüzeyinin kimyasal yapısının belirlenmesine çalışılmıştır. Ayrıca saf PPS matrisinin de kimyasal yapısı incelenmiştir.

Şekil 4.2'de PPS'nin FTIR spektrumu ayrıntılı olarak verilmiştir. 804 cm<sup>-1</sup>'de görülen absorpsiyon bandı 1,4 fenilen yapısının karakteristik düzlem dışı C-H gerilmesinden

kaynaklanmaktadır [83,84]. 1384,1469 ve 1571  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen pikler ise benzen halkasının iskelet yapısındaki C-C gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [85]. 1007 ve 1089  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında ise benzene halkasının C-S gerilmesinden kaynaklanan PPS'nin karakteristik pikleri görülmektedir [85,86].



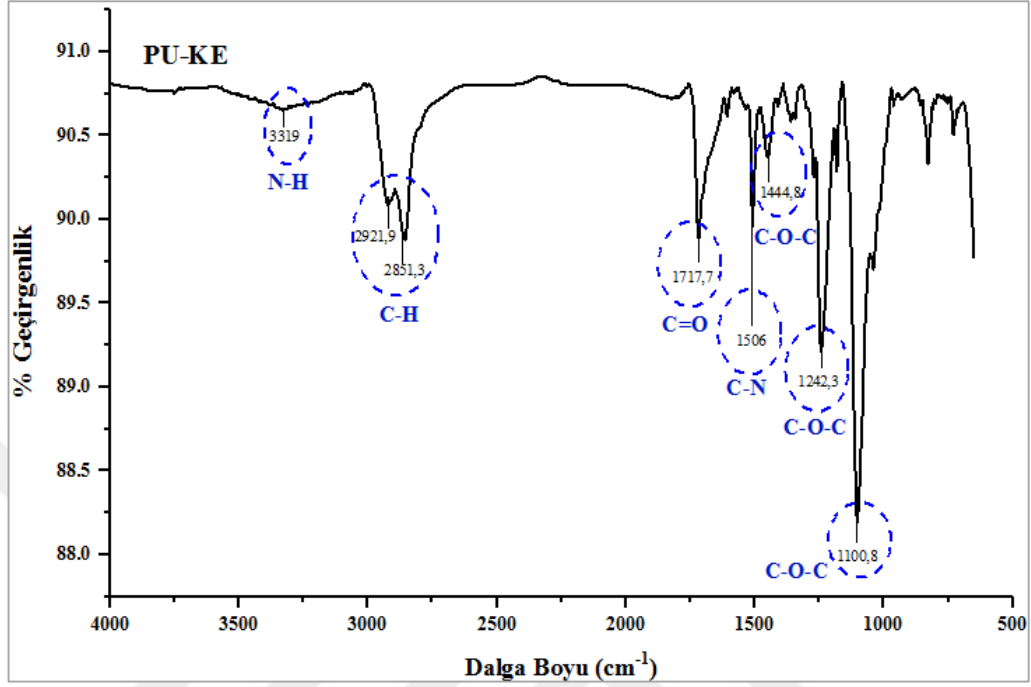
Şekil 4.2. PPS matrisinin FTIR spektrumu

PPS üretiminde birçok farklı ham madde ve çözücü kullanıldığı için zincirindeki reaktif son grupların FTIR ile belirlenmesi problem oluşturmaktadır. Literatürde PPS zincirde -Cl ve -SH gibi çeşitli son grupların varlığından bahsedilmektedir. Bunun dışında polar bir çözücü olan n-metil pirrolidon içinde gerçekleşen PPS polimerizasyonu sırasında da n-alkil amino ve amino grubu gibi fonksiyonel gruplar oluşabilmektedir [33,34,87,88]. Şekil 4.2'de 741 ve 704  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında görülen absorpsiyon bantları C-Cl gerilme titreşimine yorumlanabilir [89,90]. Ancak, 2500  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda beklenen -SH piki görülmemiştir.

Şekil 4.3'te yüzeyi PU ön kaplanmış KE'nin FTIR spektrumunu göstermektedir. 3319  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyundaki pik PU'nun karakteristik pikidir ve N-H gerilme titreşiminden kaynaklanır. 2921 ve 2851  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pikler ise simetrik ve asimetric -CH<sub>2</sub> gerilmesini göstermektedir [91,92].

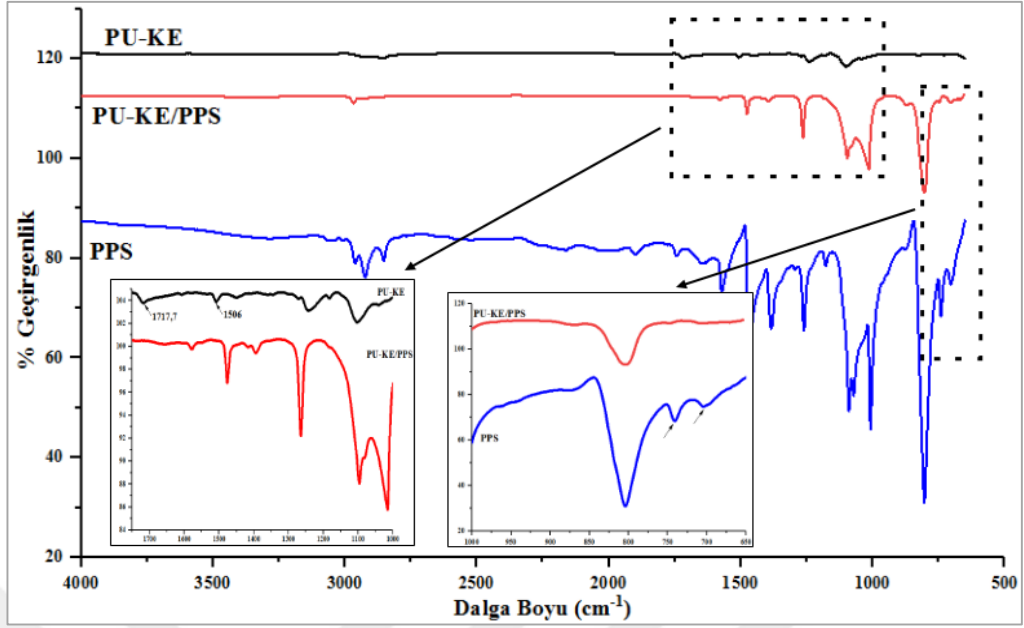
PU'nun yapısındaki karbonil grubuna ait olan pik 1717  $\text{cm}^{-1}$ 'de olup C=O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. PU'daki -CNH grubuna ait gerilme piki 1506  $\text{cm}^{-1}$

dalga boyundadır.  $1444\text{ cm}^{-1}$  ve  $1100\text{ cm}^{-1}$ 'de ise poliestere ait C-O-C gerilmesinden kaynaklanan pikler görülür [62,91,92].



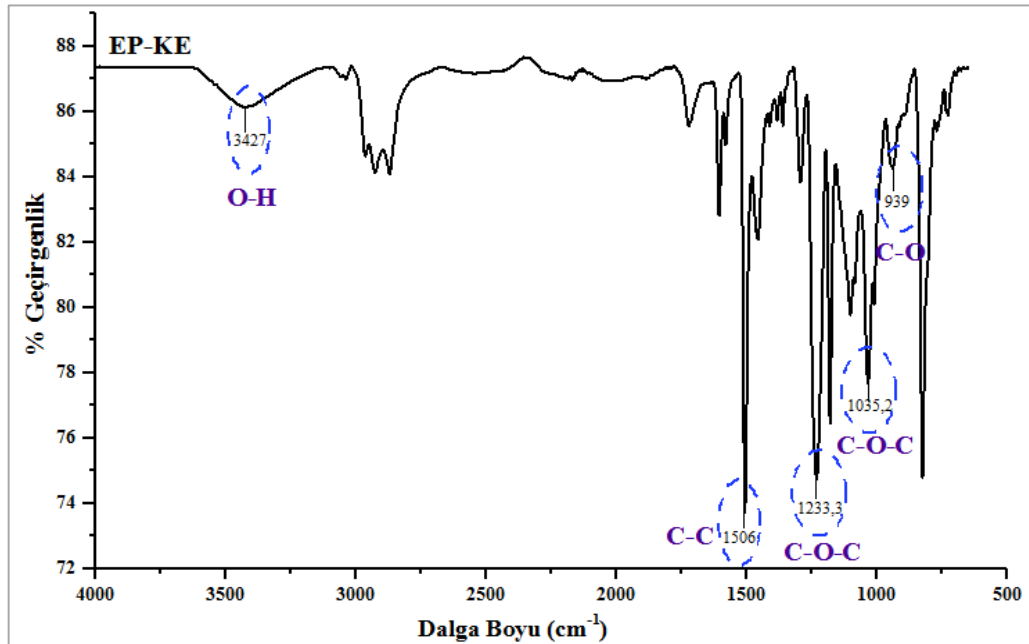
Şekil 4.3. PU-KE'ye ait FTIR spektrumu

Kompozit üretiminin ardından oluşabilecek yapısal değişiklikleri görebilmek amacı ile kompozitin, PU kaplı elyafın ve PPS matrisinin spektrumları karşılaştırılmış ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde PPS matrisinin yapısında bulunan  $741$  ve  $704\text{ cm}^{-1}$ 'deki C-Cl piklerinin, PU-KE/PPS kompozitinin FTIR spektrumunda olmadığı görülmüştür. Ayrıca PU-KE'nin spektrumunda  $1717$  ve  $1506\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen N-H ve C=O gerilmelerine ait pikler, kompozitin spektrumunda yoktur. Bu durum poliüretanın yapısında bulunan amid ve karboksil gruplarının PPS'nin -Cl grubu ile kompleks bağ oluşturması ile açıklanabilir [7]. Özkan [15] yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, kaplama malzemesinin bozunma miktarını belirlemek için  $295\text{ °C}$ 'de 3 dk bekleterek izotermal TGA uygulamıştır. Analiz sonucunda, PU kaplanmış KE'nin  $295\text{ °C}$ 'de % 0,25 bozunma sergilediği görülmüştür. Buradan yola çıkarak, PU-KE'nin FTIR spektrumunda absorpsiyon piklerinin kaybolmasında ısıl bozunmanın da çok az etkisinin olduğu söylenebilir.



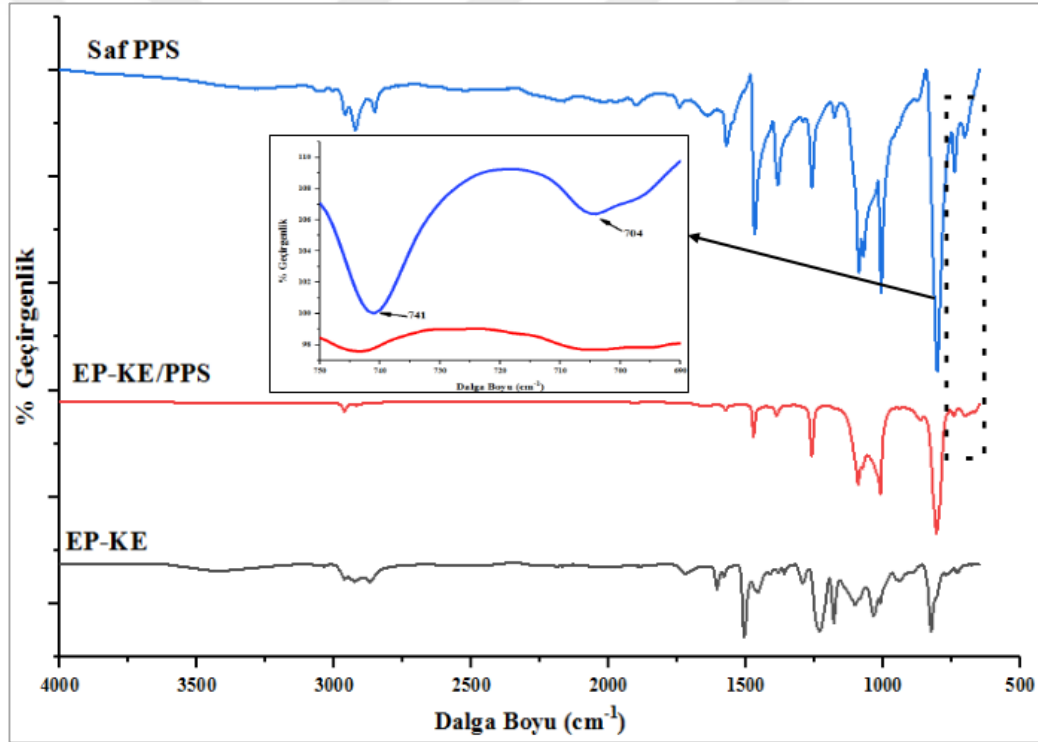
Şekil 4.4. Saf PPS, PU-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu

Yüzeyi epoksi-fenoksi ile kaplanmış elyafın FTIR spektrumu Şekil 4.5'te verilmiştir. Spektrumda  $3427\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen absorpsiyon bandı O-H gerilmesinden kaynaklanmaktadır [93].  $1506\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik C-C gerilmesini gösterirken,  $1233\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik fenolik eter bağı (C-O) titreşimini gösterir [93,94].  $1108$  ve  $939\text{ cm}^{-1}$  pikler sırasıyla asimetrik C-O-C gerilmesinden ve epoksi halkasının gerilmesinden kaynaklanmaktadır [93,94].



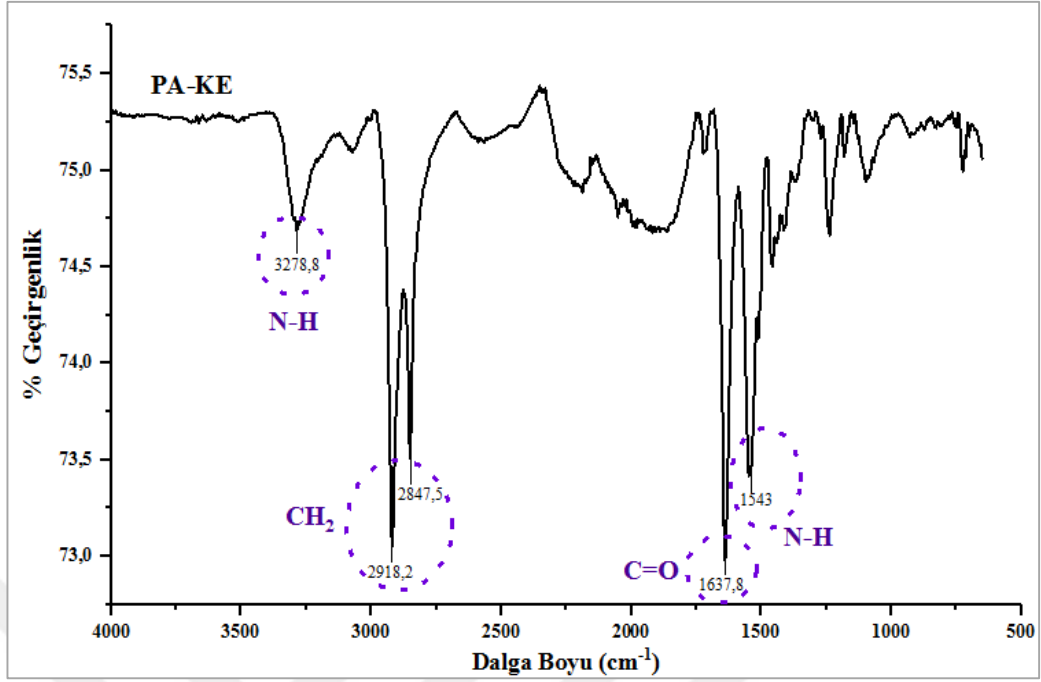
Şekil 4.5. EP-KE'ye ait FTIR spektrumu

EP kaplama malzemesi ile kaplanmış KE ile hazırlanmış kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu Şekil 4.6'da verilmiştir. PPS matrisinin yapısında bulunan 741 ve 704  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C-Cl pikleri PU-KE/PPS kompozitinin yapısında tamamen kaybolurken EP-KE/PPS kompozitinin yapısında ise pik yüksekliklerinin azaldığı görülmektedir. Yine elyaf yüzeyinde görülen O-H titreşimi kompozitte kaybolmuştur. Bu durum epoksinin yapısında bulunan C=O ile -Cl arasındaki tepime ile açıklanabilir [7]. Ayrıca OH grubu da Cl gibi halojen atomları ile yer değiştirme tepkime verebilir [7,95]. Bunun yanında Özkan'ın [15] yüksek lisans tez çalışmasındaki TGA analizi sonuçları, EP-KE'nin 295 °C'de % 0,4 oranında bozunduğunu göstermiştir. Dolayısıyla kompozitte EP piklerinin kaybolmasındaki bir diğer etken kaplamanın işleme sıcaklığında bir miktar bozunmasıdır.



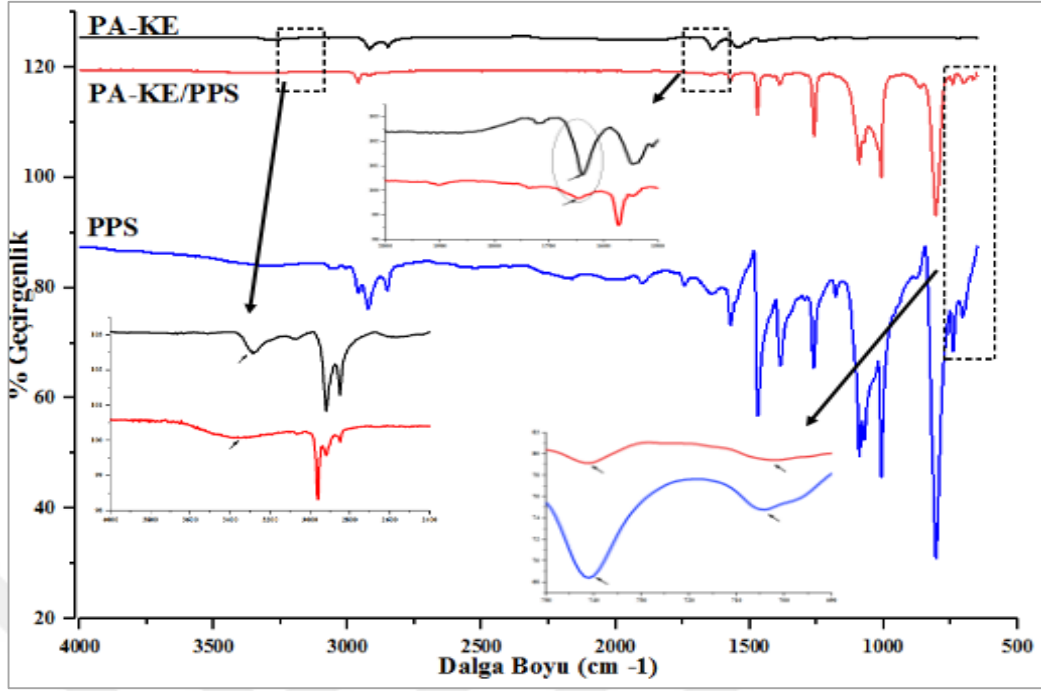
Şekil 4.6. Saf PPS, EP-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu

Yüzeyi poliamid ile ön kaplanmış KE'ye ait FTIR spektrumu Şekil 4.7'de görülmektedir. Spektrumda 3278  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda gözlenen pik N-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. 2918 ve 2847  $\text{cm}^{-1}$ 'de gözlenen pikler sırasıyla  $\text{CH}_2$ 'nin asimetric ve simetric gerilme titreşimlerini göstermektedir. Poliamid'e ait diğer karakteristik pikler ise 1637 ve 1543  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarındadır ve bu pikler sırasıyla C=O ve N-H gerilmelerinden kaynaklanmaktadır [96–98].



Şekil 4.7. PA-KE'ye ait FTIR spektrumu

PA ile kaplanmış elyafın kullanıldığı kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu Şekil 4.8'de görülmektedir. PPS'in yapısında bulunan 741 ve 704  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C-Cl pikleri PU-KE/PPS kompozitinin yapısında tamamen kaybolurken, PA-KE/PPS kompozitinin yapısında ise yine EP-KE/PPS'de olduğu gibi bu piklerin yüksekliklerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca elyaf yüzeyinde bulunan 3278  $\text{cm}^{-1}$ 'deki N-H ve 1637  $\text{cm}^{-1}$ 'deki C=O piklerinin yükseklikleri de PA-KE/PPS kompozitinin yapısında azalmıştır. Bu durum PPS'in son grupları ile elyaf yüzeyindeki fonksiyonel grupların tepkime verdiğini düşündürebilir [7]. Bunun yanında, Özkan'ın [15] yüksek lisans tez çalışmasında, PA-KE'ye TGA uygulanmış ve yüzeydeki kaplamanın 295  $^{\circ}\text{C}$ 'de % 0,13 oranında bozunduğu raporlanmıştır. Gerçekleşen bozunma da bağ kuvvetinin gücünü bir miktar düşürebilir.



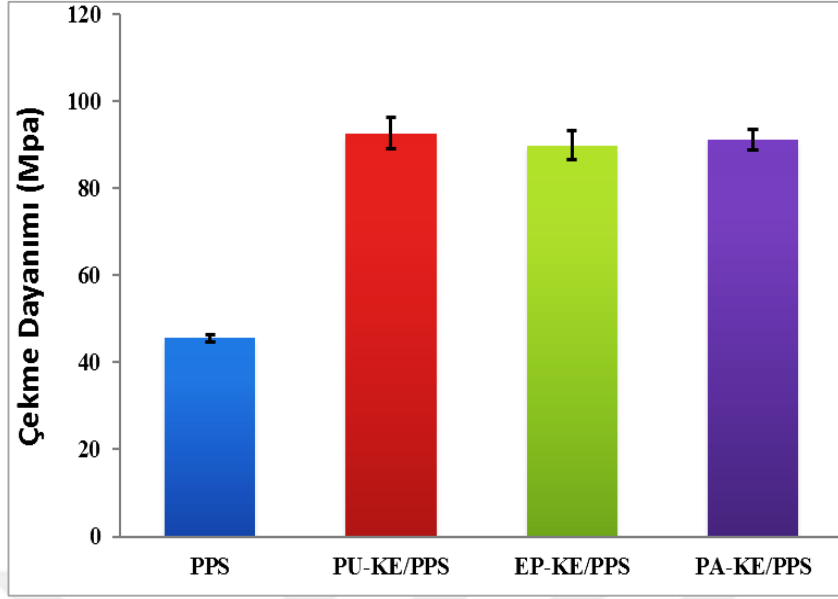
Şekil 4.8. Saf PPS, PA-KE ve kompozite ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu

#### 4.1.3. Çekme testi sonuçları

Kullanılan ön kaplama türlerinin, üretilen PPS matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemek amacıyla çekme testi yapılmış ve kompozitlerin çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.9’da verilmiştir.

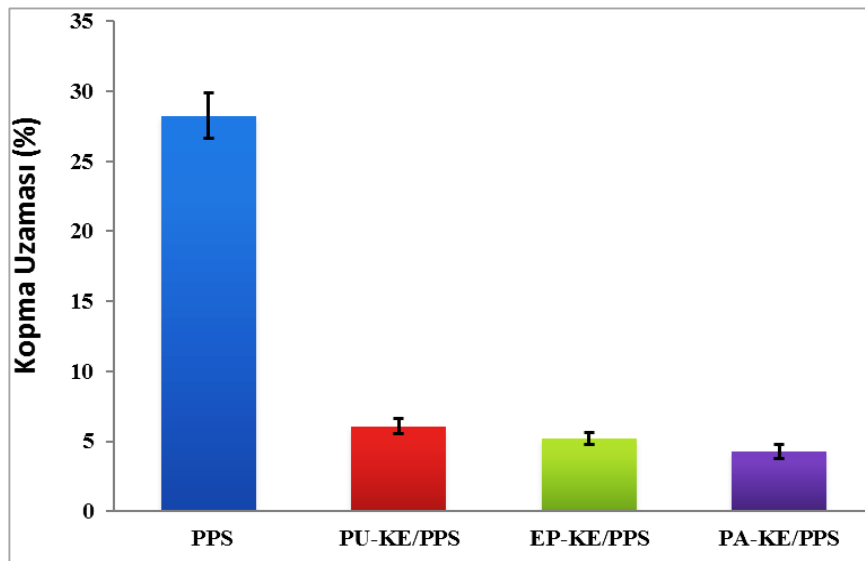
Şekil 4.9 incelendiğinde PPS matrisinin çekme dayanımının tüm KE türleri için arttığı görülmektedir. KE eklenmesi ile matrisin çekme dayanımının artması bilinen bir durumdur [80,99,100]. Kompozitlerin çekme dayanımı elyaf-matris arayüzey bağlanmasından etkilenmektedir. Elyaf ile matris arasında iyi bir arayüzey bağlanması durumunda matris uygulanan çekme kuvvetini elyafa aktarır ve böylece kompozitin çekme kuvvetine olan direnci artar. Bağlanmanın zayıf olduğu durumda ise elyaf matrise tam tutunamadığından, çekme esnasında elyaf matristen sıyrılarak ayrılır ve takviye görevini yerine getiremez [19,101]. Dolayısıyla kaplama türünün mekanik özellikler üzerinde farklı etkiler yaratması beklenmektedir.

Şekil 4.9’a bakıldığında, çekme dayanımı PU kaplama malzemesinin kullanıldığı durumda % 103, EP kaplaması kullanıldığı durumda % 98 ve PA kullanıldığı durumda % 100’lük bir artış göstermiştir. Bu sonuçlara göre kaplama malzemesi türünün çekme dayanımı üzerinde çok fark yaratmadığı söylenebilir.



Şekil 4.9. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri

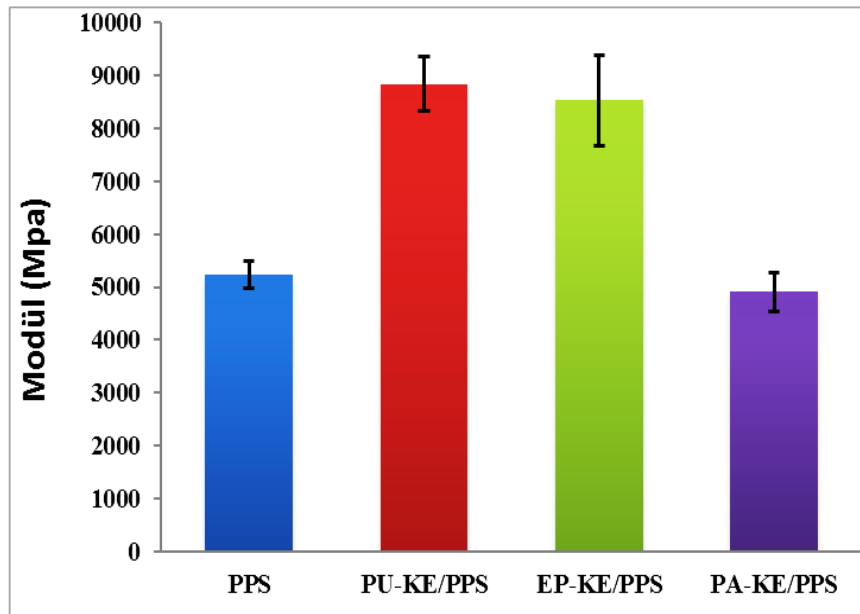
Çekme testinden elde edilen diğer bir özellik olan kopma uzaması grafiği Şekil 4.10'da görülmektedir. Grafiğe göre PPS matrisinin % 28,3 olan kopma uzaması değeri KE eklenmesi ile azalmıştır. Bunun nedeni eklenen KE'nin polimer matris içinde sınırlayıcı alanlar olarak davranması sonucu, polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlaması ve kompozitte mikro çatlaklar oluşmasıdır. Uygulanan çekme kuvveti ile birlikte bu noktalarda kopma gerçekleşir [66,80,82]. Kopma uzamasındaki azalma PU kaplama malzemesi için % 78, EP için % 81 ve PA için % 84 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.10. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

Bölüm 4.1.2’de verilen FTIR sonuçlarına göre PPS’nin uç grupları ile en iyi kimyasal etkileşimi PU kaplama malzemesi verirken PA ve EP kaplama malzemeleri açısından çok fark gözlenmemiştir. Bu durum çekme testi sonuçlarına da yansıtacağından PU kaplama malzemesinin en iyi mekanik özellikleri vermesi beklenen bir sonuçtur. Bunun yanında elyaf boyu da kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen diğer bir faktördür. Elyaf boyu analizi sonuçlarında matris içinde en yüksek ortalama elyaf boyuna sahip olan türün PU-KE olması mekanik özelliklerdeki artışı desteklemektedir. Fakat en uzun elyaf boyuna sahip olan kompozitin 280-300 µm aralığında en fazla bulunan PA-KE/PPS kompoziti olduğu belirlenmiştir. Bu sonuca göre özellikle kopma uzaması açısından PA kaplama türünün iyi sonuç vermesi beklenirken durum böyle olmamıştır. PA kaplı elyaf ile PPS matrisinin uyumunun zayıf olması bu durumu tersine çevirmiştir.

Farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış KE’lar ile hazırlanan PPS kompozitlerinin çekme testi sonucu elde edilen modül değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, PPS’nin çekme modülünde PU kaplamalı elyaf kullanıldığında % 68, EP kaplamalı elyaf kullanıldığı durumda ise % 63’lük bir artış olduğu görülmektedir. PA-EK/PPS kompozitinin modülünde ise PPS’ye göre belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

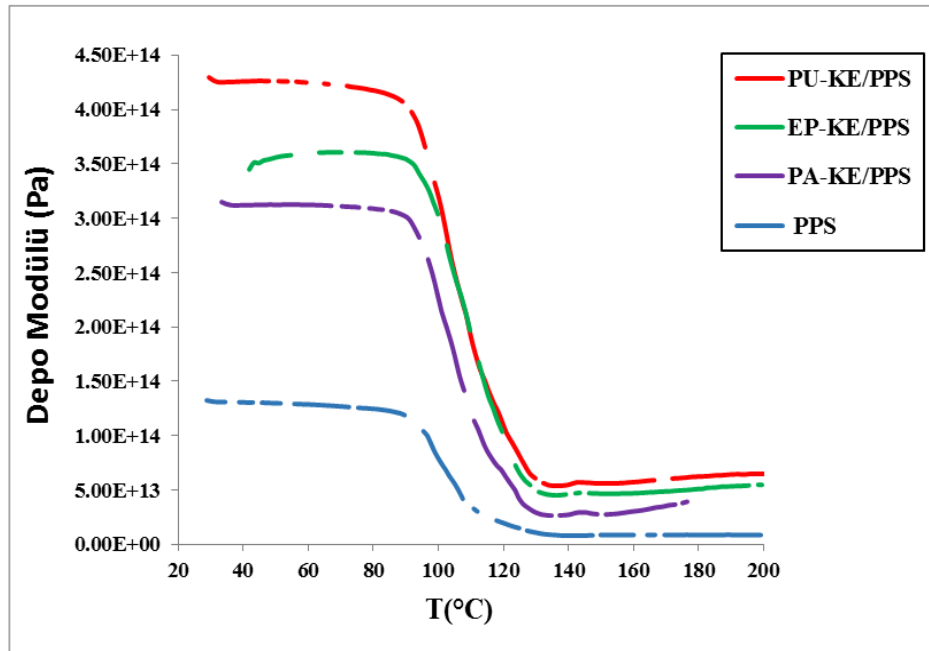


Şekil 4.11. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri

#### 4.1.4. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçları

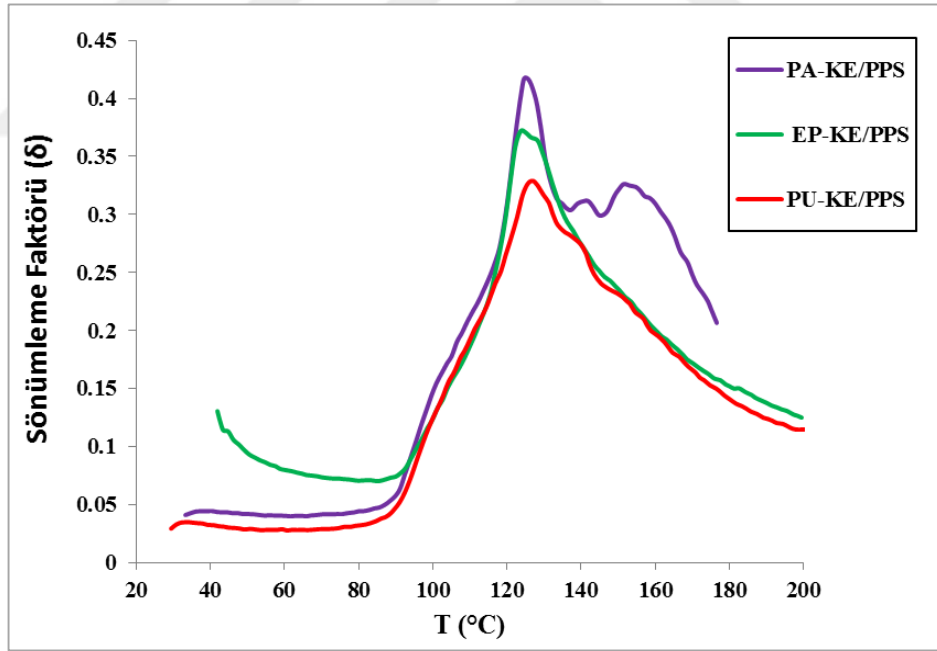
Yüzeysel farklı malzemeler ile kaplanmış KE takviyeli PPS kompozitlerinin arayüzey özelliklerini değerlendirmek amacıyla dinamik mekanik analiz yapılmıştır. DMA’da kaplama malzemesi türünün kompozitin depo modülü ve tan delta değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin depo modülü değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir.

Dinamik mekanik analizde elde edilen depo modülü-sıcaklık eğrisi, malzemelerin yük taşıma kapasitesi ve elyaf takviyeli kompozitlerin ara yüzey uyumluluğu hakkında bilgi verir. Şekil 4.12’de görülebileceği gibi PPS matrisinin depo modülü KE eklenmesi ile belirgin bir artış sergilemiştir. Bu artışın nedeni, rijit bir malzeme olan KE’in yapıya eklenmesi ile kompozitin sertliğinin artmasıdır [75,81,99]. Kompozitinin depo modülü özelliklerinin kaplama malzemesi türüne göre de değişiklik gösterdiği görülmektedir. Kaplama malzemelerinin arasında, en yüksek depo modülünü PU kaplanmış elyaf sergilerken bunu EP kaplaması takip etmektedir. En düşük değer ise PA kaplaması kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Buradan PA kaplama malzemesi ile PPS matrisinin uyumunun kötü ve bu nedenle de PA-KE/PPS kompozitinin arayüzey bağlanmasının zayıf olduğu sonucuna varılabilir [75].



Şekil 4.12. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri

Farklı kaplama malzemesi türlerinin kompozitin sönümlenme özellikleri ( $\tan\delta$ ) üzerine olan etkisi Şekil 4.13'te verilmiştir. Malzemenin sönümlenme özellikleri polimerik bir yapıda elastik faz ile viskoz faz arasındaki dengeyi sağlar. Grafikte  $\tan\delta$  eğrisinin altında kalan alan, malzemenin deformasyon esnasında kaybettiği enerji miktarını verir. Elyaf-matris arasındaki iyi bir arayüzey daha büyük bir stresi taşıyabilecek ve böylece daha az enerji kaybı yaşanacaktır. Bununla birlikte, arayüzey bağlanmasının zayıf olduğu kompozit malzemeler daha fazla enerjiyi dağıtma eğiliminde olacaktır ve grafikte yüksek  $\tan\delta$  piki gösterecektir [75,76,81,99,101]. Buradan yola çıkarak Şekil 4.13 incelendiğinde, en düşük  $\tan\delta$  değerini dolayısıyla en iyi arayüzey bağlanmasını PU kaplamalı elyafın sağladığı görülür. En yüksek pik yani en zayıf arayüzey bağlanması ise PA kaplamalı elyaf kullanıldığı durumda gözlenmiştir. Bu sonuçlar FTIR ve çekme testinden elde edilen sonuçlar ile de örtüşmektedir. FTIR sonuçlarına göre PPS ile en iyi kimyasal uyumu sergileyen PU kaplama malzemesinin,  $\tan\delta$  verilerine göre de arayüzey bağlanmasının en iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

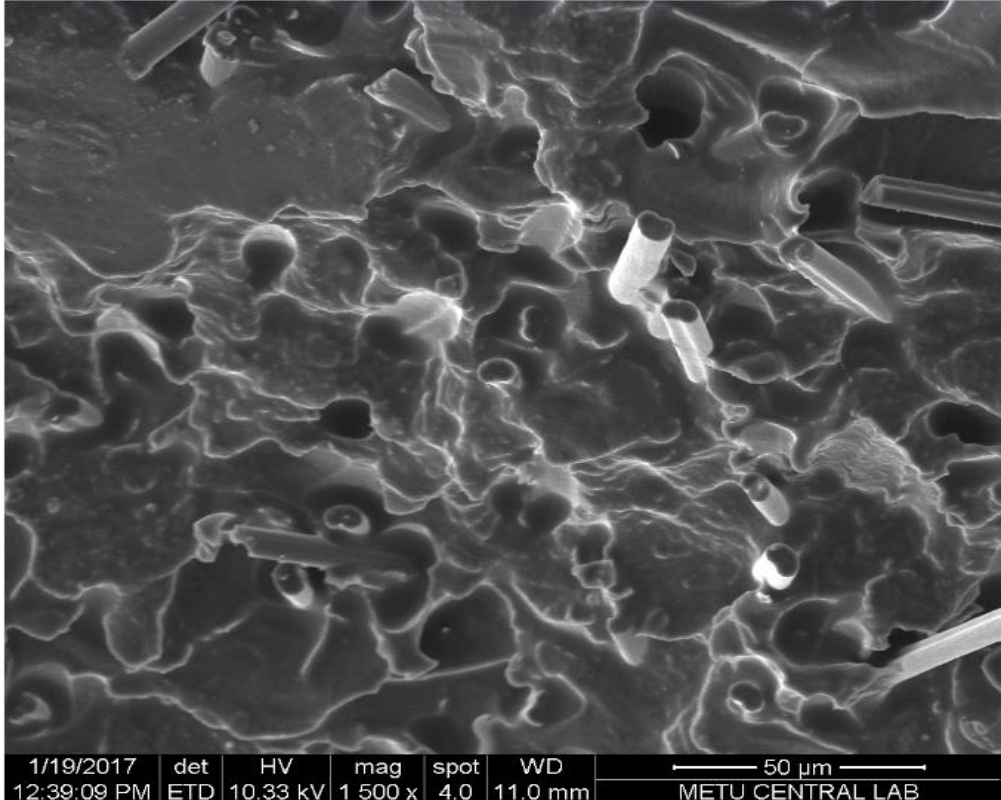


Şekil 4.13. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin sönümlenme faktörü değerleri

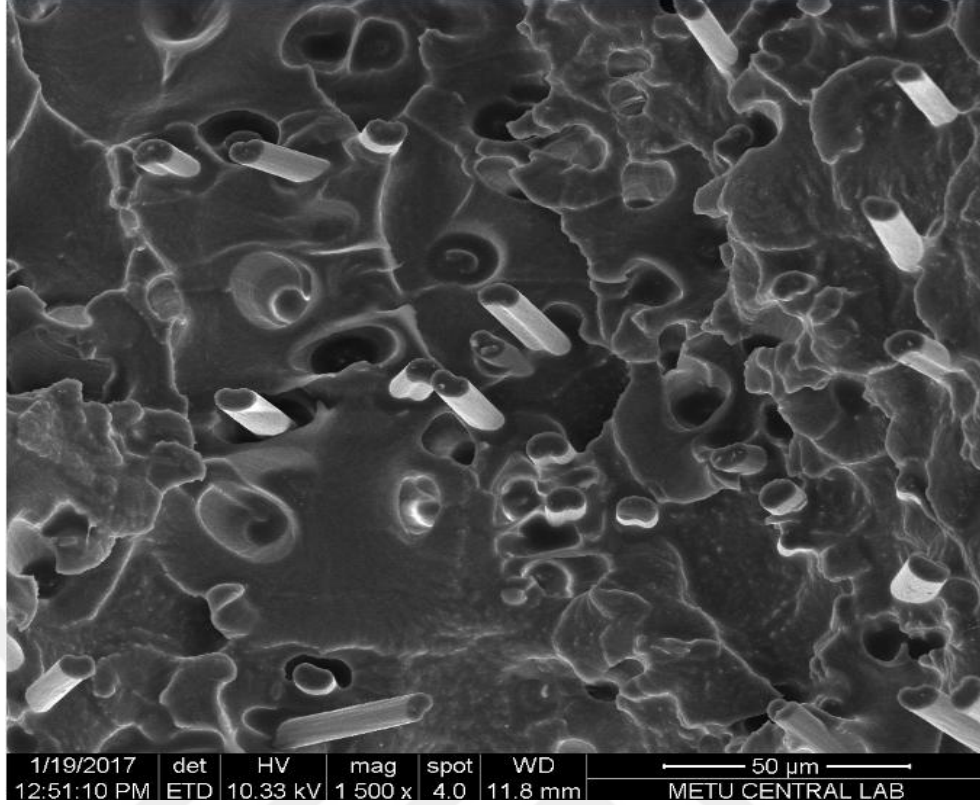
#### 4.1.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Yüzeyi farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış KE takviyeli PPS kompozitlerinin kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 4.14- 4.16’da verilmiştir.

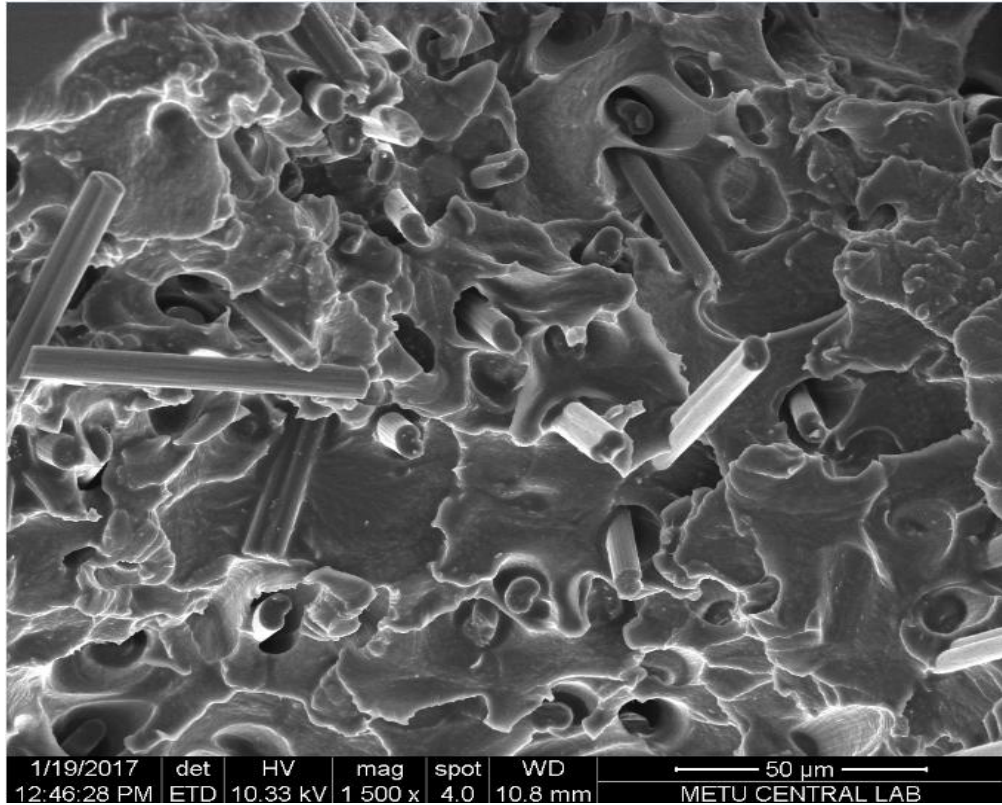
SEM mikrografları incelendiğinde, PA-KE/PPS kompozitinde (Şekil 4.16) elyaf yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olduğu görülmektedir. Ayrıca çekme sırasında matristen ayrılan lifler ve bu liflerin oluşturduğu boşluklar görülmektedir. Buradan, PA-KE/PPS kompozitinin arayüzey bağlanmasının zayıf olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuç mekanik ve termomekanik test sonuçlarını da doğrulamaktadır. Şekil 4.14 ve 4.15’e bakıldığında EP ve PU kaplama malzemesi türlerinin PPS ile bağlanmasının daha iyi olduğu görülür. EP-KE/PPS kompozitinde elyaf yüzeyleri polimer ile tamamen kaplanmıştır. PU-KE/PPS kompozitinde elyafların polimerik matrisle kaplanmadığı dolayısıyla PU kaplama malzemesinin daha zayıf bir bağlanma sağladığı gözlenmiştir [75,102].



Şekil 4.14. EP-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografi



Şekil 4.15. PU-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografi



Şekil 4.16. PA-KE/PPS kompozitine ait SEM mikrografi

#### 4.1.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz sonuçları

Farklı kaplanmış KE türleri kullanılarak üretilen kompozitlerin ısıl özelliklerini belirlemek amacı ile DSC ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ), soğuk kristalizasyon sıcaklığı ( $T_c$ ), kristalizasyon ( $\Delta H_{cc}$ ) ve erime entalpileri ( $\Delta H_f$ ) ölçümler sonucu belirlenmiştir. Kristalinite derecesi ( $\%X_c$ ) denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen DSC eğrileri Şekil 4.17’de verilmiştir. Eğrilerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de de listelenmiştir.

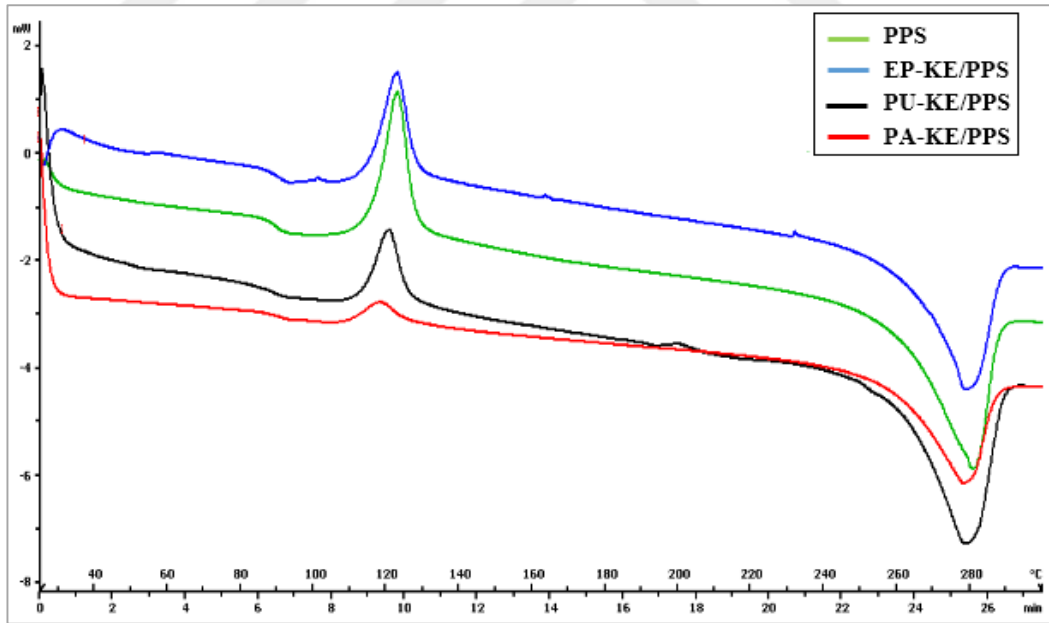
Yüksek performanslı polimerlerde kristalinite polimerik malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. Kristalin faz sağlamlık sağlarken, amorf faz ise darbenin emilimini sağlar [103,104]. PPS yarı kristalin bir polimer olduğundan kristallenme davranışı önemlidir. Elyaf takviyeli kompozitlerde de elyafın kristaliniteyi etkilemesi beklenir [66]. Tablo 4.1 incelendiğinde, kompozitlerin  $T_g$  ve  $T_m$  değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülür. Bunun yanında, KE eklenmesi ile PPS’nin kristallenme davranışında değişiklikler gözlenmiştir. DSC’de örneğin ısıtılması ile ekzotermik soğuk kristalizasyon pikinin oluşmasının sebebi, kompozitin üretiminde enjeksiyonla kalıplama sırasında yüksek soğutma hızı nedeniyle kompozitin kristallenmeye fırsat bulamamasıdır. Böylece, büyük bir kısmı amorf olan yarı-kristalin bir kompozit üretilmiş olur [105]. Malzeme bu durumdan  $T_g$ ’nin üzerine ısıtıldığında ise zincirler tekrar düzenlenerek kristallenme eğilimi gösterirler. KE eklenmesi ile tüm elyaf türleri için kompozitlerin soğuk kristalizasyon sıcaklığında (cold crystallization- $T_{cc}$ ) ve entalpisinde ( $\Delta H_{cc}$ ) saf PPS’ye göre düşüş olmuştur. En düşük  $\Delta H_{cc}$  değerini ( $3,5 \text{ jg}^{-1}$ ) PA-KE/PPS kompoziti sergilemiştir. Bunu  $6,5 \text{ jg}^{-1}$   $\Delta H_{cc}$  değeri ile PU-KE/PPS takip etmektedir. Yani, PA ve PU kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin enjeksiyonla kalıplanması sırasında bu kaplama malzemeleri PPS zincirlerinin hareketini kolaylaştırarak kristallenmesine olanak sağlamışlardır. DSC’de ısıtma sırasında ise amorf fazın kristallenmesine engel olmuşlardır. Ayrıca saf PPS’nin  $T_{cc}$  değerini ( $123,2 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $5^\circ\text{C}$  düşürerek, en düşük  $T_{cc}$ ’yi PA-KE/PPS kompoziti sergilemiştir. Buradan PA kaplama malzemesinin PPS’in kristallenme sürecini hızlandırdığı söylenebilir [106,107].

PA ve PU kaplanmış KE ile üretilen PPS kompozitlerinin % kristalinite değerleri saf PPS’e göre artış göstermiştir. EP-KE/PPS kompozitinin % kristalinitesi ise belirgin bir

değişim sergilememiştir. KE türleri arasında en yüksek kristaliniteyi PU kaplama malzemesi sağlamıştır. KE eklenmesi ile kristalinitenin artması KE'in kompozit içindeki çekirdeklendirici etkisinden kaynaklanmıştır [100].

Tablo 4.1. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin DSC sonuçları

Numune	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>cc</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH <sub>cc</sub> (j/g)	ΔH <sub>f</sub> (j/g)	%X <sub>c</sub>
PPS	90,3	123,2	280,5	17,6	36,6	23,8
PU-KE/PPS	89,6	120,6	278,6	6,5	28,7	30,8
EP-KE/PPS	90,7	121,1	278,7	16,2	31,5	21,3
PA-KE/PPS	90,9	118,2	278,1	3,5	25,4	30,4



Şekil 4.17. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri

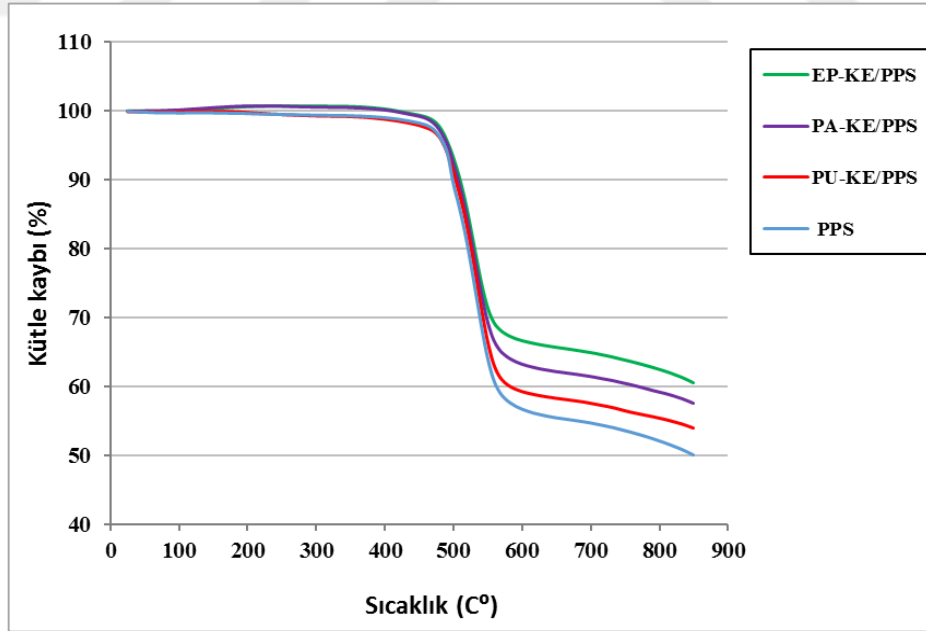
#### 4.1.7. Termogravimetrik analiz sonuçları

PPS ve farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış KE takviyeli kompozitlerin ısı kararlılığını değerlendirmek için TGA yapılmıştır. Numunelerin ağırlık kaybı yüzdesi

Şekil 4.18’de gösterilmiş ve karakteristik bozunma sıcaklıkları ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

PPS ve tüm kompozitlerin azot atmosferinde tek basamaklı bozunma evresi sergilediği görülmüştür (Şekil 4.18). Termoplastik polimerlerin bozunma işlemi, depolimerizasyon, yan zincir kesilmesi, rasgele zincir kesilmesi gibi farklı mekanizmalar yoluyla gerçekleşir. Literatürde, PPS bozunmasının rasgele zincir kesilmesi şeklinde olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, tüm numunelerde tek basamaklı bozunma evresinin gözlenmesinde, rasgele zincir kesilmesinin baskın bozunma mekanizması olduğuna karar verilmiştir [78,108].

Tablo 4.2 incelendiğinde, PPS için 485 °C olan bozunma başlangıç sıcaklığının ( $T_{onset}$ ) KE eklenmesi ile 7-10 °C arttığı görülmektedir. Isıl kararlılığı yüksek olan KE matrisin ısıl kararlılığını da artırmıştır [80]. Farklı kaplama malzemesinin kullanımı  $T_{endset}$  değerlerini de 10-14 °C artırmıştır. Ayrıca PPS’nin 850 °C’deki kalıntı yüzdesi % 50,1 iken bu miktar KE eklenmesi yine artmıştır. En fazla kalıntı miktarını % 60,5 olarak EP-KE/PPS kompoziti vermiştir.



Şekil 4.18. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin TGA eğrileri

Tablo 4.2. Ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin TGA verileri

Numune	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	Kalıntı <sub>1850C°</sub> (%ağırlık)
PPS	485,2	544,4	533,5	50,1
PA-KE/PPS	492,1	558,3	525,1	57,6
PU-KE/PPS	495,4	554,3	526,9	54,1
EP-KE/PPS	492,9	558,4	522,1	60,5

Tüm karakterizasyon sonuçları değerlendirildiğinde PU, EP ve PA kaplama türleri arasında PPS matrisi ile en zayıf arayüzey bağlanmasını ve en düşük mekanik özellikleri veren kaplama türünün PA olduğu sonucuna varılmıştır. Buradan yola çıkarak PA-KE/PPS kompozitlerinin özelliklerini iyileştirmek amacıyla üç farklı uyumlaştırıcı kimyasal kullanılmış ve uyumlaştırıcı kullanılarak üretilen kompozitlerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

## 4.2. Uyumlaştırılmış KE/PPS Kompozitlerinin Karakterizasyon Sonuçları

### 4.2.1. Elyaf boyu analizi

Farklı uyumlaştırıcılar kullanılarak üretilen kompozitlerin içindeki elyaf boyunu incelemek amacıyla Bölüm 3.3.2’de verilen yöntem ile elyaf boyu analizi yapılmıştır. Tez çalışmasının bu kısmında sadece PA kaplamalı elyaf kullanılıp farklı uyumlaştırıcılar eklendiğinden elyaf boyunda düzenli ve belirgin bir değişim olup olmadığı kontrol edilmiştir. Çünkü genel olarak, kompozit üretimi esnasında lifleri koruma ve işlenebilirliğini iyileştirme görevini elyaf yüzeyine uygulanan kaplama malzemesi yerine getirir [3]. Elyaf uzunluğunun kompozit özellikleri üzerine etkisi Bölüm 4.1.1’de detaylı olarak anlatılmıştır.

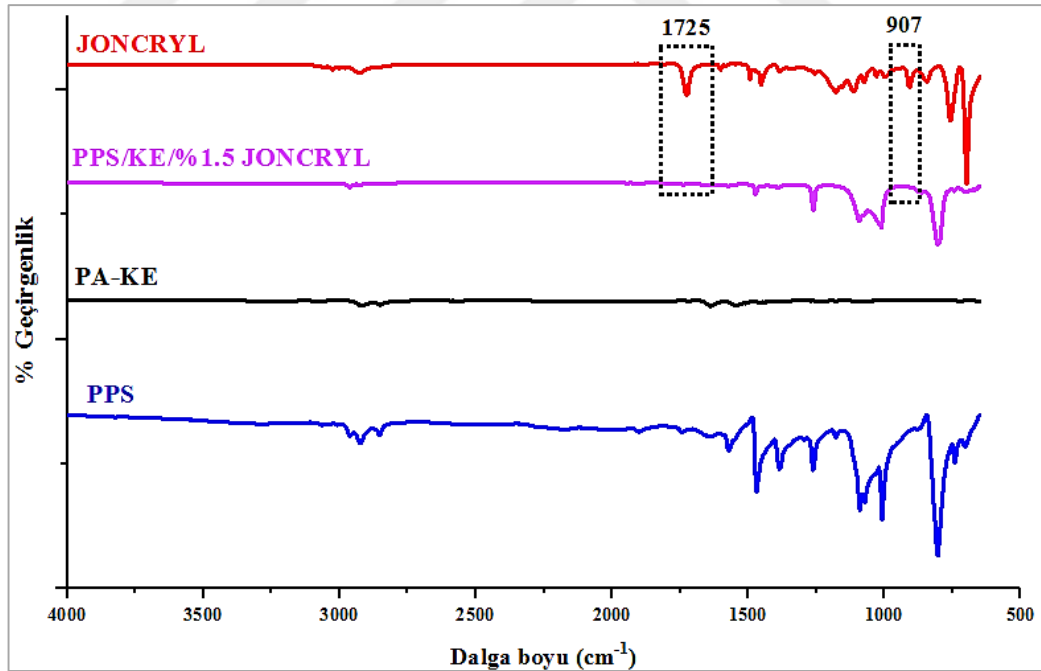
Ekstruderde harmanlama işlemi sonrası tüm bileşimlerde elyaf boyunda elyaf-polimer, elyaf-elyaf ve elyaf-ekstruder duvarı arasındaki etkileşimlere [82] bağlı olarak genel bir azalma olmuştur. PA-KE/PPS kompozitinin ortalama elyaf boyu 133 µm iken bu değer uyumlaştırıcı kullanıldığı durumda düşmüştür. Elyaf boyu Joncryl için ortalama

123  $\mu\text{m}$ , PBO için 121  $\mu\text{m}$  ve APOSS için 104  $\mu\text{m}$ 'dir. Analiz sonucunda, PA kaplamalı elyafın en kısa boyunun APOSS, en uzun ise Joncryl kullanıldığı durumda olduğu görülmüştür.

#### 4.2.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FTIR)

Tez çalışmasında kullanılan üç farklı uyumlaştırıcı türünün ve kompozitlerinin yapısal analizleri FTIR kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir polimer harmanının bileşenleri arasındaki etkileşimleri anlamak önemlidir. Bileşenlerin FTIR spektrumlarında farkedilebilecek değişikliklerden gözlemlenebilen bazı seçkin etkileşimler (spesifik absorpsiyon bölgesinde belirgin değişiklikler) varsa, harmanın bileşenleri uyumlu kabul edilebilir [109].

Kompozit üretiminin ardından oluşabilecek yapısal değişiklikleri görebilmek amacı ile Joncryl'in, karbon elyafın, PPS'in ve % 1,5 Joncryl ilave edilmiş kompozitin FTIR spektrumları karşılaştırılmış ve Şekil 4.19'da ayrıntılı olarak verilmiştir

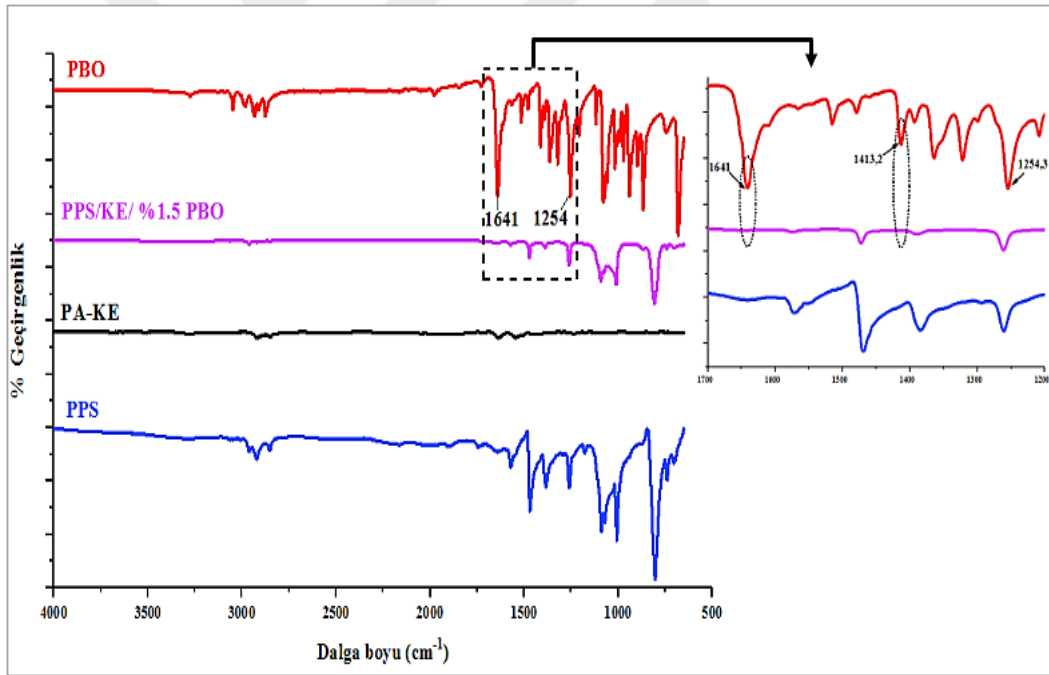


Şekil 4.19. Joncryl içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu

Şekil 4.19'da Joncryl'e ait FTIR spektrumunda 907  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen pik Joncryl'in yapısında bulunan epoksi grubuna ait C-O-C titreşimlerini göstermektedir [109,110]. Ayrıca 1725  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen pik C=O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [61,92]. Şekilde bu piklerin PPS/KE/Joncryl kompozitinde yok

olduğu görülmektedir. Joncryl ile kompozitin yapısındaki diğer bileşimler arasında kimyasal etkileşimler olmuş ve Joncryl'in reaktif son grupları harcanmıştır. Özellikle epoksi fonksiyonel grubu PPS için iyi bir uyumlaştırıcıdır [70,71]. PPS matrisinin FTIR spektrumunda (Şekil 3.10) 704 ve 741  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında görülen C-Cl bağları ve literatürde PPS'nin muhtemel uç grupları olarak verilen tiol ve -SNa grupları, Joncryl'in epoksi (C-O-C) ve C=O grupları ile kompleks ve iyonik bağ oluşturabilir. Ayrıca PA-KE yüzeyindeki -NH fonksiyonel grubu da PPS'nin -Cl grubu ile iyonik bağ kurabilir [7,71]. Tüm bu olası tepkimeler sonucunda Joncryl'in fonksiyonel grupları harcanmıştır.

KE-PPS kompozitinin arayüzey uyumlaştırmasında kullanılan bir diğer uyumlaştırıcı 1,4 fenilen bis(2-oksazolin) (PBO) ve PPS/KE/PBO kompozitine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu Şekil 4.20'de verilmiştir.



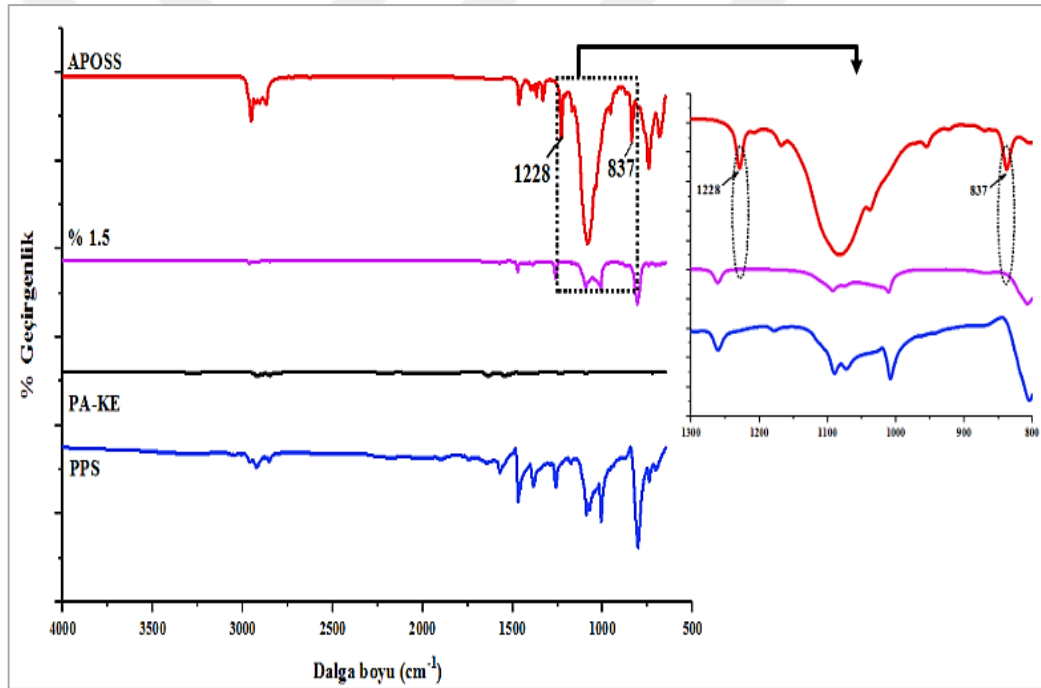
Şekil 4.20. PBO içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu

Şekil 4.20'deki PBO'nun spektrumunda 1641, 1254 ve 1413  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarındaki pikler sırasıyla C=N, halkalı eter yapısını ve oksazolin yapısının  $\text{CH}_2$  titreşimlerini göstermektedir [41,111]. Yakınlaştırılmış spektrum incelendiğinde bu piklerin PPS/KE/PBO kompozitinde kaybolduğu görülmektedir. PBO, PA-KE'nin yüzeyindeki amin grupları ile tepkime verebilmektedir [42]. Ayrıca PPS'nin spektrumunda

gözlenen bazı piklerin yüksekliklerinde ve dalga boylarında değişiklikler olmuştur. Buradan PPS ile PBO arasında bazı kimyasal etkileşimler olduğu sonucuna varılabilir.

Çalışmada kullanılan aminopropil izobütil POSS (APOSS) uyumlaştırıcısına ve PPS/KE/APOSS kompozitine ait karşılaştırmalı FTIR spektrumu Şekil 4.21’de verilmiştir.

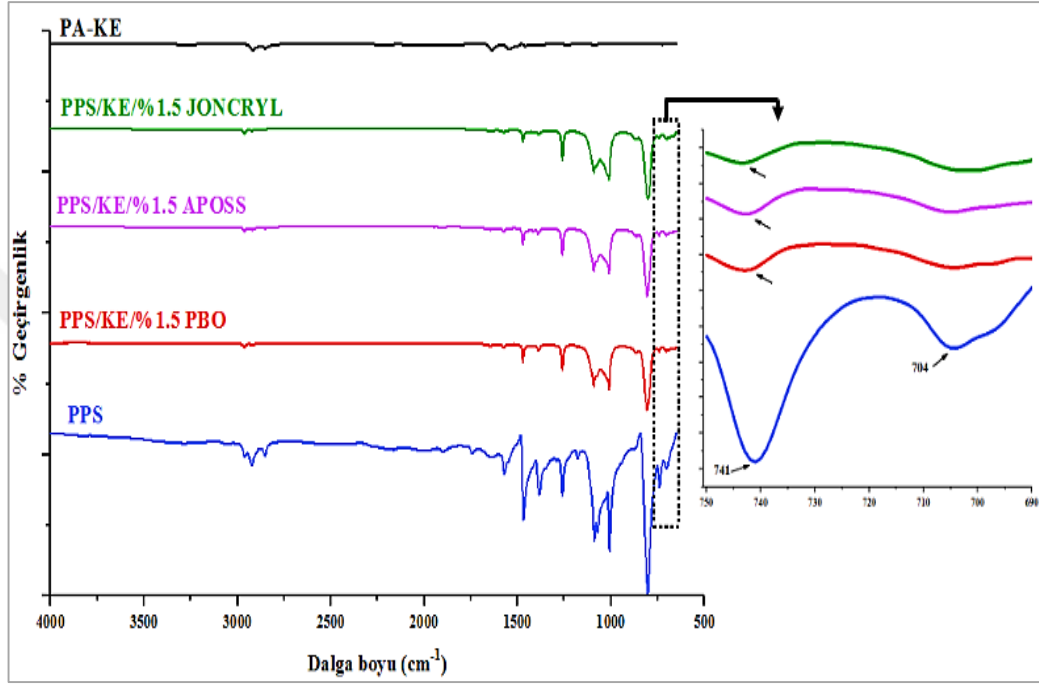
Şekil 4.21’de APOSS’a ait spektrum incelendiğinde, 837 ve 1228  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarında sırasıyla N-H ve C-N titreşimlerinden kaynaklanan karakteristik pikleri görülmektedir [47,112]. Yakınlaştırılmış spektruma bakıldığında, APOSS’a ait bu piklerin PPS/KE/APOSS kompozitinde olmadığı görülür. Ayrıca yine PPS’ye ait piklerde de kaymalar ve pik yüksekliklerinde değişiklikler gözlenmiştir.



Şekil 4.21. APOSS içeren kompozitin karşılaştırmalı FTIR spektrumu

Üretilen kompozitlere üç farklı uyumlaştırıcı türünün etkilerini görebilmek amacı ile % 1,5 uyumlaştırıcı eklenmiş kompozitlerin karşılaştırmalı FTIR spektrumları Şekil 4.22’de verilmiştir. Spektrum genel olarak incelendiğinde, PPS’in piklerinde tüm kompozitler için genel bir değişiklik görülmektedir. Yakınlaştırılmış spektrumda PPS’in 741 ve 704  $\text{cm}^{-1}$  dalga boylarındaki C-Cl bağ titreşimlerinin kompozitlerde yüksek dalga boylarına kaydığı ve pik yüksekliklerinin azaldığı görülmektedir. Kompozitler kendi arasında kıyaslandığında, bu azalma en fazla Joncryl eklenmiş

kompozitte gözlenmiştir. Uyumlaştırıcıların farklı oranlarda eklenmesinin FTIR etkileşimleri açısından herhangi bir değişiklik göstermeyeceği bilindiğinden ayrıca verilmemiştir. KE ve kompozitler kıyaslandığında KE'ye ait karakteristik piklerin tüm uyumlaştırıcı türlerinde kaybolduğu görülmüştür. FTIR sonuçları ile ilgili detaylı spektrumlar EK A'da verilmiştir.

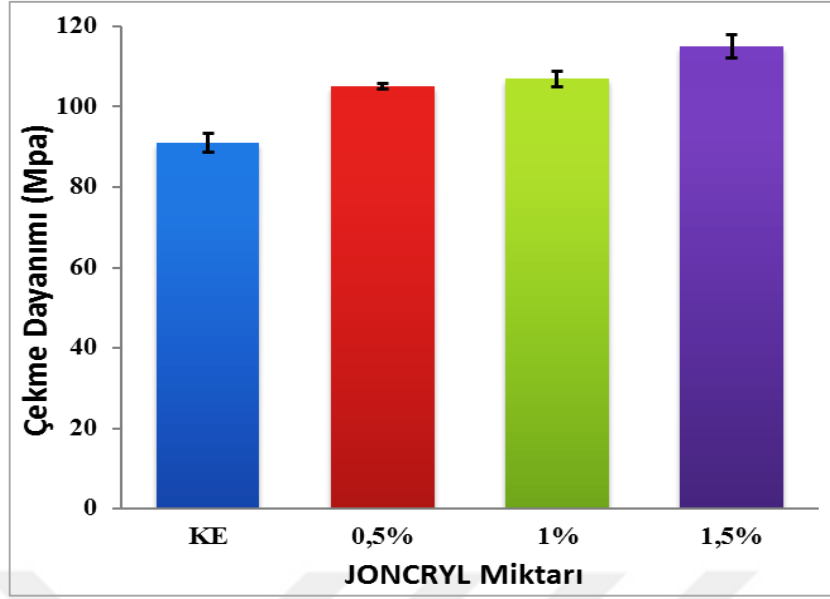


Şekil 4.22. %1,5 Uyumlaştırıcı içeren kompozitlerin FTIR spektrumları

#### 4.2.3. Çekme testi sonuçları

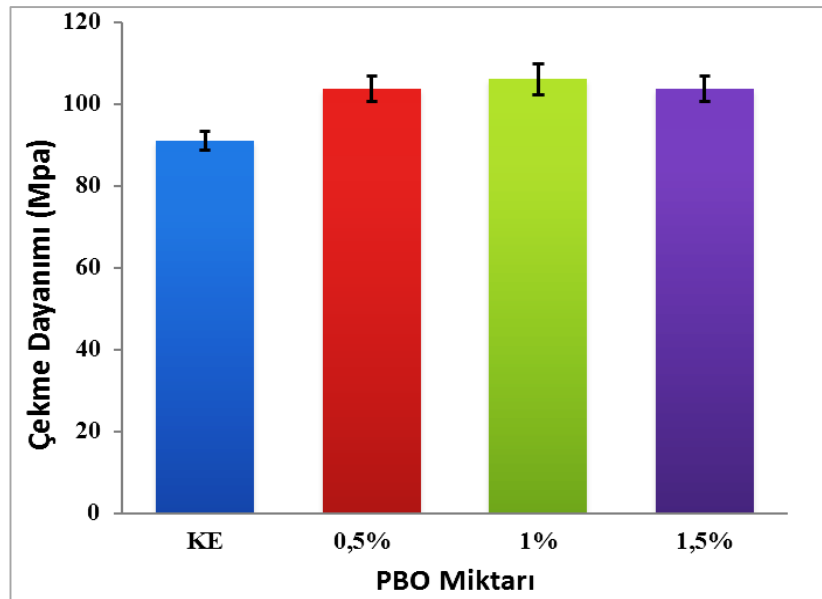
Kullanılan uyumlaştırıcı türü ve miktarının, üretilen uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla çekme testleri yapılmış ve çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.23-4.26'da verilmiştir.

Şekil 4.23'te, farklı oranlarda Joncryl eklendiği durumdaki KE/PPS/Joncryl kompozitlerinin çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, % 1,5 Joncryl eklendiği durumda çekme dayanımının KE/PPS kompozitine göre % 27 arttığı görülmektedir. Bu artış % 1 Joncryl eklendiği durumda % 17 iken, % 0,5 Joncryl eklendiğinde % 1,5 olarak gözlenmiştir. Eklenen Joncryl miktarı arttıkça kompozitlerin çekme dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir.



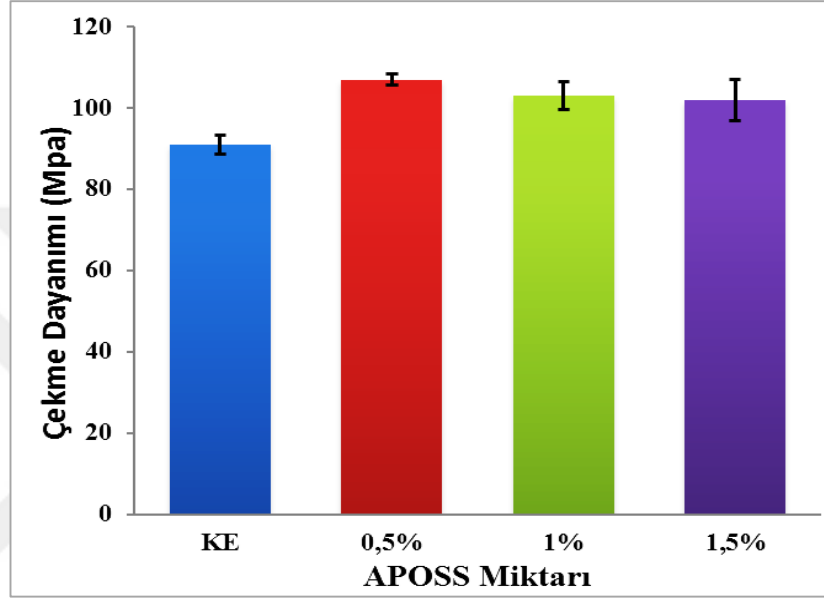
Şekil 4.23. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.24'te, farklı oranlarda PBO içeren KE/PPS/PBO kompozitlerinin çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde PBO ekleme miktarının, kompozitlerin çekme dayanımı değerlerinde belirgin bir fark yaratmadığı görülmektedir. KE/PPS kompozitine göre en fazla artış, % 1 PBO eklendiğinde yaklaşık % 17 olarak elde edilmiştir. % 0,5 ve 1,5 PBO miktarlarında ise % 14'lük bir artış gözlemlenmiştir.



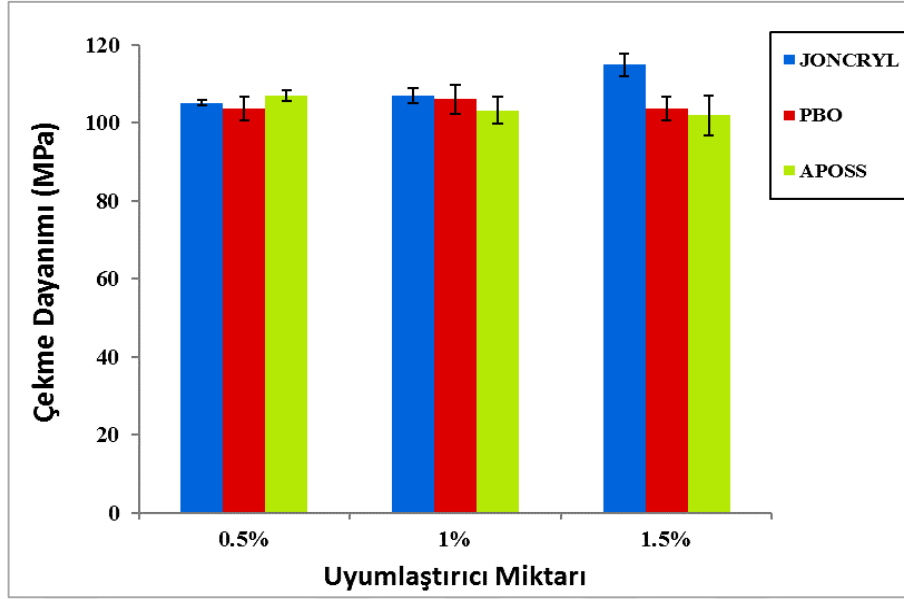
Şekil 4.24. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri

Şekil 4.25'te, farklı oranlarda APOSS eklendiğinde KE/PPS/APOSS kompozitlerinin çekme dayanımı grafiği görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, % 0,5 APOSS ilave edilmiş kompozitin çekme dayanımının KE/PPS kompozitine göre % 18 arttığı görülmektedir. Kompozitlerin çekme dayanımında APOSS %1 eklendiğinde % 13, % 1,5 eklendiğinde ise % 12'lik bir artış gözlemlenmiştir. Eklenen APOSS miktarı arttıkça kompozitlerin çekme dayanımında düşüş olmuştur.



Şekil 4.25. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin çekme dayanımı değerleri

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi Şekil 4.26'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 4.26'da uyumlaştırıcı türünün çekme dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde, her uyumlaştırıcı türü için en yüksek çekme dayanımının farklı yükleme oranlarında elde edildiği görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı Joncryl eklendiği durumda % 1,5, APOSS eklendiğinde % 0,5, PBO'da ise % 1 yükleme oranında elde edilmiştir. Üç uyumlaştırıcı türü arasında en yüksek çekme dayanımını % 1,5 Joncryl'in sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla Joncryl'in KE ve PPS arasındaki arayüzey bağlanmasını artırdığı sonucuna varılabilir. Çünkü elyaf takviyeli kompozitlerin çekme dayanımı elyaf-matris arayüzey bağlanmasından etkilenmektedir. Elyaf ile matris arasında iyi bir arayüzey bağlanması olması durumunda matris uygulanan kuvveti elyafa aktarır ve böylece kompozitin çekme dayanımı artar [19,80].

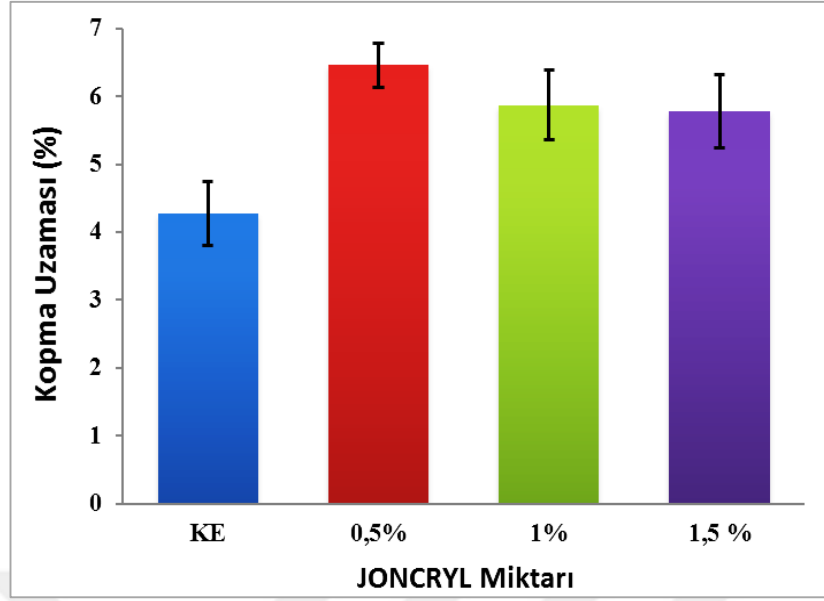


Şekil 4.26. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının çekme dayanımı değerleri üzerine etkisinin incelenmesi

Uyumlaştırıcılar arayüzey bağlanmasını elyaf ile matris arasında köprüleme etkisi ile iyileştirirler. Elyaf yüzeyiyle kimyasal veya fiziksel olarak etkileşime giren uyumlaştırıcı matris malzemesi ile de uyumlu olduğunda elyaf ile matrisin bağlanmasını artırabilir [23,75]. Bu çekme dayanımı artışını daha iyi yorumlayabilmek amacı ile FTIR analizi sonuçlarında bakıldığında Joncryl'in PPS matrisi ile diğer uyumlaştırıcı türlerine göre daha iyi etkileşim verdiği görülmektedir. Ayrıca Joncryl'in epoksi fonksiyonel grupları içeriyor olmasından dolayı PPS ve PA-KE ile uyumlu olması beklenmiş ve çekme dayanımı sonuçları da bunu desteklemiştir.

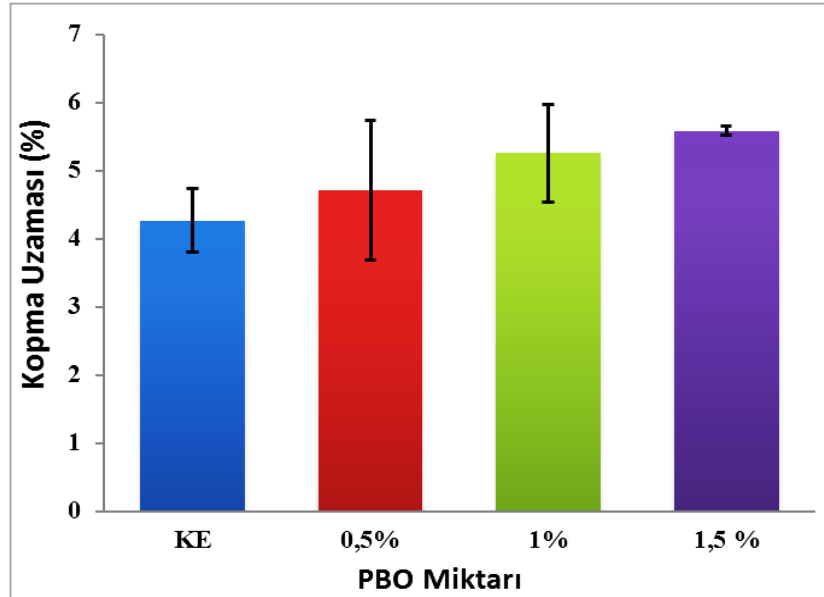
Kullanılan uyumlaştırıcı türü ve miktarının üretilen KE/PPS/uyumlaştırıcı kompozitlerinin kopma uzaması üzerine etkisi Şekil 4.27- 4.30'da verilmiştir.

Şekil 4.27'de farklı oranlarda Joncryl eklendiği durumdaki kopma uzaması grafiği verilmiştir. Şekil 4.10'da verilen grafikte görülebileceği gibi saf PPS matrisinin % 28,3 olan kopma uzaması değeri KE eklenmesi ile azalmıştır. Ardından bu KE/PPS kompozitine Joncryl ilavesi kopma uzaması değerinde artış sağlamıştır. En yüksek artış % 0,5 Joncryl yükleme oranında % 51 olarak elde edilmiştir. Bu değeri sırasıyla % 37 ve 35'lik artışlarla % 1 ve 1,5 yükleme oranları takip etmektedir.



Şekil 4.27. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

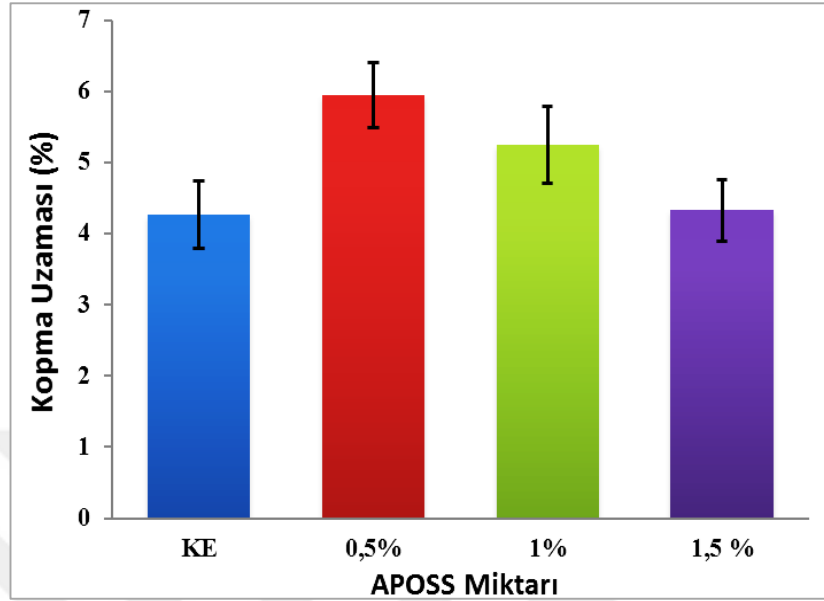
PBO'nun kopma uzaması üzerine etkisi Şekil 4.28'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, en yüksek kopma uzaması değerinin % 1,5 yükleme oranında olduğu ve % 30'luk bir artış sağladığı görülmektedir. % 1 PBO yüklemesinde % 23, % 0,5'de ise % 10'luk bir artış olmuştur.



Şekil 4.28. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

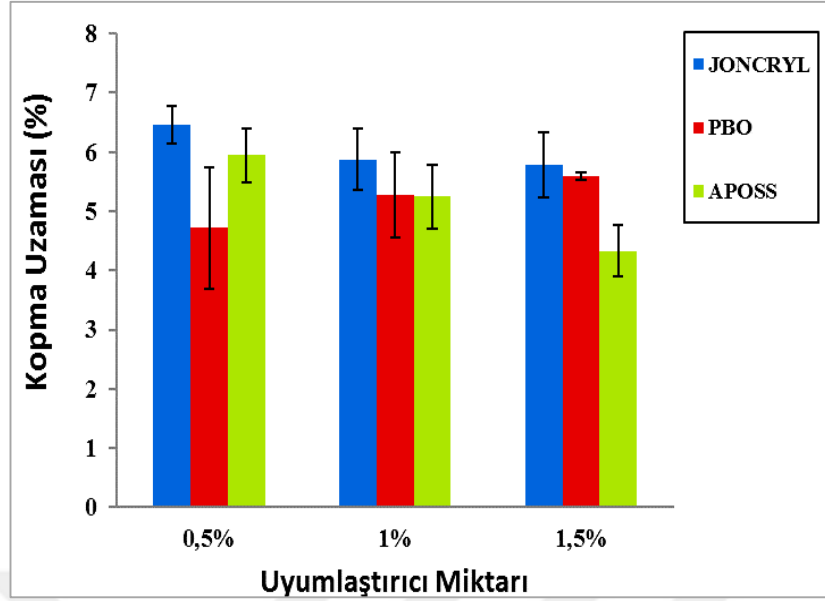
Şekil 4.29'da APOSS'un farklı oranlarının kopma uzaması üzerine etkisi verilmiştir. Grafığe göre, KE/PPS kompozitinin kopma uzamasında en yüksek artışı % 39 ile

% 0,5 yükleme oranı sağlamıştır. %1 APOSS yüklemesinde %22'lik bir artış olurken, % 1,5 yüklemede belirgin bir artış gözlenmemiştir.



Şekil 4.29. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin kopma uzaması değerleri

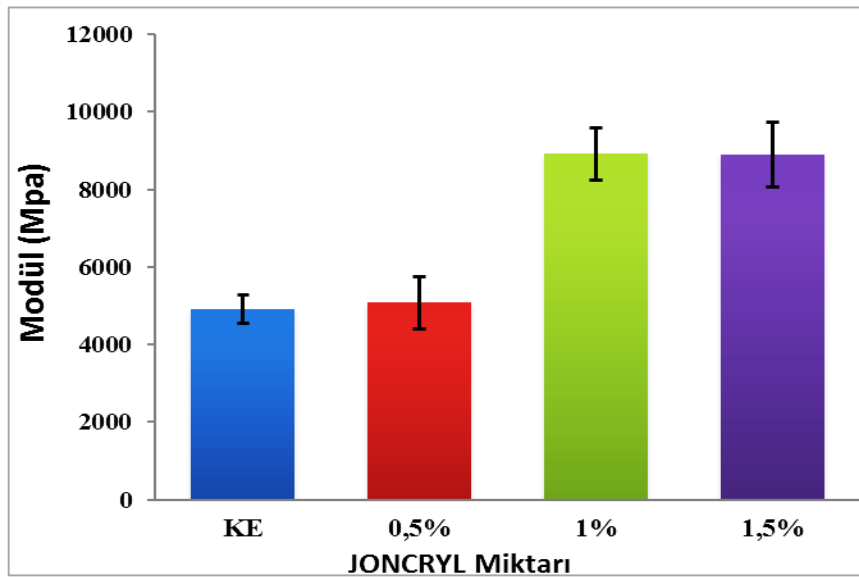
Uyumlaştırıcı türü ve miktarının KE/PPS/uyumlaştırıcı kompozitlerinin kopma uzaması değerleri üzerine etkisi Şekil 4.30'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Uyumlaştırıcı türünün kopma uzaması üzerine etkisi incelendiğinde, her uyumlaştırıcı türü için en yüksek kopma uzamasının farklı yükleme oranlarında elde edildiği görülmüştür. Joncryl için % 0,5, PBO için % 1,5 ve APOSS için % 0,5 yükleme oranında en yüksek kopma uzaması sağlanmıştır. Joncryl ve APOSS miktarının artması ile kopma uzaması azalırken, PBO miktarı arttıkça kopma uzaması artmıştır. Tüm uyumlaştırıcı tür ve miktarları arasında Joncryl en iyi sonucu vermiştir ve en yüksek kopma uzaması değeri % 0,5 Joncryl eklendiği durumda gözlenmiştir. Buradan Joncryl'in KE ve PPS'nin arayüzey bağlanmasını artırdığı söylenebilir. Elyaf-matris arasındaki bağlanmanın zayıf olması durumunda, elyaf matristen kolayca ayrılacağından kopma erken gerçekleşir. Eğer bağlanma iyiye, uygulanan çekme kuvveti tüm yapıya yayılır ve uzama artar [113].



Şekil 4.30. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının kopma uzaması değerleri üzerine etkisinin incelenmesi

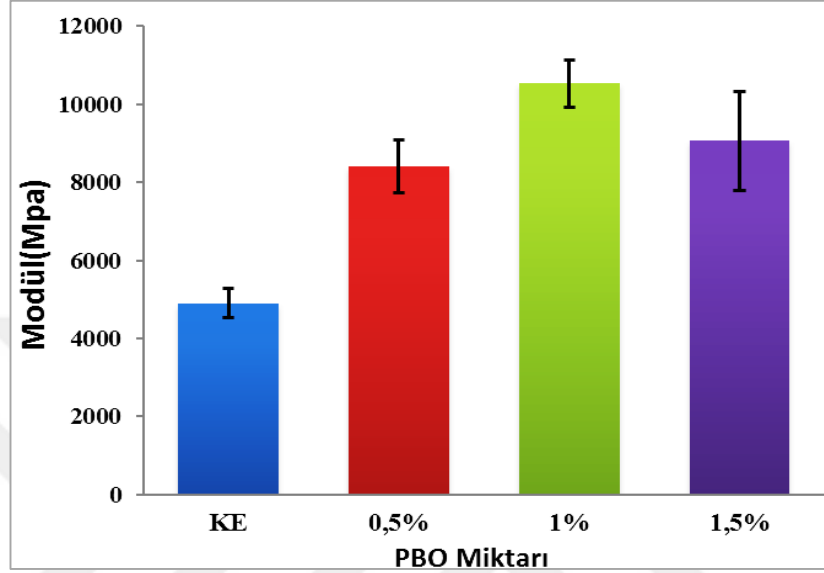
Kullanılan uyumlaştırıcı türü ve miktarının üretilen KE/PPS/uyumlaştırıcı kompozitlerinin modül değeri üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.31- 4.34'te verilmiştir.

Şekil 4.31'de farklı oranlarda Joncryl eklendiği durumdaki KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri görülmektedir. En yüksek modül değerleri % 1 ve 1,5 yükleme oranında % 81 olarak gözlenmiştir. % 0,5 yükleme oranı ise belirgin bir artış sağlamamıştır.



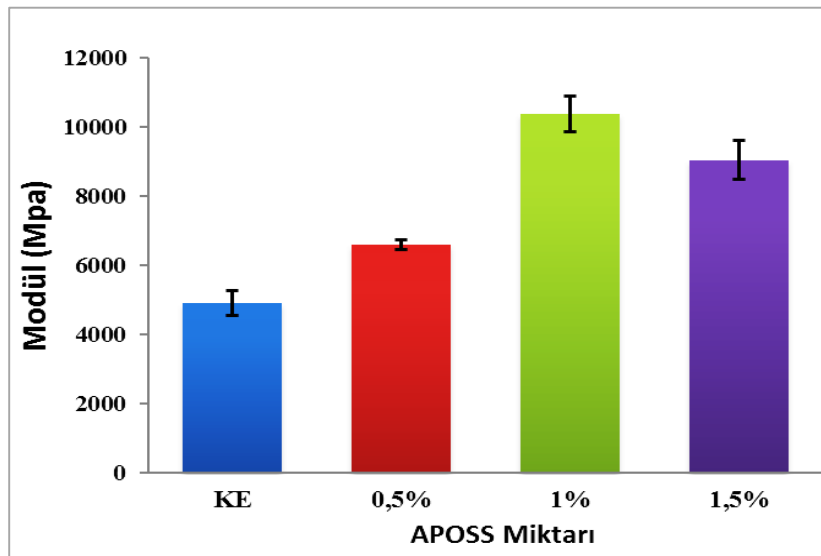
Şekil 4.31. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri

PBO yükleme oranının modül değerleri üzerine etkisi Şekil 4.32’de verilmiştir. Grafiğe göre, % 1 PBO eklendiğinde modül KE/PPS kompozitine göre % 114 artmıştır. Bu değeri % 84 ile % 1,5 yükleme oranı takip ederken, %0,5 PBO yükleme oranı % 71’lik bir artış sağlamıştır.



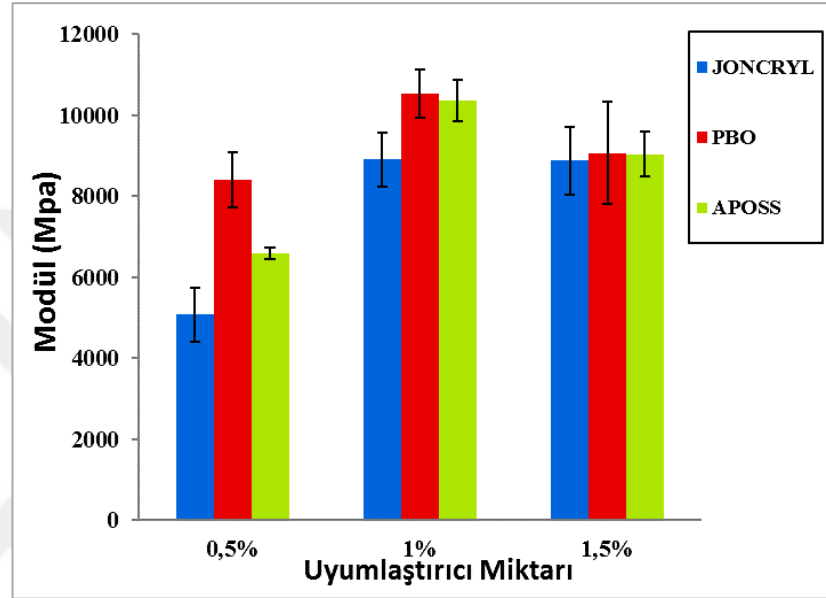
Şekil 4.32. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri

Şekil 4.33’te APOSS yükleme oranının modül değerleri üzerine etkisi verilmiştir. Grafik incelendiğinde, modül değerinin %1 APOSS eklendiği durumda % 111, % 1,5 eklendiğinde % 84, % 0,5 eklendiğinde ise % 34’lük bir artış sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.33. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin modül değerleri

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının KE/PPS/uyumlaştırıcı kompozitlerinin modülü üzerine etkisi Şekil 4.34'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Uyumlaştırıcı türünün modül üzerine etkisi incelendiğinde, Joncryl miktarı arttıkça modül değerinin arttığı görülmektedir. APOSS ve PBO için ise en yüksek modül değeri % 1 yükleme oranında elde edilmiştir. Tüm uyumlaştırıcı tür ve miktarları arasında en yüksek modül değerini % 1 PBO ilavesi sağlamıştır.



Şekil 4.34. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin incelenmesi

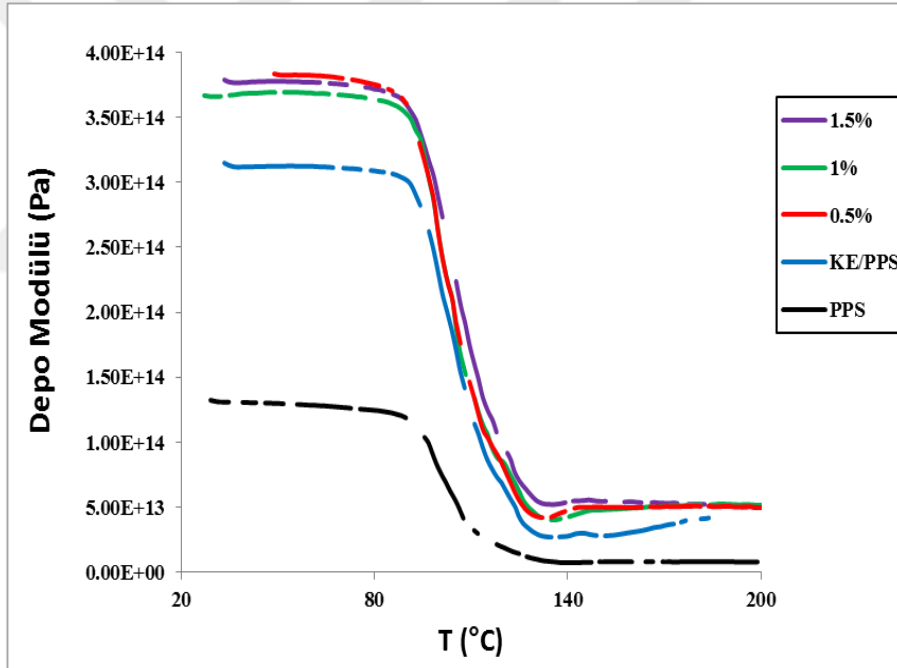
#### 4.2.4. Dinamik mekanik analiz (DMA) sonuçları

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının KE/PPS kompozitlerinin depo modülü ve sönümlenme faktörü ( $\tan\delta$ ) değerleri üzerine etkisini incelemek amacı ile DMA yapılmıştır. Kompozitlerin depo modülü değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak Şekil 4.35-4.38'de verilmiştir.

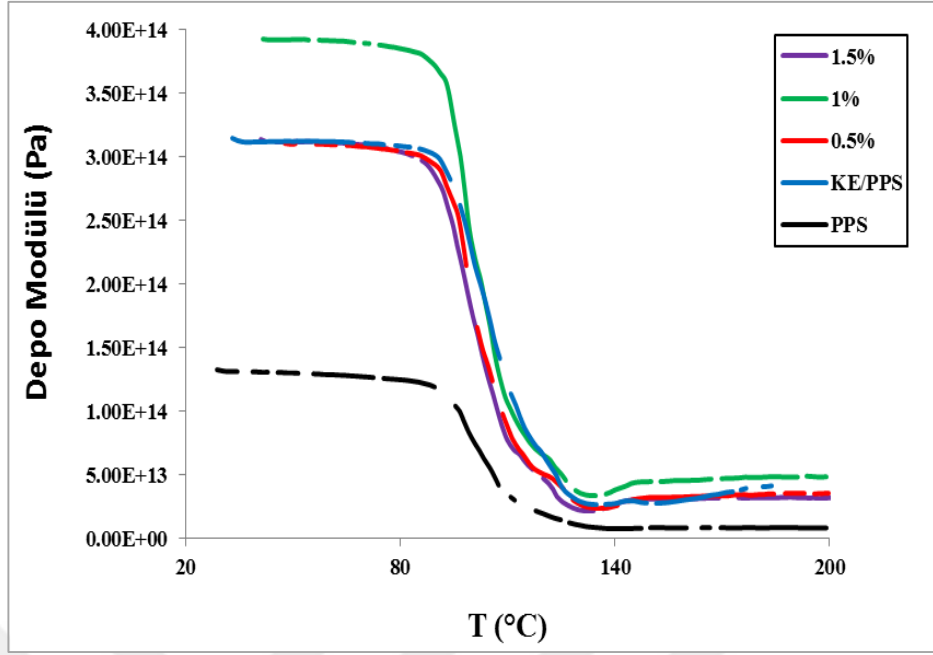
DMA sonucu elde edilen depo modülü-sıcaklık eğrisi, malzemelerin yük taşıma kapasitesi ve elyaf takviyeli kompozitlerin arayüzey uyumluluğu hakkında bilgi verir. Şekil 4.35-4.37'de verilen grafikler incelendiğinde, KE ilavesinin PPS matrisinin depo modülünü yaklaşık 3 kat artırdığı görülmektedir. Bu artış elyaf eklenmesi ile malzemenin sertliğinin artması ile açıklanabilir [99]. Tüm depo modülü grafiklerine bakıldığında, uyumlaştırıcı türlerinin depo modülünü etkilediği görülmektedir. Joncryl eklendiği durumda en yüksek değerler % 0,5 ve % 1,5 yükleme oranlarında elde

edilmiştir. APOSS eklenmesi ile en yüksek depo modülü % 1,5 için gözlenmiştir. PBO eklenmesi durumunda ise, % 1 yükleme oranında en yüksek değer elde edilmiştir. Şekil 4.38'deki karşılaştırmalı depo modülü grafiğinde, en yüksek depo modülünü % 1 PBO ilavesinin sağladığı görülmektedir. Bunu Joncryl'in takip ettiği görülmektedir.

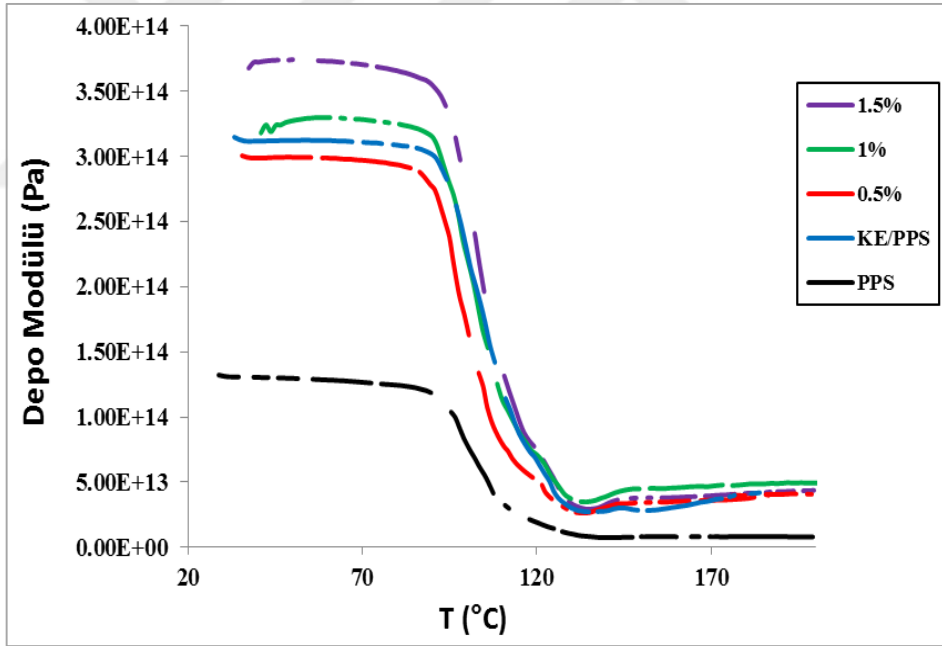
DMA ile elde edilen depo modülü değerleri sonucunda tüm uyumlaştırıcı türlerinin elyaf-matris arayüzey bağlanmasını geliştirdiği görülmüştür. Bilindiği üzere, arayüzey bağlanmasının güçlü olduğu durumda elyaftan matrise etkin bir stres transferi gerçekleşeceğinden mekanik özelliklerde artış olur. Ayrıca, uyumlaştırıcıların elyaf ile matris arasında köprü görevi görmesi sonucu kompozitin arafaz bölgesinin hacim fraksiyonunda artış, zincir hareketliliğinde de azalma olur. Bunun sonucu olarak da depo modülü artışı gözlenir [23,75,81].



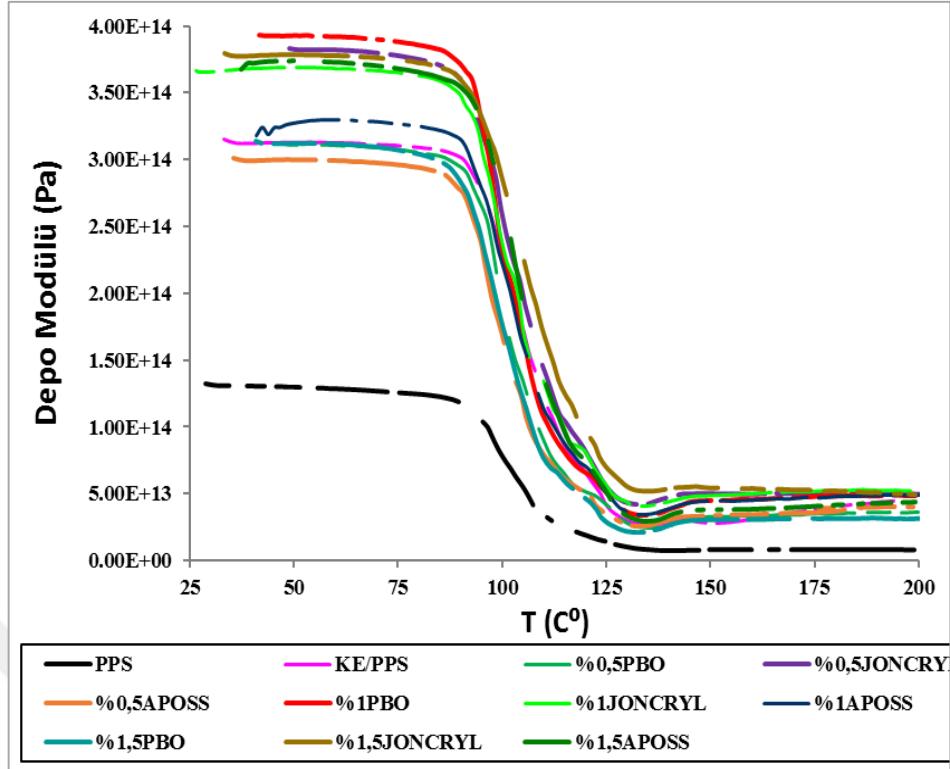
Şekil 4.35. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri



Şekil 4.36. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri



Şekil 4.37. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin depo modülü değerleri

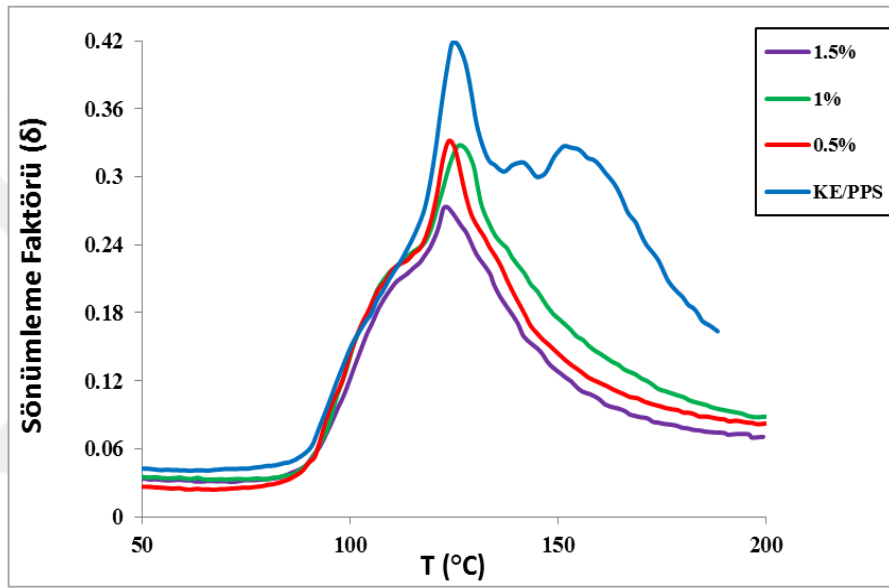


Şekil 4.38. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının depo modülü değerleri üzerine etkisinin incelenmesi

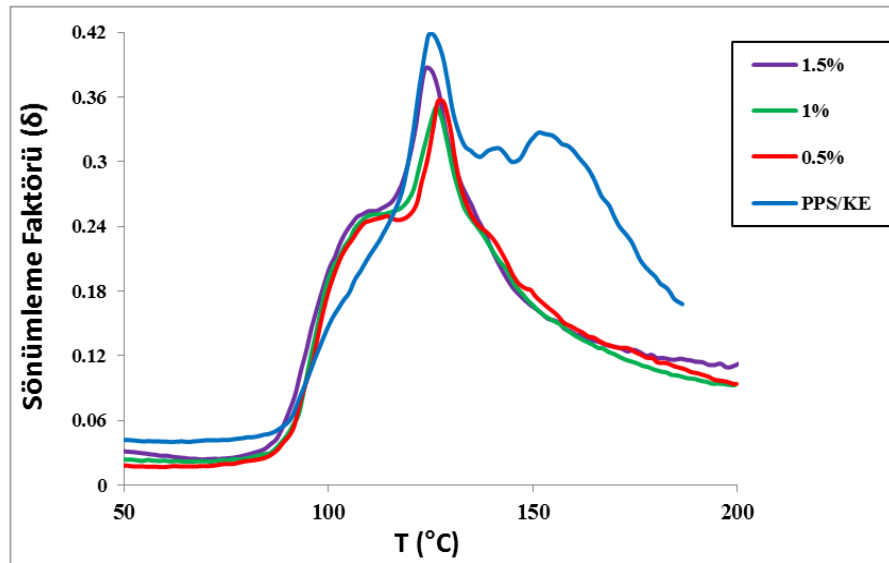
Bölüm 4.1.4'te de belirtildiği gibi elyaf takviyeli polimerik kompozitlerin sönümlenme faktörü ( $\tan \delta$ ), kompozitin deformasyona maruz kaldığında kaybettiği enerji hakkında bilgi verir. Elyaf ve matris arasında güçlü bir arayüzey bağlanması halinde, bu bölgedeki zincir hareketliliği azalacak dolayısıyla kompozitin DMA'da uygulanan periyodik deformasyonu taşıma kapasitesi artacaktır. Böylece daha az enerji kaybı olacaktır. Bunun sonucu olarak da,  $\tan \delta$  pikinin yüksekliği azalma eğilimi gösterecektir. Yani elyaf-matris arayüzey bağlanması arttıkça sönümlenme eğrisinin yüksekliği düşmektedir [23,75,76,101].

Şekil 4.39-4.41'de  $\tan \delta$  pik yükseklikleri incelendiğinde, genel anlamda tüm uyumlaştırıcı türleri ve yükleme oranları için KE/PPS kompozitine göre düşüş gözlenmiştir. Joncryl grafiği incelendiğinde, en iyi bağlanmayı % 1,5, en zayıf bağlanmayı ise % 0,5 yükleme oranının sağladığı görülmektedir. Bu durum çekme dayanımı sonuçları ile de uyum göstermektedir. Arayüzeydeki bağlanmanın iyi olmasının sonucu olarak çekme dayanımı ve depo modülü de artış göstermiştir. KE/PPS kompozitine eklenen APOSS miktarı arttığında  $\tan \delta$  pik yüksekliği de artmıştır. Bu durum yine çekme dayanımı değerleri ile paraleldir. PBO ilave edildiği

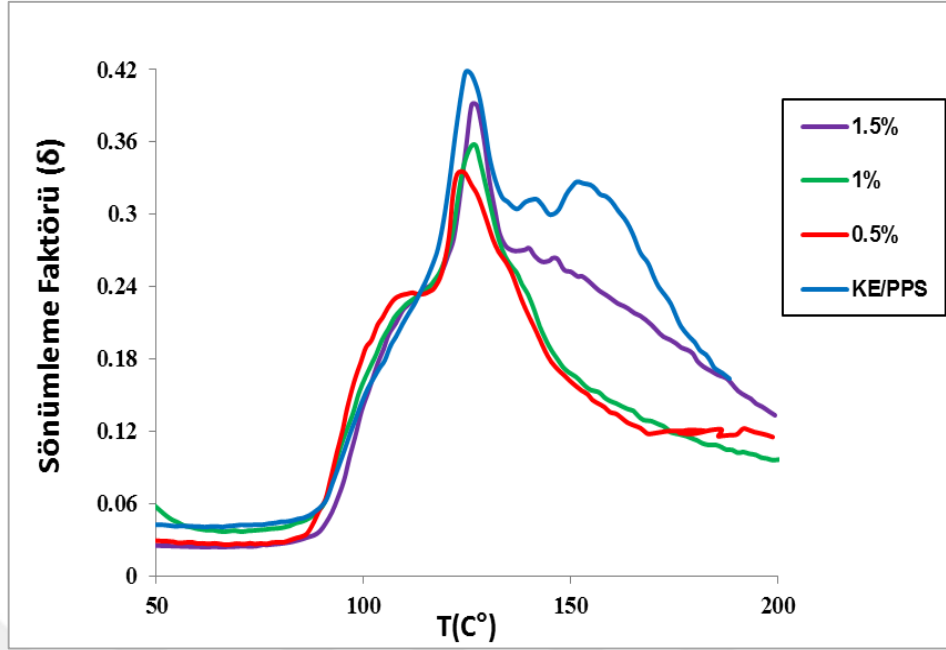
durumda ise en iyi bağlanma % 1 yükleme oranında gözlenmiştir. Bu sonuçlar çekme dayanımı ve depo modülü değerlerini desteklemektedir. Şekil 4.42'ye göre, en iyi arayüzey bağlanması % 1,5 Joncryl yüklemesinde elde edilmiştir. Bunu % 0,5-1 Joncryl ve % 0,5 APOSS takip etmektedir. Sönümleme faktörü grafiğine göre, uyumlaştırıcılar arasında en zayıf arayüzey bağlanması ise % 1,5 APOSS eklendiği durumda gözlenmiştir. Joncryl'in içerdiği epoksi fonksiyonel gruplarının PPS ve PA kaplama malzemesi ile uyumu ve FTIR sonuçları da % 1,5 Joncryl yüklemesinin arayüzey bağlanmasının iyi olması sonucunu desteklemektedir.



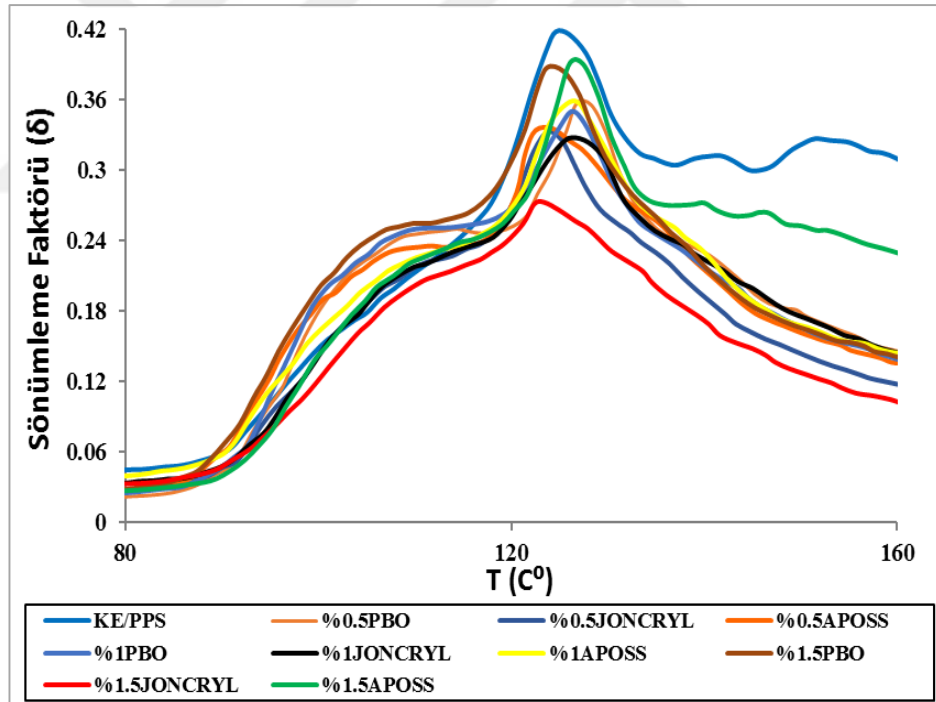
Şekil 4.39. Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümleme faktörleri



Şekil 4.40. PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümleme faktörleri



Şekil 4.41. APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin sönümleme faktörleri

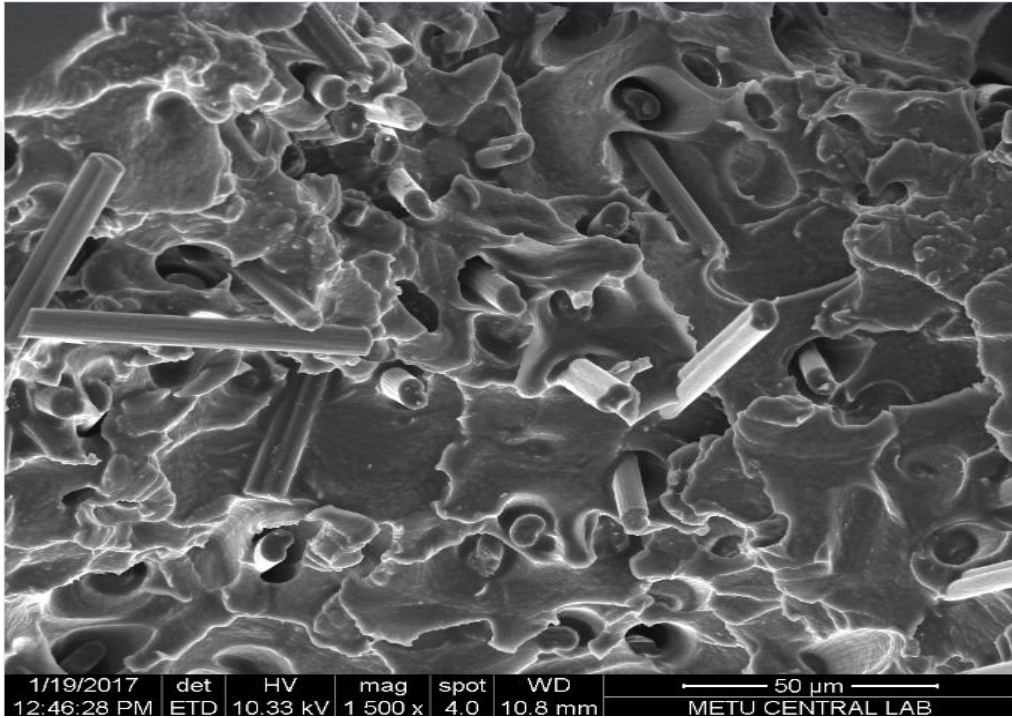


Şekil 4.42. Uyumlaştırıcı türü ve miktarının sönümleme faktörleri üzerine etkisinin incelenmesi

#### 4.2.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

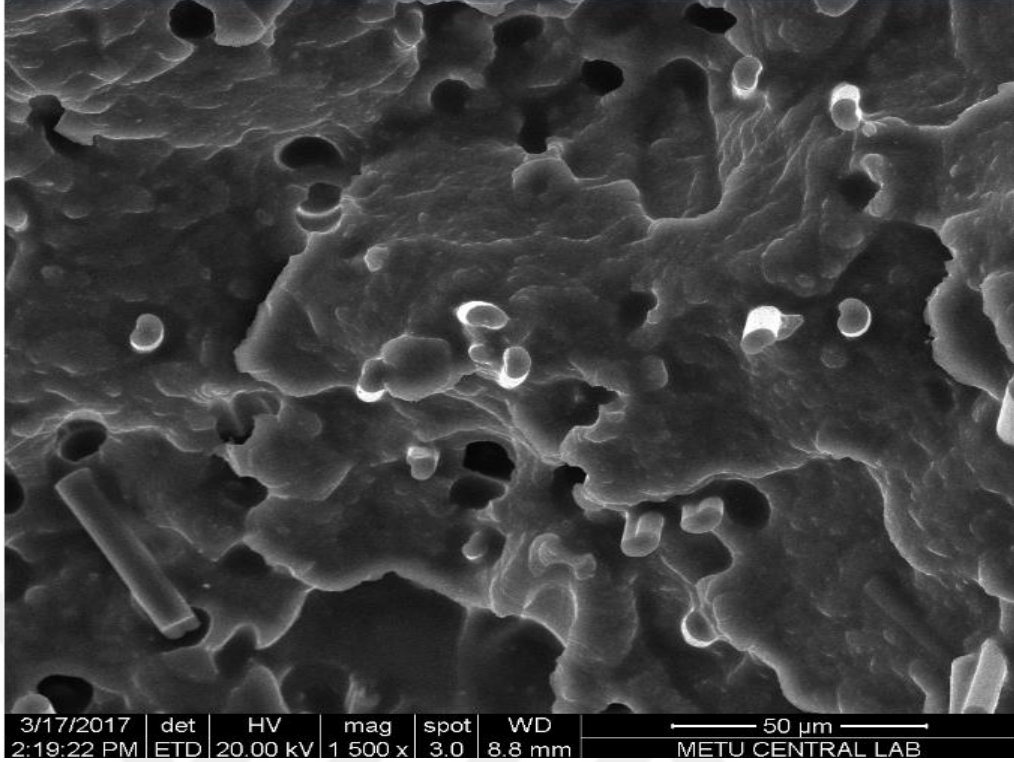
Üretilen kompozitlere uygulanan çekme testleri sonucunda elde edilen kopma yüzeylerinin morfolojisi SEM ile incelenmiştir. Analiz belirli örneklere uygulanmış ve SEM mikrografları Şekil 4.43- 4.47'de verilmiştir.

Şekil 4.43 uyumlaştırıcı içermeyen KE/PPS kompozitinin kopma yüzeyini göstermektedir. Mikrograftan görüldüğü üzere elyaf yüzeyleri temiz ve pürüzsüzdür yani elyaf yüzeyi polimer ile kaplanmamıştır. İyi bir bağlanma olmaması sonucu elyaf yüzeyden ayrılmıştır. Kopmadan önce matristen ayrılan lifler plastik deformasyona neden olmakta ve bunun sonucunda elyaf etrafında siyah halkalar şeklinde görülen boşluklar oluşmaktadır. Bu durum çekme sonuçlarını da desteklemektedir. Liflerin matristen ayrılması kopma uzamasını saf matrise göre düşmesine neden olmuştur [23,75,102,113].

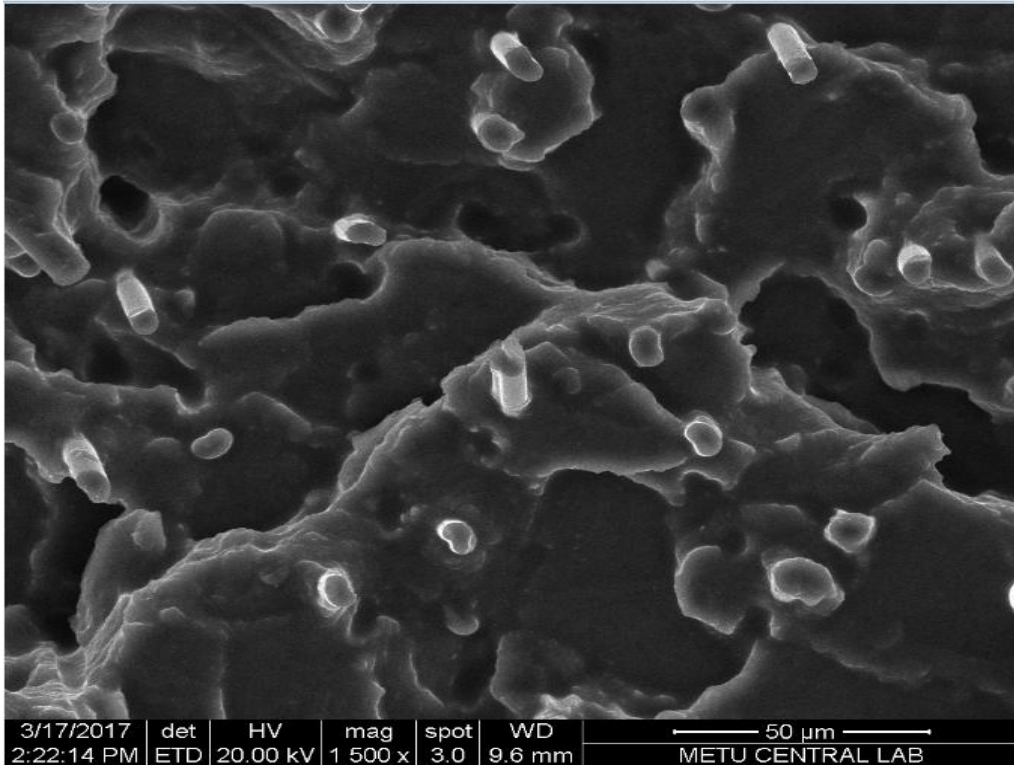


Şekil 4.43. PA-KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500)

Şekil 4.44 ve 4.45’de % 0,5 ve 1,5 Joncryl içeren kompozitin SEM mikrografları verilmiştir. Uyumlaştırıcı eklenmesi ile Joncryl’in her iki yükleme oranında da arayüzey bağlanmasında iyileşmeler gözlenmiştir. Uyumlaştırıcısız olana göre elyaf yüzeyleri daha pürüzlü bir hal almış ve matris ile kaplanmıştır. Yükleme oranı arttığında ise elyaf-matris bağlanması daha da artmıştır. % 0,5 yükleme oranında gözlenen lif ayrılmaları ve boşluklar tamamen yok olmuştur. Lifler polimer ile tamamen kaplanmış ve matrise gömülmüştür. Bu durum yine çekme sonuçları ile paraleldir. Joncryl yükleme oranı arttıkça mekanik özellikler artış sergilemiştir. Yine DMA sonucu elde edilen  $\tan \delta$  verileri % 1,5 Joncryl yüklemesinde arayüzey bağlanmasının iyi olduğunu desteklemektedir.



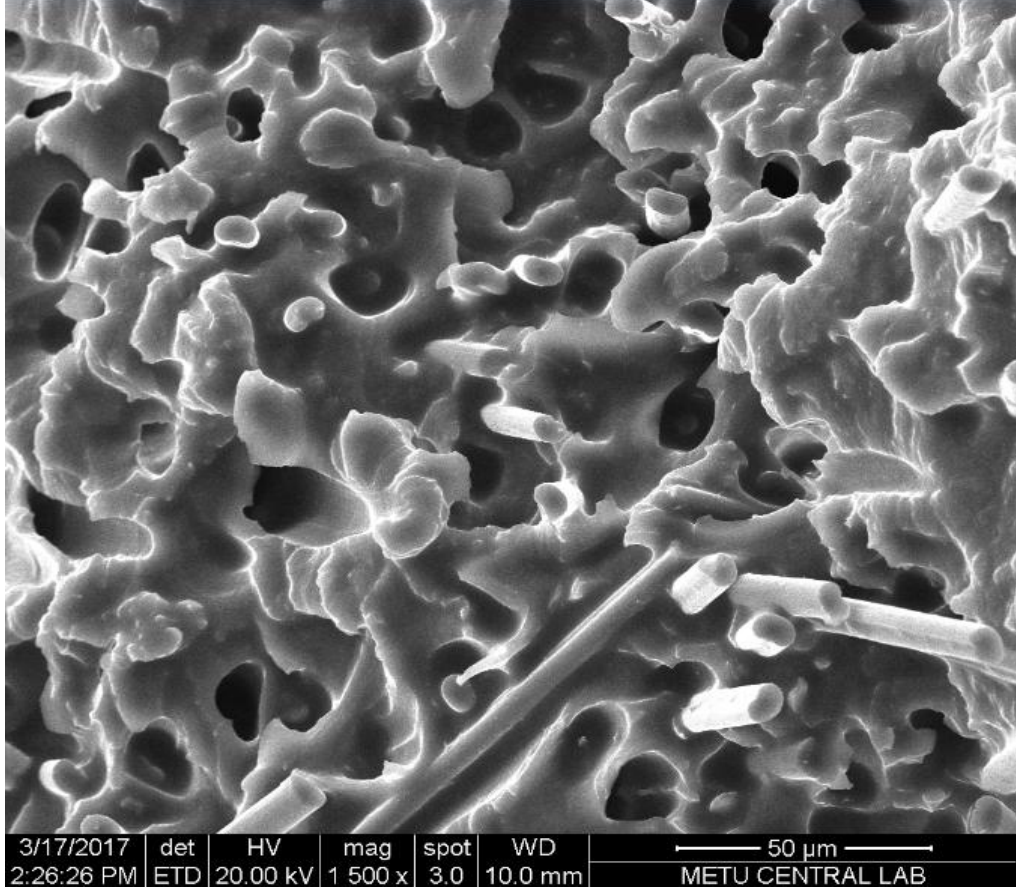
Şekil 4.44. % 0,5 Joncryl içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı(x1500)



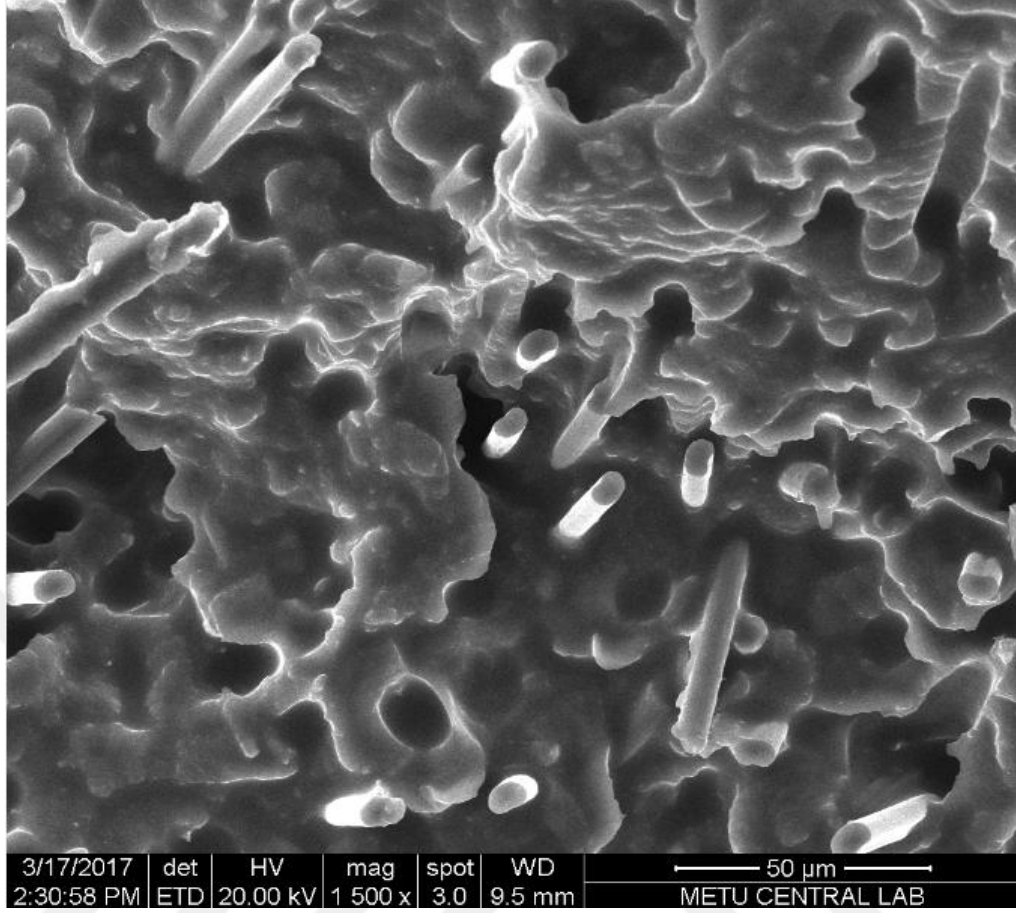
Şekil 4.45. % 1,5 Joncryl içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500)

Şekil 4.46 ve 4.47’de % 1,5 oranında PBO ve APOSS içeren kompozitlerin SEM mikrografları verilmiştir. % 1,5 PBO ilavesinde, KE/PPS kompozitine göre elyaf

yüzeyleri polimer ile kaplanmıştır. Fakat çekme esnasında matristen ayrılan liflerin oluşturduğu boşluklar görülmektedir. % 1,5 APOSS eklendiği durumda da yine arayüzey bağlanmasında iyileşme olmuştur. Tüm mikrograflar karşılaştırıldığında en iyi elyaf-matris bağlanması % 1,5 Joncryl eklendiği durumda gözlenmiştir. Bunu % 0,5 Joncryl yüklemesi takip etmektedir. APOSS da PBO eklendiği duruma göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 4.46. % 1,5 PBO içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500)



Şekil 4.47. % 1,5 APOSS içeren KE/PPS kompozitinin SEM mikrografı (x1500)

#### 4.2.6. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analiz sonuçları

Farklı uyumlaştırıcı türleri ve miktarları kullanılarak üretilen kompozitlerin ısı özelliklerini belirlemek amacı ile DSC ölçümleri yapılmıştır. Malzemelerin camı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ), erime sıcaklığı ( $T_m$ ), soğuk kristalizasyon sıcaklığı ( $T_{cc}$ ), kristalizasyon ( $\Delta H_{cc}$ ) ve erime entalpileri ( $\Delta H_f$ ) ölçümler sonucu belirlenmiştir. Kristalinite derecesi ( $\%X_c$ ) denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen DSC eğrileri EK B’de verilmiştir. Eğrilerden elde edilen veriler Tablo 4.3’te listelenmiştir.

Tablo 4.3. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC sonuçları

Numune	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>cc</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH <sub>cc</sub> (j/g)	ΔH <sub>f</sub> (j/g)	%X <sub>c</sub>
PPS	90,3	123,2	280,6	17,6	36,6	23,8
KE/PPS	90,9	118,2	278,1	3,5	25,4	30,4
%0,5 JONCRYL	88,8	123,8	278,7	17,5	27,9	14,5
%1 JONCRYL	89,8	123,6	279,0	23,7	30,9	10,1
%1,5 JONCRYL	90,1	118,2	277,0	4,5	27,3	32,2
%0,5 APOSS	90,0	119,4	278,1	6,5	29,7	32,4
%1 APOSS	90,4	125,2	279,2	22,3	34,7	17,4
%1,5 APOSS	89,6	124,2	279,3	17,4	32,1	20,7
1%0,5 PBO	90,3	121,5	278,3	9,9	26,4	23,1
%1 PBO	89,8	120,4	276,6	9,3	29,8	28,8
%1,5 PBO	90,4	120,8	279,1	9,4	27,9	26,1

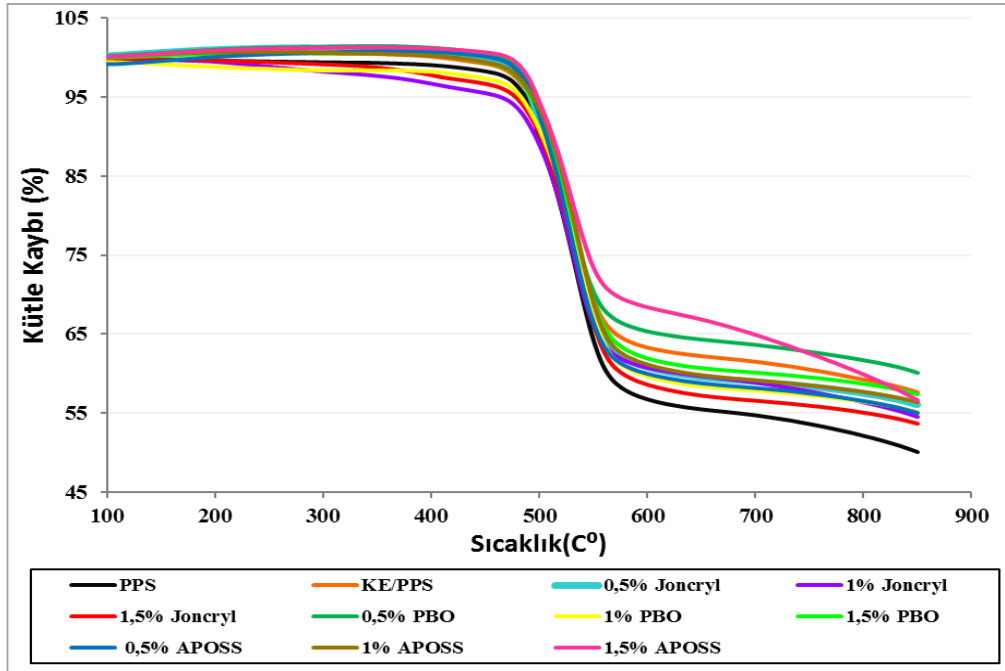
Bölüm 4.1.6'da da belirtildiği üzere PPS gibi yüksek performanslı polimerlerde kristalinite malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Kristalin faz sağlamlık sağlarken, amorf faz ise darbenin emilimini sağlar [103,104]. Tablo 4.3 incelendiğinde, uyumlaştırıcı ilavesi ile kompozitlerin T<sub>g</sub> ve T<sub>m</sub> değerlerinde saf PPS ve KE/PPS kompozitine göre önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Uyumlaştırıcı kompozitlerin T<sub>cc</sub> değerlerinde KE/PPS kompozitine göre 5 °C'ye kadar artış gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı kompozitler arasında en düşük T<sub>cc</sub> değerini % 1,5 Joncryl içeren kompozit sergilemiştir ve bu değer KE/PPS'nin T<sub>cc</sub> değeri ile aynıdır. KE/PPS kompozitine göre en yüksek T<sub>cc</sub>'yi % 1 APOSS içeren kompozit (125,2 °C) göstermiştir. Buradan uyumlaştırıcı ilavesinin KE/PPS kompozitinin kristallenme sürecini yavaşlattığı söylenebilir. Ayrıca uyumlaştırıcı içeren kompozitlerin ΔH<sub>cc</sub> değerlerinin KE/PPS kompozitine göre arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi uyumlaştırıcıların enjeksiyonla kalıplama esnasında, kompozitin kristalizasyonunu engellemesidir. Uyumlaştırıcı kompozitlerin kristaliniteleri incelendiğinde, uyumlaştırıcı türlerinin genel olarak KE/PPS kompozitinin % X<sub>c</sub> değerini düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüşün nedeni, uyumlaştırıcıların kısıtlayıcı alanlar gibi davranarak PPS zincirlerinin hareketlerini, düzenlenmesini engellemesi ve böylece de zincirlerin kristallenme sürecini yavaşlatmasıdır. Ayrıca kompozitlerin üretimi sırasında kristalin bölgeler tahrip edilebilmektedir [66,100,114].

Uyumlaştırıcı kompozitlerden % 0,5 APOSS ve % 1,5 Joncryl içeren kompozitlerin KE/PPS kompozitinin kristalinitesini yaklaşık % 2 oranında artırdıkları görülmektedir.

#### 4.2.7. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçları

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının KE/PPS kompozitlerin ısıl özelliklerini değerlendirmek amacıyla TGA yapılmıştır. Numunelerin TGA eğrileri Şekil 4.48.'da gösterilmiş ve karakteristik bozunma sıcaklıkları Tablo 4.4'de verilmiştir.

Şekil 4.48 incelendiğinde PPS ve tüm kompozitlerin azot atmosferinde tek basamaklı bozunma evresi sergilediği görülmektedir. Bölüm 4.1.7'de belirtildiği üzere PPS bozunması rasgele zincir kesilmesi şeklinde olmaktadır. Bu nedenle, tüm numunelerde tek basamaklı bozunma evresinin gözlenmesi, rasgele zincir kesilmesinin baskın bozunma mekanizması olduğunu göstermektedir. Tablo 4.4 incelendiğinde, KE/PPS kompozitinin  $T_{onset}$ ,  $T_{endset}$  değerlerinin uyumlaştırıcıların eklenmesi ile küçük değişimler sergilediği görülmektedir. En yüksek  $T_{onset}$  değeri % 1 APOSS eklendiği durumda 492,8 °C olarak görülmüştür. Kalıntı miktarlarına bakıldığında KE/PPS'in % 57,6 olan kalıntı miktarı % 0,5 PBO eklenmesi ile % 60,1'e yükselirken diğer tüm uyumlaştırıcı türleri için kalıntı miktarında bir miktar azalma gözlenmiştir.



Şekil 4.48. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin TGA eğrileri

Tablo 4.4. Uyumlaştırıcı içeren KE/PPS kompozitlerinin TGA sonuçları

Numune	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	Kalıntı <sub>850°C</sub> (%ağırlık)
PPS	485,2	544,4	533,5	50,1
KE/PPS	492,1	558,3	525,1	57,6
%0,5 JONCRYL	490,1	560,3	525,7	56,1
%1 JONCRYL	490,8	553,2	524,5	54,5
%1,5 JONCRYL	492,6	560,9	527,5	53,7
%0,5 PBO	492,5	556,3	523,8	60,1
%1 PBO	490,6	561,9	536,5	55,1
%1,5 PBO	491,9	558,5	534,1	57,3
%0,5 APOSS	491,7	559,5	523,9	55,0
%1 APOSS	492,8	561,7	528,1	56,4
%1,5 APOSS	490,7	560,3	523,3	56,6

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, yüzeyi farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış olan üç KE çeşidi kullanılarak PPS kompozitleri hazırlanmıştır. KE kaplama malzemesi olarak PU, EP ve PA kullanılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Daha sonra en düşük özelliklere sahip olan KE/PPS kompozitine, arayüzey bağlanmasını ve özelliklerini iyileştirmek amacıyla üç farklı uyumlaştırıcı kimyasal kullanılarak matris modifikasyonu işlemi uygulanmıştır. En düşük özelliklere sahip KE/PPS kompozitinin seçilme sebebi, uyumlaştırıcıların etkilerini daha iyi görebilmek ve en iyi uyumlaştırıcı türünü belirleyebilmektir. Uyumlaştırıcı olarak Joncryl, PBO ve APOSS seçilerek KE/PPS kompozitleri üretilmiş ve uyumlaştırıcılı kompozitlerin karakterizasyon testleri yapılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde, farklı ön kaplanmış KE/PPS kompozitlerinin karakterizasyonları yapılmıştır. KE'nin matris içindeki boyut dağılımı elyaf boyu analizi ile incelenmiştir. Sonuç olarak, karıştırma işlemi sonrası tüm elyaf türlerinin boylarında azalma olduğu görülmüştür. Ekstrüzyon işleminden en çok etkilenen yani en çok kırılan elyafın EP-KE olduğu bulunmuştur. Ortalama elyaf boyu en yüksek olan elyaf türü ise PU kaplanmış KE'dir.

KE çeşitlerine ve kompozitlere uygulanan FTIR analizi ile PU, EP ve PA kaplanmış KE'nin yüzeyindeki fonksiyonel gruplar ve PPS'nin uç grupları belirlenmiştir. Kompozitlerin FTIR spektrumları incelendiğinde PU-KE'nin PPS ile tepkime verebileceği, en zayıf etkileşimin ise PA-KE ile PPS arasında olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme testi uygulanmış ve kaplama türünün çekme dayanımı, kopma uzaması ve modül değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, tüm KE türlerinin eklenmesi ile PPS matrisinin çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Farklı kaplama malzemesinin kullanımının kompozitlerin çekme dayanımında belirgin fark

yaratmadığı sonucuna varılmıştır. Kopma uzaması sonuçları değerlendirildiğinde, ön kaplanmış KE türleri arasında en yüksek kopma uzamasını PU kaplamalı KE sağlarken, en düşük kopma uzaması PA-KE/PPS kompozitinde görülmüştür. Kaplama türlerinin kompozitlerin modül değerleri üzerine etkisi incelendiğinde en yüksek modül değeri PU-KE eklendiği durumda elde edilirken, en düşük değer PA-KE'de olduğu görülmüştür.

Kaplama türlerinin kompozitlerin termomekanik özellikleri üzerine etkisini incelemek amacı ile DMA yapılmıştır. DMA sonuçları değerlendirildiğinde, ön kaplama türünden bağımsız olarak KE ilavesinin PPS'nin depo modülünü belirgin derecede artırdığı görülmüştür. En yüksek depo modülü değerini PU-KE/PPS kompoziti sergilemiştir. Elyaf-matris arayüzey bağlanmasını değerlendirmek için sönümlenme faktörü değerleri incelendiğinde en iyi arayüzey bağlanmasını PU kaplama malzemesinin sağlarken, en düşük elyaf-matris bağlanması PA kaplaması kullanıldığında elde edilmiştir.

SEM mikrografı incelendiğinde, diğer sonuçlara paralel olarak en iyi arayüzey bağlanmasının EP ve PU kaplamalı KE kullanıldığı durumda elde edildiği görülmüştür.

Kaplama türlerinin kompozitlerin ısı özellikleri üzerine etkisi DSC analizi ile değerlendirilmiştir. Kaplama türünün kompozitlerin  $T_g$  ve  $T_m$  değerlerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. KE/PPS kompozitlerinin  $T_{cc}$  ve  $\Delta H_{cc}$  değerleri ise saf PPS'e göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca PPS'nin % kristalinite değeri PA ve PU kaplanmış KE çeşitleri kullanıldığında % kristalinite değerleri saf PPS'e göre artış göstermiştir. EP-KE/PPS kompozitinin % kristalinitesi ise belirgin bir değişim sergilememiştir. KE türleri arasında en yüksek kristaliniteyi PU kaplama malzemesi sağlamıştır.

PPS ve farklı kaplama malzemesi ile kaplanmış KE takviyeli kompozitlerin ısı kararlılığını değerlendirmek için yapılan TGA sonuçları incelendiğinde, PPS'nin  $T_{onset}$  değerinin kaplama türünden bağımsız olarak KE eklenmesi ile arttığı görülmüştür. En yüksek  $T_{onset}$  değerini PU-KE/PPS kompozitinin verdiği gözlenmiştir. Ayrıca KE eklenmesi ile elde edilen kalıntı miktarı artmış ve en fazla kalıntı miktarını EP-KE/PPS kompoziti vermiştir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, farklı kaplama türlerinin KE/PPS kompozitlerinin özellikleri ve arayüzey bağlanması üzerinde etkili olduğu görülmüştür. En iyi arayüzey bağlanmasını ve mekanik özellikleri PU-KE/PPS kompoziti sergilerken en düşük değerler PA-KE kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

PA-KE/PPS kompozitinin ara yüzey bağlanmasını ve özelliklerini iyileştirmek amacı ile Joncryl, PBO ve APOSS uyumlaştırıcı türleri üç farklı oranda eklenerek uyumlaştırıcılı kompozitler hazırlanmış ve karakterizasyon testleri yapılmıştır.

Uyumlaştırıcı türlerinin elyaf boyu dağılımı üzerine etkisi incelendiğinde, PA-KE/PPS kompozitinin ortalama elyaf boyu 133 µm iken bu değer uyumlaştırıcı eklenmesi ile çok az düştüğü görülmüştür. Analiz sonucunda, PA-KE'nin en kısa boyunun APOSS, en uzun ise Joncryl eklendiği durumda olduğu görülmüştür.

Farklı uyumlaştırıcı türleri, elyaf ve matris arasındaki kimyasal etkileşimleri değerlendirmek amacı ile FTIR analizi yapılmıştır. FTIR spektrumu incelendiğinde PPS'nin piklerinde tüm uyumlaştırıcı türleri için genel bir değişiklik olduğu gözlenmiştir. PPS'nin C-Cl bağ titreşimlerinin kompozitlerde yüksek dalga boylarına kaydığı ve kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Kompozitler kendi arasında kıyaslandığında, Joncryl ile PPS matrisinin etkileşimin en iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Beklendiği gibi, uyumlaştırıcıların farklı oranlarda eklenmesinin FTIR etkileşimleri açısından herhangi bir etkisi olmamıştır.

Kullanılan uyumlaştırıcı türü ve miktarlarının kompozitlerin çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, tüm uyumlaştırıcı türleri için çekme dayanımında artış gözlenmiştir. Joncryl eklendiği durumda yükleme miktarı arttıkça çekme dayanımı artarken, APOSS eklendiğinde miktar arttıkça azalmıştır. PBO eklendiğinde en yüksek değer % 1 yükleme oranında elde edilmiştir. Üç uyumlaştırıcı türü arasında en yüksek çekme dayanımını % 1,5 Joncryl'in sağladığı görülmüştür. Tüm uyumlaştırıcılı kompozitlerin, farklı kaplama malzemeleri ile kaplanmış KE/PPS kompozitleri arasında en yüksek çekme dayanımı değerini veren PU-KE/PPS kompozitine göre daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Kopma uzaması sonuçları değerlendirildiğinde, PA-KE/PPS kompozitine uyumlaştırıcıların eklenmesi ile kopma uzaması değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Joncryl ve APOSS eklendiği durumda en yüksek kopma uzaması % 0,5 yüklemeye, PBO eklendiğinde ise % 1,5 yükleme oranında elde edilmiştir. Tüm uyumlaştırıcı türleri arasında Joncryl en iyi sonucu vermiştir ve en yüksek kopma uzaması değeri % 0,5 Joncryl eklendiği durumda gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı kompozitlerin kopma uzaması sonuçları farklı kaplama türlerinin sonuçları ile karşılaştırıldığında, % 0,5 Joncryl içeren kompozitin PU-KE/PPS kompozitinin değerinden yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Diğer kopma uzaması değerleri PU-KE/PPS kompozitine ulaşamamıştır.

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının modül üzerine etkisi incelendiğinde, Joncryl miktarı arttıkça modül değerinin arttığı, APOSS ve PBO için ise en yüksek modül değeri % 1 yükleme oranında olduğu görülmüştür. Tüm uyumlaştırıcı tür ve miktarları arasında en yüksek modül değerini % 1 PBO ilavesi sağlamıştır. Sonuçlar kaplama türleri arasında en yüksek modül değerini sergileyen PU-KE/PPS kompoziti ile karşılaştırıldığında, % 1 ve 1,5 uyumlaştırıcı içeren tüm PA-KE/PPS kompozitlerinin modül değerlerinin PU-KE/PPS'den yüksek olduğu görülmüştür.

Kompozitlere uygulanan DMA ile elde edilen depo modülü sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek depo modülü değerlerinin Joncryl eklendiği durumda % 0,5 ve % 1,5, APOSS için % 1,5 ve PBO için % 1 yükleme oranlarında olduğu görülmüştür. Tüm uyumlaştırıcı türü ve miktarları arasında en yüksek depo modülünü % 1 PBO ilavesinin sağladığı gözlenmiştir. Bunu Joncryl'in takip ettiği görülmüştür. Elyaf ve matris arasındaki arayüzey bağlanmasını değerlendirmek amacı ile sönümleme faktörlerine bakıldığında, tüm uyumlaştırıcı türleri ve yükleme oranları için PA-KE/PPS kompozitine göre arayüzey bağlanmasının iyileştiği görülmüştür. En iyi arayüzey bağlanması % 1,5 Joncryl yüklemesinde elde edilmiştir.

Farklı uyumlaştırıcıların kullanıldığı kompozitlerin SEM mikrografları incelendiğinde uyumlaştırıcı ilavesinin, türünden bağımsız olarak PA-KE/PPS kompozitinin arayüzey bağlanmasını artırdığı görülmüştür. Tüm SEM mikrografları karşılaştırıldığında en iyi arayüzey özellikleri % 1,5 Joncryl eklendiği durumda gözlenmiştir. Bunu % 0,5 Joncryl yüklemesi takip etmektedir. APOSS da PBO'ya göre daha iyi sonuç vermiştir.

Uyumlaştırıcı türü ve miktarının, kompozitlerin ısıl özellikleri üzerine etkisi DSC analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, uyumlaştırıcı ilavesinin kompozitlerin  $T_g$  ve  $T_m$  değerlerini önemli derecede etkilemezken  $T_{cc}$  değerlerini

artırdığı görülmüştür. Buradan uyumlaştırıcı ilavesinin KE/PPS kompozitinin kristallenme sürecini yavaşlattığı sonucuna varılmıştır. Uyumlaştırıcılı kompozitlerin kristaliniteleri incelendiğinde, uyumlaştırıcı türlerinin genel olarak KE/PPS kompozitinin %  $X_c$  değerini düşürdüğü görülmüştür.

Kompozitlerin ısı kararlılığını değerlendirmek amacı ile yapılan TGA sonuçları incelendiğinde, KE/PPS kompozitinin  $T_{onset}$ ,  $T_{endset}$  değerlerinin uyumlaştırıcıların eklenmesi ile küçük değişimler sergilediği görülmüştür. En yüksek  $T_{onset}$  değerini % 1 APOSS içeren kompozit sergilemiştir. Kalıntı miktarlarına bakıldığında en yüksek miktar % 0,5 PBO eklenmesi ile elde edilirken, diğer tüm uyumlaştırıcı türleri için kalıntı miktarında bir miktar azalma gözlenmiştir.

Endüstride birçok alanda kullanılan KE/PPS kompozitlerinde elyaf-matris arayüzey bağlanmasının kompozitin mekanik özelliklerini etkilediği görülmüştür. Bu nedenle arayüzey bağlanmasını iyileştirilmeye yönelik yapılacak çalışmalar önemlidir. Bu tez çalışmasında epoksi grubunun PPS ile uyumlu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle ileriye dönük, KE/PPS arayüzey uyumlaştırmak için yapısında epoksi grubu bulunduran, eşdeğer epoksi ağırlığı bu çalışmada kullanılan Joncryl'den daha fazla olan uyumlaştırıcı kimyasallar kullanılabilir. Matris modifikasyonu işlemi PU kaplamalı ve kaplanmamış KE kullanılarak da uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Hemanth R., Sekar M., Suresha B., Effects of Fibers and Fillers on Mechanical Properties of Thermoplastic Composites, *Indian J. Adv. Chem. Sci.*, 2014, **2**, 28–35.
- [2] Akay M., *An Introduction to Polymer-Matrix Composites*, 1st. ed., Turkey, 2015.
- [3] Sharma M., Gao S., Mäder E., Sharma H., Wei L.Y., Bijwe J., Carbon Fiber Surfaces and Composite Interphases, *Compos. Sci. Technol.*, 2014, **102**, 35–50.
- [4] Zhang J., Different Surface Treatments of Carbon Fibers and Their Influence on the Interfacial Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites, Doctoral Thesis, Materials, Ecole Centrale Paris, France, 2012.
- [5] Mazumdar S.K., *Composite Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*, 1st ed., CRC Press, United States of America, 2002.
- [6] Yang Y., Duan H., Zhang S., Niu P., Zhang G., Long S., Wang X., Yang J., Morphology Control of Nanofillers in Poly (phenylene sulfide): A Novel Method to Realize the Exfoliation of Nanoclay by SiO<sub>2</sub> via Melt Shear Flow, *Compos. Sci. Technol.*, 2013, **75**, 28–34.
- [7] Carnevale P., Fibre-Matrix Interfaces in Thermoplastic Composites A Meso-Level Approach, Doctoral Thesis, Technische Universiteit Delft, Holland, 2014.
- [8] Dokur M.M., Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 251591.
- [9] Callister W., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 2007.
- [10] US Department of Energy, Technology Assessments: Composite Materials, *Quadrennial Technology Review*, US, 2015.
- [11] Mitchell B.S., *An Introduction to Materials Engineering and Science*, 2nd ed., John Wiley & Sons. Inc., USA, 2004.
- [12] Kaw A.K., *Mechanics of Composite Materials*, 2nd ed., Taylor & Francis Group, USA, 2006.
- [13] Office of Technology Assessment, Polymer Matrix Composites, *Advanced Materials by Design*, Government Printing Office, Washington, 73–95, 1988.

- [14] Hoa S.V., *Principles of the Manufacturing of Composite Materials*, 1st ed., DES Tech Publications, Pennsylvania, 2009.
- [15] Özkan C., Ön Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Polikarbonat Karmalarının Hazırlanması Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 335445.
- [16] Nakamura H., Tanaka Y., Nakai A., Kobayashi S., Ikuta N., Interfacial Properties of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites, *The 10th International Conference on Flow Processes in Composite Materials*, Ascona, 11-15 July, 2010.
- [17] Karlı N.G., Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011, 283046.
- [18] Department of Defense of USA, Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design and Analysis, *Composite Materials Handbook*, 2nd ed., USA, 2002.
- [19] Yuan X., Zhu B., Cai X., Liu J., Qiao K., Yu J., Optimization of Interfacial Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites via A Modified Polyacrylate Emulsion Sizing, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.12.234.
- [20] Carrillo-Escalante H.J., Alvarez-Castillo A., Valadez-Gonzalez A., Herrera-Franco P.J., Effect of Fiber-Matrix Adhesion on the Fracture Behavior of a Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic-Modified Epoxy Matrix, *Carbon Lett.*, 2016, **19**, 47–56.
- [21] Kim J-K., Mai Y-W., *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites*. 1st ed., Elsevier Science Ltd, U.K., 1998.
- [22] Dányádi L., Gulyás J., Pukánszky B., Coupling of Carbon Fibers to Polycarbonate: Surface Chemistry and Adhesion, *Compos. Interfaces* 2003, **10** (1), 61–76.
- [23] Li N., Zong L., Wu Z., Liu C., Wang J., Jian X., Effect of Poly(phthalazinone ether ketone) with Amino Groups on the Interfacial Performance of Carbon Fibers Reinforced PPBES Resin, *Compos. Sci. Technol.*, DOI: 10.1016/j.compscitech.2017.06.020.
- [24] Hong R., Zhang K., Liu B., Zhang G., Wang X., Long S., Yang J., Improvement of Mechanical Properties of Polyphenylene Sulfide/Carbon Fiber Composites Modified by Aminated Reinforcement, *Mater. Sci. Forum*, 2015, **815**, 523–528.
- [25] Rahmani H., Ashori A., Varnaseri N., Surface Modification of Carbon Fiber for Improving the Interfacial Adhesion Between Carbon Fiber and Polymer Matrix. *Polym. Adv. Technol.*, 2016, **27**, 805–811.

- [26] Yang J., Xiao J., Zeng J., Bian L., Peng C., Yang F., Matrix Modification with Silane Coupling Agent for Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites, *Fibers Polym.*, 2013, **14** (5), 759–766.
- [27] Pracella M., Chionna D., Anguillesi I., Kulinski Z., Piorkowska E., Functionalization, Compatibilization and Properties of Polypropylene Composites with Hemp Fibres, *Compos. Sci. Technol.*, 2006, **66**, 2218–2230.
- [28] Geibel J., Leland J., Polymers Containing Sulfur, Poly(Phenylene Sulfide), Kirk Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- [29] Nohara L.B., Nohara E.L., Moura A., Costa M.L., Rezende M.C., Study of Crystallization Behavior of Poly(Phenylene Sulfide), *Polímeros Ciência E Tecnol.*, 2006, **16**, 104–110.
- [30] Harper C.A., *Modern Plastics Handbook*, 1st ed., McGraw-Hill, USA, 2000.
- [31] Kalaycı E., Avinç O., Yavaş A., Polifenilen Sülfid (PPS) Lifleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, 2016, **4**, 88–103.
- [32] Ticona, Fortron PPS for Thermoplastic Composites, 2012.
- [33] Fahey D.R., Ash C.E., Mechanism of Poly(p-phenylene sulfide) Growth from p-Dichlorobenzene and Sodium Sulfide, *Macromolecules* 1991, **24**, 4242–4249.
- [34] Wade B., Abhiraman A.S., Wharry S., Sutherlin D., High- Temperature , High-Resolution Nuclear Magnetic Resonance of Poly ( p-phenylene sulfide ), *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, 1990, **28**, 1233–1249.
- [35] Chand S., Carbon Fibers for Composites, *J. Mater. Sci.*, 2000, **35**, 1303–1313.
- [36] BASF, Joncryl Adr-4300, [http://www2.basf.us/additives/pdfs/4300\\_TDS.pdf](http://www2.basf.us/additives/pdfs/4300_TDS.pdf) (Ziyaret Tarihi: 01.09.2017)
- [37] Cailloux J., Santana O.O., Franco-Urquiza E., Bou J.J., Carrasco F., Gámez-Pérez J, Maspoch M.L., Sheets of Branched Poly(lactic acid) Obtained by One Step Reactive Extrusion Calendering Process: Melt Rheology Analysis, *Express Polym. Lett.*, 2013, **7** (3), 304–18.
- [38] Karlı N.G., Farklı Kaplama Malzemeleri ile Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Poliamit 6.6 ve Poli(Bütilen Teraftalat) Karmaların Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 360885.
- [39] Yılmaz S., Yılmaz T., Effect of POSS and Chain Extender on Tensile and fracture Properties of Neat and Short Glass Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.*, 2014, **67**, 274–81.

- [40] Milliman H.W., Ishida H., Schiraldi D.A., Structure Property Relationships and the Role of Processing in the Reinforcement of Nylon 6-POSS Blends. *Macromolecules*, 2012, **45**, 4650–4657.
- [41] Abiras H.W., Bennabi L., Belarbi L., Guemra K., Monomer Synthesis 2,2'-(1,4-phenylene)-bis (2-oxazoline) Polymer Precursor and Their Application to the Synthesis of Copolymer, *J. Mater. Process Environ.*, 2016, **4** (2), 91–94.
- [42] Böhme F., Jakisch L., Komber H., Wursche R., Multifunctional Coupling Agents. Part 4: Block Copolymers Based on Amino Terminated Polyamide-12 and Carboxy Terminated Poly(butylene terephthalate), *Polym. Degrad. Stab.*, 2007, **92**, 2270–2277.
- [43] Allen K.A., *Processing Thermoplastic Composites*, Springer, 1st ed., Boston, 2012.
- [44] Rauwendaal C., *Polymer Extrusion*, 5th ed., Hanser Publishers, München, 2014.
- [45] Baird D., Polymer Processing, Editor: Meyers R., *Encyclopedia Physics Science and Technology*, 3rd ed., 611–43, 2001.
- [46] Vegt A.K., *From Polymers to Plastics*, Internet ed., VSSD, Netherlands, 2002.
- [47] Kodal M., Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit) Temelli Nanokompozitlerinin Fiziksel Özellikleri Ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379726.
- [48] Smith B.C., *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, 2nd ed., CRC Press, USA, 2011.
- [49] Santos-Villarreal G., Elizalde L.E., Aguilar-Vega M., Polymer Characterization, Editors: Saldivar-Guerra E., Vivaldo-Lima E., *Handbook of Polymer Synthesis Characterization and Processing*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 335–435, 2013.
- [50] Ftir Absorbsiyon Spektroskopisi  
[http://www.bayar.edu.tr/besergil/IR\\_4\\_FTIR.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/IR_4_FTIR.pdf) (Ziyaret Tarihi: 10. 11. 2017).
- [51] Savaşçı Ö.T., Beşergil B., Kısa Açıklamalarıyla En Yaygın Uygulanan Fiziksel Nitelikteki Standart Plastik Testleri, *Plastik İşleme ve Kalite Kontrol*, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, 120–138, 1989.
- [52] Menard K.P., *Dynamic Mechanical Analysis: A Practical Introduction*. 2nd ed., CRC Press, USA, 2008.
- [53] Gu H., Dynamic Mechanical Analysis of the Seawater Treated Glass/Polyester Composites, *Mater. Des.*, 2009, **30**, 2774–2777.
- [54] Menczel J.D., Prime R.B., *Thermal Analysis of Polymers Fundamentals and Applications*, 1st ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 2009.

- [55] Sichina W.J., Characterization of Polymers Using TGA, Perkin Elmer Instruments 2000.  
[http://depts.washington.edu/mseuser/Equipment/RefNotes/TGA\\_Notes.pdf](http://depts.washington.edu/mseuser/Equipment/RefNotes/TGA_Notes.pdf)  
 (Ziyaret Tarihi:5. 11. 2017).
- [56] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Plastik Teknolojisi Termal Analiz Uygulamaları, Ankara, 2014.
- [57] Guo Q., *Polymer Morphology: Principles, Characterization, and Processing*, 1st ed., JohnWiley & Sons, Inc., New Jersey, 2016.
- [58] Bever M.B., FRS R., *Concise Encyclopedia of Materials Characterization*, 1st ed., Pergamon Press, US, 1993.
- [59] Echlin P., *Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 1st ed., Springer Science, USA, 2009.
- [60] Wang Z., Huang X., Xian G., Li H., Effects of Surface Treatment of Carbon Fiber: Tensile Property, Surface Characteristics, and Bonding to Epoxy, *Polym. Compos.*, 2015, **37**, 2921.
- [61] Yi J.W., Lee W., Seong D.G., Won H.J., Kim S.W., Um M.K., Byun J.H., Effect of phenoxy-based coating resin for reinforcing pitch carbon fibers on the interlaminar shear strength of PA6 composites, *Compos. Part A*, DOI: 10.1016/j.compositesa.2016.04.028.
- [62] Liu Y., Zhang X., Song C., Zhang Y., Fang Y., Yang B., Wang X., An Effective Surface Modification of Carbon Fiber for Improving the Interfacial Adhesion of Polypropylene Composites, *Mater. Des.*, 2015, **88**, 810–819.
- [63] Kaynak C., Orgun O., Tincer T., Matrix and Interface Modification of Short Carbon Fiber-Reinforced Epoxy, *Polym. Test*, 2005, **24**, 455–462.
- [64] Zhang X.Z., Song Y.J., Huang Y.D., Properties of Silsesquioxane Coating Modified Carbon Fibre/Polyarylacetylene Composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2007, **67**, 3014–3022.
- [65] Zhao F., Huang Y., Improved Interfacial Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites Through Grafting Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane on Carbon Fiber Surface, *Mater. Lett.*, 2010, **64**, 2742–274.
- [66] Karsli N.G., Aytac A., Effects of Maleated Polypropylene on the Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Mater. Des.*, 2011, **32**, 4069–4073.
- [67] Mantia F.P., Ceraulo M., Giacchi G., Mistretta M.C., Botta L., Effect of a Compatibilizer on the Morphology and Properties of Polypropylene/Polyethylenterephthalate Spun Fibers, *Polymers*, 2017, **9**,1–14.

- [68] Frenz V., Scherzer D., Villalobos M., Awojulu A., Edison M, Van Der Meer R., Multifunctional Polymers as Chain Extenders and Compatibilizers for Polycondensates and Biopolymers, *Plast. Eng.*, 2008, **3**, 1678–1682.
- [69] Chu-xin L., Tao Z.T., Hao G., Jian-xun W., Ai-min Z., Tao Z., Chain Extension Study for Polyphenylene Sulfide Resin Extrusion Reaction, *China Plast. Ind.* 2014.
- [70] Ramalingam H., Sanner M., Sheth K., Blends of Polyphenylene Sulfones and Polyphenylene Sulfide Resins, 2014, U.S. Patent No. 0194556 A1, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [71] Gui H., Zhou T., Li L, Zhou T., Liu F., Zhan Y., Zhan A., Structure, Properties, and Mechanism of Reactive Compatibilization of Epoxy to Polyphenylene Sulfide/Polyamide Elastomer, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, **130** (5), 3411–3420.
- [72] Liu B., Wang X., Long S., Yang J., Interfacial Micromechanics of Carbon Fiber-Reinforced Polyphenylene Sulfide Composites, *Compos. Interfaces*, 2014, **21** (4), 359–369.
- [73] Ramanathan T., Bismarck A., Schulz E., Subramanian K., The Use of A Single-Fibre Pull-Out Test to Investigate the Influence of Acidic and Basic Surface Groups on Carbon Fibres on the Adhesion to Poly(Phenylene Sulfide) and Matrix-Morphology-Dependent Fracture Behaviour, *Compos. Sci. Technol.*, 2001, **61** (12), 1703–1710.
- [74] Xu J., Xu D., Wang X., Long S., Yang J., Improved Interfacial Shear Strength of Carbon Fiber/Polyphenylene Sulfide Composites by Graphene, *High Perform Polym.*, 2017, **29** (8), 913–921.
- [75] Zhang K., Zhang G., Liu B., Wang X., Long S., Yang J., Effect of Aminated Polyphenylene Sulfide on the Mechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyphenylene Sulfide Composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2014, **98**, 57–63.
- [76] Ren H-H., Xu D-X., Yu T., Yang J-C., Zhang G., Wang X-J., Yang J., Effect of Polyphenylene Sulfide Containing Amino Unit on Thermal and Mechanical Properties of Polyphenylene Sulfide/Glass Fiber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2017, **135** (6), 45804.
- [77] Ren H-H., Xu D-X., Yan G-M., Zhang G., Wang X-J., Long S., Yang J., Effect of Carboxylic Polyphenylene Sulfide on the Micromechanical Properties of Polyphenylene Sulfide/Carbon Fiber Composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2017, **146**, 65–72.
- [78] Díez-Pascual A.M., Naffakh M., Synthesis and Characterization of Nitrated and Aminated Poly(Phenylene Sulfide) Derivatives for Advanced Applications, *Mater. Chem. Phys.*, 2012, **131** (3), 605–614.

- [79] Masubuchi Y., Terada M., Yamanaka A., Yamamoto T., Ishikawa T., Distribution Function of Fiber Length in Thermoplastic Composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2016, **134**, 43–48.
- [80] Unterweger C., Brüggemann O., Fürst C., Synthetic Fibers and Thermoplastic Short-Fiber-Reinforced Polymers: Properties and Characterization, *Polym. Compos.*, 2014, **35** (2), 227–236.
- [81] Vishkaei M. S., Salleh M. A. M., Yunus R., Biak D. R. A., Danafar F., Mirjalili F., Effect of Short Carbon Fiber Surface Treatment on Composite Properties, *J. Compos. Mater.*, 2011, **45** (18), 1885–1891.
- [82] Karsli N.G., Aytac A., Tensile and Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites, *Compos. Part B: Eng.*, 2013, **51**, 270–275.
- [83] Son W, Kim SH, Park S. Synthesis and Exchange Properties of Sulfonated Poly ( phenylene sulfide ) with Alkali Metal Ions in Organic Solvents. *Bull Korean Chem Soc.*, 2001, **22**, 53–58.
- [84] Shitikov V., Sergeyev V. A., Nedelkin V.I., Korshak V.V., Synthesis and Certain Properties of Soluble Polyphenylene Sulphides, *Vysok. Soyed.*, 1975, **A 17** (11), 2420-2424.
- [85] Xing J., Ni Q.Q., Deng B., Liu Q., Morphology and Properties of Polyphenylene Sulfide (PPS)/Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Polymer Alloys by Melt Blending, *Compos. Sci. Technol.*, 2016, **134**, 184–190.
- [86] Rahate A.S., Nemade K.R., Waghuley S.A., Polyphenylene Sulfide (PPS): State of the Art and Applications, *Rev. Chem. Eng.*, 2013, **29** (6), 471–489.
- [87] Zhang G., Wang Q., Yu X., Su D., Li Z., Zhang G., FTIR-PAS Investigation on Polyphenylene Sulphide, *Spectrochimico Acta*, 1991, **47A** (6), 737–741.
- [88] Oyama H.T., Matsushita M., Furuta M., High Performance Reactive Blends Composed of Poly(P-Phenylene Sulfide) and Ethylene Copolymers, *Polym. J.*, 2011, **43** (12), 991–999.
- [89] Arjunan V., Mohan S., Subramanian S., Gowda T. B., Synthesis, Fourier Transform Infrared and Raman Spectra, Assignments and Analysis of N-(phenyl)- and N-(chloro substituted phenyl)-2,2-ichloroacetamides, *Spectrochim Acta - Part A*, 2004, **60** (5), 1141–1159.
- [90] Yemul O., Ujihara M., Maki N., Imae T., Synthesis and Film Formation of Poly(phenylene sulfide) Dendrimers and Dendrons, *Polym. J.*, 2005, **37** (2), 82–93.
- [91] Asefnejad A., Khorasani M.T., Behnamghader A., Farsadzadeh B., Bonakdar S., Manufacturing of Biodegradable Polyurethane Scaffolds Based on Polycaprolactone Using A Phase Separation Method: Physical Properties and in Vitro Assay, *Int. J. Nanomedicine*, 2011, **6**, 2375–2384.

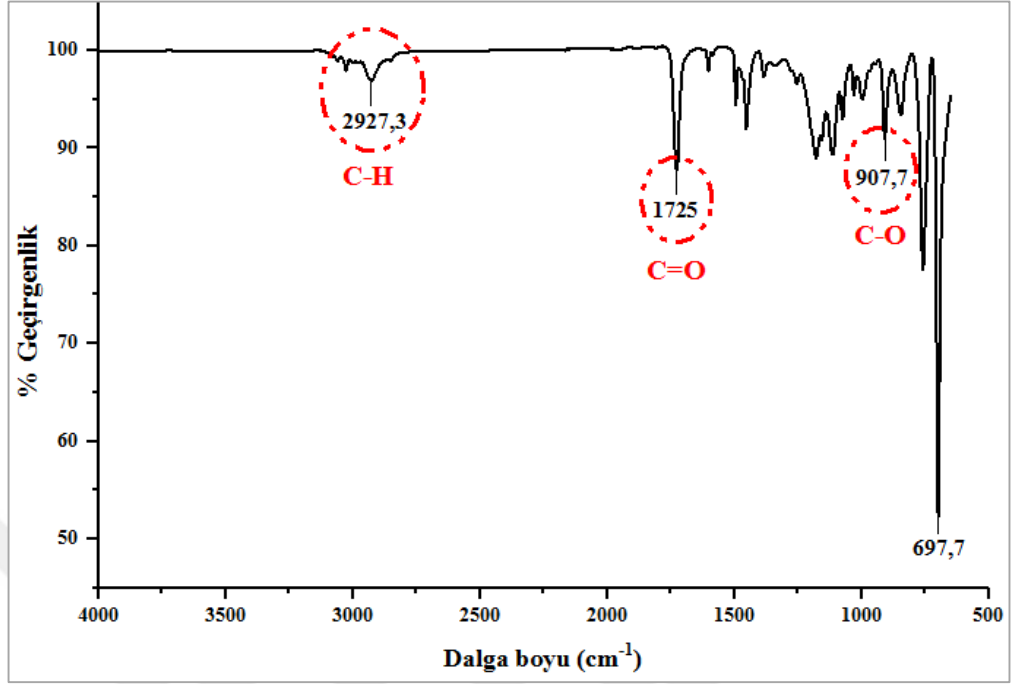
- [92] Zhang X., Xu R., Wu Z., Zhou C., The synthesis and Characterization of Polyurethane/Clay Nanocomposites, *Polym. Int.*, 2003, **52** (5), 790–794.
- [93] González M.G., Cabanelas J.C., Baselga J., Applications of FTIR on Epoxy Resins - Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake, Editor: Theophanides T., *Infrared Spectrosc. - Material Science and Engineering Technology*, 2nd ed., InTech, U.K., 261–284, 2012.
- [94] Colombani J., Chauvet E., Amat S., Dupuy N., Didier G., A FTIR/Chemometrics Approach to Characterize the Gamma Radiation Effects on Iodine/Epoxy-Paint Interactions In Nuclear Power Plants, *Analytica Chimica Acta*, 2017, **960**, 53-62.
- [95] Munyemana F., George I., Devos A., Colens A., Badarau E., Frisque-Hesbain A-M., Laudet A., Differding E., Damien J-M., Remion J., Uytbergen J.V., Ghosez L., A Mild Method for the Replacement of A Hydroxyl Group by Halogen. 1. Scope and Chemoselectivity, *Tetrahedron*, 2016, **72**, 420–430.
- [96] Charles J., Ramkumaar G.R., Azhagiri S., Gunasekaran S., FTIR and Thermal Studies on Nylon-66 and 30% Glass Fibre Reinforced Nylon-66, *E-Journal Chem.*, 2009, **6** (1), 23–33.
- [97] Elsabee M.Z., Nassar M.A., El-begawy E.M., Preparation and Characterization of Some Aromatic/ Aliphatic Polyamides, *Am. J. Polym. Sci.*, 2012, **2** (1), 7–13.
- [98] Pagacz J., Raftopoulos K.N., Leszczyńska A., Pielichowski K., Bio-Polyamides Based on Renewable Raw Materials: Glass Transition and Crystallinity Studies, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2016, **123** (2), 1225–1237.
- [99] Luo W., Liu Q., Li Y., Zhou S., Zou H., Liang M., Enhanced Mechanical and Tribological Properties in Polyphenylene Sulfide/Polytetrafluoroethylene Composites Reinforced by Short Carbon Fiber, *Compos. Part B: Eng.*, 2016, **91**, 579–588.
- [100] Zhou S., Zhang Q., Wu C., Huang J., Effect of Carbon Fiber Reinforcement on the Mechanical and Tribological Properties of Polyamide6/Polyphenylene Sulfide Composites, *Mater. Des.*, 2013, **44**, 493–499.
- [101] Karsli N.G., Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Characterization of Poly(butylene terephthalate) Composites Prepared by Using Various Types of Sized Carbon Fibers, *Mater. Des.*, 2015, **87**, 318–323.
- [102] Nie W.Z., Li J., Zhang Y.F., Tensile Properties of Surface Treated Carbon Fibre Reinforced ABS/PA6 Composites, *Plast. Rubber Compos.*, 2010, **39** (1), 16–20.
- [103] Vieille B., Aucher J., Taleb L., Carbon Fiber Fabric Reinforced PPS Laminates: Influence of Temperature on Mechanical Properties and Behavior, *Adv. Polym. Technol.*, 2011, **30** (2), 80–95.

- [104] Zhang R., Huang Y., Min M., Gao Y., Yu X., Ai L., Lu Z., Isothermal Crystallization of Pure and Glass Fiber Reinforced Poly(phenylene sulfide) Composites, *Polym. Compos.*, 2009, **30** (4), 460–466.
- [105] Běhálek L., Maršálková M., Lenfeld P., Habr J., Bobek J., Seidl M., *Study of Crystallization of Polylactic Acid Composites and Nanocomposites with Natural Fibres by DSC Method*, Nanocon, Brno, 2013.
- [106] Suryanegara L., Nakagaito A.N., Yano H., The Effect of Crystallization of PLA on the Thermal and Mechanical Properties of Microfibrillated Cellulose-Reinforced PLA Composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2009, **69** (7-8), 1187–1192.
- [107] Lee S., Wang S., Biodegradable Polymers / Bamboo Fiber Biocomposite with Bio-Based Coupling Agent, *Compos. Interfaces*, 2006, **37**, 80–91.
- [108] Budgell D.R., Day M., Cooney J.D., Thermal degradation of Poly(Phenylene Sulfide) as Monitored by Pyrolysis-GC/MS, *Polym. Degrad. Stab.*, 1994, **43** (1), 109–15.
- [109] Sun Q., Development of Bio-based and Biodegradable Film from Carbon Dioxide Based Polymer and Poly ( Lactic acid ), Master Thesis, The University of Guelph, Applied Science in Engineering, Canada, 2015.
- [110] Chaloupi N.N., Development Of Polylactide-Clay Nanocomposites For Food Packaging Applications, Doctoral Thesis, Université De Montréal, École Polytechnique De Montréal, Canada, 2011.
- [111] Parab Y.S., Shah R.V., Shukla S.R., Microwave Irradiated Synthesis and Characterization of 1, 4-Phenylene Bis-Oxazoline Form Bis-(2-Hydroxyethyl) Terephthalamide Obtained by Depolymerization of Poly (Ethylene Terephthalate) (PET) Bottle Wastes, *Curr. Chem. Lett.*, 2012, **1**, 81–90.
- [112] Sanchez-Soto M., Illescas S., Milliman H., Schiraldi D.A., Arostegui A., Morphology and thermomechanical Properties of Melt-Mixed Polyoxymethylene/Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane Nanocomposites, *Macromol. Mater. Eng.*, 2010, **295** (9), 846–858.
- [113] Liu L., Yu J., Cheng L., Qu W., Mechanical Properties of Poly(Butylene Succinate) (PBS) Biocomposites Reinforced with Surface Modified Jute Fibre, *Compos. Part A*, 2009, **40** (5), 669–674.
- [114] Lozano K., Barrera E. V., Nanofiber-Reinforced Thermoplastic Composites. I. Thermoanalytical and Mechanical Analyses, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2001, **79** (1), 125–133.

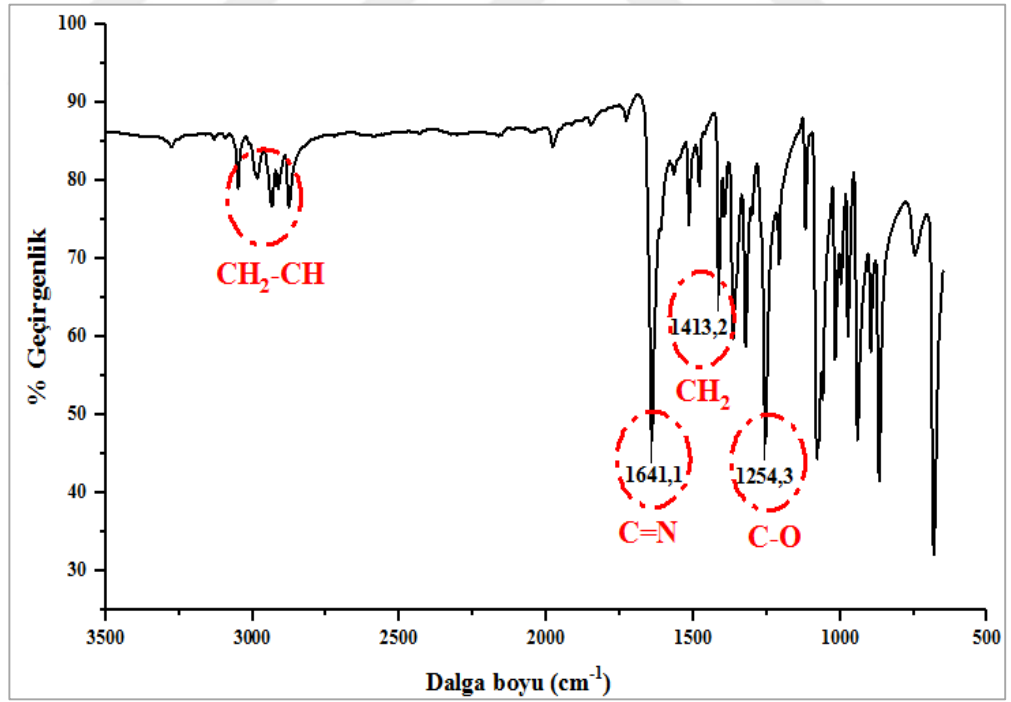


**EKLER**

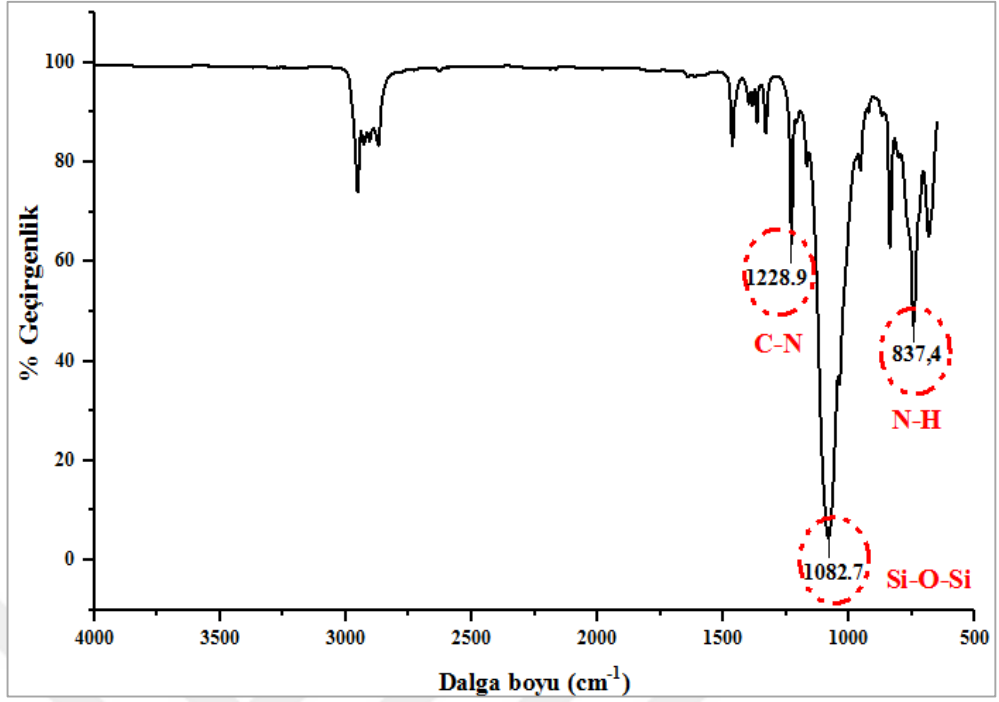
## EK-A



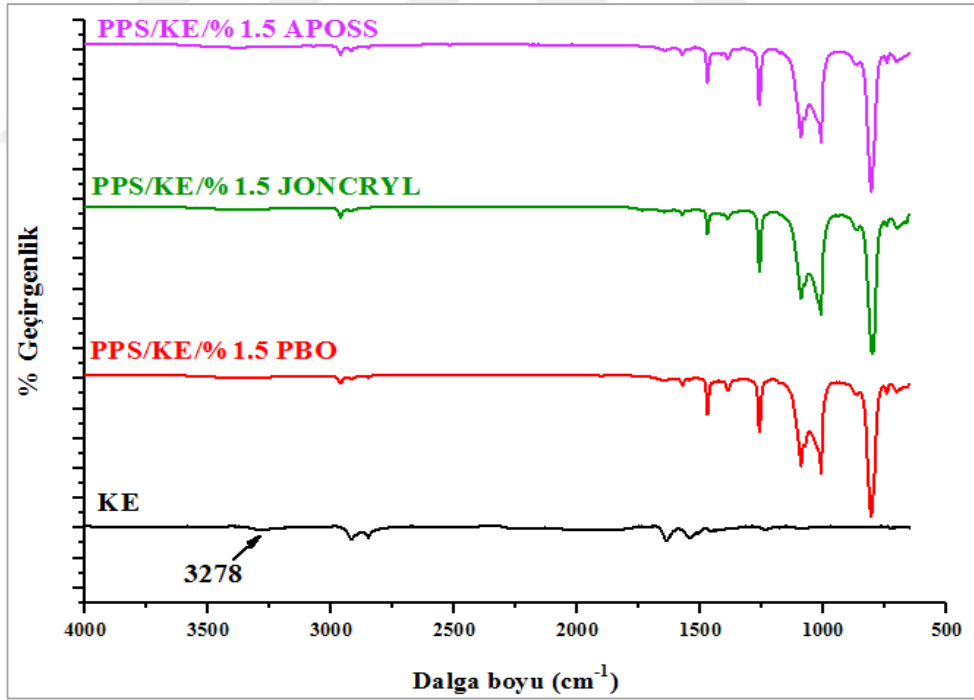
Şekil A.1. Joncryn'in FTIR spektrumu



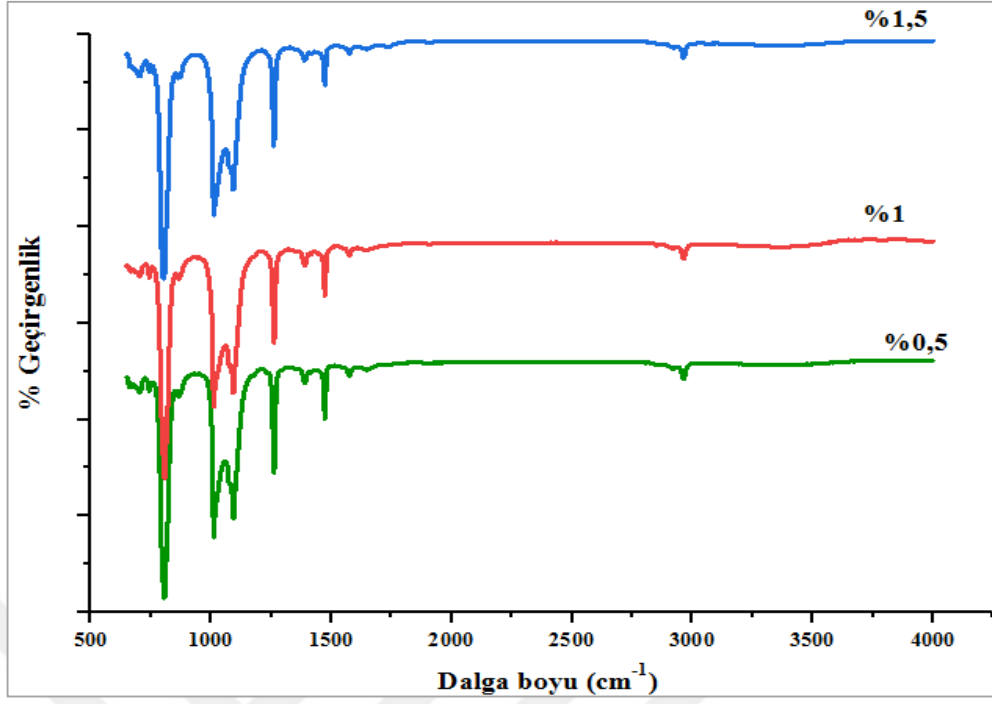
Şekil A.2. PBO'nun FTIR spektrumu



Şekil A.3. APOSS'un FTIR spektrumu

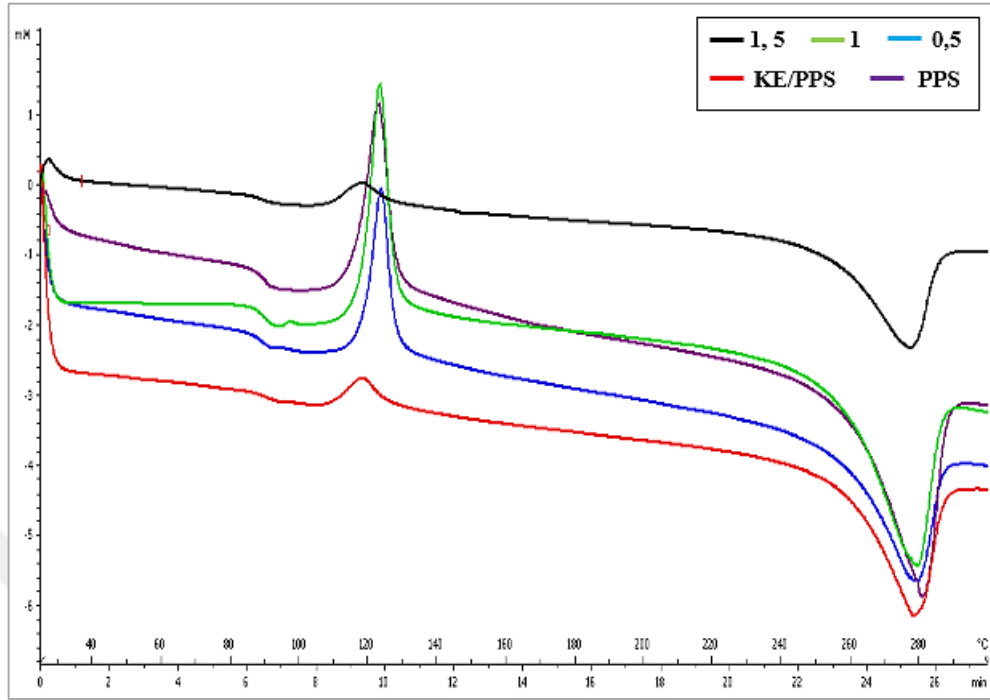


Şekil A.4. % 1,5 uyumlaştırıcı içeren kompozitlerin ve KE'nin karşılaştırmalı FTIR spektrumu

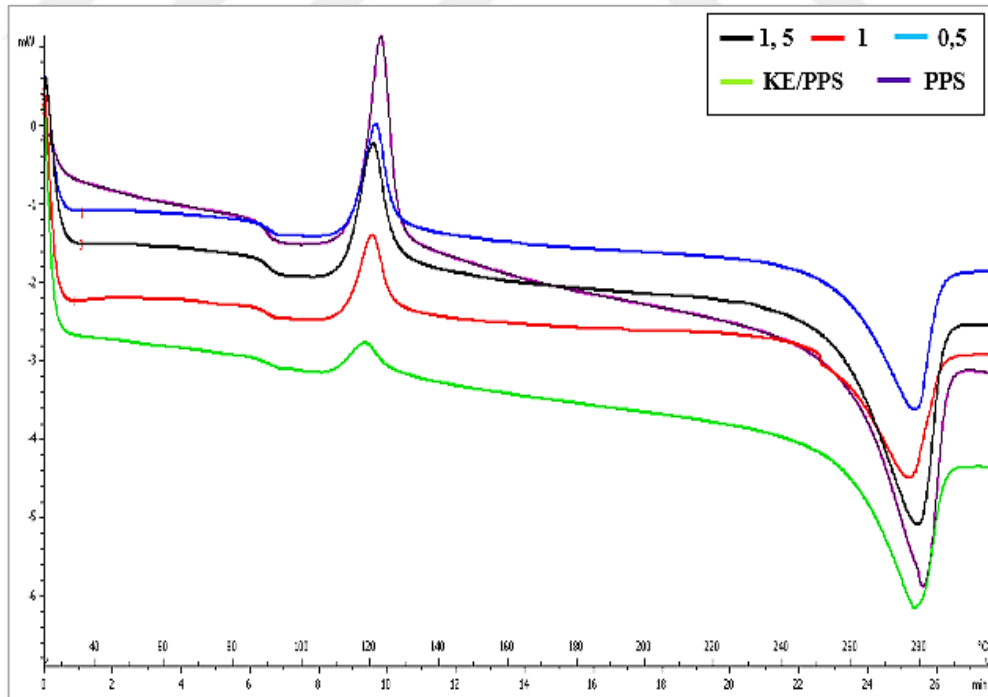


Şekil A.5. Joncryl içeren kompozitlerin FTIR spektrumları

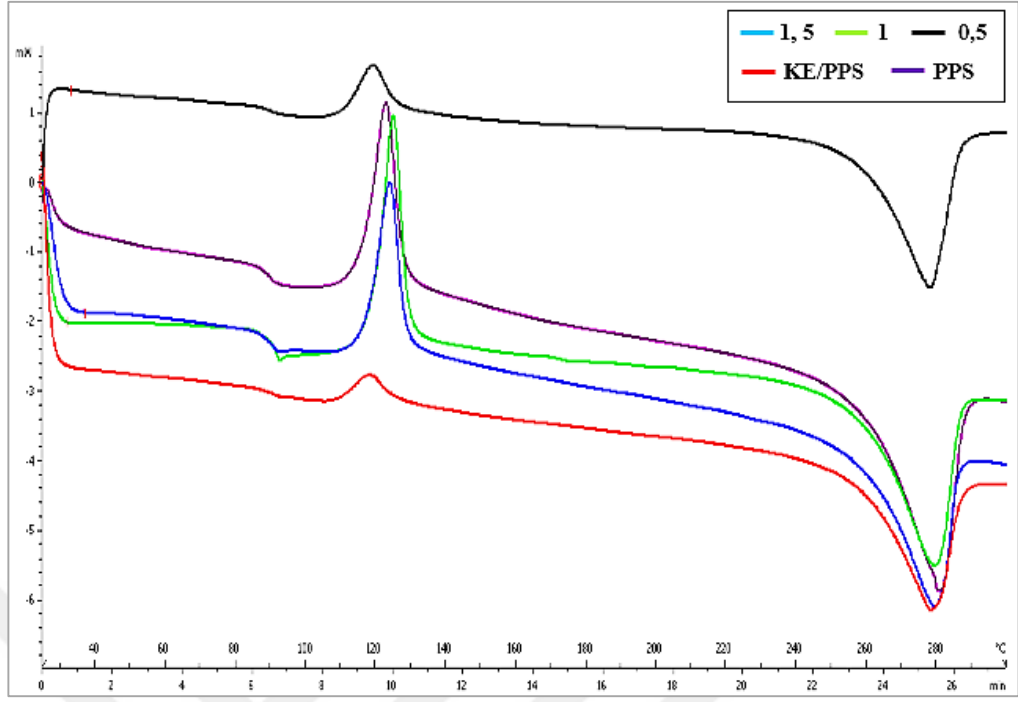
## EK-B



Şekil B.1. Farklı oranlarda Joncryl içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri



Şekil B.2. Farklı oranlarda PBO içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri



Şekil B.3. Farklı oranlarda APOSS içeren KE/PPS kompozitlerinin DSC eğrileri

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Ucpinar B.**, Aytac A., Compatibilizing of Carbon Fiber Reinforced Poly(Phenylene Sulfide) Composites by Using Different Compatibilizer, *4th International Türk-Pak Conference on Chemical Sciences (ITPCCS 2017)*, Konya, Turkey, 26-28 October 2017.
- [2] **Ucpinar B.**, Aytac A., Improvement of the Adhesion Between Carbon Fiber and Poly (Phenylene Sulfide) by Using Different Compatibilizers, *4th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (Iccesen-2017)*, Antalya, Turkey, 4-8 October 2017.
- [3] **Ucpinar B.**, Aytac A., Properties of Different Surface Treated Carbon Fiber Reinforced Poly(phenylene sulfide) Composites, *International Conference On Advances In Science And Arts*, Istanbul, Turkey, 29-31 March 2017.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1993 yılında Altıntaş'ta doğdu. 2011 yılında Kütahya Kılıçaslan Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde üniversite eğitime başladı. Lisans eğitimini 2015 yılında bitirdi ve 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

