

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAUÇUK İLE TOKLAŞTIRILMIŞ VE KIRPILMIŞ KARBON
ELYAF TAKVİYELİ PEİT KOMPOZİTLERİ: ELASTOMER
MİKTARININ ETKİSİ**

ÖZGENUR İNAN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAUÇUK İLE TOKLAŞTIRILMIŞ VE KIRPILMIŞ KARBON
ELYAF İLAVELİ PEİT KOMPOZİTLERİ: ELASTOMER
MİKTARININ ETKİSİ

ÖZGENUR İNAN

Prof. Dr. Güralp ÖZKOÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet KODAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Hande DURGUN ÇELEBİ
Jüri Üyesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Polimer endüstrisi hızla gelişmekte ve bu durumun getirisi olarak karbon ayak izi artmaktadır. Endüstriyel ve akademik çalışmaların odak noktası sürdürülebilir hammaddelerin kullanıldığı çevre dostu polimerlerle olan çalışmalar olmuştur. Bu çalışmada yenilenebilir hammaddelerden üretilen ve çevre dostu bir polimer olan poli(etilen teraftalat–ko-izosorbit) (PEIT)'in kauçuk ile toklaştırılmış, kırılmış karbon elyafı kompozitlerinin mekanik, reolojik, morfolojik ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Literatür incelendiğinde, bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlıdır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının konusuyla ilgili çalışma yapacak araştırmacılara yol gösterici nitelikte olacaktır.

Öncelikle bu kadar başarılı ve değerli ekibin bir parçası olma şansını bana tanıyan, tüm bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösterici olan, emeğini, desteğini hep hissettiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. Güralp Özkoç'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman her zorlukta bilgisiyle, manevi desteğiyle, sabrıyla, güler yüzüyle yanımda olan, değerli vaktini bana ayıran ve motivasyonumu hep yüksek tutabilmemi sağlayan sevgili hocam Doç. Dr. Mehmet Kodal'a çok teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans çalışmasında kullanılan hammaddeyi ücretsiz temin ettikleri için Meltem Kimya'ya teşekkür ederim.

Elektriksel iletkenlik ve parlaklık analizleri konusunda yardımları için Eurotec firmasından Buket Turan'a teşekkürlerimi sunarım.

FTIR analizlerindeki değerli yönlendirmeleri için Tugay Yarıcı'ya teşekkür ediyorum.

Tez çalışmalarımı yürütürken benimle birlikte koşuşturan, yardımlarını esirgemeyen, tüm bilgisini aktarmak için çabalayan güler yüzlü arkadaşım Ayşegül Uzuner'e, yüksek lisansa başladığım ilk günden bu yana gerek tez çalışmamda gerekse TÜBİTAK projesinde her aşamada sabırla yanımda olan, bilgisi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan canım arkadaşım Nazlı Yazıcı'ya, yüksek lisans macerasına birlikte başladığım dostluğuyla, temiz kalbiyle hep yanımda olduğunu bildiğim, beraber gülüp beraber üzüldüğüm biricik arkadaşım Merve Metin'e, küçük tüyolarla bakış açımı değiştiren, manevi desteklerini hep hissettiğim, tecrübeleriyle beni aydınlatan Gizem Urtekin, Hürol Koçoğlu ve Kocaeli Üniversitesi Polimer Laboratuvarı'nda bulunan bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım sırasında beni tecrübeleriyle yönlendiren, desteğini her zaman hissettiğim Reaksiyon Mühendisliği Laboratuvarından sevgili Ömer Faruk Coşkun'a teşekkür ederim.

Canım ailem, annem, babam ve kardeşim. Desteğinizi hep hissetmek beni daha da güçlü kılıyor. Verdiğiniz maddi manevi destek için binlerce kez teşekkürler. İyi ki varsınız...

Haziran-2021

Özgenur İNAN

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| TABLolar DİZİNİ | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | iv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | viii |
| ÖZET..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| GİRİŞ | 1 |
| 1. TEORİK BİLGİLER..... | 3 |
| 1.1. Poli(Etilen ko-İzosorbit Teraftalat) (PEIT)..... | 3 |
| 1.2. Poliester Termoplastik Elastomerler (PTPE)..... | 4 |
| 1.3. Karbon Elyaf (CF)..... | 9 |
| 1.4. Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri..... | 10 |
| 1.4.1. Üretim Yöntemleri | 10 |
| 1.4.1.1. Ekstrüzyon işlemi..... | 10 |
| 1.4.1.2. Enjeksiyonlu Kalıplama..... | 12 |
| 1.4.2. Karakterizasyon yöntemleri | 13 |
| 1.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) | 13 |
| 1.4.2.2. Optik mikroskop (OM) | 14 |
| 1.4.2.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)..... | 14 |
| 1.4.2.4. Yüzey enerjisi ölçümü..... | 15 |
| 1.4.2.5. Eriyik harmanlama sırasında dikey kuvvet ölçümü | 18 |
| 1.4.2.6. Reolojik analiz | 18 |
| 1.4.2.7. Çekme testi..... | 20 |
| 1.4.2.8. Darbe testi | 21 |
| 1.4.2.9. Dinamik mekanik analiz (DMA) | 22 |
| 1.4.2.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)..... | 22 |
| 1.4.2.11. Termogravimetrik analiz (TGA)..... | 23 |
| 1.4.2.12. Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)..... | 24 |
| 1.4.2.13. Elektriksel iletkenlik karakterizasyonu | 25 |
| 1.4.2.14. Parlaklık ölçümleri..... | 25 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI..... | 26 |
| 3. MALZEMELER VE YÖNTEM | 30 |
| 3.1. Malzemeler..... | 30 |
| 3.2. Yöntem..... | 31 |
| 3.2.1. Deneysel Tasarım | 31 |
| 3.2.1.1. Karışımların Hazırlanması | 31 |
| 3.2.1.2. Enjeksiyonlu kalıplama..... | 32 |
| 3.2.2. Karakterizasyon..... | 33 |
| 3.2.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)..... | 33 |
| 3.2.2.2. Optik mikroskop (OM) ile karbon elyaf boyut dağılımının ölçülmesi..... | 33 |
| 3.2.2.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)..... | 34 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.2.4. Yüzey enerjisi ölçümü..... | 34 |
| 3.2.2.5. Dikey kuvvet ölçümleri..... | 35 |
| 3.2.2.6. Reolojik analiz | 35 |
| 3.2.2.7. Çekme testi..... | 36 |
| 3.2.2.8. Darbe testi | 37 |
| 3.2.2.9. Dinamik mekanik analiz (DMA) | 37 |
| 3.2.2.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)..... | 37 |
| 3.2.2.11. Termogravimetrik analiz (TGA)..... | 38 |
| 3.2.2.12. Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)..... | 39 |
| 3.2.2.13. Elektriksel İletkenlik | 39 |
| 3.2.2.14. Parlaklık Ölçümleri | 40 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 41 |
| 4.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi | 41 |
| 4.2. Karbon Elyaf Boyut Dağılımı | 52 |
| 4.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Testi Sonuçları | 54 |
| 4.4. Yüzey Enerjisi Sonuçları | 60 |
| 4.5. Dikey Kuvvet Ölçümleri ile Akış Özelliklerinin Belirlenmesi..... | 62 |
| 4.6. Reolojik Analiz Sonuçları | 64 |
| 4.7. Çekme Testi Sonuçları | 73 |
| 4.8. Darbe Testi Sonuçları..... | 79 |
| 4.9. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)..... | 80 |
| 4.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)..... | 83 |
| 4.11. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları..... | 87 |
| 4.12. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI)..... | 89 |
| 4.13. Elektriksel İletkenlik Sonuçları | 90 |
| 4.14. Parlaklık Ölçümleri | 93 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 96 |
| KAYNAKLAR | 100 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER | 109 |
| ÖZGEÇMİŞ | 110 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1. | İzosorbit monomerinin oluşum basamakları | 3 |
| Şekil 1.2. | PEIT'in sentezinin şematik gösterimi | 4 |
| Şekil 1.3. | Sürekli-eş morfoloji yapısı | 5 |
| Şekil 1.4. | Stirenik termoplastik elastomerler morfolojisi..... | 6 |
| Şekil 1.5. | Multi-blok kopolimerlerinin morfolojisi | 7 |
| Şekil 1.6. | Sert polimer-elastomer kombinasyonlu termoplastik elastomerlerin morfolojisi | 8 |
| Şekil 1.7. | Grafitin kristal yapısı..... | 9 |
| Şekil 1.8. | Ekstrüder vidalarının genel gösterimi | 11 |
| Şekil 1.9. | Enjeksiyonlu kalıplama basamakları..... | 12 |
| Şekil 1.10. | SEM cihazının çalışma mekanizması..... | 14 |
| Şekil 1.11. | PET numunesinin FTIR spektrumu..... | 15 |
| Şekil 1.12. | Sıvıların katı yüzeydeki ıslatma davranışı | 16 |
| Şekil 1.13. | Sıvı damlası ve etki kuvvetleri | 16 |
| Şekil 1.14. | Dikey kuvvet değerlerinin ölçülmesi..... | 18 |
| Şekil 1.15. | Paralel plaka arasına yerleştirilmiş örneğin reometre cihazındaki görünümü | 19 |
| Şekil 1.16. | Tipik bir çekme eğrisi | 20 |
| Şekil 1.17. | Sarkaç tipi darbe testleri a) Izod darbe testi b) Charpy darbe testi | 21 |
| Şekil 1.18. | DSC cihazının kesit alanı ve numune/referans hazneleri..... | 23 |
| Şekil 1.19. | Polimerik maddelerde karşılaştırılması olası olan diferansiyel termogram | 23 |
| Şekil 1.20. | Bilinen bazı polimerlerin TGA eğrileri | 24 |
| Şekil 3.1. | Laboratuvarda bulunan çift vidalı dikey yönlü mini ekstrüder | 32 |
| Şekil 3.2. | Laboratuvarda kullanılan enjeksiyonlu kalıplama cihazı | 32 |
| Şekil 3.3. | Krozede yakılmış numune | 33 |
| Şekil 3.4. | Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazının genel görünümü..... | 34 |
| Şekil 3.5. | Temas açısı cihazının genel görünümü | 35 |
| Şekil 3.6. | Reometre cihazının genel görünümü..... | 35 |
| Şekil 3.7. | Laboratuvarda mekanik analiz için kullanılan çekme cihazı | 36 |
| Şekil 3.8. | Darbe cihazının genel görünümü | 37 |
| Şekil 3.9. | Laboratuvarda kullanılan DSC analiz cihazı..... | 38 |
| Şekil 3.10. | Laboratuvarda kullanılan TGA analiz cihazı | 38 |
| Şekil 3.11. | LOI test düzeneği | 39 |
| Şekil 3.12. | Yüzey direnç ölçer | 39 |
| Şekil 4.1. | PEIT'in farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x | 42 |
| Şekil 4.2. | 90PEIT/10PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x ve b)2000x | 43 |
| Şekil 4.3. | 80PEIT/20PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)10000x..... | 43 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.4. | 70PEIT/30PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x ve b)2000x..... | 45 |
| Şekil 4.5. | PEIT-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)2000x..... | 47 |
| Şekil 4.6. | 90PEIT/10PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)250x c)2000x ve d)2000x..... | 48 |
| Şekil 4.7. | 80PEIT/20PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)1000x ve c)10000x..... | 49 |
| Şekil 4.8. | 70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)5000x..... | 51 |
| Şekil 4.9. | Optik mikroskop görüntüleri a) PEIT-CF b) 90PEIT/10PTPE-25CCF c) 80PEIT/20PTPE-25CCF d) 70PEIT/30PTPE-25CCF | 54 |
| Şekil 4.10. | Kompozitler içerisinde elyaf dağılım oranı..... | 54 |
| Şekil 4.11. | Saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarının FTIR spektraları | 56 |
| Şekil 4.12. | Saf PEIT, saf PTPE ve elyaf takviyeli kompozitlerin FTIR spektraları | 57 |
| Şekil 4.13. | PEIT ve PTPE polimerlerine farklı karbon elyaf yüklemesi..... | 60 |
| Şekil 4.14. | PEIT/PTPE karışımlarının dikey kuvvet değerleri..... | 63 |
| Şekil 4.15. | Karbon elyaf takviyeli karışımların dikey kuvvet değerleri..... | 64 |
| Şekil 4.16. | Kompleks viskozite değerlerinde meydana gelen değişimler a) PEIT, PTPE ve PEIT/PTPE karışımları b) PEIT/PTPE-CCF kompozitleri | 66 |
| Şekil 4.17. | Depo modülü değerlerinde meydana gelen değişimler | 67 |
| Şekil 4.18. | Kayıp modülü değerlerinde meydana gelen değişimler | 67 |
| Şekil 4.19. | Saf PTPE'nin kayıp ve depo modülünde meydana gelen değişimler | 69 |
| Şekil 4.20. | PEIT numunesinin kayıp ve depo modülleri..... | 69 |
| Şekil 4.21. | 90PEIT/10PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri | 70 |
| Şekil 4.22. | 80PEIT/20PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri | 70 |
| Şekil 4.23. | 70PEIT/30PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri | 71 |
| Şekil 4.24. | PEIT-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri..... | 71 |
| Şekil 4.25. | 90PEIT/10PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri | 72 |
| Şekil 4.26. | 80PEIT/20PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri | 72 |
| Şekil 4.27. | 70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri | 73 |
| Şekil 4.28. | Saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarının gerilme-gerilim eğrileri | 74 |
| Şekil 4.29. | PEIT-CCF ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin gerilme-gerilim eğrileri..... | 75 |
| Şekil 4.30. | Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin çekme testi sonrası görünümü | 75 |
| Şekil 4.31. | Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının kopma dayanımı değerleri..... | 77 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.32. | Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının kopmada uzama değerleri..... | 78 |
| Şekil 4.33. | Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının Young's modülü değerleri..... | 79 |
| Şekil 4.34. | Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının darbe dayanımı değerleri..... | 80 |
| Şekil 4.35. | PEIT/PTPE karışımlarının depo modül değerleri | 81 |
| Şekil 4.36. | PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin depo modül değerleri..... | 82 |
| Şekil 4.37. | PEIT, PEIT/PTPE, PEIT-CCF ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin tanđ değerlerinde meydana gelen değişimler..... | 83 |
| Şekil 4.38. | PTPE yükleme oranına bağlı olarak PEIT numunelerinin DSC termogramları | 85 |
| Şekil 4.39. | CCF yükleme oranına bağlı olarak PEIT/PTPE numunelerinin DSC termogramları | 86 |
| Şekil 4.40. | Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin TGA eğrileri..... | 88 |
| Şekil 4.41. | Örneklerin LOI değerleri..... | 90 |
| Şekil 4.42. | Bazı malzemelerin oda sıcaklığında iletkenlik değerleri | 92 |
| Şekil 4.43. | PEIT/PTPE karışımlarında numune yüzey parlaklığı..... | 94 |
| Şekil 4.44. | Seęilen örneklerin mikroskopta yüzey görünümü a) PEIT b)PEIT/PTPE..... | 94 |

TABLolar DİZİNİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Tablo 3.1. | Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler | 30 |
| Tablo 3.2. | Örneklerin karışım oranları ve isimlendirilmesi | 31 |
| Tablo 4.1. | Saf PEIT, saf PTPE ve saf CCF için FTIR analizinden elde edilen karakteristik pikler ve titreşim türleri | 55 |
| Tablo 4.2. | 1710 cm ⁻¹ dalga boyu değerindeki IR bandının oluşmasına neden olan ve hem PEIT hem de PTPE moleküllerinde ortak olarak bulunan yapılar | 58 |
| Tablo 4.3. | 965-963, 872-868, 723 cm ⁻¹ dalga boyları değerlerindeki IR bandının oluşmasına neden olan ve hem PEIT hem de PTPE moleküllerinde ortak olarak bulunan yapılar | 58 |
| Tablo 4.4. | Temas açısı ölçümünde kullanılan sıvılar ve özellikleri | 60 |
| Tablo 4.5. | Saf PEIT, saf PTPE, PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin yüzey enerjileri | 61 |
| Tablo 4.6. | Test sıvılarının PEIT, PTPE, 90PEIT/10PTPE ve 70PEIT/30PTPE yüzeyindeki ortalama temas açısı değerleri | 62 |
| Tablo 4.7. | Saf PTPE, saf PEIT, PEIT-PTPE ve PEIT-PTPE-CCF karışımlarına ait DSC analiz sonuçları | 87 |
| Tablo 4.8. | Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin TGA analiz sonuçları | 89 |
| Tablo 4.9. | LOI analiz sonuçları | 89 |
| Tablo 4.10. | Örneklerin yüzey dirençleri ve iletkenlikleri | 91 |
| Tablo 4.11. | Örneklerin parlaklık değerleri (GU) | 95 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---------------|---------------------------------|
| E' | : Depo modülü, (Pa) |
| E'' | : Kayıp modülü, (Pa) |
| E_{ab} | : Absorbe edilen enerji |
| G' | : Depo modülü, (Pa) |
| G'' | : Kayıp modülü, (Pa) |
| MW | : Molekül Ağırlığı |
| t | : Zaman |
| $\tan\delta$ | : Faz açısının tanjantı |
| T_c | : Kristalizasyon sıcaklığı (°C) |
| T_g | : Camsı geçiş sıcaklığı, (°C) |
| T_m | : Erime sıcaklığı, (°C) |
| ΔG | : Gibbs serbest enerji değişimi |
| ΔH | : Entalpi değişimi |
| ΔM | : Ağırlık değişimi |
| ΔS | : Entropi değişimi |
| γ_0 | : Gerinim |
| η^* | : Kompleks viskozite, (Pa.s) |
| ω | : Frekans, (rad/s) |
| σ | : Gerilme, (MPa) |
| ε | : Gerinim |
| w | : Malzeme genişliği |

Kısaltmalar

| | |
|-------|--|
| ASTM | : American Society for Testing and Testing and Materials (Amerika Test Metaryalleri Topluluğu) |
| CCF | : Chopped Carbon Fiber (Kırpılmış Karbon Elyaf) |
| CF | : Carbon Fiber (Karbon Elyaf) |
| DEG | : Düşük Etilen Glikol |
| DMA | : Dynamical Mechanical Analysis (Dinamik Mekanik Analiz) |
| DSC | : Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri) |
| FTIR | : Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) |
| GF | : Glass Fiber (Cam Elyaf) |
| ISO | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı) |
| MWCNT | : Multi-Walled Carbon Nanotube (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) |
| PA6 | : Poliamit 6 |
| PBAT | : Poli(bütilen adipat-ko-tereftalat) |
| PBO | : 1,4-Fenilen bis(2-oksazolin) |
| PBT | : Poli(bütilen tereftalat) |
| PC | : Polikarbonat |

| | |
|------|--|
| PET | : Poli(etilen teraftalat) |
| PEIT | : Poli(etilen ko- izosorbit teraftalat) |
| POM | : Polirize Optik Mikroskop |
| PP | : Polipropilen |
| PTPE | : Poliester Termoplastik Elastomer |
| PTT | : Poli(trimetilen teraftalat) |
| SCF | : Short Carbon Fiber (Kısa Karbon Elyaf) |
| SEM | : Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektan Mikroskobu) |
| TGA | : Thermal Gravimetric Analysis (Termal Gravimetrik Analiz) |
| TPE | : Termoplastik Elastomer |
| TPO | : Termoplastik Olefin |
| TPU | : Termoplastik Poliüretan Elastomer |
| TPV | : Termoplastik Vulkanizat |



KAUÇUK İLE TOKLAŞTIRILMIŞ VE KIRPILMIŞ KARBON ELYAF TAKVİYELİ PEİT KOMPOZİTLERİ: ELASTOMER MİKTARININ ETKİSİ

ÖZET

Polimer endüstrisinin büyümesiyle birlikte bu gelişmeye bağlı olarak gerek katı atık gerekse yüksek karbon ayak izli süreçlerden kaynaklanan çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Polimerlerin yarattığı katı atık problemlerini çözmek için akademik ve endüstriyel çalışmalar sürdürülebilir çevre dostu polimerler üzerine yönelmektedir. Poli(etilen ko-izosorbit tereftalat) (PEİT), mısır ve patates gibi yenilenebilir hammaddelerden üretilen izosorbit monomerinden elde edilir. Öte yandan, PEİT'in düşük darbe dayanımı, çok yönlü uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada polyester esaslı termoplastik elastomer (PTPE) eklenerek PEİT'in tokluğunun artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, PTPE ile toklaştırılmış PEİT'in peklilik/tokluk dengesi, kırpılmış karbon fiberin (CCF) eklenmesiyle sağlanmıştır. Elyaf yükleme oranı sabit tutulmuş (%25), ana matris ve elastomer içeriğine bağlı olarak karışımlar dikey konumlandırılmış laboratuvar ölçekli ekstrüderde hazırlanmıştır. Enjeksiyonlu kalıplama ile standarda uygun test numuneleri elde edilmiştir. Karışımların morfolojik, reolojik, mekanik ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Ayrıca örneklerin elektriksel iletkenlik, yanma özellikleri de ele alınmıştır. Mekanik ve morfolojik sonuçlara dayanarak elastomer oranının en yüksek olduğu kompozitlerde arayüzey yapışmasının iyi olduğu, peklilik ve tokluk dengesinin sağlandığı sonucuna varılmıştır. Hazırlanan karışımların elektronik eşya yüzeyleri, havacılık, ambalaj gibi sektörlerde kullanım potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Elyaf, Kompozit, Poliester Termoplastik Elastomer, Poli(etilen ko-izosorbit tereftalat), Polimer Karışımları.

RUBBER TOUGHENED AND CHOPPED CARBON FIBER REINFORCED PEIT COMPOSITES: EFFECT OF ELASTOMER CONTENT

ABSTRACT

Depending on the development of the polymer industry, environmental problems arise from solid wastes and processes with high carbon footprints. In order to solve the solid waste problems resulted from the polymers, academic and industrial research are focused on sustainable environmentally friendly polymers. Poly(ethylene co-isosorbide terephthalate) (PEIT) is obtained from isosorbide monomer produced from renewable raw materials such as corn and potato. On the other hand, the low impact strength of PEIT restricts its versatile applications. Therefore, it is aimed to increase the toughness of the PEIT by adding polyester-based thermoplastic elastomer (PTPE) in this study. Moreover, the stiffness/toughness balance of PTPE toughened PEIT is achieved by the incorporation of chopped carbon fiber (CCF). The CCF loading level was kept constant at 25wt%. Compounding process was carried out a laboratory scale twin screw micro-compounder. The micro-injection molding device was used to obtain standard test samples. Morphological, rheological, mechanical and thermal properties of the samples were investigated. In addition, the electrical conductivity and combustion properties of the samples were also discussed. As a general conclusion, it was observed higher interfacial adhesion between the CCF and PEIT as the PTPE content increased. Moreover, the results of this study showed that the materials prepared in this study have the potential to be used in sectors such as electronic equipment surfaces, aviation and packaging.

Keywords: Carbon Fiber, Composite, Polyester Thermoplastic Elastomer, Poly(ethylene co-isosorbide terephthalate), Polymer Blends.

GİRİŞ

Poliesterler, ana zincirlerinde ester grubu barından (Li-Na, 2013), iyi işlenebilirlik, parlaklık, UV kararlılığı gibi özelliklerinden dolayı son zamanlarda oldukça talep gören polimer grubudur (Gioia vd., 2014). Poli(etilen tereftalat) (PET), termoplastik poliesterlerin en önemlilerinden biridir. PET, enjeksiyonla kalıplama da kullanılan bileşenlerde, şişirme ile kalıplanmış şişelerde, ekstrüde edilmiş filmlerde ve liflerde yaygın olarak kullanılan bir termoplastiktir. PET'in gıda ambalajları, şişeler, ön cam silecekleri ve kapı kolları, izolasyon panelleri ve bobin gövdeleri, dişliler ve kayma elamanları gibi uygulama alanları bulunmaktadır (Adelman vd., 2003). Yüksek kimyasal ve mekanik dayanım, yüksek boyutsal kararlılık ve hafiflik gibi avantajlarının yanında darbeye karşı dayanıklılığının az olması, çekme dayanımının düşük olması, hızlı yanması ve zor biçimlendirilmesi ve biyobozunur olmaması gibi dezavantajları mevcuttur (Acar, 2003; Şirin, 2012). Bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak ve nihai ürünleri daha fazla geliştirmek için kopolimerizasyon gereklidir. Kopolimerizasyon için tercih edilecek monomer çevreci olmalıdır. Glikozun hidrojenasyonu sonucu sorbitol, sorbitolun dehidrasyonu sonucu da izosorbit oluşur (Park vd., 2014; Saxon vd., 2020). Mısır gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen izosorbit, polimerlerin kuvvetini ve sertliğini arttırmak için katkı maddesi olarak kullanılır. İzosorbit sürdürülebilir ve toksik olmayan fonksiyonel bir moleküldür. Gıda ambalajlarında, sprey kaplarında, elektronik cihazlarda ve otomotiv endüstrisinde kullanılır. İlaç, kozmetik, boya ve polimerler dahil geniş uygulama alanına sahiptir (Malhotra vd., 1998; Saxon vd., 2020). Rijit bir yapıya sahip olan izosorbit PET'in zincirlerini sertleştirir ve katılma oranına bağlı olarak en büyük etkiyi camsı geçiş sıcaklığında (T_g) gösterir. PET ile izosorbitin kopolimerizasyonu sonucu poli(etilen ko-izosorbit tereftalat) (PEIT) elde edilir (Besse vd., 2013). PEIT şişeler, sıcak dolum kapları, film ve kalın levhalar, lifler de ve optik ürünlerde kullanılabilir. Isıl direnci PET'e göre daha iyidir, yani sıcak dolum proseslerinde şekil değişikliği yaratmaz. Bununla birlikte, T_g sıcaklığındaki artışın yanı sıra, izosorbit PET'te polimerize edildiğinde, izosorbit içeriği arttıkça PEIT'in darbe mukavemeti azalır (Adelman vd., 2003). Bu tez çalışmasında literatürde daha önce gözlenmemiş kırılmış kısa karbon

elyaf (CCF) ile PEIT karışımları kullanılmıştır. CCF'nin yüksek çekme dayanımı ve sertlik, düşük yoğunluk, yüksek ısıl kararlılık ve elverişli elektrik iletkenliği gibi mükemmel özelliklerinden yararlanılmak istenmiştir (Chung, 1994). Ancak CCF etkisiyle iyice düşen darbe mukavemetini arttırmak için poliestere bazlı termoplastik elastomer (PTPE) kullanılmıştır. PTPE enjeksiyonlu kalıplama, ekstrüzyon gibi proseslerde işleme kolaylığı gösterirken malzemenin düşük sıcaklıkta çok iyi sünüp yeterli sertliğini koruyup ve yüksek sıcaklıklarda yırtılmalara karşı dayanıklılık gösterirler (Holden, 2000). PEIT/PTPE/CCF kompozitleri otomotiv, havacılık, beyaz eşya, dijital eşyaların yüzeylerinde kullanılması öngörülmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, PEIT'e PTPE ilave edilerek malzemenin tokluğu artırılması ve ayrıca CCF ilavesiyle mekanik özelliklerinin geliştirmek hedeflenmiştir. Literatürde ilk defa PEIT'in karbon elyafı kompozitlerinin özellikleri incelenecektir. Eriyik harmanlama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle farklı oranlarda hazırlanan PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin mekanik, ısıl ve morfolojik özellikleri incelenmiştir.

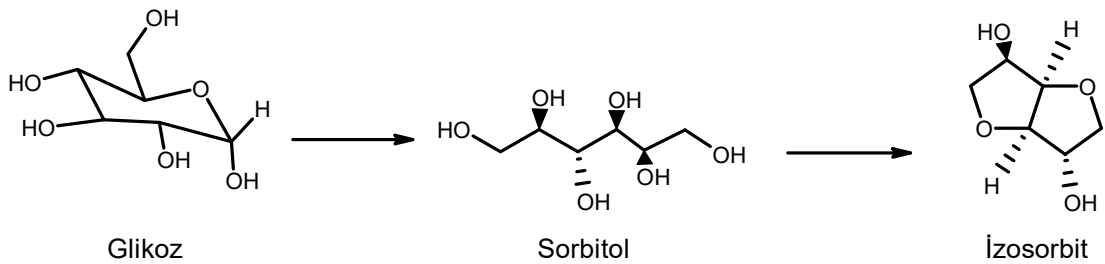
1. TEORİK BİLGİLER

Bu bölümde tez çalışmasında ana matris olarak kullanılan poli(etilen ko-izosorbit teraftalat) (PEIT), dağılan faz olarak kullanılan poliester termoplastik elastomer (PTPE) ve takviye edici olarak kırılmış karbon elyaf (CCF) hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, karışımların hazırlanmasında ve karakterizasyonunda kullanılan cihazlar hakkında genel bilgilerden bahsedilmiştir.

1.1. Poli(Etilen ko-İzosorbit Teraftalat) (PEIT)

Günümüzde artan sanayileşme ve teknolojik gelişmeler çevre kirliliğinin artmasına neden olmuştur. Bu durum bilim insanlarını yeni çevreci polimer arayışına itmiştir. Poli(etilen tereftalat) (PET), yüksek kimyasal ve mekanik dayanım, yüksek boyutsal kararlılık, yüzey parlaklığı ve düşük maliyet gibi özellikleri barındıran yarı kristalin bir polyesterdir (Visakh vd., 2019). PET'in ambalaj, tekstil, ön cam silecekleri ve kapı kolları, izolasyon panelleri ve bobin gövdeleri gibi uygulama alanları vardır (Acar, 2003). Ancak darbeye karşı dayanıklılığının az olması, çevreci olmaması ve geri dönüşümünde çıkan problemler sebebiyle hem akademik hem de endüstriyel alanın ilgisini PET'in izosorbit monomeri ile yapılan kopolimeri dikkat çekmiştir.

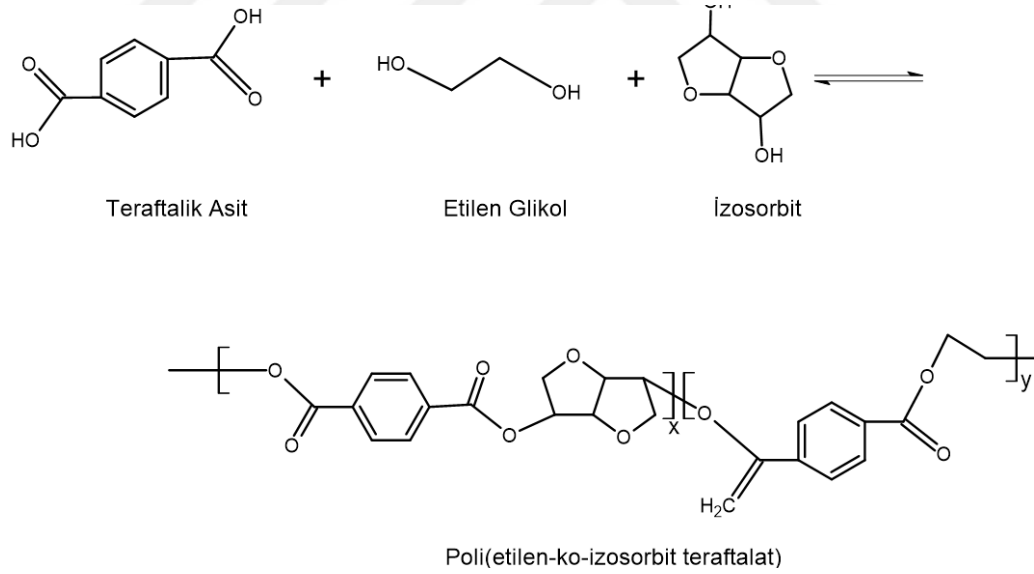
İzosorbit, şeker, mısır gibi yenilenebilir kayalardan üretilen, 1,4:3,6-dianhidro-D-Sorbitol adıyla anılan bir monomerdur (Adelman vd., 2003). İzosorbit üretimi iki aşamalıdır; a) glikozun sorbitole hidrojenasyonu b) sorbitolün dehidrasyonudur (Şekil 1.1) (Gohil, 2009).



Şekil 1.1. İzosorbit monomerinin oluşum basamakları (Gohil, 2009)

İzosorbit bazlı polimerler, ambalaj, biyomedikal alanlar ya da elektronik alanlarda kullanılabilir. Optik berraklıkları, UV ışınlarına ve ısıya karşı direnci sayesinde gözde bir polimerdir. Ayrıca darbeye, aşınmaya karşı güçlü direnci ve kimyasal bozunmalara karşı etkisi vardır (Saxon vd., 2020).

PET'in izosorbit monomeri ile yapılan poliester kopolimeri poli(etilen ko-izosorbit teraftalat) (PEIT) olarak adlandırılır. İzosorbit rijit bir yapıya sahiptir ve PET'in zincirlerini sertleştirir. İzosorbit konsantrasyonuna bağlı olarak camsı geçiş sıcaklığı (T_g)'nı 85-90°C'ye kadar çıkarır (Malhotra vd., 1998). Dolayısıyla PEIT'in T_g 'si PET'ten daha yüksektir. Hafif ve esnek bir polimerdir. PEIT'in izosorbit içeriği az olsa bile ısı direnci oldukça yüksektir (Park vd., 2014). PEIT, oldukça iyi bir kimyasal dirence sahiptir (Park vd., 2013). PEIT, sıcak dolum kaplarında, şişelerde, liflerde, tel ve optik ürünlerde, filme ve kalın levhalarda kullanılması öngörülmektedir (Adelman vd., 2003). PEIT, teraftalik asit, etilen glikol ve izosorbitin polimerizasyonu neticesinde oluşur (Şekil 1.2).



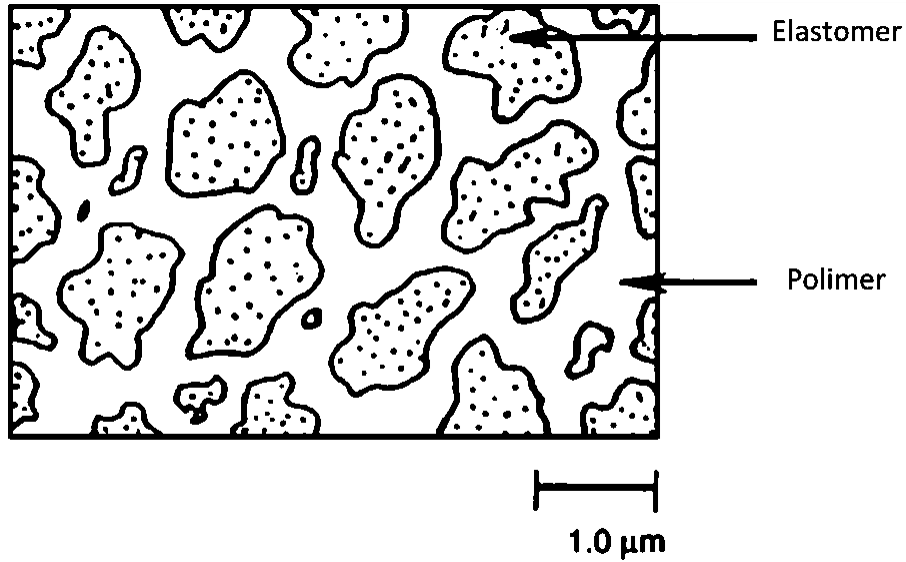
Şekil 1.2. PEIT'in sentezinin şematik gösterimi (Park vd., 2014)

1.2. Poliester Termoplastik Elastomerler (PTPE)

Termoplastik elastomerler (TPE), termoplastik kauçuk olarak da anılır. Vulkanize edilmiş kauçukların tersine, termoplastik malzemeler gibi işlenebilir, geri dönüştürülebilir bir tür kauçuk malzemelerdir (ASTM D1566, 2008). TPE'ler yumuşak ve darbe dayanımı artırılmış termoplastiklere benzemektedir.

Elastomerlerin aksine TPE'lerde erime noktası (T_m) bulunmaktadır. TPE'ler T_m noktasının üzerinde akışkan hale gelip termoplastikler gibi işlenebilmektedir. Yani, enjeksiyon, şişirme, levha ve profil ekstrüderleri gibi geleneksel plastik işleme yöntemleri ile üretilebilirler. Geleneksel kauçuklar ise özelliklerini tam verebilmesi için vulkanize olmaz. Ancak vulkanizasyon yavaş ve geri dönüşümü olmayan bir işlemdir. TPE'ler ise termoplastik özellik gösterdiği için geri dönüşümü sağlanabilmektedir (Holden, 1987).

Termoplastik elastomerler iki fazlı sistemlerden oluşmaktadır (Şekil 1.3). Fazlar yumuşak ve sert faz olarak ikiye ayrılmaktadır. Yumuşak segment kaçığumsu, düşük T_g 'ye sahip ve sürekli fazı oluşturan bölgelerden oluşurken, sert segment yapı içerisinde dağılmış, ısıtıldığında akışkan hale gelen ve yüksek T_g ve T_m 'e sahip olan bölgedir (Naskar vd., 2014). Sert segment ve yumuşak segment içeriğine göre malzemenin özellikleri değişmektedir. Sert segment içeriği arttıkça, malzeme yumuşak, kaçığumsu halden elastomerlere ve daha sonra sert esnek termoplastiklere dönüşür. Bu süreçte morfolojideki değişim de sert fazın yumuşak fazdaki dağılımından eş-sürekli bir yapıya ve son olarak da yumuşak fazın sert fazdaki dağılımı şeklinde olur (Holden, 2000; Uzuner, 2020).



Şekil 1.3. Sürekli-eş morfoloji yapısı

Termoplastik elastomerler 5'e ayrılmaktadır. Bunları;

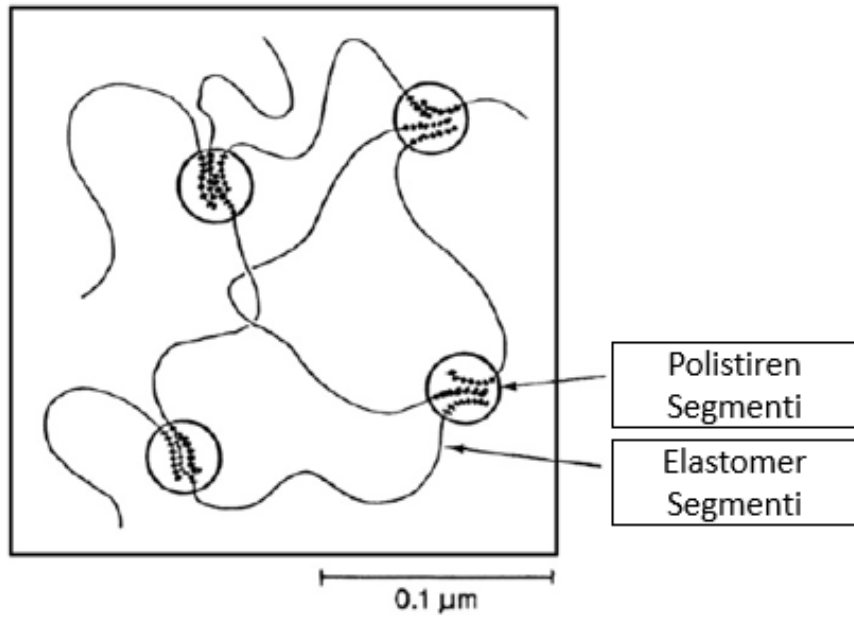
a) Stirenik termoplastik elastomerler

- b) Çok bloklü kopolimer termoplastik elastomerler
- c) Sert polimer-elastomer kombinasyonlu termoplastik elastomerler
- d) Aşı kopolimerleri
- e) İyonomerler
- f) Çekirdek-kabuk morfolojileri

şeklinde sıralamak mümkündür (Holden, 1987).

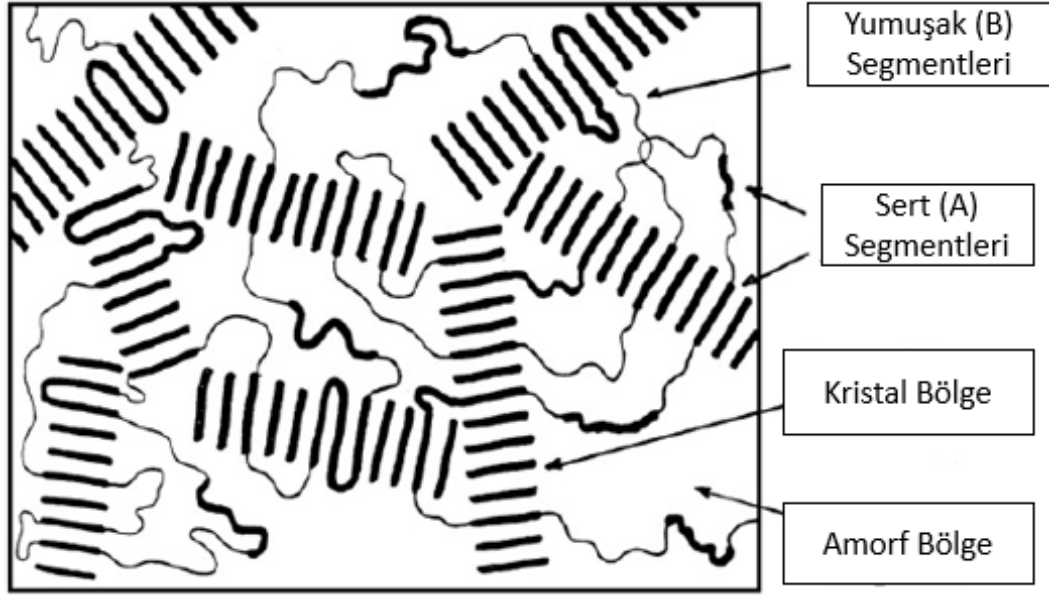
Stirenik termoplastik elastomerler, çok bloklü kopolimer termoplastik elastomerler ve sert polimer-elastomer kombinasyonlu termoplastik elastomerler sanayide oldukça önemlidir. Aşağıda bu üç yapı açıklanmıştır.

TPE'ler genellikle rasgele kopolimerlerden farklı olarak ayrılmış fazlarla olan aynı polimer zincirleri üzerinde bulunan iki tip monomerden oluşan blok kopolimerlerdir. İki fazlı yapı, sert ve yumuşak segmentlerin karışabilirliğinin olmaması ya da sert segmentlerin kristallenmesi ile olur (Naskar vd., 2014). Blok kopolimerlerde, iki faz aynı zincir molekülünün segmentlerinden oluşur. Örneğin, A sert segment (polistiren), B yumuşak segmenti (elastomer) temsil ederse A-B-A şeklinde devam eden yapılar gözlenebilir. Bu düzenleme polistiren / elastomer blok kopolimerlerine aittir (Şekil 1.4) (Holden, 2011).



Şekil 1.4. Stirenik termoplastik elastomerler morfolojisi

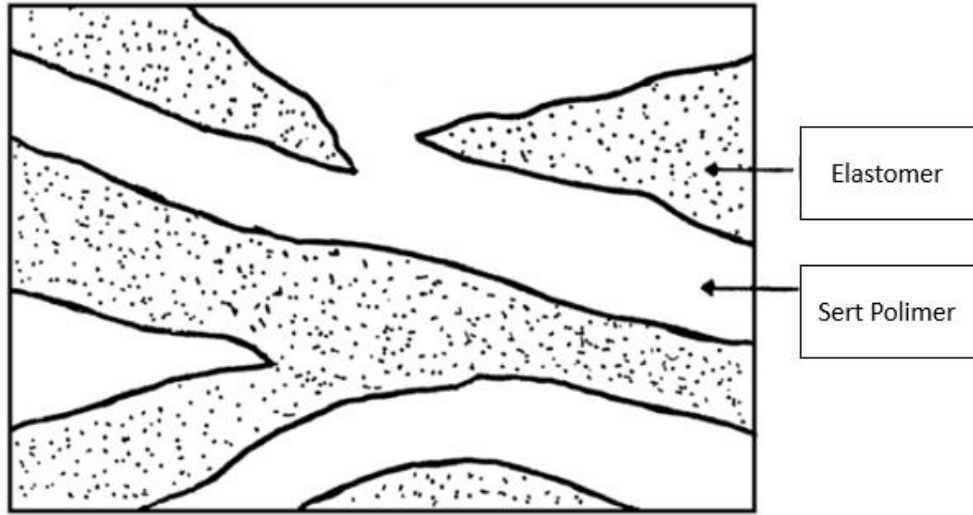
Multi-blok kopolimerlerin yapısı A-B-A-B-A şeklinde ifade edilmektedir. Genellikle sert (A) segmentler kristalin termoplastiklerdir, daha yumuşak, elastomerik (B) segmentler amorfur (Şekil 1.5). Sert segmentler; termoplastik poliüretan, termoplastik elastomerler ve termoplastik poliamitler iken, yumuşak segmentler poliestерler ya da polieterlerdir.



Şekil 1.5. Multi-blok kopolimerlerinin morfolojisi

Stirenik termoplastik elastomerler ve multi-blok kopolimerlerinin morfolojileri karşılaştırıldığında benzerliklerinin yanında önemli farklılıkları vardır. Öncelikle multi-blok kopolimerlerde sert segmentler birlerine daha çok bağlıdır ve genellikle kristal yapıdadırlar. Uzun (A-B)_n molekülünün birden fazla sert ve yumuşak bölgesi olabilir (Holden, 2011).

Sert polimer-elastomer kombinasyonlu termoplastik elastomerler, blok kopolimerler değildir. Basit harmanlar ya da dinamik vulkanizasyonla üretilip, sert bir termoplastik polimerin, bir elastomerin içerisinde dağılımıyla oluşur. Bu yapıya örnek olarak etilen propilen dien monomeri (EPDM) ve polipropilen (PP) karışımı verilebilir. PP sert termoplastiktir ve EPDM ile harmanlanınca daha yumuşak, darbelere karşı daha dayanıklı malzemeler üretilir. Bu karışım sonucunda eş-süreklili morfoloji oluşmaktadır (Naskar vd., 2014; Holden, 2000).



Şekil 1.6. Sert polimer-elastomer kombinasyonlu termoplastik elastomerlerin morfolojisi (Holden, 2011)

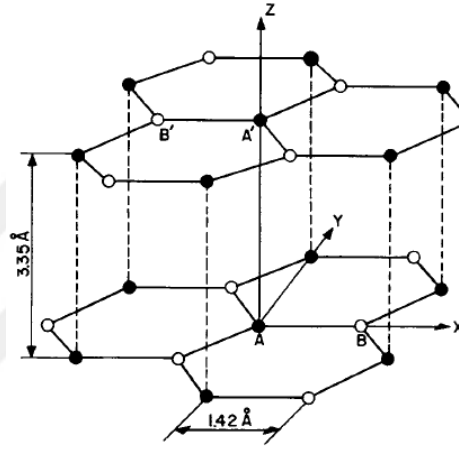
Bu yüksek lisans tez çalışmasında poliester termoplastik elastomerler (PTPE) kullanılmıştır. Çünkü diğer termoplastik elastomerlere göre daha geniş sıcaklık aralığında kullanılmaktadır. Poliester termoplastik elastomerler, sert poliester kristallerin yumuşak matris içinde dağılmasıyla oluşan kauçuk türüdür. Kauçuk gibi esnek olmalarına rağmen termoplastik malzemeler gibi işlenirler. Ayrıca vulkanize doğal kauçuğa göre daha yüksek mukavemete sahiptir (Uzuner, 2020).

PTPE, sert ve kristalin poli(bütilen tereftalat) (PBT) segmentleri ve amorf yapıda olan poliesterler veya polieter esnek segmentlerden oluşur. PTPE'ler şekil verilebilen, nefes alan, sızdırmayan, bir plastiktir. -70°C 'a varan düşük bir T_g ve 200°C 'ı aşan yüksek bir T_m 'e sahiptir. Dolayısıyla malzemeler düşük sıcaklıkta çok iyi sünüp yeterli sertliği korurlar ve yüksek sıcaklıklarda yırtılmaları karşı dayanıklıdırlar. Ek olarak yağlara, apolar kimyasallara karşı çok iyi termo oksidatif kararlılık ve iyi kimyasal direnç gösterirler (URL-1).

PTPE'ler, Otomotiv sektöründe; hava kanalları, hava yastıkları kapakları, vücut tapalarında kullanılmaktadır. Ayrıca spor ayakkabılar, contalar, konveyör bantlar, yatak bantları, kablo/elektrik tesisatı ve borular/hortumlar gibi birçok uygulama alanı vardır (URL-2).

1.3. Karbon Elyaf (CF)

Karbon elyaf (CF), bileşiminde en az %92 karbon bulunan elyaflardır. Yapının yarı kristalin, kristalin ya da amorf olmasına göre; kesikli ya da sürekli olabilir. Şekil 1.7'da gösterildiği gibi x-y düzlemine dizilmiş petek yapıdaki karbon atomlarından oluşan grafitin kristal yapısı verilmiştir. Eğer karbon elyaf çok yüksek ısı işlemlere maruz bırakılırsa lifler tam olarak karbonlaşır ve bu elyafa grafit elyaf denir. Karbon atomları kovalent ve metalik bağlarla yerleşir. Bu düzen sayesinde grafit iyi bir ısı ve elektrik iletkeni haline gelir (Chung, 1994).



Şekil 1.7. Grafitin kristal yapısı
(Chung, 1994)

Karbon elyaf, zift (pitch) ve PAN (poliakrilonitril) olmak üzere iki malzemedен elde edilmektedir. PAN'dan elde edilen karbon elyaf daha yüksek çekme dayanımı sağlarken ziftten elde edilen karbon elyaf daha yüksek young modül değerine sahiptir. Ayrıca zift temelli karbon elyaf daha iyi ısı ve elektriksel iletkenliğe sahiptir. Zift temelli karbon elyaf izotropik bir yapıya sahiptir çünkü piroliz işleminden geçirilmemiştir. Dolayısıyla zift temelli karbon elyafın özellikleri PAN'a göre daha düşüktür (Chung, 1994; Üçpınar, 2018). Zift bazlı ya da PAN bazlı ön maddeler ilk olarak yüksek sıcaklıklarda oksitlenir. Daha sonra bu maddeler karbonizasyon ve grafitleşme sürecinden geçerler. Bu işlemlerle birlikte öncü maddeler ağırlık-sertlik özelliklerini oluşturan kimyasal işlemlere tabi tutulur ve ardından yüzey kaplama (sizing) işlemi ile süreç sonlandırılır (Mazumdar, 2002). Kaplama işlemi elyafı sonraki aşamalardan korumak ve polimer matrisine daha iyi yapışmasını sağlamak için yapılan

özel bir işlemdir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan karbon elyafın yüzeyi % 1,5-2,0 oranında poliamit ile kaplanmıştır.

Karbon elyaf düşük yoğunluk, elektrik ve ısı iletkenliği, biyoyumluluk, yüksek gerilme modülü ve mukavemeti gibi özelliklere sahiptir. Ayrıca kimyasal kararlılık ve 300°C'nin üzerinde oksijen olmadan termal kararlılığa sahiptir. Karbon elyafın tercih sebebi olmasının bir diğer nedeni ise azalan maliyet olarak söylenebilir (Chung, 1994). Ek olarak elyaf uzunluğu dikkate alınarak sınıflandırmak gerekmektedir. Kısa elyaf boyutları (ya da kırılmış) ile karşılaştırıldığında, sürekli karbon lifler, kompozitlerin mekanik, elektriksel ve termal özelliklerini önemli ölçüde etkiler ve kompozitlere daha yüksek anizotropi sağlar. Kısa karbon elyaflar yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler. Mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımı sağlayan ürünlerde kullanılmaktadır (Hazer, 2018).

Karbon elyaf oldukça pahalı bir destek malzemesi olduğu için günümüzde ileri teknoloji, uzay araçları ve uçaklar gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar (Chung, 1994). Boeing'in resmî web sitesine göre, karbon elyaf içeren kompozitler Boeing 767'nin yalnızca %3'ünü oluştururken Boeing 777'nin %7'sini oluşturmaktadır. %50 oranında karbon elyaf ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerinden oluşan Boeing 7E7, aynı boyuttaki uçaklara kıyasla yakıt tüketimini % 20 azalttığı rapor edilmiştir (Zhao vd., 2019; Minus vd., 2005). Ek olarak karbon elyaflar, askeri malzemeler, elektronik malzemeler, tenis raketleri ve golf sopaları vb. alanlarda da kullanılmaktadırlar.

1.4. Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri

1.4.1. Üretim yöntemleri

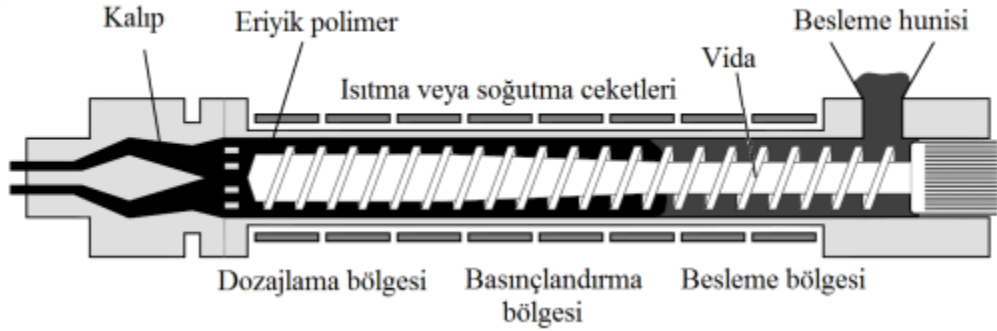
Bu bölümde, yüksek lisans tez çalışması kapsamında karışımların hazırlanmasında kullanılan cihazlar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

1.4.1.1. Ekstrüzyon işlemi

Ekstrüzyon, katı plastik malzemenin uygun basınç ve sıcaklık altında akışkan hale getirilerek, basınç etkisi ile bir kafadan (die) geçirilerek kesit alanının küçültülmesiyle yapılan biçimlendirme işlemidir. Basınç ve sıcaklık değerleri malzemenin akış

özelliklerine ve kalıp geometrisine bağlı olarak değişir. Bu üretim yöntemi genellikle eriyik harmanlama, şekil verme ve/veya reaksiyon amaçlı kullanılmaktadır (Ebewele, 2000).

Ekstrüderin temel parçaları kontrol paneli, besleme hunisi, kovan ve hareketli sonsuz vidalardır. Kontrol paneli ile ekstrüzyon süresince kovan sıcaklığı, basıncı ve vida hızı gibi parametreler ayarlanıp kontrol edilmektedir. İçinde vida/vidaların bulunduğu silindir biçimindeki bölüm kovandır. Ekstrüderin en önemli parçası vidadır (Şekil 1.8). Vida ile ısıtma, numune taşıma eritme ya da karıştırma gibi işlemler gerçekleştirilir. Elde edilen ürünün kalitesi vida tasarımı değiştirilerek artırılabilir. Genelde vidalar besleme, basınçlandırma ve dozaj bölgelerinden oluşmaktadır. Polimere ön ısıtma uygulandığı ve polimerin taşındığı bölge besleme bölgesidir. Bu bölgeyi basınçlandırma bölgesi takip eder. Bu kısımda polimerlerin erimesi başlamaktadır. İhtiyaca ve isteğe göre basınçlandırma bölgesine karıştırma bölgeleri de eklenebilir. Polimer eriği buradan dozaj bölgesine ulaşmaktadır ve basınç altında kalıba yönlendirilmektedir (Rauwendaal, 2013).



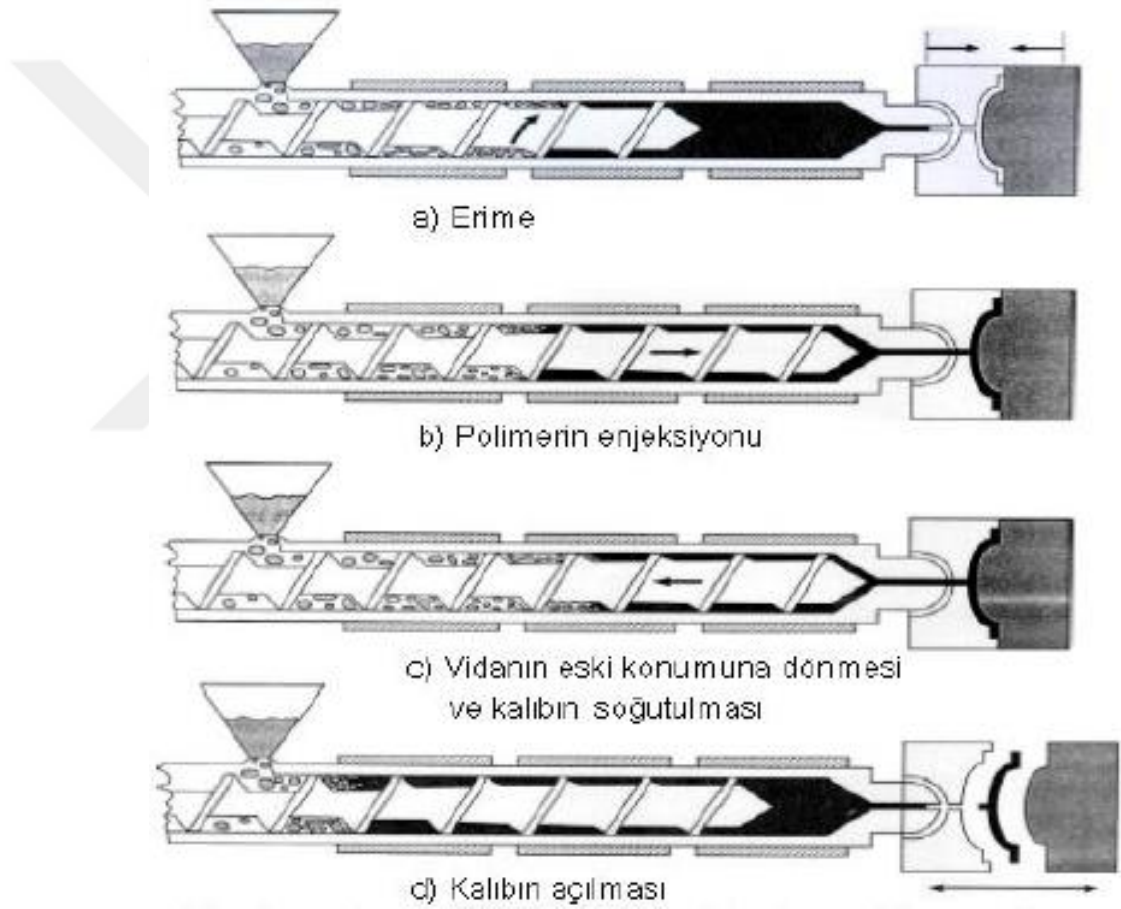
Şekil 1.8. Ekstrüder vidalarının genel gösterimi (Karagöz, 2012)

Ekstrüderler tek vidalı ya da çift vidalı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çift vidalı ekstrüderler daha iyi harmanlama sağlamaktadır. Çift vidalı ekstrüderlerde vidalar eş yönde (co-rotating) ya da zıt yönde (counter-rotating) dönebilirler. Vidaların dönme yönü sayesinde kayma gerilim miktarını, eriyiğin vida üzerindeki ilerleme süresi ve şeklinin etkilendiğini söylemek mümkündür. Kayma gerilimlerinin artması ile homojen karışımlar hazırlanmaktadır (Wagner vd., 2014).

1.4.1.2.Enjeksiyonlu kalıplama

Enjeksiyonlu kalıplama, termoplastiklerin sıcaklık etkisiyle yumuşayıp basınç altında ürün formuna getirme işlemidir. Plastik enjeksiyon prosesi dört farklı parametre ile kontrol edilmektedir. Bunlar, sıcaklık, zaman, basınç ve hızdır.

Plastik enjeksiyon kalıplama aşamaları (Şekil 1.9) kabaca 4 aşama da özetlenebilir. a) eriyik hale gelen numunenin vida üzerinde ilerlemesi b) kalıbın dolması c) vidanın geri giderek yeni beslemenin gerçekleşmesi ve kalıbın soğutulması d) yeni beslemenin vidada ilerleyerek kalıbın açılması ve ürün eldesi (Can, 2014).



Şekil 1.9. Enjeksiyonlu kalıplama basamakları (Can, 2014)

Enjeksiyonlu kalıplama da ilk olarak beslenen malzeme eriyik hale getirilerek vida yardımıyla kalıba doğru ilerlemektedir. Uygulanan basıncında etkisiyle eriyik halde bu malzeme kalıbı doldurmaktadır ve kalıbın içindeki eriyiğe vida tarafından basınç uygulamaya devam etmektedir. Bu sayede ürün şeklinin pürüzsüz olması sağlanmaktadır, bu aşamaya ütüleme basamağı denilmektedir. Bu aşamadan sonra

vida geriye doğru gitmekte ve yeni besleme gerçekleşmektedir. Son olarak kalıp açılmakta ve ürün elde edilmektedir (M. Joseph Gordon, 2010; Wagner vd., 2014).

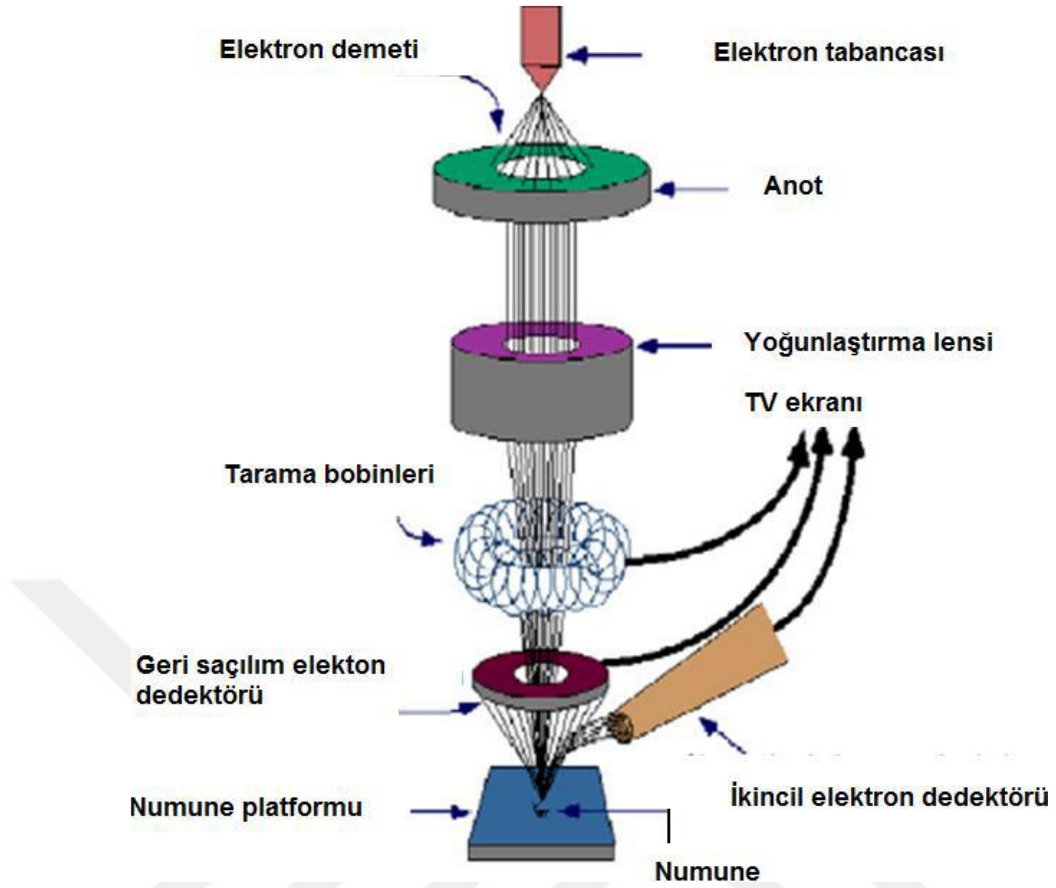
1.4.2. Karakterizasyon yöntemleri

Bu bölümde, yüksek lisans tez çalışması kapsamında karışımların morfolojik, mekanik, ısıl, yanma ve iletkenlik karakterizasyonunu belirlemede kullanılan cihazlar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

1.4.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Numunenin yüzey görüntüsü ve bileşimi hakkında bilgi veren taramalı elektron mikroskobu (SEM), numuneyi odaklanmış bir elektron demeti ile tarayarak görüntü elde edilmesini sağlar. Numunedeki atomlar ile elektronlar etkileşime girmesi sonucu sinyaller üretilir. SEM analizinde, iletken malzemeler, toz örnekler, filmler, biyolojik malzemeler, polimerler ya da yalıtkan malzemeler incelenebilir. SEM analizi yapılabilmesi için iletken olmayan malzemelerin dış yüzeyi “sputter coater” cihazı yardımıyla iletken bir malzemeyle kaplanması gerekmektedir. Bu püskürtmeli kaplayıcı elektrik alan ve argon gazı kullanır. Örnek vakum altında tutulan küçük bir çember içine alınır ve argon atomlarının pozitif yüklenmesi sağlanır. Pozitif yüklü argon iyonları daha sonra negatif yüklü altın folyo ile birleştirilir.

Şekil 1.10’da taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibi incelenmiştir. Elektron tabancası sayesinde elektron demetleri üretilir. Elektron tabancası mikroskobun en üstünde bulunur ve tabancadan çıkan elektron demetleri vakum altında dikey bir yol boyunca ilerler. Daha sonra elektron demetleri lensler boyunca ilerler. Lenslerin bu aşama da görevi elektromagnetik alan ve ışınları test edilecek numuneye odaklamaktır. Numune ile buluşan elektron demetleri; numuneden elektron ve X- ışını koparır. Dedektör yardımıyla X-ışınları, geri saçılmış elektronlar ve ikincil elektronlar toplanarak sinyale dönüştürülür. Daha basit bir ifadeyle, yüksek enerjili elektronların malzeme yüzeyi ile etkileşerek görüntü alınmasını sağlayan sisteme SEM denir. Numune yüzeyi mikro veya nano boyutta görüntülenmiş olur. Bu işlemler sonucunda numune yüzeyinin topografyası ekrandan okunur (Kodal, 2014) .



Şekil 1.10. SEM cihazının çalışma mekanizması (Kodal, 2014)

1.4.2.2. Optik mikroskop (OM)

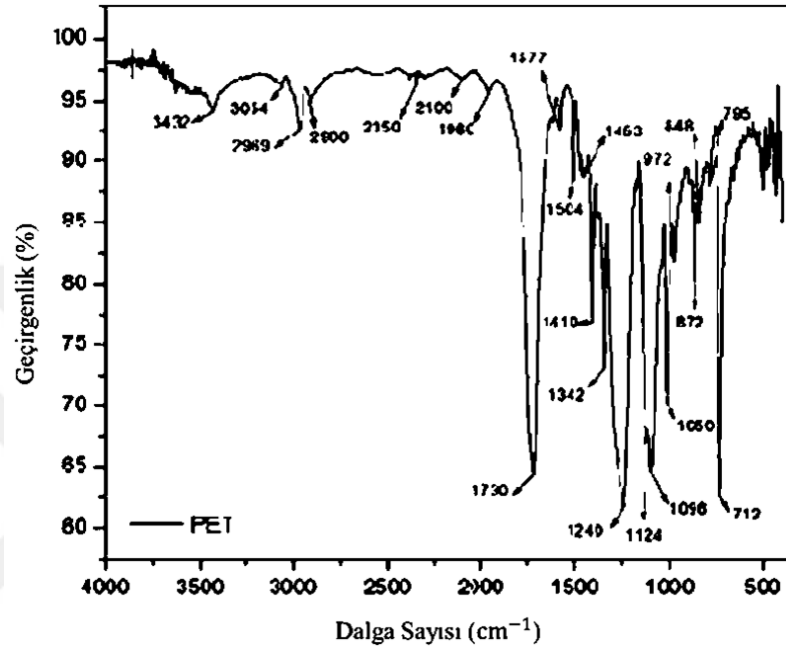
Belirli bir ışık kaynağını kondensör lens yardımıyla numuneye odaklayıp numuneden geçen ışınları objektif lens yardımıyla büyütür. Oluşan görüntü paralel ışık demetleri halinde ikinci bir büyötmeye uğrayarak odağa kırılır ve son görüntü oluşur (Karakoç vd., 2016). OM görünür ışık kullanarak ve küçük örneklerin görüntülerini büyötmek için bir lens sistemi kullanan bir mikroskop türüdür (Di Gianfrancesco, 2017).

Malzemelerin mikro yapısını incelemek amacıyla kullanılır. OM yardımıyla, polimerlerin faz değişimleri incelenebilmektedir (Turgut, 2017).

1.4.2.3. Fourier dönüştümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

İnce filmler, çözeltiler, katı pelet haline getirilmiş karışımlar ya da granül polimerler numunelere IR analizi yapılabilir. Test basitçe bir kızılötesi ışının prefabrik bir numuneden geçirilmesiyle gerçekleştirilir, burada kızılötesi radyasyonun bir kısmı emilir veya iletilir. Ortaya çıkan spektrum, belirli bir polimere özgü bir parmak izi gibi, bilgisayar ekranında grafiksel olarak görüntülenir. Her polimer aynı kızıl ötesi

ışınları üretmediğinden kendine özgü ve eşsiz olur. Bu özgünlüğü çeşitli atomik gruplar sayesinde yakalar. Her bir numunenin hatta her kimyasal grup bantlarının yeri belirlidir. Grupların lokal kimyasal çevresine ve moleküllerin kendi içinde ve birbirleriyle yaptığı hidrojen bağı oluşumuyla bağların tam yeri belirlenebilir (Fried, 2014).



Şekil 1.11. PET numunesinin FTIR spektrumu

Şekil 1.11’de PET numunesinin FTIR spektrumu verilmektedir. Burada teraftalat gruplarının ($\text{OOC}_6\text{H}_4\text{-COO}$) 1240 ve 1124 cm^{-1} bandlarında pik vereceği bilinmektedir. C-O bandı 1096 ve 1050’de, C=O bandı ise 1730’da pik vermektedir (Dos Santos Pereira vd., 2017).

1.4.2.4. Yüzey enerjisi ölçümü

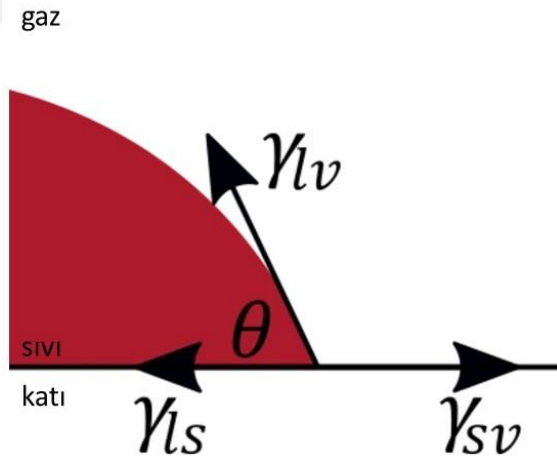
Katı yüzeylerin bir sıvı yardımıyla yüzeyde açılı oluşturması ve bu sayede hidrofiliğinin belirlenmesi için kullanılan yöntemdir. Sıvı olarak genellikle fazla uçucu olmayan, viskozitesi düşük sıvılar kullanılmaktadır. Islanabilirlik derecesini ifade eden temas açısı sıvının ve katının cinsine bağlıdır. Diğer bir deyişle sıvı moleküllerinin kendi içinde çekim kuvvetine (kohezyon) ve sıvı/katı yüzeyi arasındaki çekim kuvvetine (adezyon) bağlıdır.

Şekil 1.12’de gösterildiği üzere sıvının katı yüzeyinde bıraktığı açı, ıslatıp ıslatmama durumunu göstermektedir. Temas açısı 90 dereceden büyükse yüzey ıslanmaz yani hidrofobiktir. Eğer temas açısı 90 dereceden düşükse hidrofiliktir, ıslatma özelliği gösterir. Temas açısı 140 dereceden büyükse süper hidrofobik özellik gösterir. Eğer temas açısı 0 dereceye çok yakınsa süper hidrofiliktir (Merdivenci, 2019; Şirin, 2012).



Şekil 1.12. Sıvıların katı yüzeydeki ıslatma davranışı (URL-3)

Yüzey gerilimleri katı ile sıvı arasında (SL) katı ile buhar (SV) ve sıvı ile buhar (LV) şeklindedir. Temas açısı (θ), her üç fazın kesiştiği sınırdadır. Bu dengeyi açıklayabilmek adına Eşitlik 1.1’de Young eşitliği verilmiştir.



Şekil 1.13. Sıvı damlası ve etki kuvvetleri

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1.1)$$

Young eşitliğinde γ yüzey gerilimini temsil etmektedir. Eğer katı örneğin yüzey enerjisi yüksekse $\gamma_{sv} > (\gamma_{sl} + \gamma_{lv})$ olduğu durumda temas açısı değeri “0” olacak ve sıvı katı yüzeyde yayılacaktır. Temas açısının değerlerinin düşük olması katı ile sıvı arasındaki kuvvetli etkileşimlerden kaynaklanmaktadır.

Young eşitliğinden hesaplanan temas açısı, pürüzsüz, deforme olmamış ideal yüzeyler için geçerlidir. Toplam yüzey enerjisi de eşitlik 1.2'den elde edilir. Bir örneğin (i) toplam yüzey enerjisi γ_i^{TOT} , Liftshitz-van der Waals (LW) ve asit ve baz bileşeni γ_i^{AB} 'den oluşmaktadır. γ_i^{LW} , yüzeyin apolar ya da polar, atom/atom gruplarının sahip olduğu Van der Waals etkileşiminden kaynaklanan enerjidir. γ_i^{AB} , yüzeyin elektron alma/verme yeteneğine sahip atom, atom grubu ya da iyonların sahip olduğu etkileşim potansiyelinden kaynaklanmaktadır.

$$\gamma_i^{\text{TOT}} = \gamma_i^{\text{LW}} + \gamma_i^{\text{AB}} \quad (1.2)$$

Asit-baz bileşeni, Lewis asidi ve Lewis bazı etkileşimlerinden oluşan bir bileşendir. Serbest yüzey enerjisi γ_i^{AB} Lewis asid bileşeni γ_i^+ ve Lewis baz bileşeninden γ_i^- oluşur (denklem 1.3).

$$\gamma_i^{\text{AB}} = 2(\gamma_i^+ + \gamma_i^-) \quad (1.3)$$

Eğer i fazı asit-baz bileşenlerinden sadece birine sahipse bu bileşen toplam yüzey serbest enerjisine eklenmez ve temas eden fazın (j) zıt bileşeni ile etkileşime girer. Serbest yüzey enerjisi, Lewis asit-baz bileşenleri, temas açısı θ ve Young eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$(1 + \cos\theta)\gamma_i^{\text{TOT}} = [(\gamma_i^{\text{LW}}\gamma_j^{\text{LW}})^{\frac{1}{2}} + (\gamma_i^+\gamma_i^-)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_i^+\gamma_i^-)^{\frac{1}{2}}] \quad (1.4)$$

Katı yüzeyin Liftshitz-van der Waals bileşeni üzerine damlatılan polar olmayan sıvının (j) temas açısı değerinden bulunabilir. Bu durumda, $\gamma_j^{\text{TOT}} = \gamma_j^{\text{LW}}$ olur. Polar olmayan sıvının temas açısı değeri belirlenerek katı bir yüzeyin LW bileşeni;

$$(1 + \cos\theta)\gamma_j^{\text{TOT}} = 2(\gamma_j^{\text{LW}}\gamma_j^{\text{LW}})^{\frac{1}{2}} \quad (1.5)$$

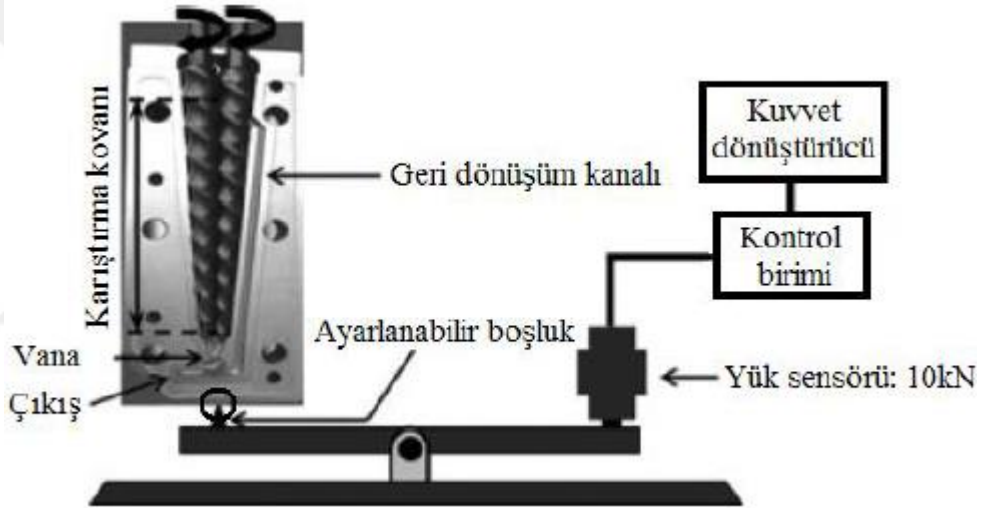
Şeklinde hesaplanır. Asidik ve bazik yüzey bileşenlerini, polar olmayan yüzey bileşenin bulunması için bipolar sıvı (L) kullanılır. Bu durumda;

$$(1 + \cos\theta_L)\gamma_L^{\text{TOT}} = 2[(\gamma_L^{\text{LW}}\gamma_S^{\text{LW}})^{\frac{1}{2}} + (\gamma_L^+\gamma_S^-)^{\frac{1}{2}} + (\gamma_L^+\gamma_S^-)^{\frac{1}{2}}] \quad (1.6)$$

eşitliği elde edilir.

1.4.2.5.Eriyik harmanlama sırasında dikey kuvvet ölçümü

Eriyik haldeki polimerin kovan içerisinde ilerleyişinde, vidaların eriyik karışımı aşağı doğru itmek için kullandığı kuvvete dikey kuvvet denmektedir (Şekil 1.9). Dikey kuvvet online viskozite olarak da bilinmektedir. Harmanlayıcıda bulunan yük hücresi yardımı ile dikey kuvvet ölçülmektedir ve harmanlama sürecinde eriyik karışımlarının reolojik özelliklerinin anlık olarak incelemek amacıyla dikey kuvvet verilerinden yararlanılmaktadır. Malzeme miktarı, sıcaklık ve vida hızı sabit tutulursa dikey kuvvet değerleri malzeme viskozitesi ile orantılı olmaktadır (Özkoç, 2007). Harmanlama esnasında malzeme miktarı kovan sıcaklığı ve karıştırma hızı sabit tutulursa dikey kuvvet değerleri eriyik viskozitesi hakkında bilgi verir.



Şekil 1.14. Dikey kuvvet değerlerinin ölçülmesi (Kodal, 2014)

1.4.2.6.Reolojik analiz

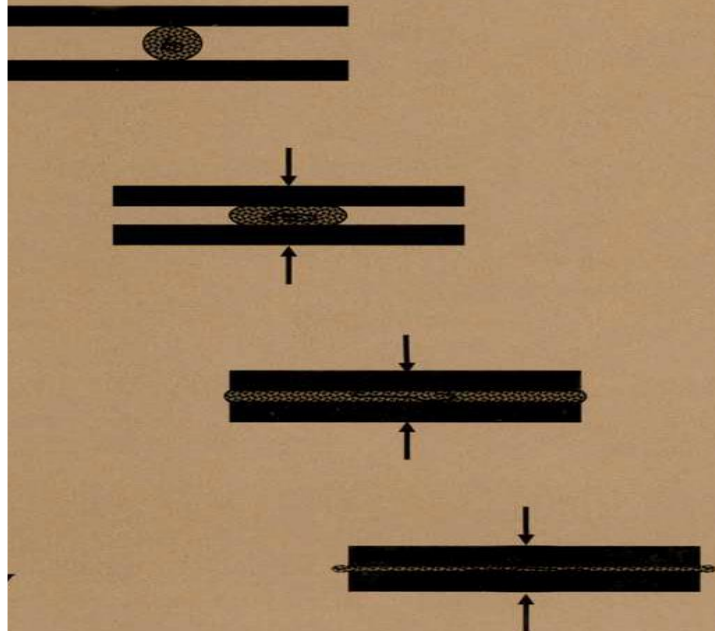
Reoloji, maddelerin farklı kesme kuvvetleri ve deformasyon şartlarındaki akış davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. Polimer eriyikleri hem viskoz hem de elastik özellikler gösterirler. Polimerik malzemelerin davranışları bu iki davranışın arasındadır. Viskoz özellikler, hız profilini, basınç düşüşünün büyüklüğü ve ekstrüzyon sırasında ısı üretimi gibi işlem parametrelerini belirler. Elastik davranış, kalıp şişmesi, eriyik kırığı (melt fracture) ve çıkış basıncı gibi ekstrüzyon olaylarından sorumludur. Malzemelerin eriyik halde ya da viskoz haldeki durumlarının değerlendirilmesinde reoloji analizleri kullanılır (Fried, 2014).

Bu çalışma kapsamında kullanılan bazı temel reolojik terimleri ifade de etmede yarar vardır. Viskozite; akışkanların kaymaya karşı gösterdiği dirençtir. Reolojik analizlerde ise bir akışkana uygulanan kayma gerilimi ile akışkanın gösterdiği kayma hızı arasındaki oran olarak ifade edilmektedir.

Kayma gerilimi (Shear Stress) (σ); akışkana belirli yönde uygulanan kuvvetin birim alana oranı olarak tanımlanır. Kayma hızı (shear rate) ($\dot{\gamma}$); Kayma geriliminin akışkan üzerinde yarattığı deformasyonun bir ölçüsüdür (Kaşgöz, 2012).

Polimerlerin reolojik özelliklerini ifade eden elastik ve viskoz özelliklerini simgeleyen iki değişik modül değeri vardır. Viskoelastik davranış depo modülü (storage modulus (G') ve kayıp modülü (loss modulus (G'')) ile belirlenmektedir. Depo modülü katı gibi davranışları, depolanan elastik enerjiyi belirlerken kayıp modülü sıvı gibi davranışları, deformasyonun bir döngüsünde dağılan enerjiyi karakterize etmektedir (Kılıç Tüccar, 2019). Bir malzemenin deformasyona karşı gösterdiği toplam dayanıklılığın bir göstergesi ise kompleks modüldür (η^*).

Sıfır kayma viskozitesi (η_0) akışkanın Newtonian bölgede düşük deformasyon hızlarında akmaya karşı gösterdiği dirençtir (Yıldırım, 2018).

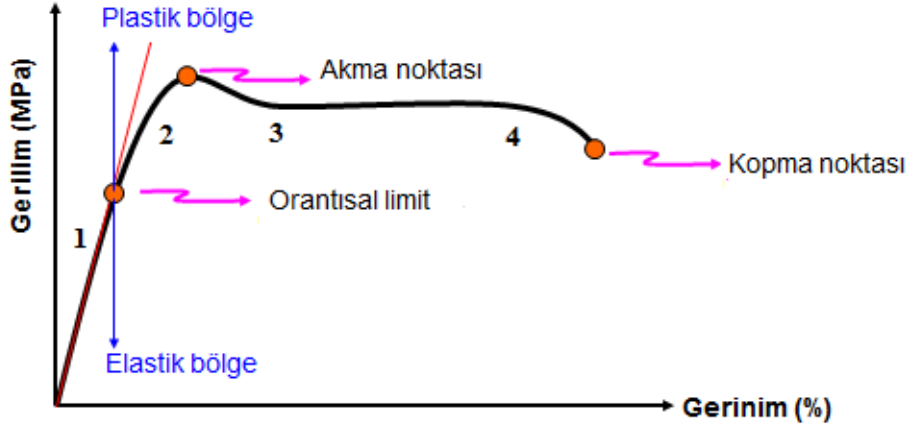


Şekil 1.15. Paralel plaka arasına yerleştirilmiş örneğin reometre cihazındaki görünümü (Shaw, 2011)

Reometre çalışma prensibi ise malzemeye uygulanan sinusoidal kayma deformasyonunun gerilim cevabına dayanır. Numune iki sıcak plaka arasına yerleştirilir ve alt plaka sabitken üst plaka hareket eder. Polimer eriyik hale geldiğinde salınımlı bir kayma kuvveti, zamana bağlı bir gerinim ile uygulanır (Weitz vd., 2007).

1.4.2.7.Çekme testi

Çekme testi sabit bir alt çeneden ve hareketli üst çeneden oluşur. Dog-bone ya da papyon olarak bilinen çekme numunesi çeneler arasına yerleştirilir ve belirli standartlara bağlı kalarak çekme diğer bir deyişle deformasyon gerçekleştirilir. Malzeme deforme edilmeye başlandığı anda zincirler dayanım gösterir, numune kopana kadar oluşan yapısal değişiklikler kaydedilir. Bu analizle malzemelerin, çekme dayanımı, kopmada uzama, kopma dayanımı ve elastik modülü gibi mekanik özellikleri belirlenir. Ek olarak ekstansometre ile polimerik malzemelerin %1 uzamasını hassas olarak kaydedilebilir. Şekil 1.13’de deformasyon aşamalarını gösteren tipik bir çekme testi eğrisi verilmiştir (Shah, 2007; Arıcıoğlu vd., 2000).



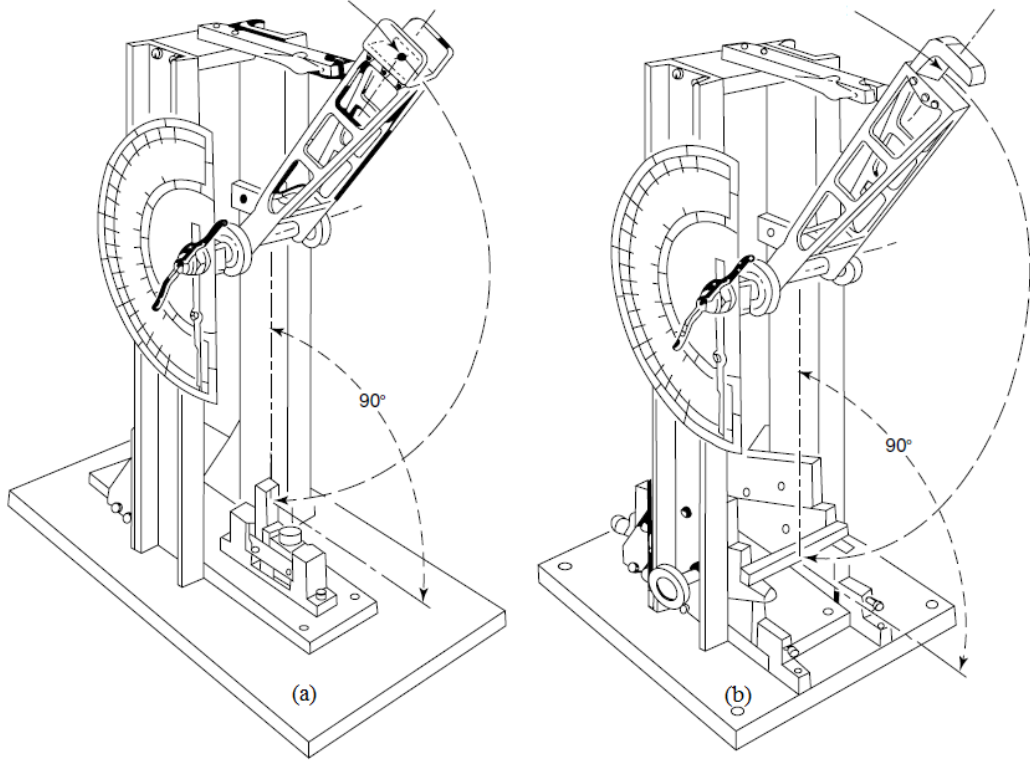
Şekil 1.16. Tipik bir çekme eğrisi (Can, 2017)

Elastik bölgede zincirler rastgele dururlar ve esnetildiğinde eski haline geri dönebilirler, bu aşama tersinirdir. Elastik bölgede uzama çok hassas ölçülmek istenir ve ekstansometre ile ölçümler kaydedilir. Ancak elastik bölgeyi geçip plastik bölgeye gelindiğinde zincirler farklı konformasyona kavuşur. Akma noktasında zincirler birbirleri üzerinde kaymaya başlar. Bir sonraki aşamada ise zincirlerin birbiri üzerinden kayma hareketi tüm zincirlere yayılır. Numunenin kesit alanı daralır ve mikro çatlaklar oluşur. Çatlama ya da kırılma olarak adlandırılan evrede ise mikro

çatlaklar zincirlerin birbirinden tamamen ayrılmaya başlaması ile makro hale gelir ve numune kopar.

1.4.2.8. Darbe testi

Darbe testi, malzemeye darbe ya da şok şeklinde etki eden, yüksek deformasyon hızındaki yüklemelerde polimerik malzemelerin kırılma esnasında birim alanda malzemenin absorbladığı enerjinin ölçüldüğü statik test metodudur. Analiz esnasında sarkaç yaklaşık 3 m/s ile numuneye çarpar. Burada numune çentikli ya da çentiksiz olarak kullanılabilir. Çentikli testlerde yalnız çatlak ilerlemesi ölçülürken, çentiksiz numunelerde hem çatak başlangıcı hem de ilerlemesi ölçülebilir. Darbe dayanımı numunenin geometrisine ve test sıcaklığına bağlıdır. Darbe dayanımı farklı metotlarla yapılabilir, kullanım kolaylığı açısından ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar Izod ve Charpy darbe dayanım testleridir. Izod testinde numune dikey, Charpy testinde yatay konmaktadır (Scheirs, 2000).



Şekil 1.17. Sarkaç tipi darbe testleri a) Izod darbe testi b) Charpy darbe testi

1.4.2.9. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Dinamik mekanik analiz (DMA) testi numuneye sinüsoidal bir titreşim uygulayarak malzemenin verdiği cevabın analiz edilmesi yöntemidir. DMA sertliği ve sönümlemeyi ölçer, bunlar modül ve tan deltası olarak ifade edilir. Bu teknik ile viskoelastik özelliklerin kantitatif karakterizasyonunu belirlenebilir. Yani, bir malzemenin belirli bir sürede mekanik enerjiyi saklama ve / veya dağıtma yeteneğini ölçmeyi sağlar. Depo modülü (E'), kayıp modül (E''), kayıp faktör veya sönümleme faktörü ($\tan \delta$), kompleks ve dinamik viskozite, camsı geçiş sıcaklığı gibi farklı reolojik özellikler analiz edilebilir (Shah, 2007).

Kayıp modülü malzemenin viskoz davranışların ölçüsü iken depo modülü elastik davranışının bir ölçüsüdür. $\tan \delta$ değeri ise kayıp modülünün depo modülüne oranıdır ve bize enerji dağılımının ölçüsünü vermektedir.

$\tan \delta$ eğrileri, malzemenin camsı geçiş sıcaklığı ve elyaf takviyeli kompozitlerde arayüzey bağlanması hakkında bilgi verir. Bu eğrilerde pik yüksekliğinin düşük olması iyi bir arayüzey bağlanmasını işaret eder (Üçpınar, 2018).

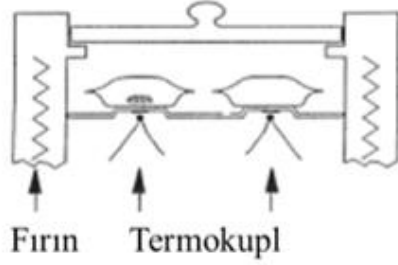
1.4.2.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), malzemenin ısı kapasitesinin sıcaklıkla olan değişimini veren kalorimetrik ısı analiz tekniğidir. Isıl geçişler esnasında polimerin camsı geçiş sıcaklığını (T_g), erime sıcaklığını (T_m) ve kristalizasyon sıcaklığını (T_{cc}) ve entalpi değerlerini bulmak mümkündür (Shah, 2007).

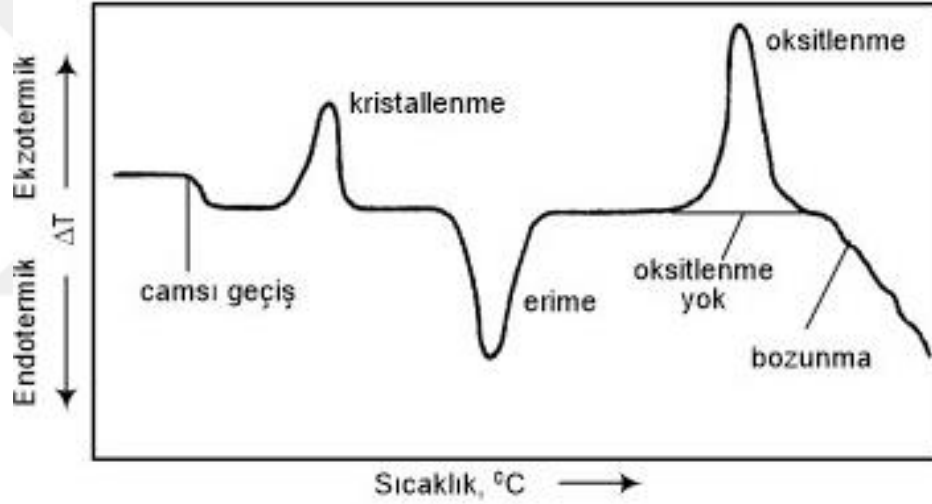
DSC cihazında referans ve numune için ayrı hazneler bulunmaktadır. Analizi yapılacak numune tartılarak kütlesi belirlenir (5-10 mg) ve alüminyum pan'e yerleştirilip, numune haznesine konur. Aynı hacimde boş bir alüminyum pan'de referans kısmına konur.

Numune ve referansın sıcaklıklarının aynı tutulması için gerekli olan enerji akısının zaman veya sıcaklığa göre kaydederek termogram adı verilen eğriler elde edilmektedir. Bu eğriler endotermik (yukarı yönlü pik) ya da ekzotermik (aşağı yönlü pik) olabilir.

Şekil 1.10'da DSC'nin kesit alanı ve numune/referans haznesi, Şekil 1.11'de ise analiz tamamlandıktan sonra ortaya çıkan termogram verilmiştir. Bu termogramda T_g , T_m , T_{cc} okunabilir (Hanlan vd., 1973).



Şekil 1.18. DSC cihazının kesit alanı (Shah, 2007) ve numune/referans hazneleri



Şekil 1.19. Polimerik maddelerde karşılaşılabilecek olan diferansiyel termogram (URL-5)

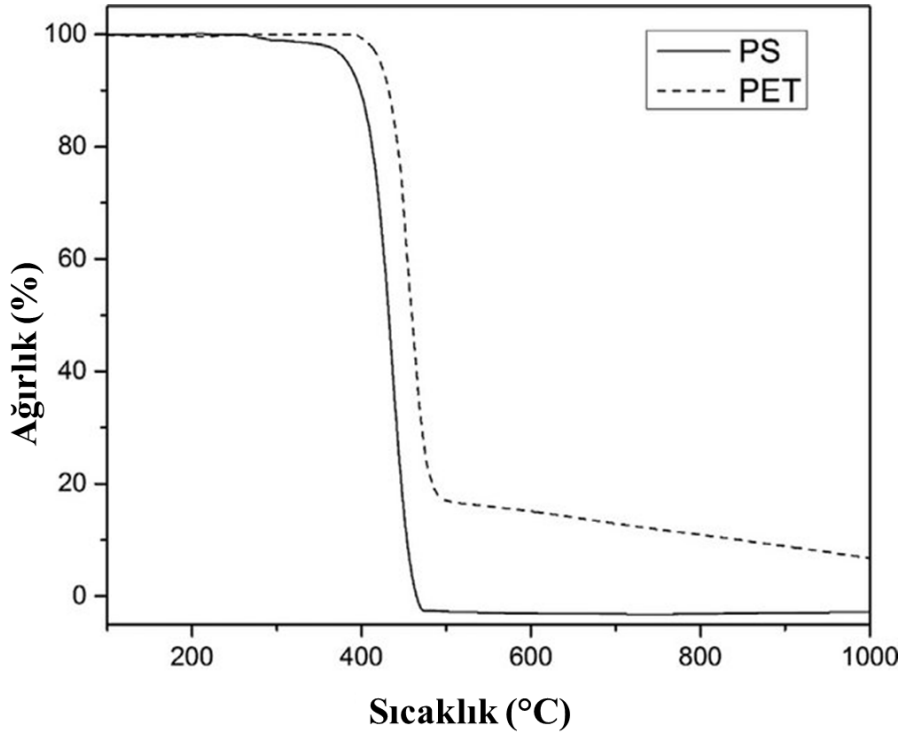
Termogramların şekli polimerin amorf ya da kristalin yapısına bağlı olarak değişmektedir. %100 amorf polimerlerde T_{cc} ve T_m pikleri gözlenmemektedir. Kristal yapılarda hem T_g hem T_{cc} hem de T_m gözlenmektedir. Kristalin polimerlerde amorf ve kristalin fazların karışımı nedeniyle tek bir noktada erimek yerine bir sıcaklık aralığında erimektedir (Shah, 2007).

1.4.2.11. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz (TGA), numune ısıtılırken ağırlığındaki değişimin izlenebildiği bir analiz yöntemidir. Termogravimetrik analiz sayesinde malzemenin

bileşimi, saflığı, ısıl kararlılığı, oksidatif kararlılığı, kimyasal kinetiği, bozunma davranışı, nem ve uçucu madde içeriği belirlenebilir çünkü polimerler ve katkıları farklı sıcaklıklarda parçalanır/buharlaştır.

TGA’da bir fırın, hassas bir terazi ve kontrol paneli bulunur. Numune pan’ e konularak fırına gönderilir. Numune programlanmış sıcaklığa ısıtılırken kütlede meydana gelen değişim kaydedilir. Test tamamlanınca Şekil 1.11’e benzer TGA eğrileri ortaya çıkar (Ng vd., 2018; Shah, 2007).



Şekil 1.20. Bilinen bazı polimerlerin TGA eğrileri (Adnan vd., 2015)

1.4.2.12. Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)

Polimerler karbon ve hidrojenle oluştuğundan karbondioksit ve su buharı üretmek için kolayca yanabilirler. Atmosferde %21 oksijen vardır. %79 (N_2 , CO_2 , su vs.) yanmayı desteklemez. Oksijen / azot oranı arttıkça hava da kendi kendini söndüren malzemeler yanar. Eğer bu oran değiştirilebilirse malzemelerin yanıcılık özellikleri de değişmiş olur.

Sınırlayıcı oksijen indeksi testi malzemelerin alevlenebilirlik özelliğini ölçmede kullanılan en yaygın testtir. Şekilde LOI düzeneği verilmiştir. Düzeneğin altından

nitrojen ve oksijen gazları geçmektedir. Bu gazların oranını değiştirerek malzemenin 50 mm yandığı ya da en az 3 dk yandığı oksijen konsantrasyonuna karar verilir.

$$O_2/[O_2+N_2] \quad (1.7)$$

Polimerler LOI testine göre dört farklı başlık altında sınıflandırılabilirler. Eğer LOI değeri %24'ün altında ise polimer yanabilir, alev alabilir. %24 ile %28 arasında ise sınırlı alev geciktirici özelliği vardır. %29 ve %34 arasında alev geciktirici özelliğe sahiptir denir. %34'den büyük LOI değerleri ise ekstra alev geciktiricidir (Turgut, 2017).

1.4.2.13. Elektriksel iletkenlik karakterizasyonu

Elektriksel iletkenlik, elektrik akımı yüklenmiş partiküllerin bir malzeme içerisindeki akışının ifadesidir. Taşıyıcı partiküller oluşan potansiyel gradyanında akarlar ve iletkenin geometrisine bağlı olarak öz iletkenlik (σ) ve direnç (Ω) değerleri belirlenir. Yüzey direnci 10^{10} ila 10^{12} ohm arasında ise malzemeler antistatik, yüzey direnci 10^6 ile 10^{10} ohm arasında ise yarı iletken olarak belirtilmektedir. Yüzey direnci 10^6 ohm değerinin altında ise malzeme iletken olarak adlandırılabilir. Elektriksel iletkenlik ölçümleri, el iletkenliği de denilen yüzey direnç ölçer ile malzemelerin üzerinden iletkenlik ölçülmüştür. Yüzey direnci ölçümleri, iletken veya yarı iletken kaplamaların ve malzemelerin üniformitesini karakterize etmek için sıkça kullanılmaktadır.

1.4.2.14. Parlaklık ölçümleri

İmalat ve işleme endüstrileri için vernik, plastik, deri veya yüzeyi işlenmiş metaller gibi yüzey kalitesini sabitlemek oldukça önemlidir.

ISO 4618:2014 standardına göre parlaklık, ışığı speküler olarak yansıtma özelliği ile karakterize edilen yüzeyin optik bir özelliği olarak tanımlanır. Parlaklık değeri numunenin pürüzlülük, doku gibi yüzey özelliklerinden etkilenir. Refraktometre ile ölçülen parlaklık ölçümleri gloss units (parlaklık birimini (GU)) verir. ISO 2813'e göre üç farklı açılarda parlaklık ölçümleri gerçekleştirilebilir. Çok parlak numuneler için 20° , orta-parlak numuneler için 60° ve neredeyse mat numuneler için 85° ölçüm açısı kullanılmaktadır (Balbay, 2019,URL-4).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde yapılan yüksek lisans tez çalışmasının amacına yönelik araştırılan bilimsel çalışmalar sunulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında çalışılan matrisler, matrislerin karbon elyafı ile olan ilişkileri ve karakterizasyonlarına dair bazı önemli çalışmalar özetlenmiştir.

Kompozitler iki ya da daha fazla malzemenin mikroskobik ya da makroskobik olarak bir araya gelmesiyle oluşan birbirlerini tamamlayan malzeme türüdür. Farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir (Mazumdar, 2002). Polimer kompozitlerde, hacimce daha büyük kısmı oluşturan, sürekli fazı (matris) oluştururken süreksiz faz yapısal bileşen (sıklıkla lifler) tarafından oluşturulur (Corrêa vd., 1996). Matris yapının genel özelliklerini karakterize ederken takviye edici fazlar ise yapı içine yerleştirilmiş fiziksel, kimyasal özellikleri iyileştirir (Bora, 2007). Bu kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için metal, seramik ve karbon bazlı malzemeler kullanılabilir (Xu vd., 2019). Cam elyaf, jüt elyaf ve karbon elyaf çeşitli mühendislik uygulamaları için kompozit yapımında kullanılan önemli elyaf takviyelerdendir (Hawal vd., 2019). 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 (Zhang, 2012). Aynı zamanda da ağırlık tasarrufunun önemli olduğu mühendislik uygulamalarında da kullanımı hızla artmaktadır (Ghayur vd., 2019). Kırpılmış karbon elyaf (CCF) takviyeli termoplastikler ticari ve bilimsel ilgi çekmektedir. Plastiklerin bazı özelliklerinin, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama gibi ekonomik işleme yöntemleriyle CCF'nin dahil edilmesiyle geliştirildiği bilinmektedir. CCF ile güçlendirilmiş termoplastiklerin özellikleri sadece matris ve fiberin özelliklerine değil, aynı zamanda karbon elyaf yükleme oranına, yönüne, en boy oranına, dağılımına ve fiber/matris yapışmasına da bağlıdır (Shi vd., 2012; Corrêa vd., 1996).

Literatüre göre Grozdanov ve Bogoeva'nın yaptığı bir çalışmada, hibrid elyaflara dayanan CF/PA6 kompozitleri incelenmiştir, sonuçlarda ise CF'nin mekanik

özelliklerde etkili bir iyileşme gösterdiğini gözlemlenmiştir. SEM sonuçlarına göre; PA6-elyaf arasında matris-elyaf gerinim iletimini bozan boşluklar gözlenmiştir. Kompozitlerin termal analiz sonuçlarına göre kristalleşme enerji koşullarının saf PA6'ya göre daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Grozdanov vd., 2010).

Rezaei ve ark. kısa CF-takviyeli PP kompozitleri eriyik harmanlama ve sıcak presleme yöntemi ile hazırlamışlardır. TGA, DMA, SEM analizleri yapılmış ve bu analizler doğrultusunda kompozitlerin mukavemeti, sertliği, pekliliği ve ısıl bozulma sıcaklığının CF yüklemesi ile arttığı sonucuna varmışlardır (Rezaei vd., 2009 a).

Liang ve ark. PA6/CF kompozitleri hazırlamışlar ve kompozitlerin çekme modülü ve mukavemetinin CF eklenmesiyle arttığı, kopmada uzamalarının azaldığı tespit etmişlerdir (Liang vd., 2014).

Li ve diğ. kısa CF ile güçlendirilmiş ABS kompozitlerini incelemiş ve gerilme mukavemeti ve gerilme modülünün artan CF miktarı ile arttığı sonucuna varmışlardır (Li vd., 2010).

Fu ve diğ. kısa cam elyaf (GF) ve kısa karbon elyaf takviyeli PP kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elyaf hacmindeki artışın ortalama elyaf uzunluğunu azalttığını kanıtlamışlardır. Çekme testi sonuçlarına ithafen CF dayanımının GF dayanımından fazla olduğu tespit edilmiştir (Fu vd., 2000). Mühendislik plastiklerinden biri olan Poli(trimetilen teraftalat) (PTT), PET, PBT gibi poliesterlerin özelliklerini kapsar. Kısa karbon elyaf (SCF) kompozitlerinde Run ve diğ. DSC ve POM kullanarak kristallenme kinetiğini incelemişlerdir. Sonuçlar kompozitlerde çekirdeklenme ajanı olarak görev yapan SCF'nin kristallenmeyi hızlandırdığı kanısına varmışlardır (Run vd., 2009).

Cho ve Paul'un yaptığı çalışmaya göre kauçuk ile toklaştırılmış cam elyaf takviyeli PA6 kompozitleri hazırlanmıştır. ABS ile toklaştırılmış kompozitlerin mekanik özellikleri ve morfolojisi araştırılmış ve EPR-g MA ile toklaştırılmış kompozitlerle karşılaştırılmıştır. PA6'ya GF ilavesiyle mekanik özellikleri -darbe dayanımı ve sertliği- iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kauçukla toklaştırılmış her iki kompozitin sünekliği, GF içermeyen karışımlardan önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunmuştur (Cho vd., 2001).

Rezaeian ve ark. PET'in çevreye verdiği zararı azaltmak adına geri dönüştürülmüş PET ve GF takviyesi sonucu oluşan kompozitlerin reoloji, morfoloji, termal ve mekanik özellikleri test edilmiştir (Rezaeian vd., 2009).

Aravinthan ve Kale tarafından yapılan çalışmada ise PET ve PBT karışımları çift vidalı ekstruderde eriyik halde karışım haline getirilmiştir. Karışımların mekanik, ısı, elektriksel ve reolojik özellikleri üzerine çalışılmıştır. Karışımlar, saf PET ve saf PBT'den daha yüksek darbe özellikleri göstermiştir. 50:50 karışım kompozisyonu en yüksek darbe dayanımı değerini göstermiştir. DSC analizi sonucunda her iki faz karıştığında sadece tek bir T_g gözlenmiştir (Aravinthan vd., 2005).

Szostak çalışmasında PET/PBT karışımlarını sadece enjeksiyon ve ekstruderde eriyik karıştırma sonrasında enjeksiyon olmak üzere iki türlü hazırlamıştır. Karışımların hazırlama metodu olarak mekanik test sonuçlarına dayanarak ekstruderde eriyik karıştırma sonrası enjeksiyon kalıplama daha uygun bulunmuştur. Termal özellikleri ise DSC ile test etmişler ve çift erime piki ve bir kristallenme piki bulmuşlardır (Szostak, 2004).

PET ve izosorbit monomeri ile yapılan poliester kopolimeri poli(etilen ko-izosorbit teraftalat) (PEIT)'i oluşturur. PEIT, PET'den daha yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahiptir. PEIT'in camsı geçiş sıcaklığı 80-180°C arasındadır. Poli(etilen 2,6 naftalin dikarboksilat) (PEN), polikarbonat (PC), PET içeren sikloheksan dimetanol (PETG) ve izoftalik asit içeren PET (PETI)'in T_g 'lerinin bu aralıkta olması ve PEIT'in geniş aralıkta bir T_g 'ye sahip olması sebebiyle poliester uygulamalarında kullanılabilirler (Gohil, 2009; Park vd., 2014).

Literatür incelendiğinde, Gohil'in yaptığı bir çalışma da PEIT kopolimerlerinin ve PET reçinelerinin deformasyon davranışları araştırılmıştır. Çözüldüden film dökme yöntemi kullanılmış, DSC analizi, katı hal deformasyon davranışları ve kopolimerlerin kristalleşme özelliklerini incelemişlerdir. PEIT'in T_g 'sinin izosorbit içeriğine bağlı olarak değiştiğini bulmuşlardır. İzosorbit oranı arttıkça T_g artmış, T_m azalmıştır. %2.8 izosorbit içeriğinin uygun olduğunu belirleyip kristalinite özelliklerini incelemişlerdir (Gohil, 2009).

Park ve ark. ise PEIT/MWCNT/etilen terpolimer kompozitleri karışımlarının mekanik termal ve elektrik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, MWCNT içeriğinin PEIT/MWCNT kompozitlerinin termal stabilitesini ve elektriksel özelliklerini iyileştirdiğini ancak mekanik özelliklerini azalttığını göstermiştir (Park vd., 2014). Park ve ark yaptığı bir diğer çalışma ise PEIT'in mekanik ve Polikarbonat'ın (PC) kimyasal özelliklerinden faydalanarak karışım elde edilmiştir. PEIT'in izosorbit içeriği arttıkça, daha iyi kalıplanabilirlik, ısıl kararlılığının artması gibi avantajlara sahip olduğunu ancak biyolojik içerik arttıkça mekanik özelliklerin azalması gibi bir dezavantajı olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak DSC, TGA ve SEM sonuçlarına dayanarak PEIT ve PC'nin uyumlu bir karışım olduğu sonucuna varılmıştır (Park vd., 2013).

Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, PEIT'in sentezine ve reaksiyon aşamasındaki katalizörleri belirlemeye yönelik çalışmaların da yapıldığı gözlemlenmiştir. Adelman ve ark. PEIT'in şişeler, sıcak dolum kaplarında ve ambalaj sektöründe kullanıldığı için estetik görüntüsünün önemli olduğunu vurgulamıştır. Buna dayanarak düşük renk reçinesi ve düşük etilen glikol (DEG) kullanarak proses edilebilirliğini araştırmıştır. Yazarların bir diğer amacı ise izosorbitin etkilerini en üst seviyeye çıkarabilmek için DEG gibi T_g azaltıcı safsızlıkları azaltmaktadır (Adelman vd., 2003).

Stanley ve diğ. izosorbitin reaktivitesinin eksikliğini telafi edebilmek için ve polimerin renklenmesini azaltmak amacıyla PEIT sentezi sırasında transesterifikasyon etkinliğini arttırmak için katalik sistemler geliştirmişlerdir (Stanley vd., 2017).

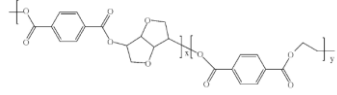
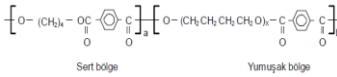

3. MALZEMELER VE YÖNTEM

Bu bölümde; yüksek lisans tez çalışması süresince kullanılan malzemeler, bu malzemelerin genel özellikleri, numunelerin elde edilmesinde kullanılan üretim teknikleri ve elde edilen numunelerin karakterizasyonu hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Malzemeler

Çalışma boyunca kullanılan malzemelerin genel özellikleri, kimyasal formülleri, kimyasal yapıları ve temin edildikleri firmalar Tablo 3.1’de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler

| Malzeme İsmi | Temin edildiği firma | Genel Özellikleri | Kimyasal Yapısı |
|--|----------------------|--|---|
| Poli(etilen teraftalat–ko-izosorbit) (PEIT) | SKChemical, Kore | Kopma uzaması (ISO 527) = %130 İzod darbe dayanımı (çentikli) (ISO 180) =93 KJ/m ² |  |
| Poliester bazlı termoplastik elastomer (PTPE) | Arnitel H, DSM | Shore D: 55 MFI: 14 g/10dk |  |
| Kırılmış karbon elyaf (CCF) | Dowaksa AKSACA | Elyaf boyu:6 mm |  |

3.2. Yöntem

Yüksek lisans tez çalışmasının bu bölümünde polimer karışımlarının hangi yöntemler kullanılarak hazırlandığı ve hangi teknikler kullanılarak karakterize edildiği anlatılmıştır.

3.2.1. Deneysel Tasarım

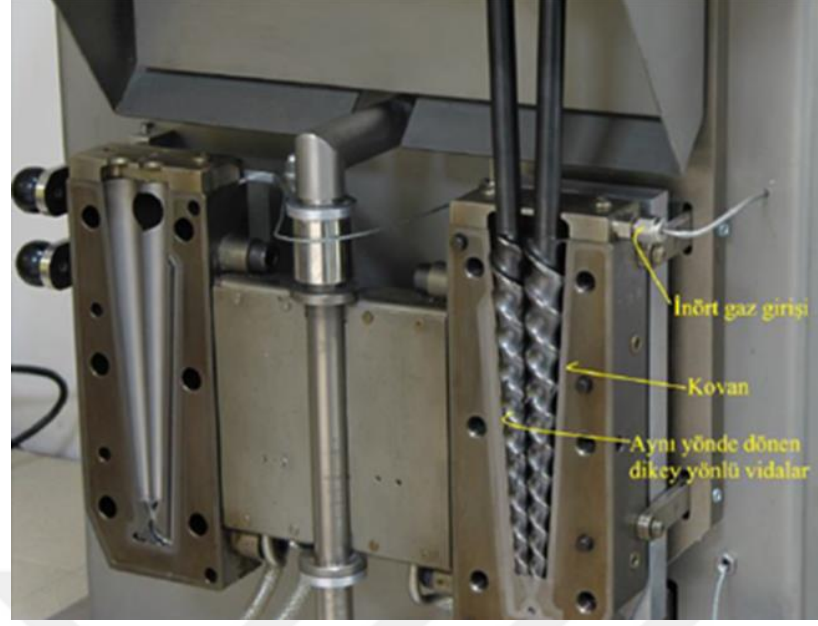
Anafaz olarak belirlenen PEIT'e ağırlıkça %10-%20-%30 yükleme oranıyla PTPE eklenmiştir. %25 CCF ilavesiyle PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF karışımlarının morfolojik, reolojik, mekanik ve ısıl özellikleri incelenmiştir. Karışımların oranları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Örneklerin karışım oranları ve isimlendirilmesi

| Numune İsmi | PEIT (ağ.%) | CCF (ağ.%) | PTPE (ağ.%) |
|---------------------|-------------|------------|-------------|
| PEIT | 100 | - | - |
| 90PEIT/10PTPE | 90 | - | 10 |
| 80PEIT/20PTPE | 80 | - | 20 |
| 70PEIT/PTPE | 70 | - | 30 |
| PEIT-25CCF | 100 | 25 | - |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 90 | 25 | 10 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 80 | 25 | 20 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 70 | 25 | 30 |

3.2.1.1. Karışımların Hazırlanması

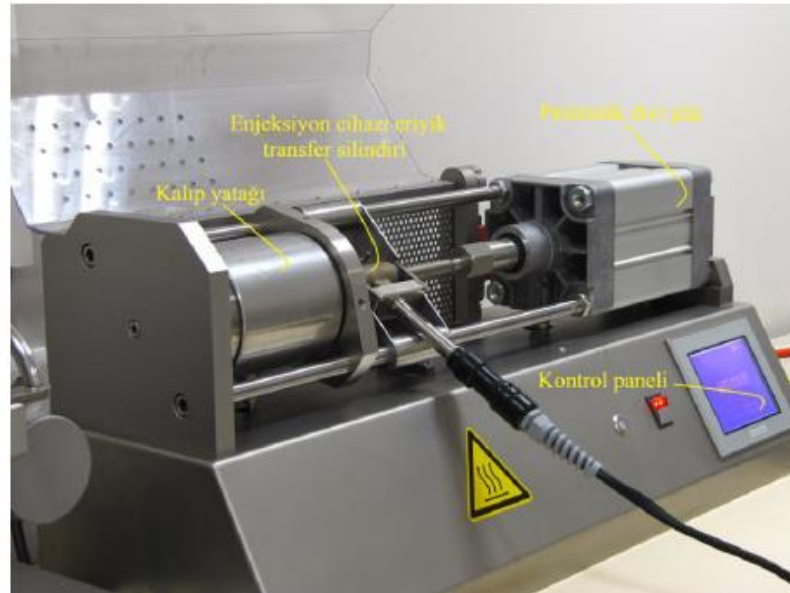
Bu yüksek lisans tez çalışmasında, polimerleri harmanlanmak için DSM Xplore 15 ml Microcompounder (mikro-harmanlayıcı) marka çift vidalı dikey yönlü mini ekstrüder kullanılmıştır. Proses koşulları ise 100 rpm vida hızı, 230°C kovan sıcaklığı ve 3 dakika alıkonma süresidir. Karışımlar hazırlanmadan önce PEIT ve PTPE 12 saat boyunca 80°C'de vakumlu etüvde kurutulmuştur. PEIT/PTPE karışımlarına kırılmış karbon elyaf ilavesi son 30 saniyede besleme hunisinden ilave edilmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvarda bulunan çift vidalı dikey yönlü mini ekstrüder (Karagöz, 2012)

3.2.1.2. Enjeksiyonlu kalıplama

Bu çalışmada enjeksiyonlu kalıplama cihazı DSM Xplore 12 ml Injection Molding kullanılmıştır. Karışımların kalıplanma sırasındaki proses koşulları; 230°C eriyik sıcaklığı, 25°C kalıp sıcaklığı ve 10 bar kalıplama basıncıdır.



Şekil 3.2. Laboratuvarda kullanılan enjeksiyonlu kalıplama cihazı (Karagöz, 2012)

3.2.2. Karakterizasyon

Yüksek lisans tez çalışmasının bu bölümünde saf PEIT, PEIT/PTPE karışımlarına ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerine uygulanan test yöntemlerinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır.

3.2.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF karışımlarının darbe testi ile elde edilen kırılma yüzeyleri analiz öncesi altın ile kaplanmış ve JEOL JIB 4501 marka SEM cihazı ile incelenmiştir.

3.2.2.2. Optik mikroskop (OM) ile karbon elyaf boyut dağılımının ölçülmesi

PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin elyaf boyu dağılımının analizi yapılmadan önce krozelere numune konularak kül fırınında 800°C'de 30 dk bekletilerek numuneler yakılmıştır (Şekil 3.3). Yakmanın ardından krozelerde kalan numuneler cam lamellerde dağıtılarak Nikon markalı optik mikroskop cihazı ile liflerin boyu ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Krozede yakılmış numune

3.2.2.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Bu çalışma için ATR modunda Perkin Elmer Spectrum 100 marka FTIR cihazı karışım bileşenleri arasında meydana gelen etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla analiz için kullanılmıştır. Numuneler $650-4000\text{ cm}^{-1}$ arasında taranarak spektralar elde edilmiş ve PEIT, PTPE ve CCF arasındaki etkileşimler saptanmıştır. FTIR cihazının genel görünümü Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Perkin Elmer Spectrum 100 FTIR cihazının genel görünümü

3.2.2.4. Yüzeysel enerji ölçümü

KSV Attension Theta Lite model bir temas açısı cihazı (Şekil 3.5) kullanılarak örneklerin temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin yüzeylerinden 3 farklı noktadan ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalama değerleri kaydedilmiştir. Lifshitz-van der Waals etkileşimleri için gösterge sıvısı olarak bromonaftalin, asit-baz komponentinin belirlenmesi için etilen glikol ve saf su kullanılmıştır.

Her bir kompozisyonun ortalama temas açısının belirlenmesinin ardından bahsedilen yaklaşımlar kullanılarak kompozitlerin yüzey enerjileri hesaplanmış ve FTIR sonuçlarını desteklemesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.5. Temas açısı cihazının genel görünümü

3.2.2.5. Dikey kuvvet ölçümleri

Karışımların viskozite değerlerini karşılaştırmak için eriyik viskozitesinin bir göstergesi olan ve harmanlama esnasında zamana karşı elde edilen dikey kuvvet (N) ölçümleri kaydedilmiştir. Polimer beslemesi yapıldıktan sonra her 0,5 saniyede ölçümler 3 dakika boyunca alınmıştır.

3.2.2.6. Reolojik analiz

Enjeksiyonlu kalıplama ile basılan 2 mm kalınlıktaki örnekler stres kontrollü döner reometre (Anton Paar MCR 102) ile incelenmiştir. Analiz, 230°C’de, dinamik frekans taraması testleri; 0,1 ile 100 rad/s frekansta yapılmıştır. Analiz paralel plaka geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6’de reometrenin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.6. Reometre cihazının genel görünümü

3.2.2.7. Çekme testi

PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerin çekme testleri ISO 527 standardına uygun olarak 25 mm/dak çekme hızında ve oda sıcaklığında Instron (Model 3345) çekme test cihazı ile yapılmıştır. Her bir kompozisyon için 5 adet dog-bone numunesine analiz yapılmış ve ortalama değeri verilmiştir. Çekme testi cihazı şekil 3.7’de verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen gerilme-gerinim grafiğinden yola çıkarak numunelerin ait akma dayanımı, elastisite modülü ve kopmada uzama değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Laboratuvarında mekanik analiz için kullanılan çekme cihazı

3.2.2.8. Darbe testi

Oda sıcaklığında ZWICK/ROELL marka darbe test cihazı ile gerçekleşen Izod darbe testleri ISO 180 standardına göre 2 mm'lik V- şekilli çentikli olarak yapılmıştır. Numune kırıldıktan sonra numuneyi kırmak için gerekli olan enerji miktarı hesaplanmıştır. Şekil 3.8'de darbe cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.8. Darbe cihazının genel görünümü

3.2.2.9. Dinamik mekanik analiz (DMA)

PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin viskoelastik özelliklerinin belirlenmesi için dinamik mekanik analiz (DMA) testleri Perkin Elmer Pyris Diamond marka DMA cihazı ile yapılmıştır. DMA testleri 1 Hz sabit frekansta 3°C/dk ısıtma hızıyla örneklerin -70°C'den 150°C'ye ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda her bir numune için elastik modülü (E'') ve depo modülü (E') değerleri belirlenmiştir.

3.2.2.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri Mettler Toledo DSC1 Star System cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.9). Analiz sonucunda DSC termogramları elde edilmiştir ve camsı geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı (T_m) ve entalpi değerlerine

ulaşmıştır. Bu amaçla 25-250°C aralığında 10°C/dakika ısıtma hızında ve süpürücü gaz olarak azot kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Laboratuvarda kullanılan DSC analiz cihazı

3.2.2.11. Termogravimetrik analiz (TGA)

PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF örneklerinin termal kararlılıklarını belirlemek için TA Q50 model termal gravimetri analiz (TGA) cihazı ile termal gravimetri analizi yapılmıştır. Örnekler azot gazı altında 20°C/dak ısıtma hızıyla 25°C'den 800°C'ye kadar ısıtılarak test edilmiştir. TGA analizi sonrası test edilen örneklerin sırasıyla %5 ve %10 kütle kaybındaki bozunma sıcaklıkları, maksimum bozunma sıcaklıkları ve kül miktarı belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Laboratuvarda kullanılan TGA analiz cihazı

3.2.2.12. Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI)

Sınırlayıcı oksijen indeksi testleri Microx marka test cihazında ASTM D2863 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 5 paralel test yapılmıştır. Numunelerin sınırlayıcı oksijen indeks değerleri (% oksijen) ve tam yanma süreleri belirlenmiştir. Şekil 3.10'da LOI test düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.11. LOI test düzeneği

3.2.2.13. Elektriksel İletkenlik

PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin elektriksel iletkenlik analizleri, SRMETER2 yüzey direnç ölçer kullanılarak yapılmıştır. Enjeksiyonlu kalıplama sonucu oluşan kare plakalara analizler oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu her bir örneğe ait iletkenlik değerleri Siemens/santimetre cinsinden hesaplanmıştır. Şekil 3.12'de analiz için kullanılan yüzey direnç ölçer verilmiştir.



Şekil 3.12. Yüzey direnç ölçer

3.2.2.14. Parlaklık Ölçümleri

Örneklerin optik özelliklerinin tayini için parlaklık ölçümleri Spektrofotometre KONICA MINOLTA CM-2600d cihazı kullanılarak Minolta CM-2600d metoduyla gerçekleştirilmiştir.

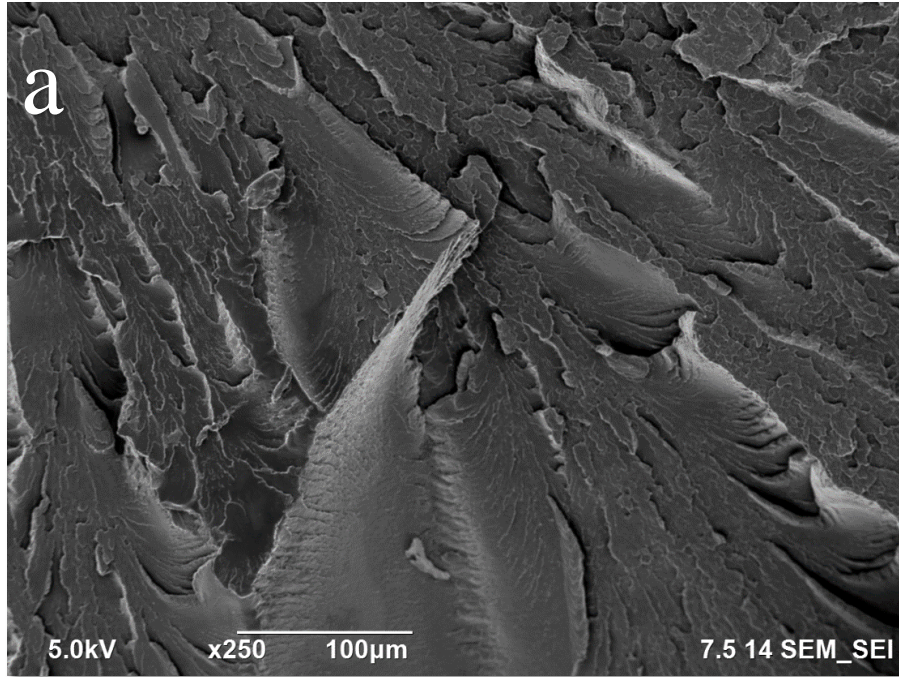


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

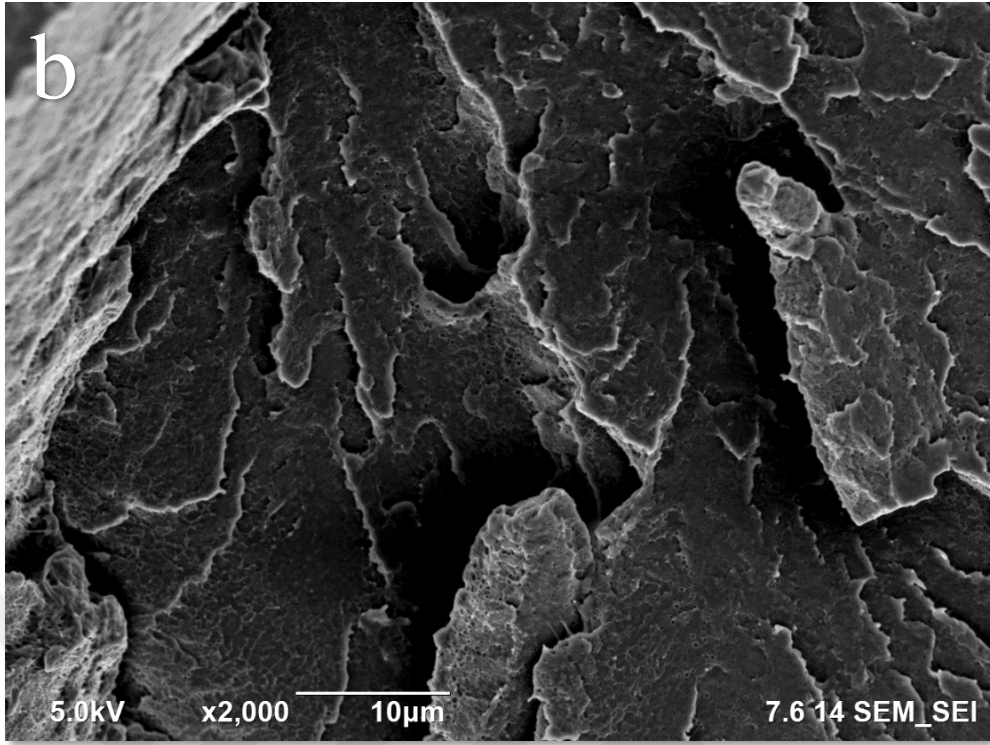
4.1.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin morfolojileri darbe testi ile kırılan yüzeylere SEM analizi yapılmasıyla incelenmiştir.

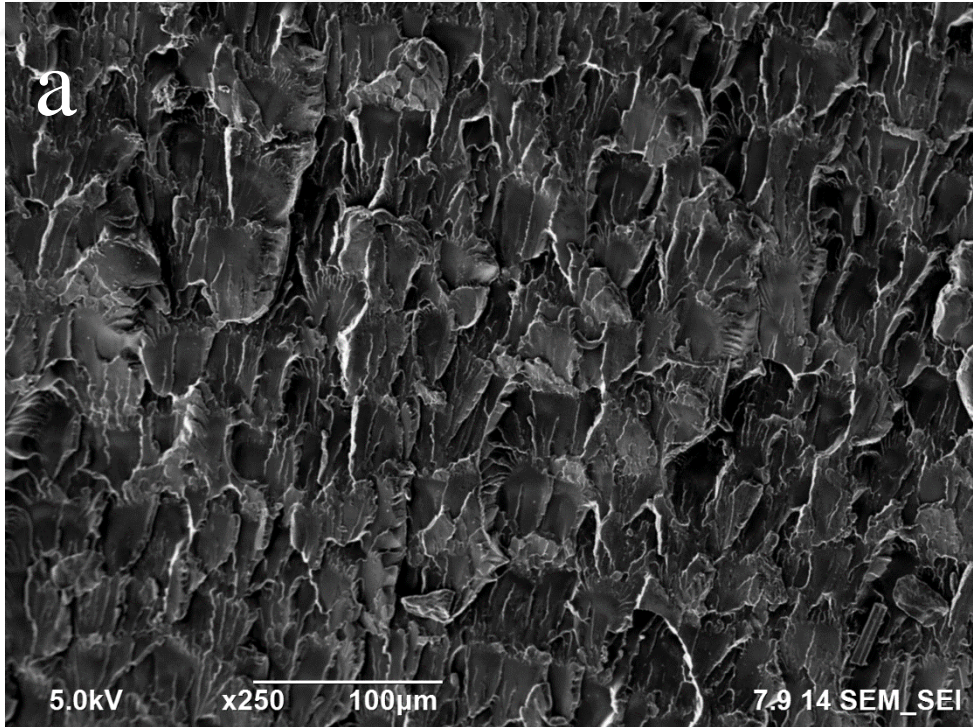
Şekil 4. 1’de saf PEIT’in SEM resminden görüleceği üzere alçalan yükselen tepeler ve bazı bölgelerdeki derin çatlaklar saf PEIT’in kırılma yüzey morfolojisine sahip olduğunu göstermektedir. PEIT/PTPE’nin kırılma yüzeyi incelendiğinde, darbeye karşı enerji absorplanmasını arttıran kayma bantları görülmektedir ve bu davranışın PTPE’nin yumuşak segmentlerinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Söz konusu segmentler esnek polialkilen eter glikol teraftalat segmentleri olup PTPE içeren örneklerde plastik deformasyon sonucu oluşmaktadır (Uzuner, 2020). Özellikle %30 PTPE içeren PEIT karışımında plastik deformasyonun göstergesi olan fibrilasyonların varlığı ve ayrıca kauçuklarla toklaştırılmış polimer karışımlarında gözlemlenen kayma bantları görülmektedir.



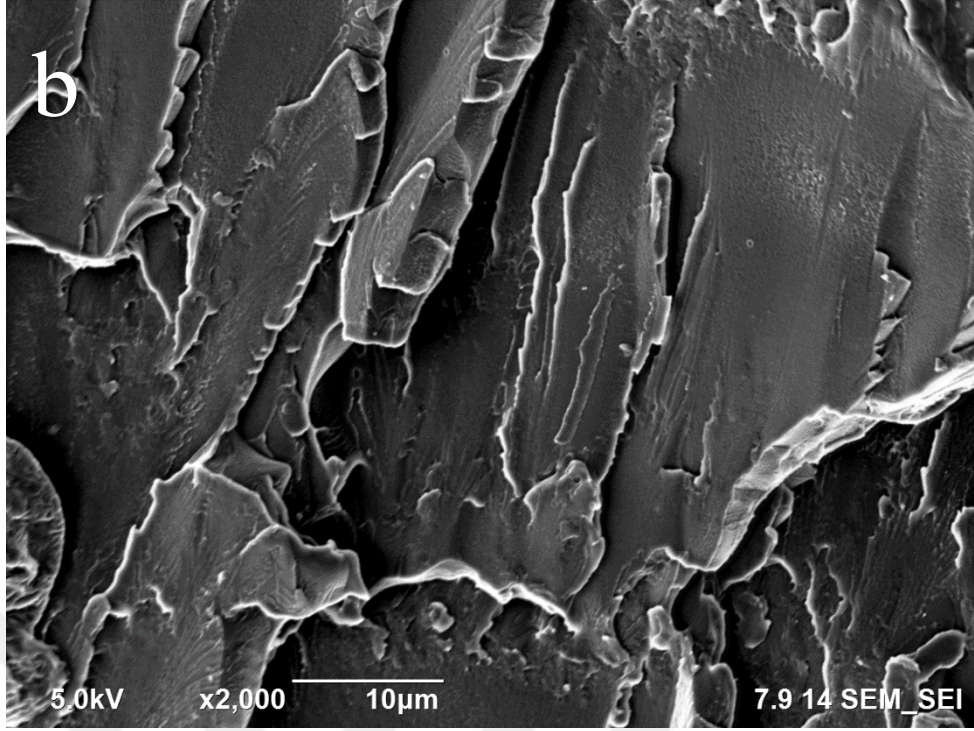
4.1. PEIT’in farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri
a)250x b)2000x



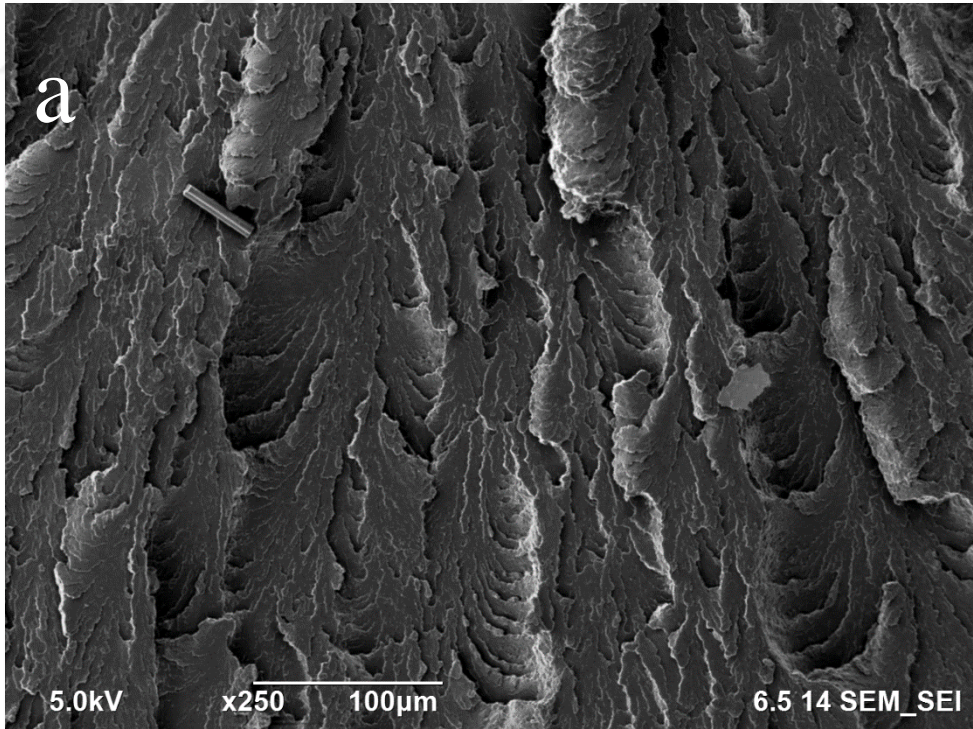
Şekil 4.1. (Devam) PEIT'in farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x



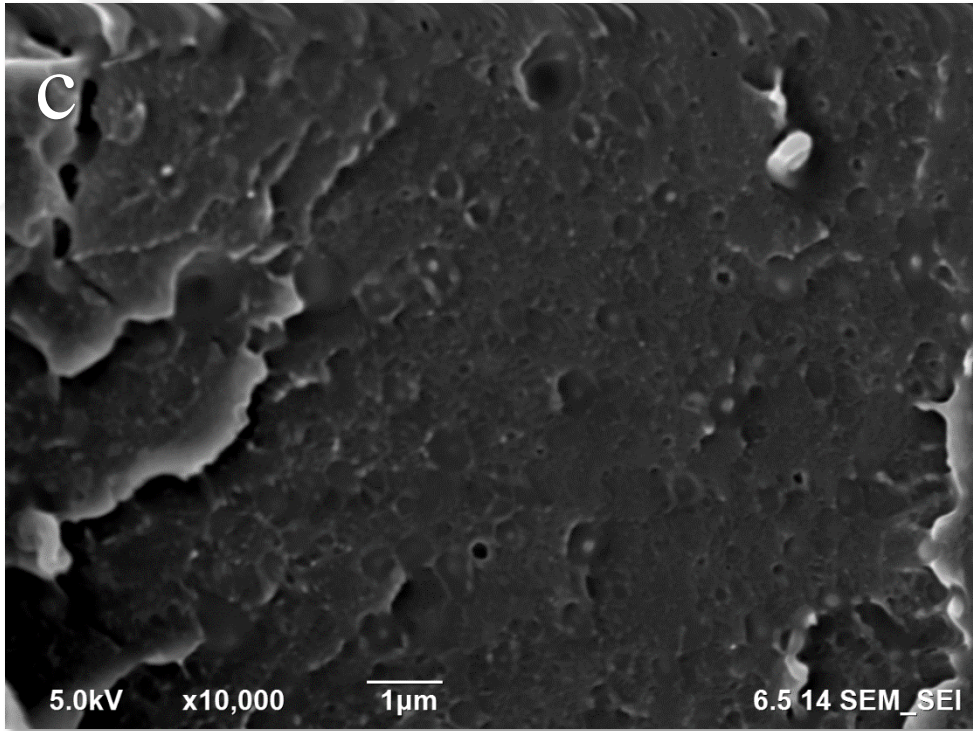
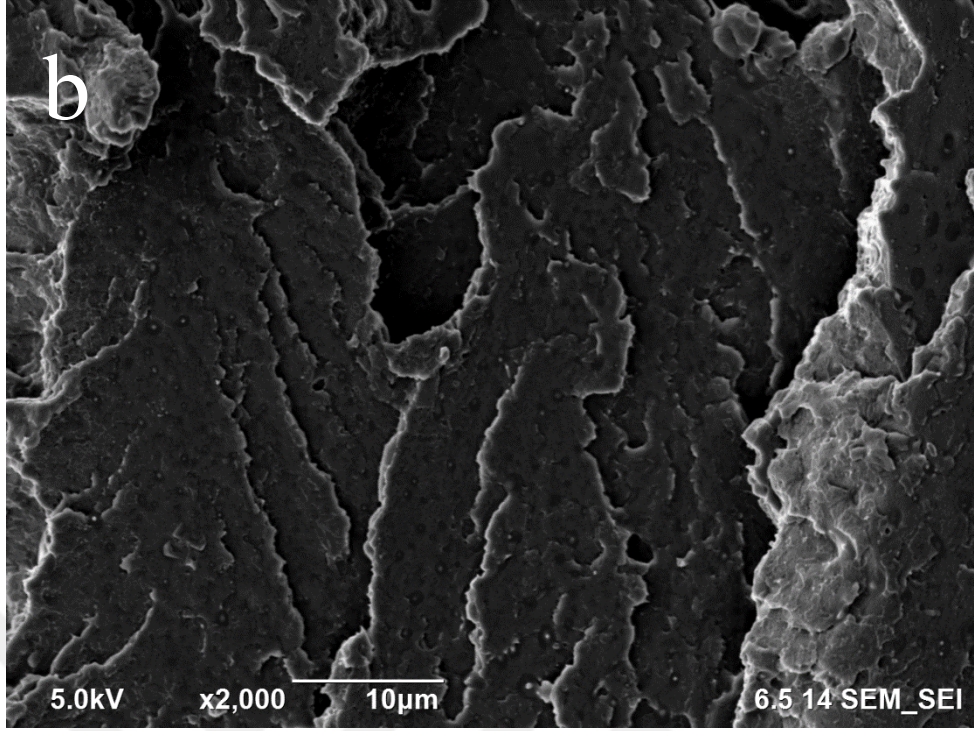
Şekil 4.2. 90PEIT/10PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x ve b)2000x



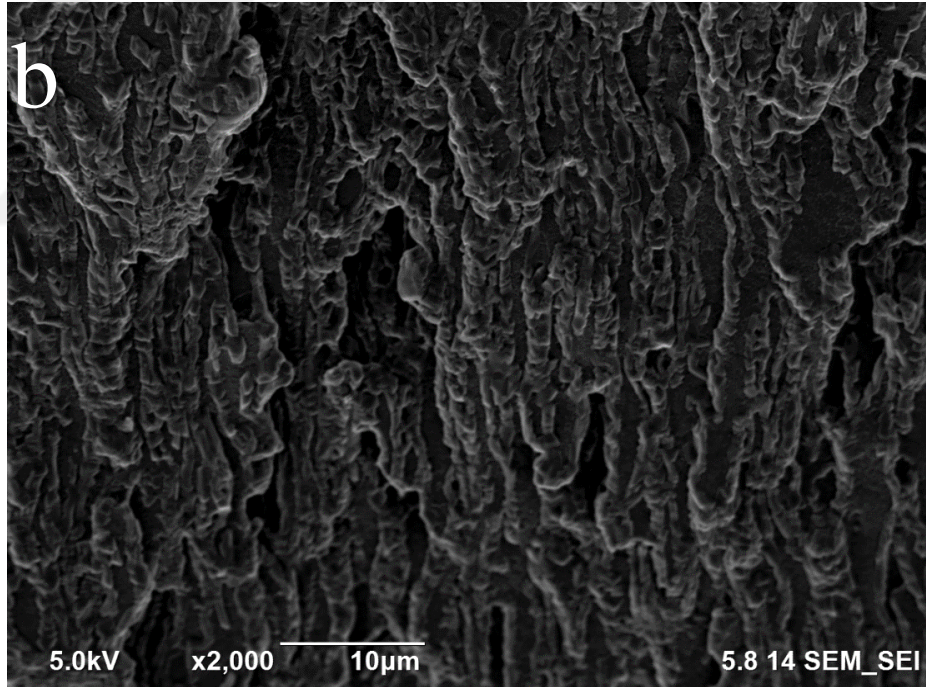
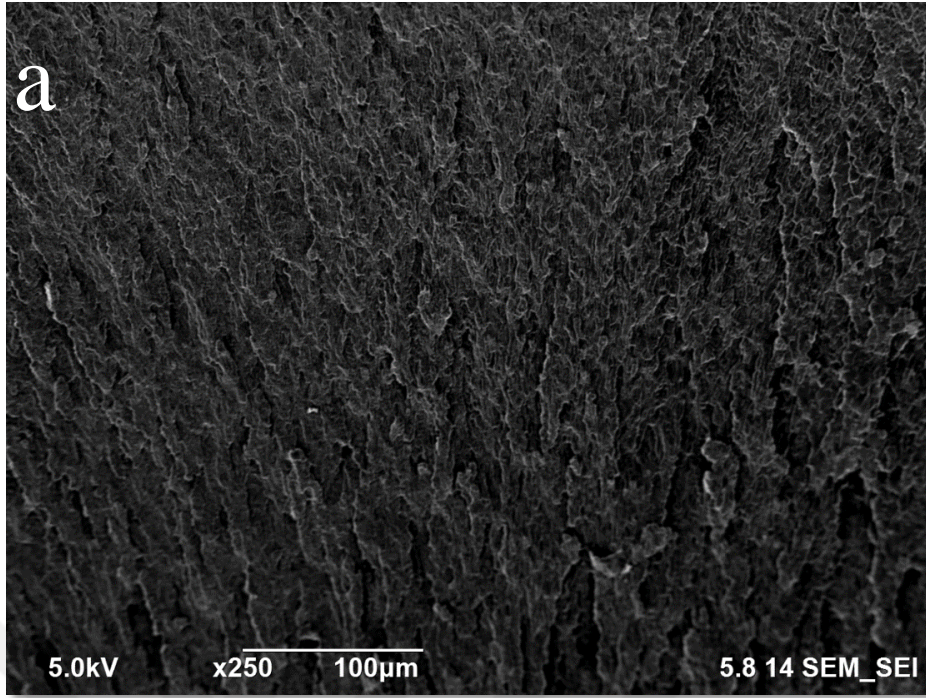
Şekil 4.2. (Devam) 90PEIT/10PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x ve b)2000x



Şekil 4.3. 80PEIT/20PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)10000x



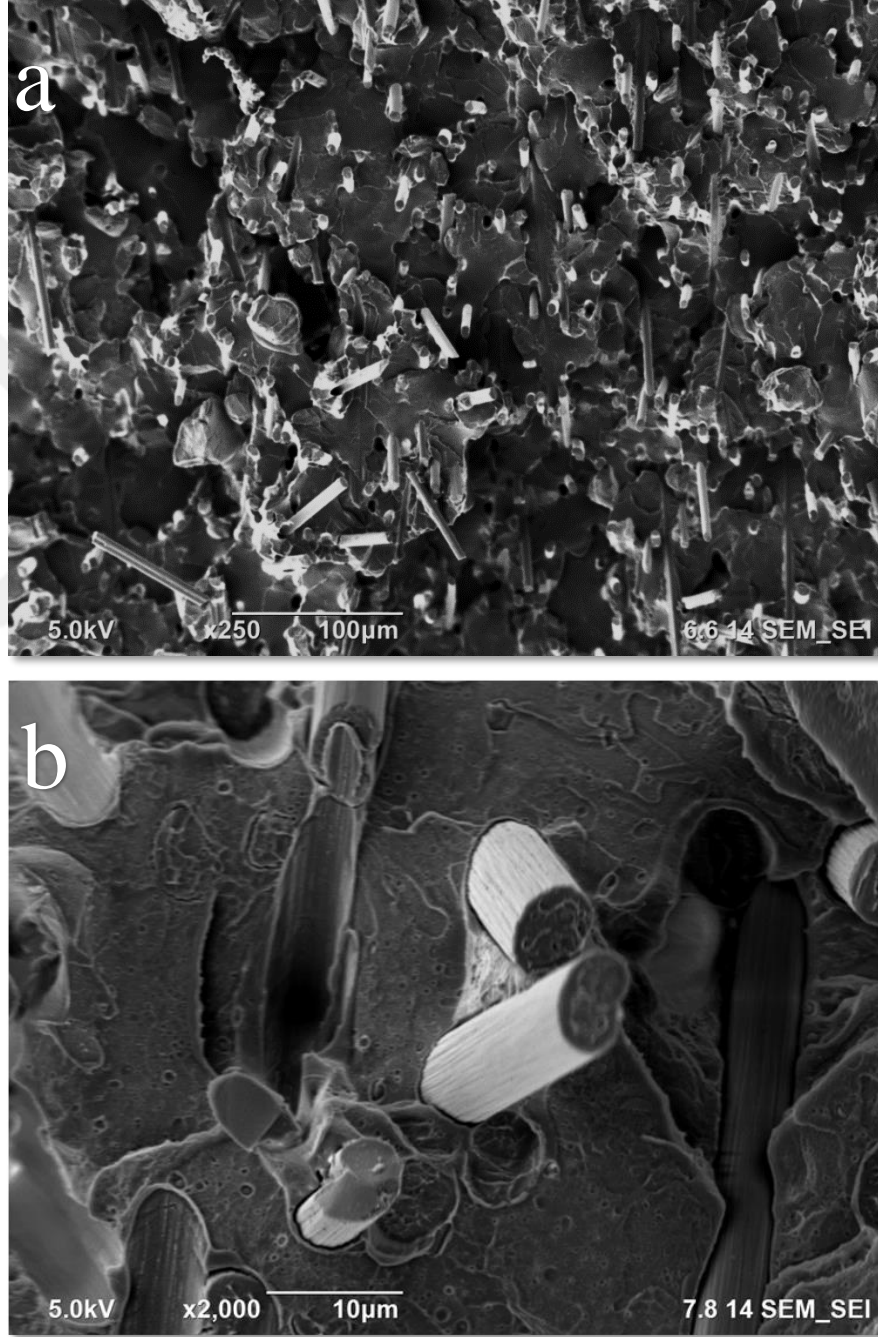
Şekil 4.3. (Devam) 80PEIT/20PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)10000x



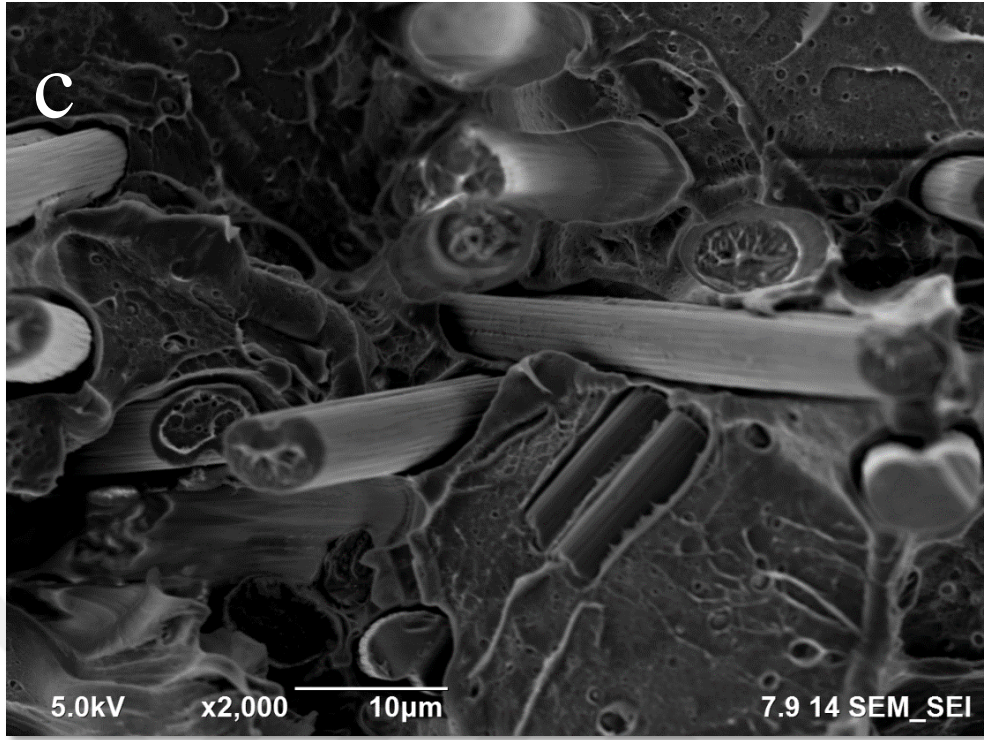
Şekil 4.4. 70PEIT/30PTPE numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x ve b)2000x

SEM mikrografları incelendiğinde 90PEIT/10PTPE, 80PEIT/20PTPE ve 70PEIT/30PTPE numunelerinde PEIT ve PTPE arasında herhangi bir faz ayrımı olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla PEIT ve PTPE'nin kısmen karışabilen polimerler olduğu söylemek mümkündür. Şekil 4.5 a-c'de kütlece %25 karbon elyaf içeren PEIT-25CCF kompozitinin farklı büyütme oranlarında elde edilen SEM resimleri

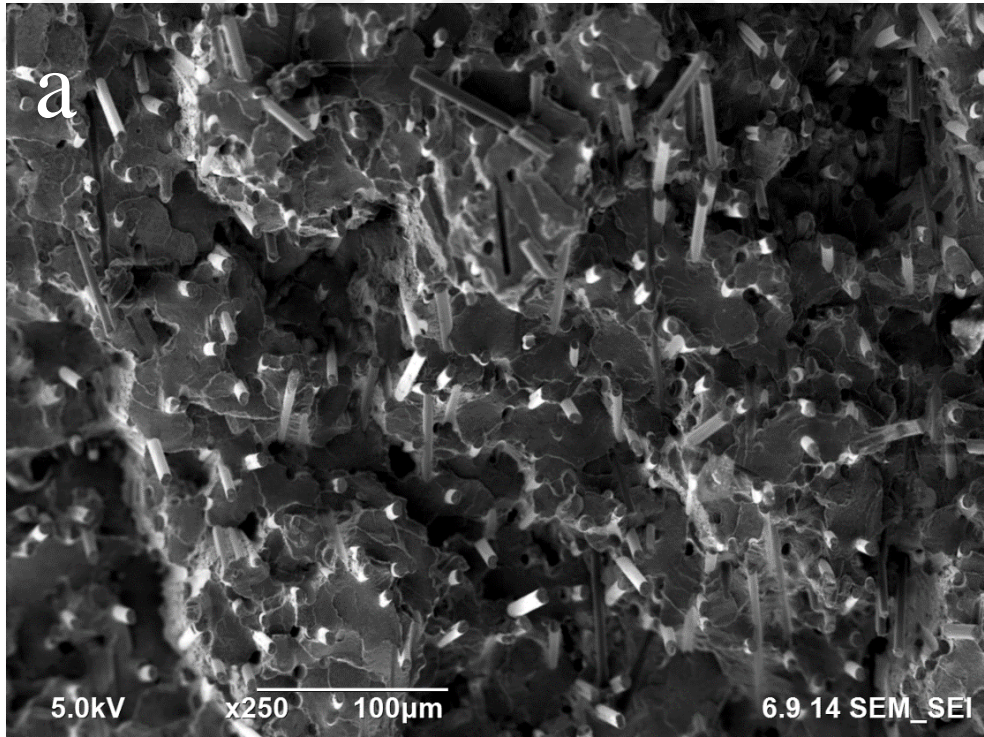
gösterilmektedir. Şekil 4.5 a-c'den görüleceği üzere, karbon elyaf yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olduğu veya bir başka ifadeyle karbon elyafların polimer matrise iyi bir şekilde tutunamayarak yapıdan ayrıldıkları ve oldukça zayıf bir arayüzey etkileşimi gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu durum, CCF ve PEIT'in kimyasal olarak uyumsuz olmalarından kaynaklanmaktadır.



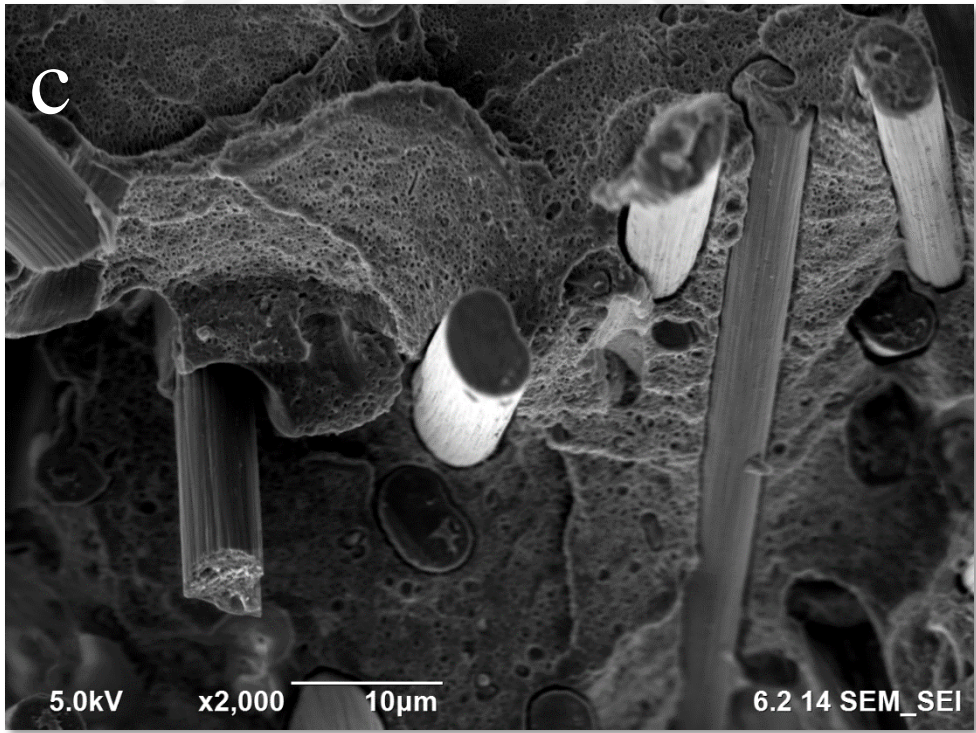
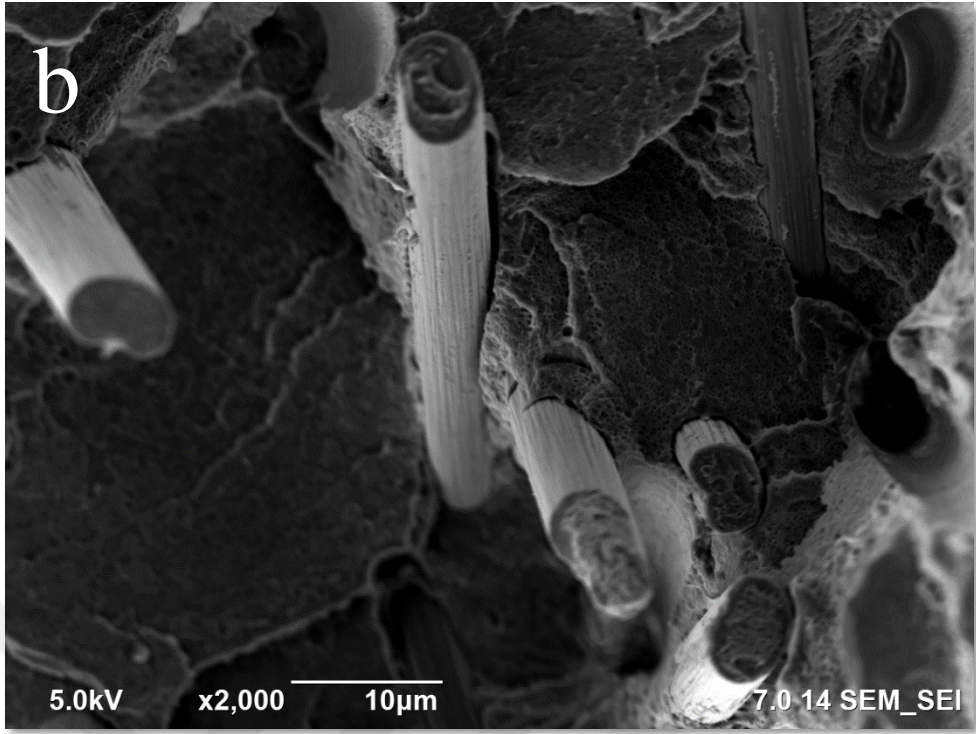
Şekil 4.5. PEIT-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)2000x



Şekil 4.5. (Devam). PEIT-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)2000x

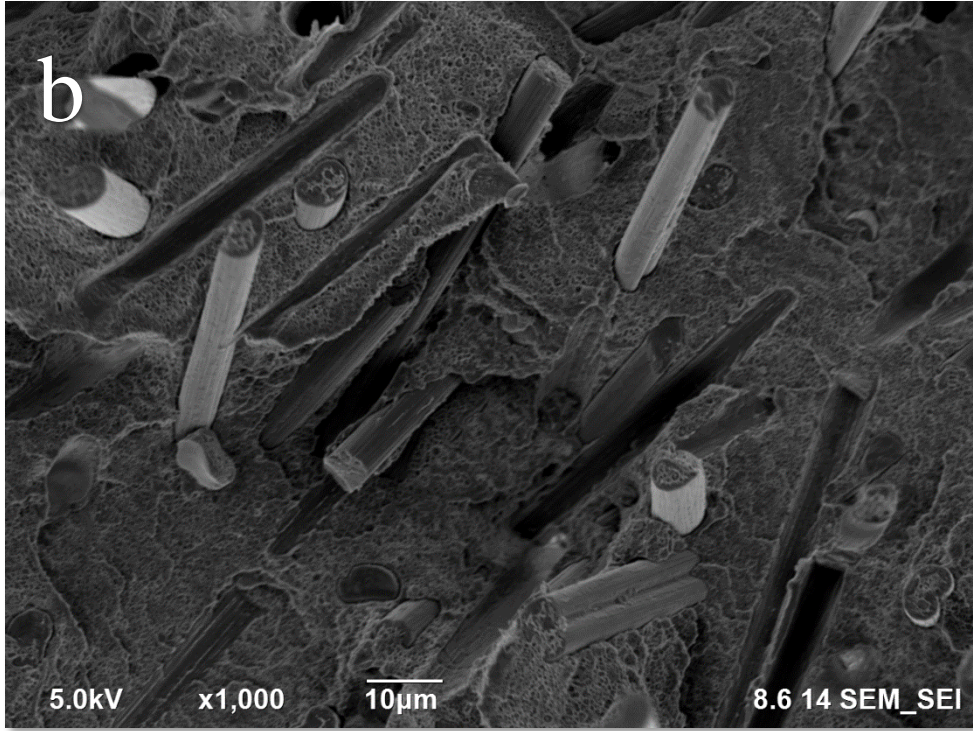
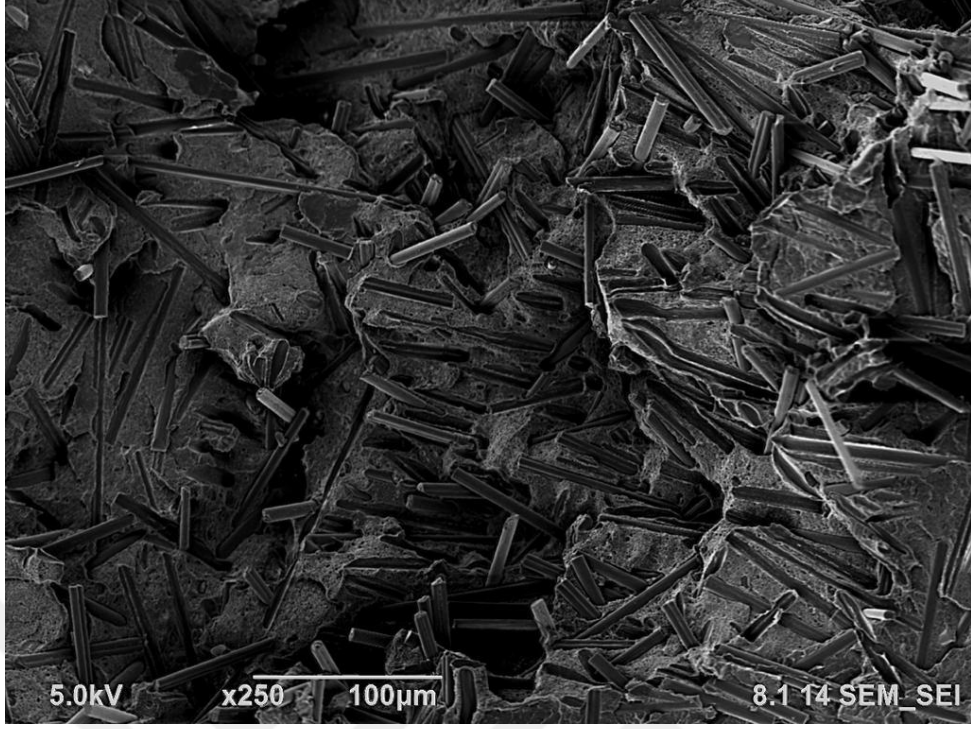


Şekil 4.6. 90PEIT/10PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)250x c)2000x ve d)2000x

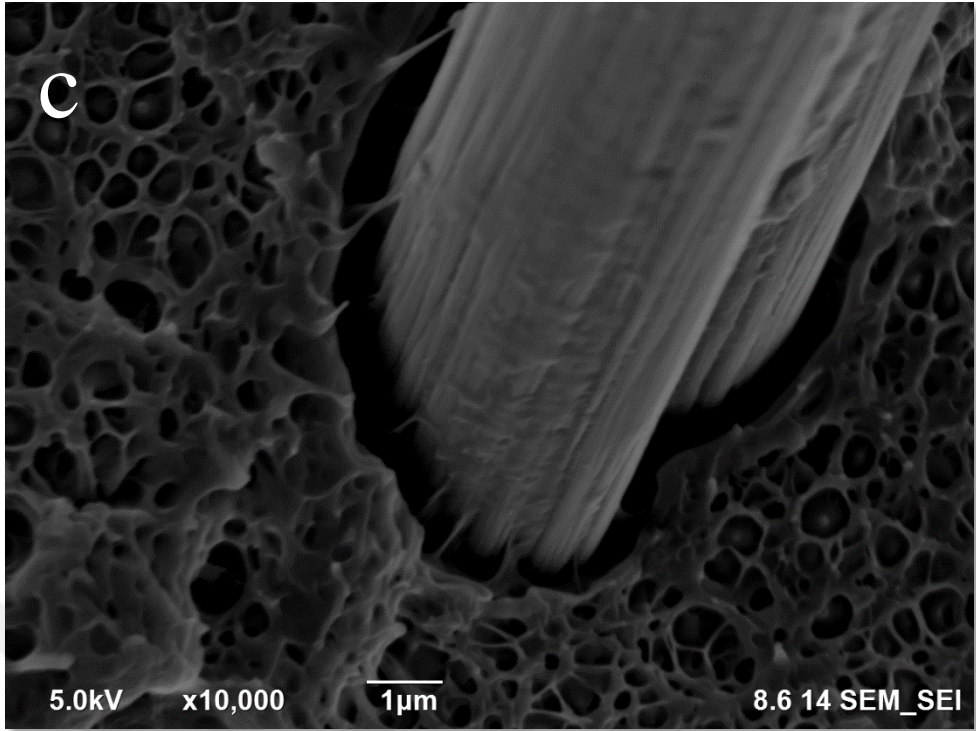


Şekil 4.6. (Devam) 90PEIT/10PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)250x c)2000x ve d)2000x

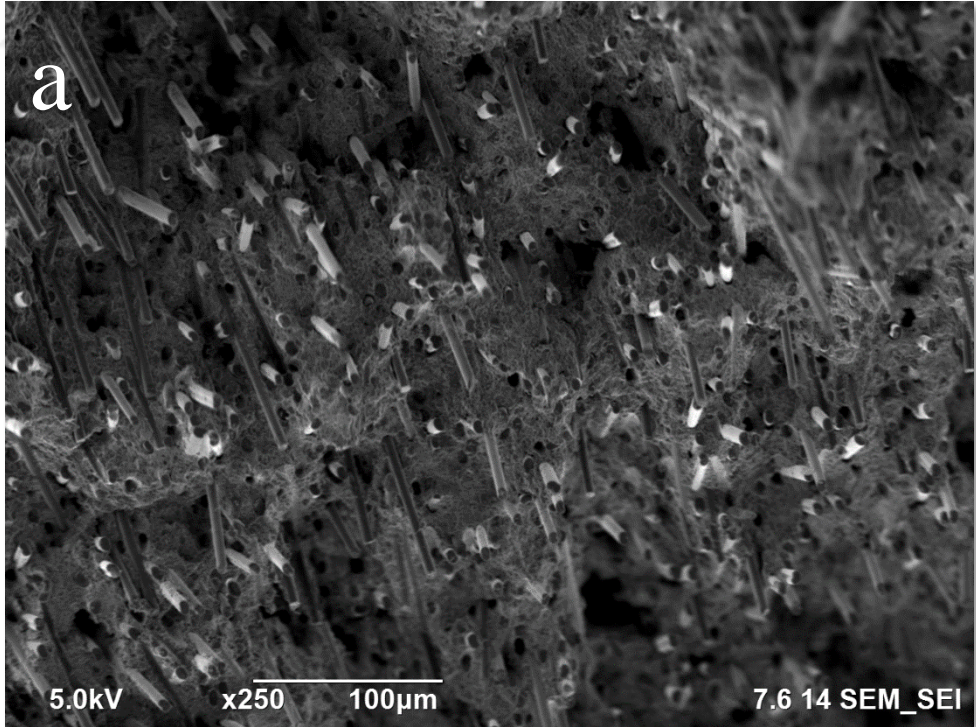
a



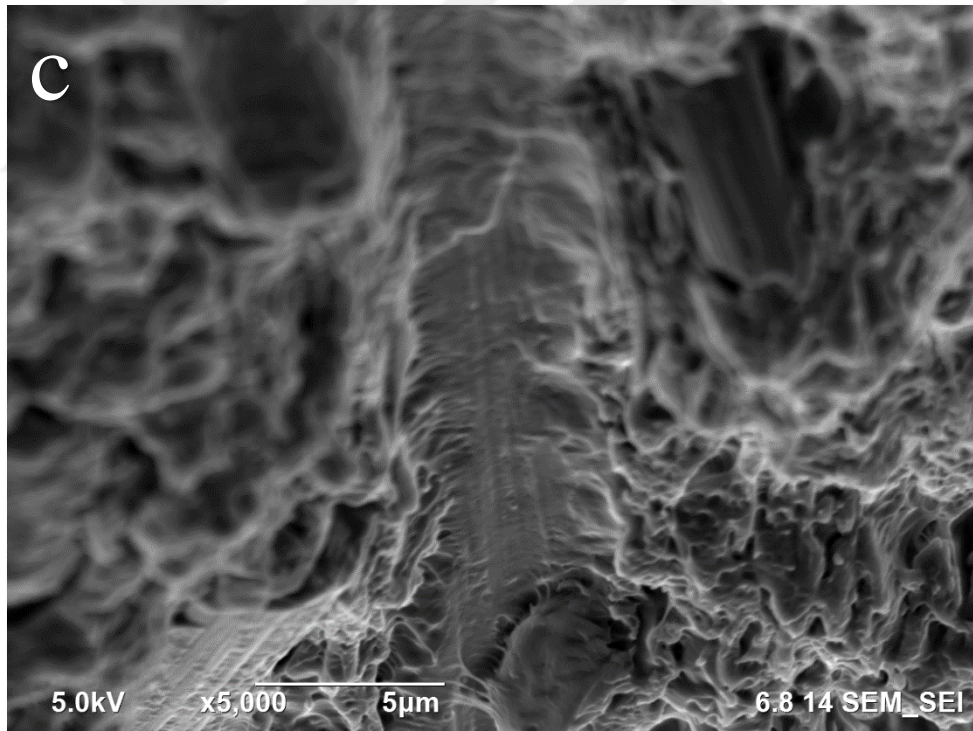
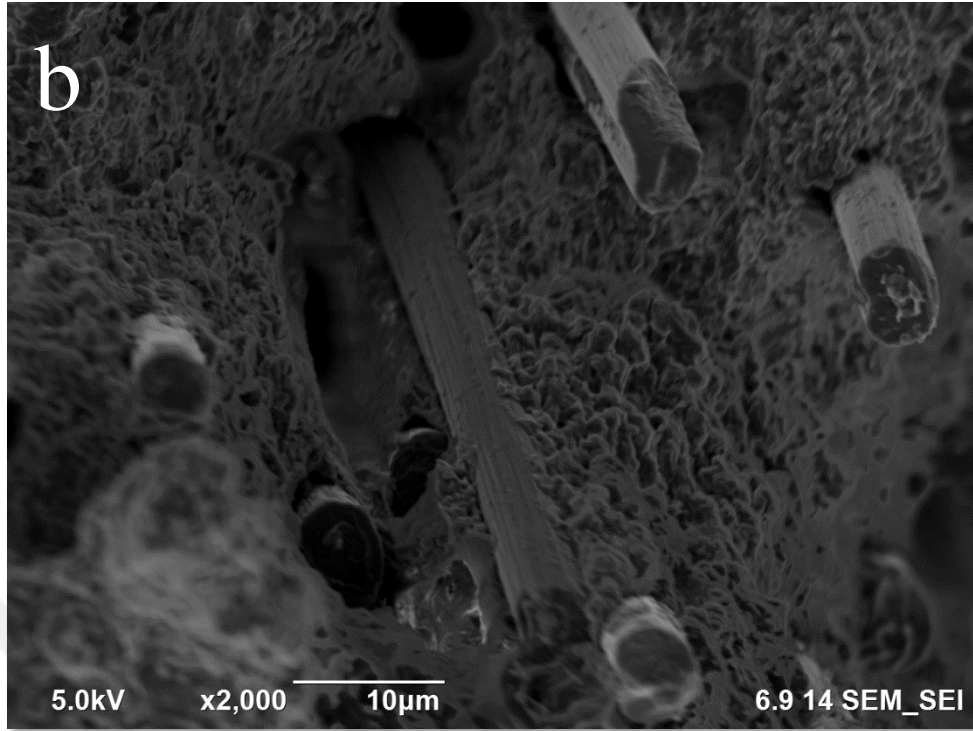
Şekil 4.7. 80PEIT/20PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)1000x ve c)10000x



Şekil 4.7. (Devam) 80PEIT/20PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)1000x ve c)10000x



Şekil 4.8. 70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)5000x



Şekil 4.8. (Devam) 70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinin farklı büyütme oranlarında alınmış SEM görüntüleri a)250x b)2000x ve c)5000x

Literatürde karbon elyaf – PET arasında da iyi bir arayüzey etkileşimi olmadığı rapor edilmiştir (Lin vd., 2019). PEIT – CCF kompozitine %10 PTPE ilavesiyle birlikte de benzer bir morfolojik yapı elde edilmiş ve elyafların polimer matrisi ıslatmadığı ve

yapıdan ayrıldıkları gözlenmiştir (Şekil 4.6 a-c). Bununla birlikte, PTPE %10'dan %20'ye çıkarılmasıyla birlikte nispeten de olsa elyaf matris arayüzey etkileşimin iyileştiği görülmektedir (Şekil 4.7 a-c). Ancak Şekil 4.7c'den görüleceği üzere, matristen ayrılan karbon elyafın etrafında siyah bir halka gözlenmektedir. Bu halkalar elyaf matristen ayrılırken elyaf çevresini saran matrisin lokal deformasyona uğramasından dolayı oluştuğu düşünülmektedir (Ozkoc vd., 2005) (Rezaei vd., 2008). Dolayısıyla %20 PTPE içeren PEIT- CCF kompozitinde de arayüzey etkileşimi yeterli seviyede değildir. Bununla birlikte, şekil 4.8'den görüleceği üzere PTPE oranının %30'a çıkarılmasıyla birlikte elyafların yüzeyinin polimer matris tarafından kaplandığı görülmektedir. Elde edilen bu bulgular PEIT – CCF arasındaki yapışmanın PTPE'nin artan yükleme oranlarında kullanılması ile birlikte arttığını göstermiştir. Bu durum, yüksek lisans tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde tartışılan mekanik ve reolojik gibi özelliklerinde yüksek PTPE yükleme oranında iyileşmesinin en temel nedenidir.

4.2.Karbon Elyaf Boyut Dağılımı

CCF takviyeli kompozitlerde, elyaf boyutlarının kompozit mukavemeti ve sertliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Elyaf boyunun artması ile mukavemette artmaktadır. Elyaf boyutlarını korumak için ekstrüzyonla harmanlama aşamasında prosese son 30 saniyede kırılmış karbon elyaf beslenmiştir. Bu aşama da kritik elyaf boyutundan bahsetmek oldukça önemlidir. Elyafın kompozit içerisinde özelliklerini gösterebilmesi için minimum bir kritik uzunluğa sahip olması gerekir. Bu uzunluğa “kritik elyaf boyu” denmektedir (Fu vd., 2000; Özkoç, 2007). Bilindiği üzere elyaf uzunluğu arttıkça polimer matrisi ıslatabilirliği artmakta ve bu durum elde edilen polimerik kompozitin özellikle mekanik özellikleri üzerinde kritik önem göstermektedir.

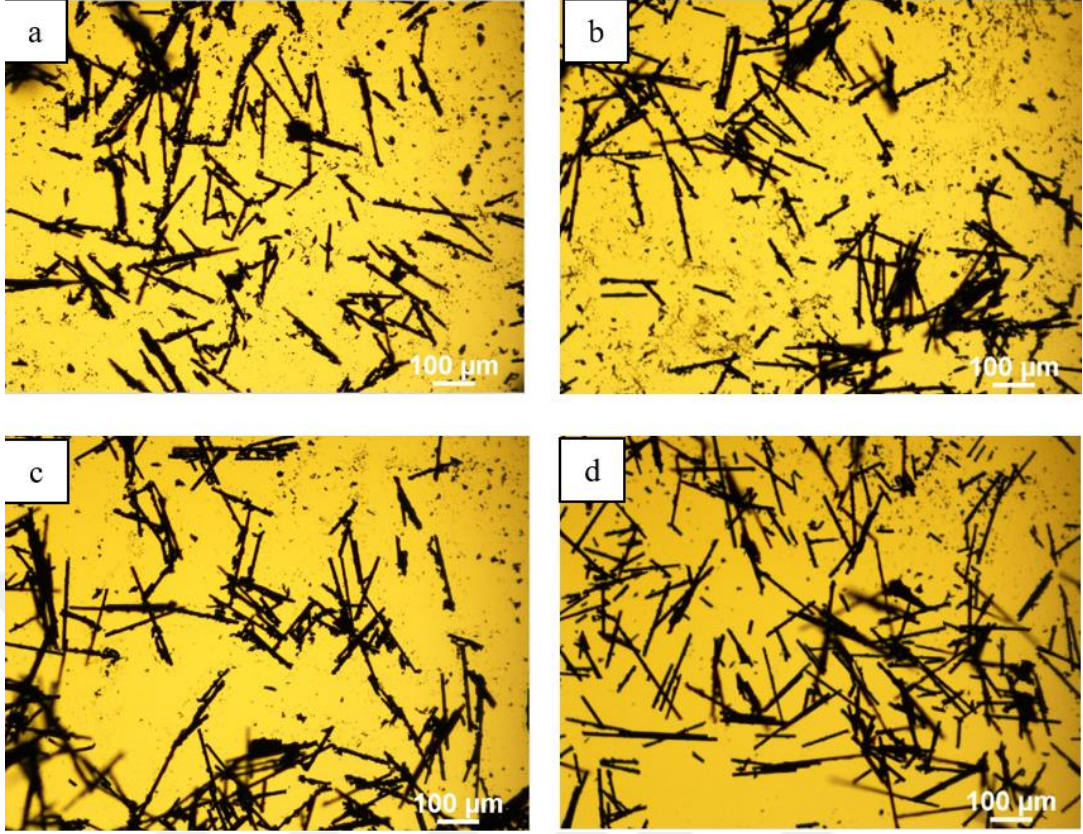
Elyaf uzunluğu kritik değerden daha kısaysa, çekme testi esnasında elyaf matristen gerilim kuvveti nedeniyle ayrılır ve elyaf takviyeli kompozit malzemelerin nihai özellikleri istenilen performans değerlerini karşılayamaz (Unterweger vd., 2014).

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında kullanılan karbon elyafın ortalama elyaf uzunluğu 6 mm'dir. Ekstrüzyon ile harmanlama ve enjeksiyonlu kalıplama işlemi sonrası üretilen örneklerdeki ortalama elyaf boyutunun belirlenmesi amacıyla örnekler kül fırınında yakıldıktan sonra optik mikroskop ile elyaf boyut dağılımı incelenmiştir.

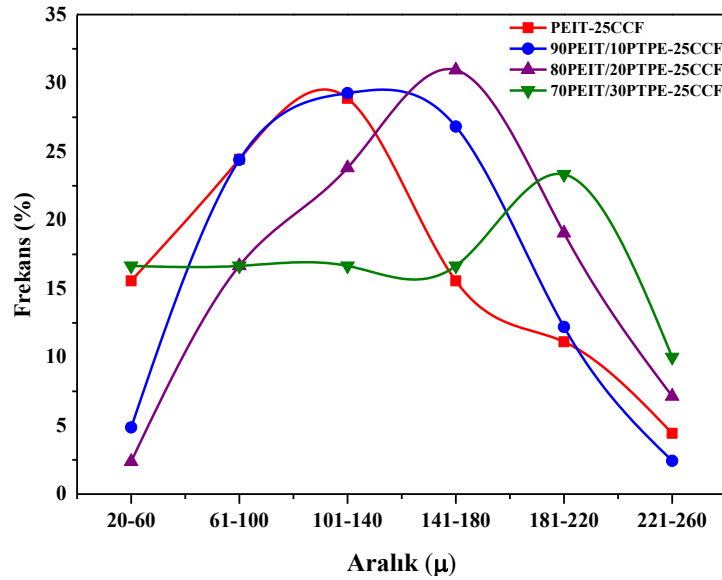
Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde ortalama elyaf boyutunun 100 ile 180 mikron aralığında değiştiği görülmüştür (Şekil 4.9). PEIT-25CCF, 90PEIT/10PTPE-25CCF ve 80PEIT/20PTPE-25CCF kompozitlerinde en fazla sayıda elyaf ise 120 ile 140 mikron bandında gözlenirken 70PEIT/30PTPE-25CCF’de 180-200 mikron aralığında gözlenmiştir. Elde edilen bulgular elyaf uzunluğunun konvansiyonel polimer işleme teknikleri sonrası önemli bir ölçüde azaldığını göstermiştir. Bu durum ekstrüzyon ve enjeksiyonlu kalıplama prosesi esnasında; elyaf-elyaf, polimer-elyaf ve cihaz-elyaf etkileşimleri sonrası elyaf boyutlarının azalmasından kaynaklanmıştır.

Elyaf kırılmaları iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir. İlk olarak elyaflar katı-eriyik arayüzeyinde aşınma mekanizmasının ardından burkulma ve kırılma olayına maruz kalırlar. Daha sonra kırılan bu parçalar polimer eriyiği ile akar ve kırılma sonrası deformasyon nedeniyle daha fazla kırılma meydana gelir. Ek olarak belirtmek gerekir ki elyaf en çok ekstrüzyon aşamasında polimer eriyiği ya da elyafın en çok temasta bulunduğu kısım olan vida bölgesinde kırılmaktadır. (Zhou vd., 2007; Tian vd., 2017).

Bu çalışmada kompozitlerde elyaf boyutları matrise bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Termoplastik elastomer konsantrasyonu arttıkça, elyaf boyutlarında kırılma oranı azalmıştır. Ek olarak elyaf ve matris arasındaki arayüzey etkileşimleri elyaf uzunluğunu etkilemektedir. Eğer matris elyaf etkileşimi zayıf olursa elyafların birbirleri ile olan etkileşimi artar doğal olarak elyaf kırılmaları artar (Kim vd., 2009). Şekil 4.10’den görüleceği üzere en uzun elyaflar 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinde elde edilmiştir. Bu durum, 4.1’deki SEM analiz sonuçlarında detaylıca tartışıldığı üzere PEIT’e %30 PTPE ilavesi ile birlikte CCF-PEIT arayüzey etkileşiminin kayda değer bir şekilde iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca Bölüm 4.5’deki eriyik harmanlama esnasındaki dikey kuvvet ölçümleri ve Bölüm 4.6’deki reoloji test sonuçlarında da detaylıca ele alındığı üzere PEIT-CCF kompozitine %30 yükleme oranında PTPE ilavesi ile birlikte örneğin eriyik viskozitesi önemli derecede azalmaktadır. Bir başka ifade ile PEIT-CCF’nin maruz kaldığı kesme kuvveti de azalmaktadır. Bu durum, 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinde ortalama elyaf uzunluğunun daha yüksek olmasının bir başka göstergesi olarak ele alınabilir. Literatür de benzer bulguların farklı sistemler için de elde edildiği rapor edilmiştir (Özkoç, 2007).



Şekil 4.9. Optik mikroskop görüntüleri a) PEIT-CF b) 90PEIT/10PTPE-25CCF c) 80PEIT/20PTPE-25CCF d) 70PEIT/30PTPE-25CCF



Şekil 4.10. Kompozitler içerisinde elyaf dağılım oranı

4.3. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Testi Sonuçları

Bu yüksek lisans tez çalışmasında PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin birbirleri içerisindeki olası etkileşimi görmek amacıyla FTIR ile

inceleme yapılmıştır. Bu yapısal değişiklikleri incelemek amacıyla eriyik harmanlama ile numuneler üretilmiştir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan malzemelerin absorpsiyon bantları aşağıda verilmiştir. Saf PEIT'in absorpsiyon bantları (3000-2700 cm^{-1} , 1815-1680 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} , 1577 cm^{-1} , 1408 cm^{-1} , 1300-1000 cm^{-1} , 1018 cm^{-1} , 972 cm^{-1} , 872 cm^{-1} , 848 cm^{-1} , 721 cm^{-1}), saf PTPE'nin absorpsiyon bantları (2937-2796 cm^{-1} , 1712 cm^{-1} , 1452 cm^{-1} , 1267 cm^{-1} , 1125-1085 cm^{-1} , 1018 cm^{-1} , 723 cm^{-1}), saf CCF'nin absorpsiyon bantları (3200-3600 cm^{-1} , 2800-3000 cm^{-1} , 1500-1700 cm^{-1} , 950-1280 cm^{-1}) ve bu bantlara karşılık gelen titreşim türleri Tablo 4.1'de verilmiştir (Ioakeimidis vd., 2016; Dos Santos Pereira vd., 2017; Uzuner, 2020).

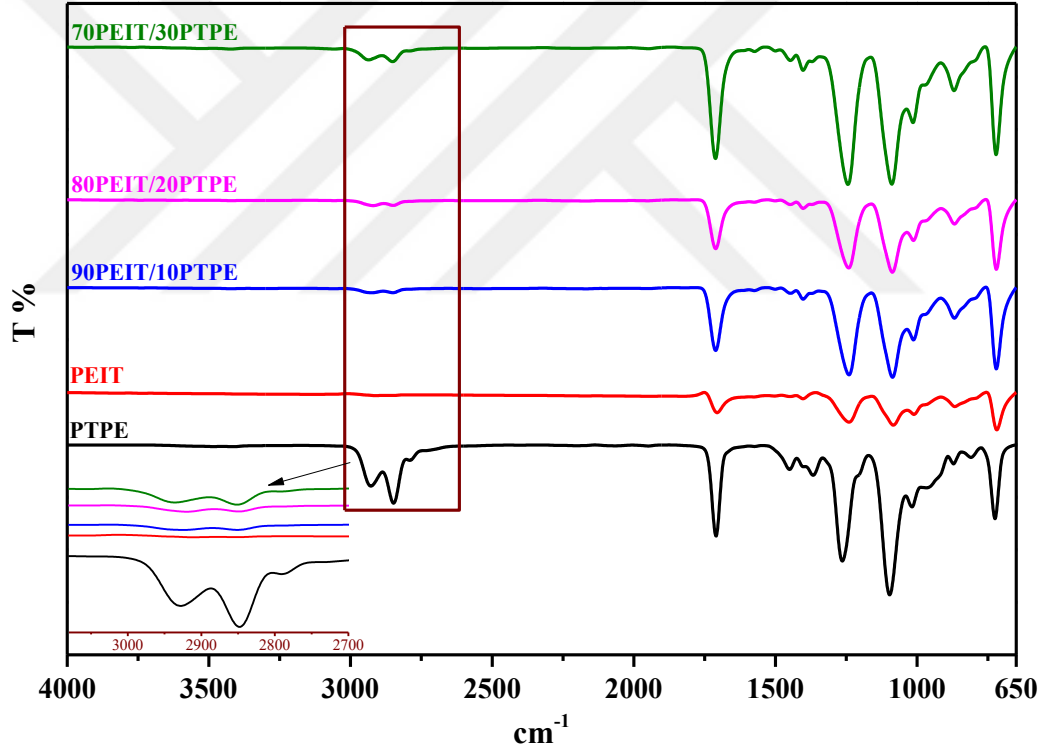
Tablo 4.1. Saf PEIT, saf PTPE ve saf CCF için FTIR analizinden elde edilen karakteristik pikler ve titreşim türleri

| Numune | Dalga Boyu (cm^{-1}) | Titreşim Türü |
|--------|---------------------------------|---|
| PEIT | 3000-2700 | CH ₃ , CH ₂ , and CH grupları |
| | 1815-1680 | Alifatik keton veya alkanal, aromatik keton, alkanonik asit alkanonil klorür ve alkanonat esterde C = O gerilme titreşim modu |
| | 1240 | Ester gruplarının C (O) -O gerilme titreşimi |
| | 1577 | C = C aromatik iskelet gruplarının gerilme titreşimi |
| | 1408 | C-C fenil halka gerilme titreşimi |
| | 1300-1000 | C-H titreşim modu |
| | 1018 | Fenil halkası- δ (CH) 'ye bağlı H titreşimi |
| | 972, 872 ve 848 | Aromatik halkadaki 1,2,4,5 de konumlandırılmış C-H gerilme titreşimi |
| | 721 | C-H bükülme titreşimi |
| PTPE | 2937-2796 | C-H gerilme titreşimi |
| | 1712 | C=O gerilme titreşimi |
| | 1452 | CH ₂ bükülme titreşimi |
| | 1267 | C-O gerilme titreşimi |
| | 1125-1085 | C-O gerilme titreşimi |
| | 1018 | Ester C-O gerilme titreşimi |
| | 723 | Aromatik C-H bükülme titreşimi |

Tablo 4.1. (Devam) Saf PEIT, saf PTPE ve saf CCF için FTIR analizinden elde edilen karakteristik pikler ve titreşim türleri

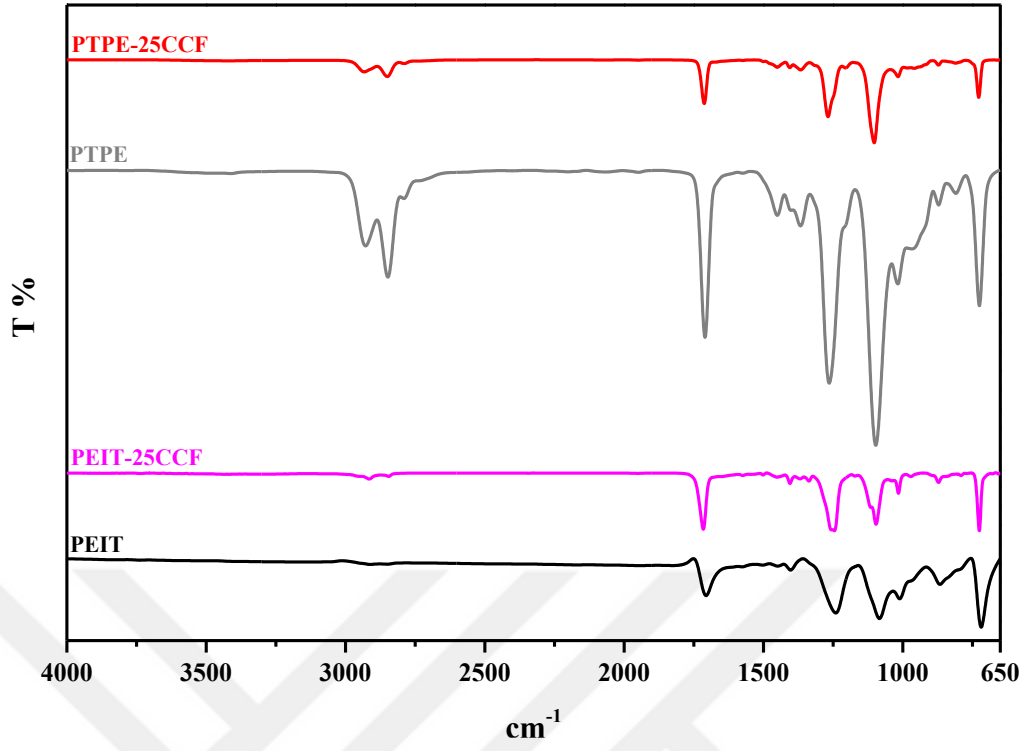
| Numune | Dalga Boyu (cm ⁻¹) | Titreşim Türü |
|--------|--------------------------------|-----------------------|
| CCF | 3200-3600 | -OH gerilme titreşimi |
| | 2800-3000 | -CH gerilme titreşimi |
| | 1500-1700 | C=O gerilme titreşimi |
| | 950-1280 | C-F gerilme titreşimi |

PEIT spektrumu PET titreşimlerini içermektedir. Karışım oranlarına PTPE ve CCF eklendikçe spektrumlar da etkisi gözlenmektedir.

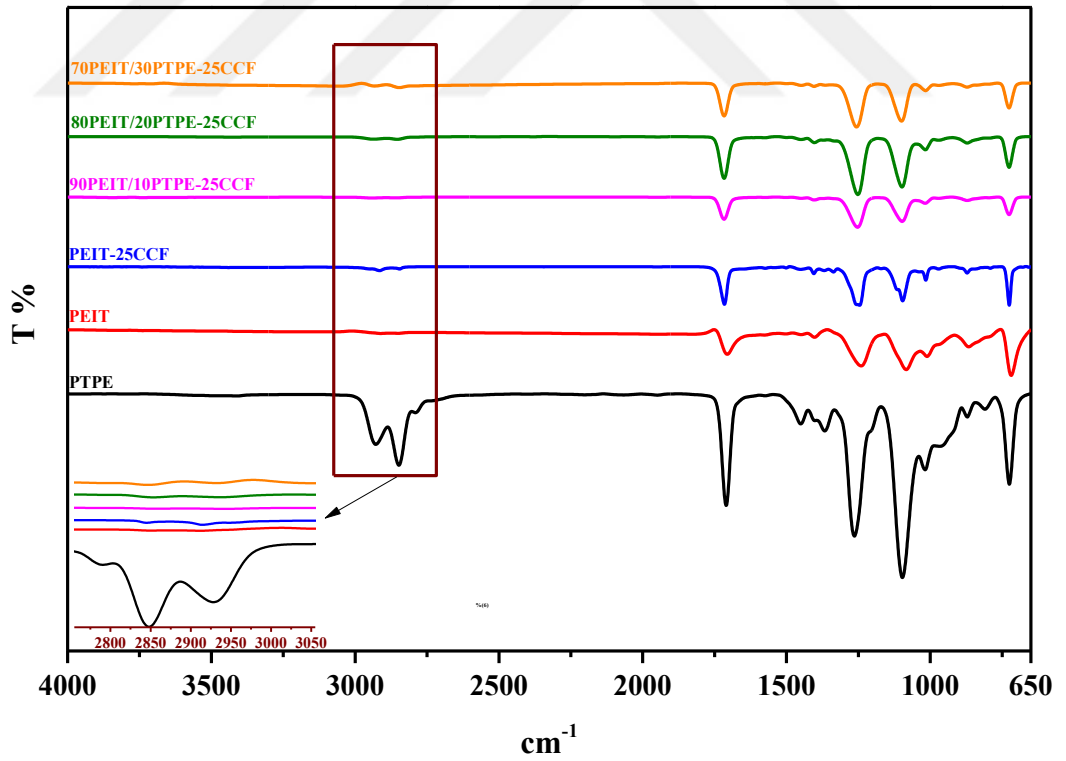


Şekil 4.11. Saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarının FTIR spektralleri

Şekil 4.11 saf PEIT, saf PTPE ve PEIT/PTPE karışımlarının Şekil 4.12 ise saf örneklerin CCF takviyeli hallerinin FTIR spektralleri verilmiştir.

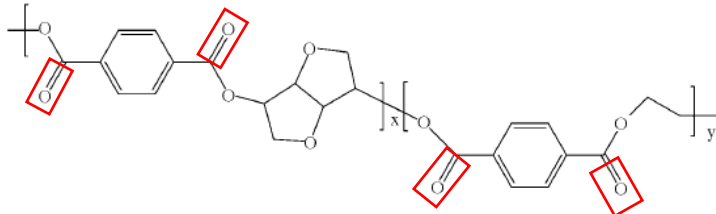
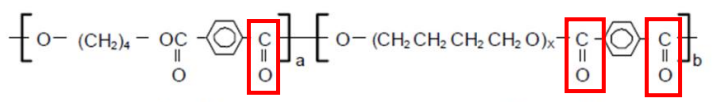


Şekil 4.12. PEIT ve PEIT-CCF'nin FTIR spektralleri

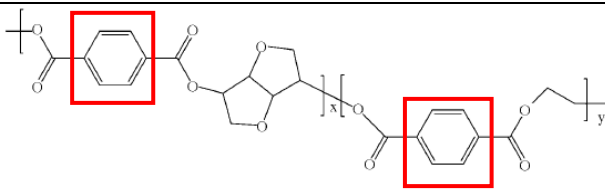
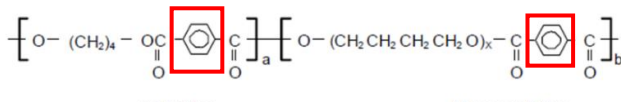


Şekil 4.13. Saf PEIT, saf PTPE ve elyaf takviyeli kompozitlerin FTIR spektralleri

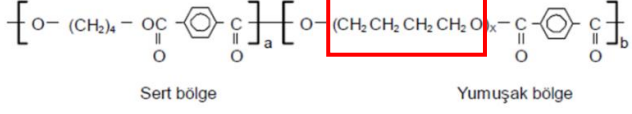
Tablo 4.2. 1710 cm^{-1} dalga boyu değerindeki IR bandının oluşmasına neden olan ve hem PEIT hem de PTPE moleküllerinde ortak olarak bulunan yapılar

| Dalga Boyu (cm^{-1}) | IR Bandının Oluşmasına Neden Olan Yapı | Titreşim Türü |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| 1710 |  <p>Poli(etilen ko-izosorbit tereftalat)</p> | C=O gerilme titreşimi |
| |  <p>Sert bölge Yumuşak bölge</p> <p>Poliester bazlı termoplastik elastomer</p> | |

Tablo 4.3. 965-963, 872-868, 723 cm^{-1} dalga boyları değerlerindeki IR bandının oluşmasına neden olan ve hem PEIT hem de PTPE moleküllerinde ortak olarak bulunan yapılar

| Dalga Boyu (cm^{-1}) | IR Bandının Oluşmasına Neden Olan Yapı | Titreşim Türü |
|---------------------------------|--|--|
| 965-963, 872-868 |  <p>Poli (etilen ko-izosorbit tereftalat)</p> | Aromatik halkadaki 1,2,4,5 de konumlandırılmış C-H gerilme titreşimi |
| |  <p>Sert bölge Yumuşak bölge</p> <p>Poliester bazlı termoplastik elastomer</p> | |

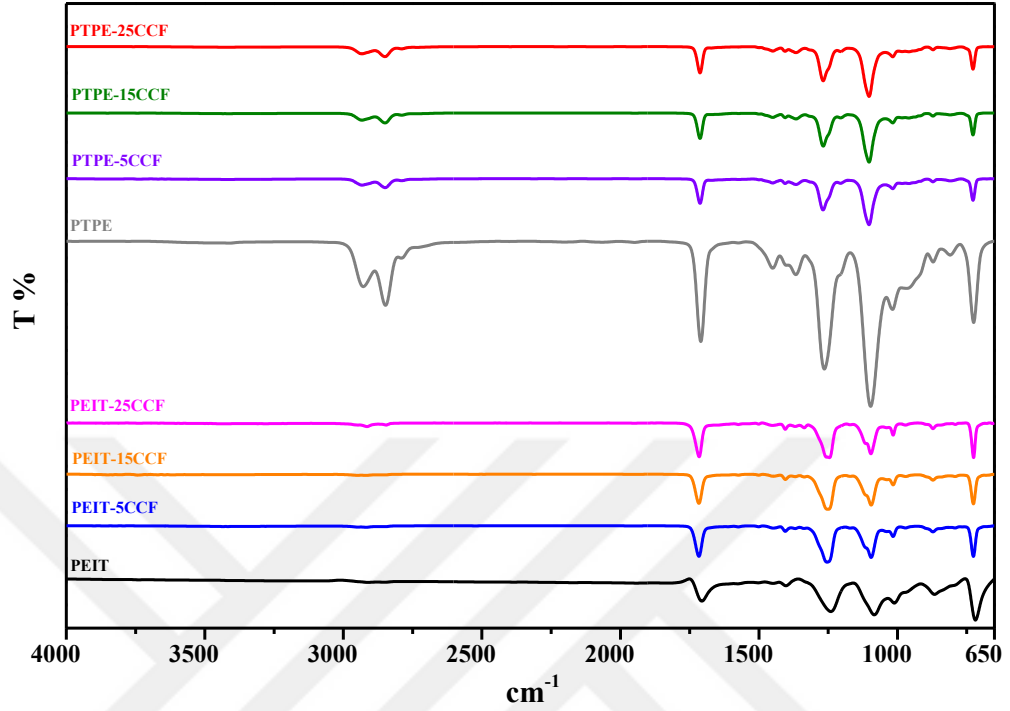
Tablo 4.3. (Devam) 965-963, 872-868, 723 cm⁻¹ dalga boyları değerlerindeki IR bandının oluşmasına neden olan ve hem PEIT hem de PTPE moleküllerinde ortak olarak bulunan yapılar

| | | |
|-----|--|-----------------------------------|
| 723 |  <p style="text-align: center;">Sert bölge Yumuşak bölge</p> <p style="text-align: center;">Polierster bazlı termoplastik elastomer</p> | Aromatik C-H bükülme titreşimi |
|-----|--|-----------------------------------|

Literatürde PET-PBT gibi iki poliesterin harmanlanması sonucu “transesterifikasyon” olduğu belirtilmiştir. Transesterifikasyon: Benzer kimyasal yapıları iki poliesterin yüksek sıcaklıklarda karıştırma sonucu alkol, karboksil veya ester gruplarının esterleşme tepkilerine girmesidir. En çarpıcı çalışma ise PET/PEN karışımlarının transesterifikasyon tepkimelerini incelemiş, sonuç; transesterifikasyon tepkimeleri karıştırma sıcaklığı, süresi, bileşimi, viskoziteleri gibi birçok etkene bağlı olarak bulmuşlardır. Literatürden elde edilen edimler sonucu; karıştırma prosesinin, yüksek sıcaklıklar ya da uzun süreli karıştırmanın transesterifikasyonu etkilediğini vurgulamıştır. Belirli bir transesterifikasyon seviyesinden sonra karışım özelliklerinin transesterifikasyonla değişmediğini, özelliklerin sadece karışım kompozisyonuna bağlı olarak değiştiğini bulmuşlardır (Erdal vd., 1998; Tharmapuram vd., 2003; Jin and Tao; Aravinthan vd., 2005; Escala vd., 1979; Mishra vd., 1984). Bu bağlamda hazırlanan tüm karışım ve kompozitlerde 3000-2500 cm⁻¹ ve 1700 cm⁻¹ bölgelerine odaklanılmıştır. Herhangi bir yeni pik oluşumu gözlenmemiş, iki ester arasındaki esterleşme reaksiyonları belirgin değildir (Jha vd., 1997). Yine literatürde bir çalışmada transesterifikasyon tepkimeleri sonucu oluşan kopolimerlerin yüzey enerjisinin düştüğü vurgulanmıştır (Can, 2014). Buradan hareketle sistemde esterleşme tepkimelerinin olup olmadığını daha iyi anlamak amacıyla seçilen örneklere temas açısı analizleri yapılmış ve örneklerin yüzey enerji değerleri saptanmıştır. Toplam yüzey enerjisi değerlerinde de küçük çaplı azalışlar gözlenmiştir. Ancak temas açısı analizleri yapılırken, yüzeyin tamamen pürüzsüz varsayıldığı unutulmamalıdır. Dolayısıyla yüzey enerjisinde bu azalış, transesterleşme tepkimelerinin varlığını kanıtlar nitelikte değildir.

Bunun yanı sıra, örneklerden model karışımlar hazırlanmış ve FTIR analizi yapılmıştır. Belirli oranlarda (%5, %15, %25) kırılmış karbon elyaf takviyesi saf PEIT ve saf PTPE'ye yapılmıştır. Pikler de değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bu

durumda PEIT ve elyaf arasında ya da PTPE ve elyaf arasında bir etkileşim olmadığı açığa çıkmıştır.



Şekil 4.14. PEIT ve PTPE polimerlerine farklı karbon elyaf yüklemesi

4.4.Yüzey Enerjisi Sonuçları

Poliester gibi hidrofobik karakterdeki çoğu polimerik malzemeler 100 mJ/m^2 düşük yüzey enerjisine sahiptir. Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında saf PEIT, saf PTPE, PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin temas açısı ölçülmüştür. Tüm örneklerin yüzey enerjisi 100 mJ/m^2 'den düşük olup örnekler hidrofobik davranışlar göstermektedir.

Temas açısı ölçümlerinde örneklerin yüzey enerjisi hesaplamasında 2 polar 1 apolar sıvıdan yararlanılmıştır. Bu sıvıların özellikleri aşağıda Tablo 4.4'de belirtilmiştir.

Tablo 4.4. Temas açısı ölçümünde kullanılan sıvılar ve özellikleri

| Sıvının Adı | Özelliği | γ | γ^{LW} | γ^{AB} |
|---------------|----------|----------|---------------|---------------|
| Su | Polar | 72,8 | 21,8 | 51,0 |
| Etilen Glikol | Polar | 48,0 | 29,0 | 19,0 |
| Bromonaftalin | Apolar | 44,6 | 44,6 | - |

Tablo 4.5. Saf PEIT, saf PTPE, PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin yüzey enerjileri

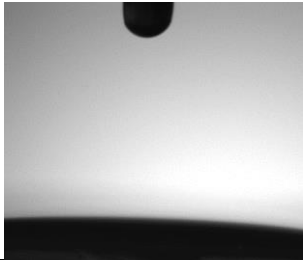

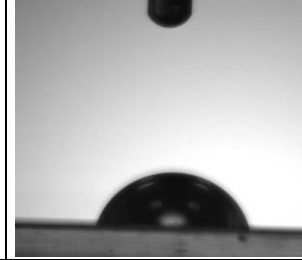
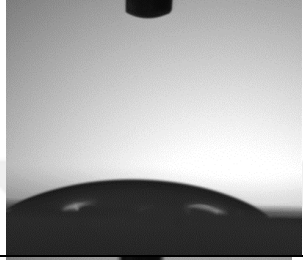

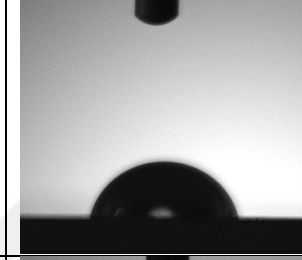
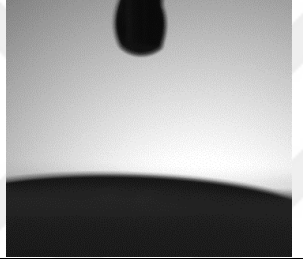
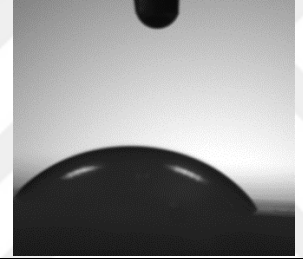


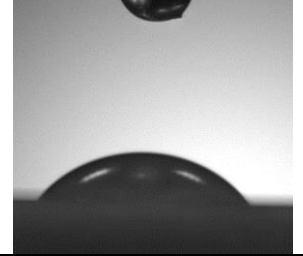

| Malzeme | Asidik Bileşen γ_s^- | Bazik Bileşen γ_s^+ | Asit/Baz Bileşeni γ_s^{AB} | Dispersif Bileşen γ_s^{LW} | Toplam Yüzey Enerjisi (γ_L^{TOT}) |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| PEIT | 0,01 | 7,78 | 0,18 | 43,65 | 43,83 |
| PTPE | 0,07 | 10,98 | 1,74 | 39,76 | 41,50 |
| 90PEIT/10PTPE | 0,09 | 10,30 | 1,93 | 43,09 | 45,01 |
| 80PEIT/20PTPE | 0,19 | 19,72 | 3,91 | 40,37 | 44,28 |
| 70PEIT/30PTPE | 0,17 | 20,40 | 3,72 | 39,58 | 43,29 |
| PEIT-25CCF | 0,16 | 12,91 | 2,90 | 42,67 | 45,57 |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 0,43 | 19,27 | 5,77 | 41,98 | 47,76 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 0,20 | 17,63 | 3,71 | 42,72 | 46,43 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 0,00 | 11,10 | 0,03 | 41,48 | 41,51 |

Bu yüksek lisans tez çalışmasında geliştirilen karışım ve kompozitlerin hedeflenen kullanım alanları mühendislik plastikleri olarak ön görülmüştür. Mühendis plastiklerinin kozmetik açıdan iyi bir görünüme sahip olması talepleri arttırmakta, kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Plastik malzemelerin boyanabilirliği, yüzey ıslatılabilirliği ile doğru orantılıdır. Yüzey enerjisi artırılmasıyla kullanılan boya ve yapıştırıcı miktarının azaltılabilir, ekonomik anlamda bir avantaj sağlanabilir. Bu aşamada, yüzey enerjisi sonuçları önemli rol oynamaktadır.

Literatürde PET'in yüzey enerjisi 44,6 mN/m olarak ifade edilmiştir. PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin yüzey enerjileri poliester grubunda sıkça kullanılan PET'e yakındır (Soncu, 2019). Tablo 4.5 incelendiğinde, saf PEIT'in 0,18 ile apolar, saf PTPE'nin bazik olduğu, elektronca zengin olduğu söylenebilir.

Ayrıca görüldüğü gibi yüzey enerjisi değerleri PTPE oranı ilavesiyle azalmıştır. Ancak bu azalış küçük miktarlarda olması, analiz yapılış esnasında polimerik madde yüzeylerinin pürüzsüz varsayılması, Bölüm 4.3'de de tartışıldığı üzere transesterifikasyon tepkimeleri sonucu oluşan kopolimerlerin yüzey enerjisinin düştüğünü destekler nitelikte değildir (Can, 2014).

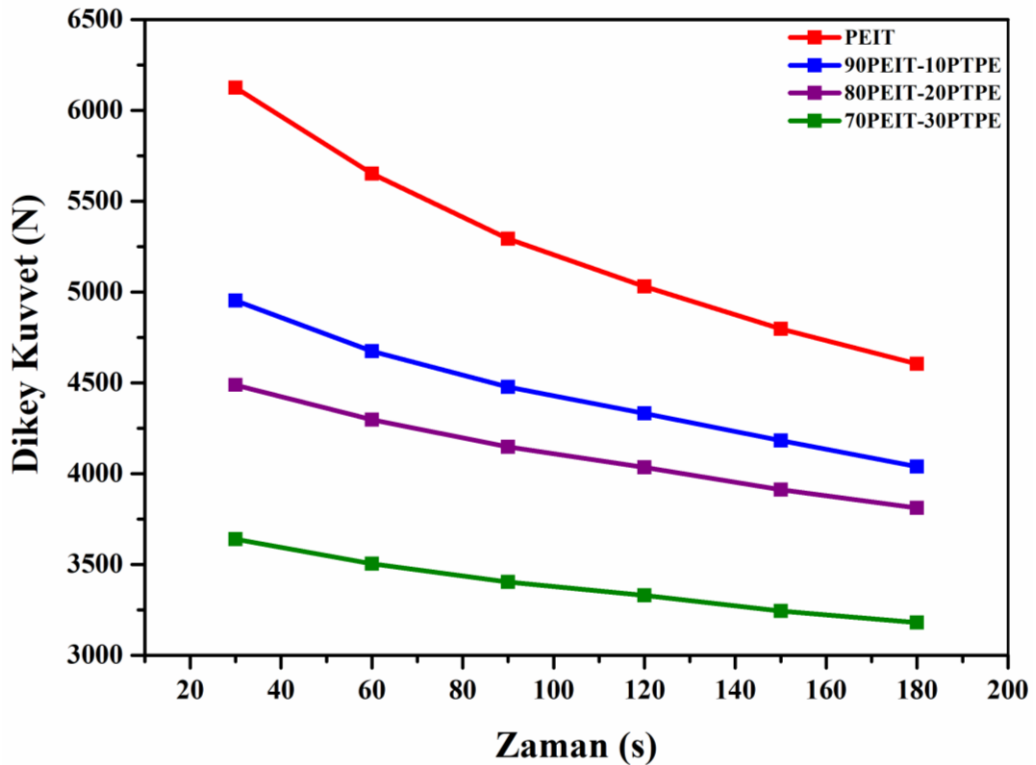
Tablo 4.6. Test sıvılarının PEIT, PTPE, 90PEIT/10PTPE ve 70PEIT/30PTPE yüzeyindeki ortalama temas açısı değerleri

| | Bromonaftalin | Etilen Glikol | Su |
|---------------|---|--|---|
| PEIT |  |  |  |
| PTPE |  |  |  |
| 90PEIT/10PTPE |  |  |  |
| 70PEIT/10PTPE |  |  |  |

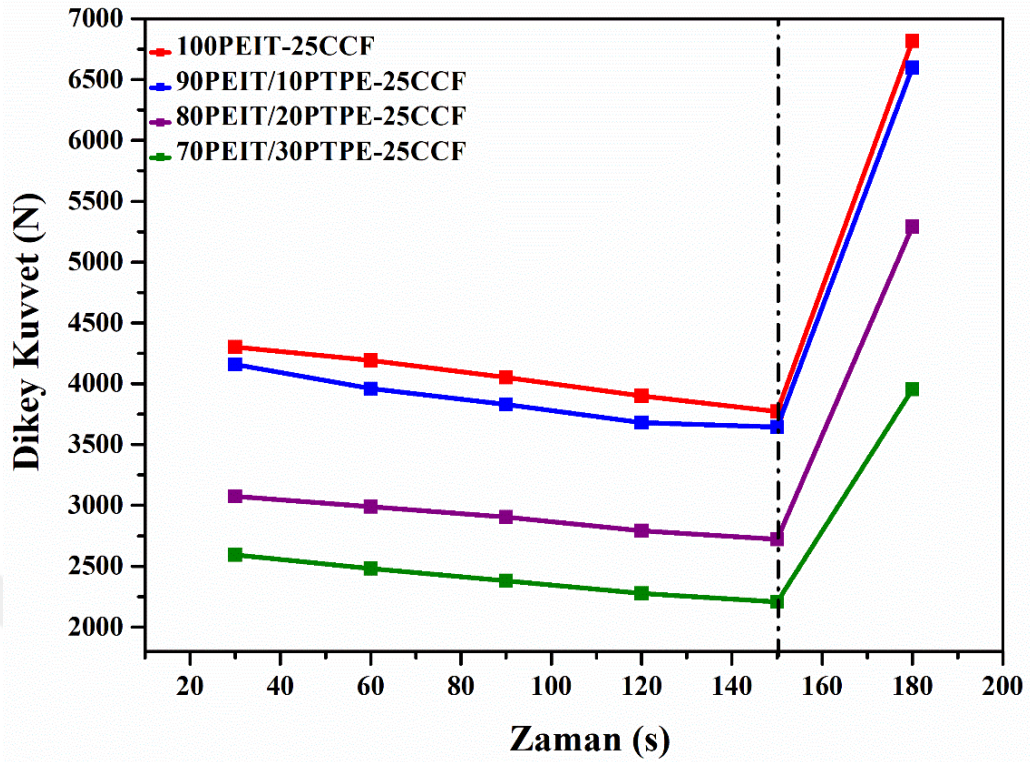
4.5. Dikey Kuvvet Ölçümleri ile Akış Özelliklerinin Belirlenmesi

Örneklerin eriyik harmanlama ile hazırlanması esnasında her bir karıştırma süresi sonrasında mikro-harmanlayıcı cihazından alınan dikey kuvvet değerleri (N) eriyik viskozitenin bir değerlendirmesi olarak ele alınmıştır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de 100 rpm vida hızı ve 3 dakika alıkonma süresi proses koşullarında PTPE ve CCF yükleme oranına göre elde edilen dikey kuvvet değerlerinde meydana gelen değişimler gösterilmektedir.

En yüksek dikey kuvvet değeri diğer bir deyişle eriyik viskozitesi saf PEIT'de gözlenmektedir. PTPE'nin eriyik viskozitesi proses koşullarında PEIT'e göre daha düşük elde edilmiştir. Bu durum PEIT'in kohesiv enerji yoğunluğunun PTPE'den daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.15'dan görüleceği üzere PTPE konsantrasyonunun artmasıyla birlikte eriyik viskozite değerlerindeki azalış devam etmiştir. PEIT/PTPE karışımlarında harmanlama süresi boyunca eriyik viskozite değerlerinde meydana gelen azalışlar Bölüm 4.5'deki reoloji sonuçlarında da tartışılacağı üzere kayma incelmeleri davranışının bir göstergesidir. Tüm bunlara ilaveten, eriyik viskozitede meydana gelen azalışların eriyik harmanlama esnasında proses süresinin artmasıyla birlikte daha fazla ısı enerjisi maruz kalan örneklerde muhtemel zincir kesilme reaksiyonları sebebiyle molekül ağırlığı azalışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Eriyik viskozite değerlerinde gözlemlenen bu azalış örneklerin proses edilebilirliğinin kolaylaşması açısından bir avantaj oluşturmaktadır. Ayrıca enerji sarfiyatı bakımından ele alındığında da önem arz etmektedir. (Özkoç, 2007).



Şekil 4.15. PEIT/PTPE karışımlarının dikey kuvvet değerleri



Şekil 4.16. Karbon elyaf takviyeli karışımların dikey kuvvet değerleri

Şekil 4.16’da da görüldüğü gibi hem saf PEIT’e hem de PEIT/PTPE karışımlarına son 30 saniye CCF eklenmesi ile tüm karışımların eriyik viskozitelerinde orantılı bir şekilde ani bir artış gözlenmiştir. Bu durum karbon elyaf ilavesi ile birlikte zincir hareketliliğinin kısıtlanmasından kaynaklanmıştır.

4.6.Reolojik Analiz Sonuçları

Polimerlerde reolojik davranışlar moleküler yapısındaki değişikliklere bağlı olarak belirlenmektedir ve erimiş haldeki polimerik malzemelerin işleme yeteneğini tanımlamaktadır. Bu sebeple saf PEIT, saf PTPE, PEIT’in PTPE ile toklaştırılmış karışımları ve bu karışımların kırılmış karbon elyaf ilavesi ile oluşan kompozitlerin reolojik özellikleri reometre analizleri ile belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitlerin reolojik analizleri üretim sıcaklığında (230°C) gerçekleştirilmiştir.

Polimerler, viskoz ve elastik malzeme davranışını bir arada gösteren viskoelastik makro moleküler yapılardır (Güçlü, 2020). Polimerlerde moleküler arası etkileşimlerin karmaşıklığı, dallanmaları, zincir dolaşıkları etkisiyle belirli yerlerde hızlı veya çok yavaş tepki göstermesi sonucu viskoz ve elastik davranışlar gözlemlenebilmektedir. Termoplastik polimerler, T_g 'nin altındaki sıcaklıklarda sert ve camsı, bununla birlikte

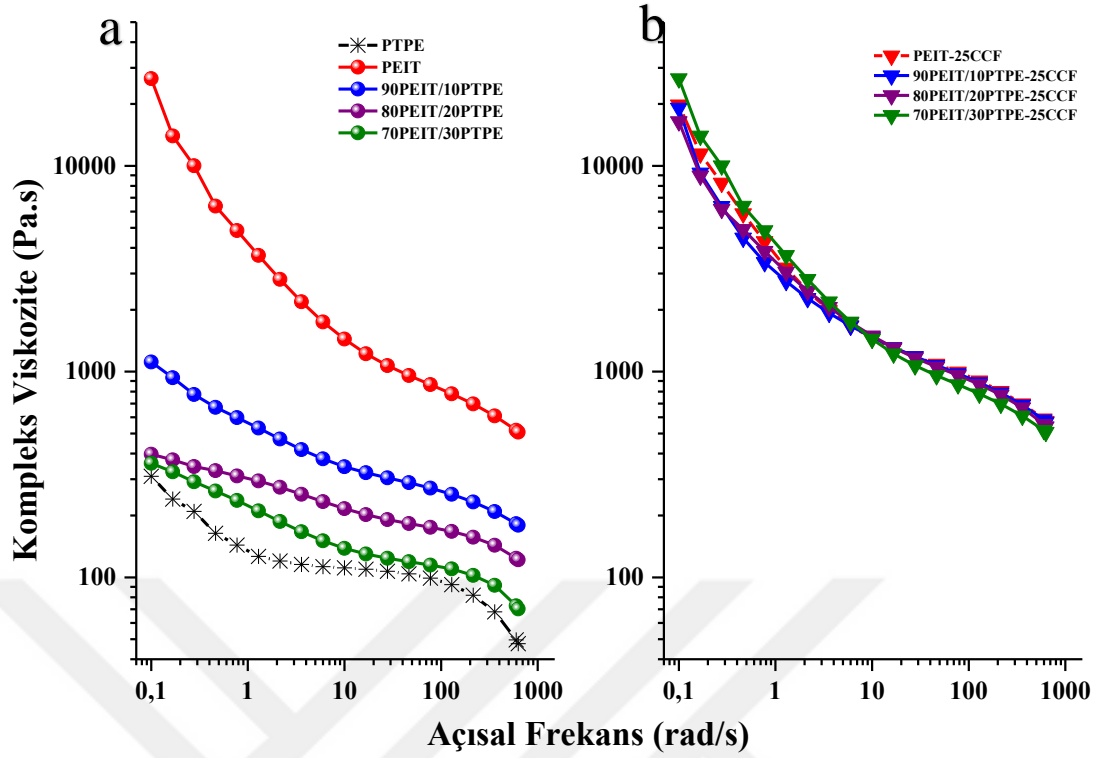
T_g 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise viskoz bir akışkan gibi davranış sergilerler. Termoplastik malzemeler için reolojik testler katı ya da eriyik halde gerçekleştirilebilir. Proses koşulları ve işleyebilme davranışı eriyik özellikleri ile ilişkili iken malzeme performansı katı hal özellikleri ile ilgilidir.

Reoloji analizleri ile termoplastik malzemelerin morfolojisi, performansları ve yapı analizi saptanabilir. Polimerin viskoz özelliklerini veya numunenin belirli bir sıcaklık ve frekansta ne kadar sıvı olduğu; malzemelerin depolayamadığı enerji yani kayıp modülü (G'') ile belirlenebilir. Elastik davranış yani malzemenin ne kadar katı olduğunu gösteren özellikler ise depo modülü (G') ile saptanabilir. Kompleks viskozite (η) ise dinamik viskozite olarak da adlandırılan frekansa bağlı bir viskozite fonksiyonudur (Schramm, 1994).

Şekil 4.17'da açısal frekansa karşı kompleks viskozite değerlerinde meydana gelen değişimler gösterilmektedir. Şekil 4.17'dan görüleceği üzere, saf PEIT'in saf PTPE'ye göre daha yüksek kompleks viskozite sergilediği söylenebilir. PTPE içerisinde bulunan esnek grupların varlığı daha düşük kompleks viskozite değeri sergilemesinin bir nedenidir.

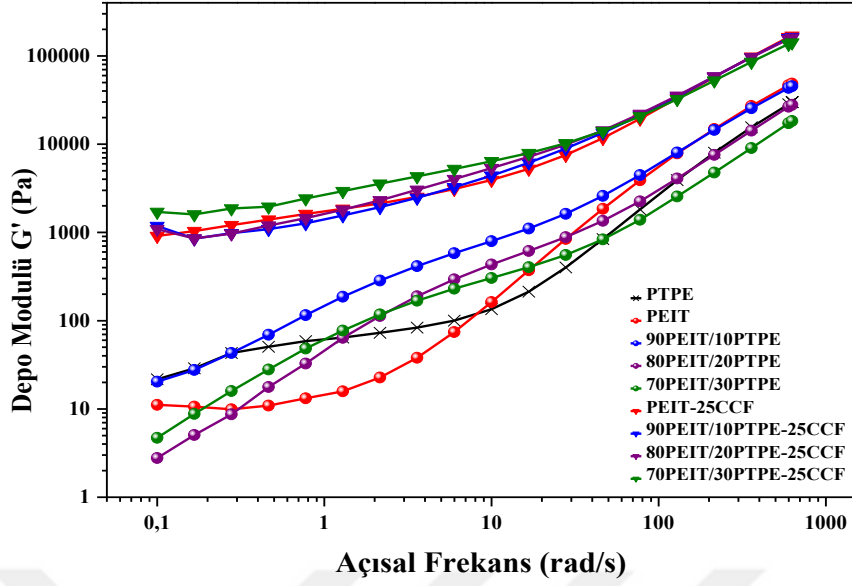
Saf PEIT, PTPE'ye göre pek bir polimerdir. Saf PEIT ~63 MPa kopma dayanımı değerine sahipken bu değer saf PTPE için ~22 MPa'dır (Bölüm 4.7). Bu nedenden dolayı PEIT'e PTPE ilavesiyle birlikte kompleks viskozite değerleri beklenildiği gibi düşmüştür. Bununla birlikte termoplastik elastomer yükleme oranına bağlı olarak kompleks viskozite değerleri düşmüştür. Reoloji testinin frekans aralığında en düşük kompleks viskozite değerleri PEIT/PTPE karışımları için beklenildiği üzere en yüksek PTPE içeren oranda (70PEIT/30PTPE) gözlenmiştir.

Ek olarak PEIT/PTPE karışımlarının tamamında PTPE yükleme oranından bağımsız olarak CCF içeren kompozit malzemelerin kompleks viskozite değerlerinin tamamının saf PEIT'den ve CCF içermeyen karışımlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, CCF'nin PEIT/PTPE karışımlarının zincir hareketliliğini engelleyerek eriyik viskozitelerini arttırmasından kaynaklanmıştır.



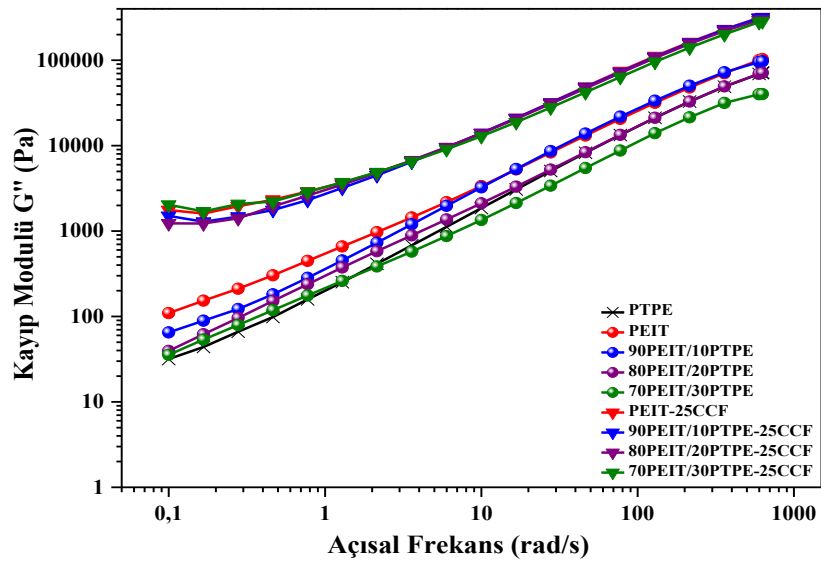
Şekil 4.17. Kompleks viskozite değerlerinde meydana gelen değişimler a) PEIT, PTPE ve PEIT/PTPE karışımları b) PEIT/PTPE-CCF kompozitleri

PEIT-25CCF kompozitinin açısal frekansa bağlı olarak kompleks viskozite değişiminin saf PEIT ile kıyaslandığında benzer bir davranış gösterdiği görülmektedir. Saf PTPE'nin ise kompleks viskozitesi daha dar bir aralıkta gözlenmiştir. PTPE, PEIT ve PEIT-CCF kompozitlerine göre tüm frekans aralığında daha düşük kompleks viskozite değeri sergilemiştir. PTPE eklenmiş tüm karışımlarda kompleks viskozitenin azaldığı, CCF ilavesi ile arttığı söylenebilir. Maksimum artışlar ise düşük frekans değerlerinde görülmektedir. Kompozitlerde elyaf içeri arttıkça ağ oluşumundan dolayı yüksek akma gerilimi gözlenir. Bu ağ benzeri yapılar zamanla bozular ve kompozitlerde kayma incelmesi davranışı gözlenir (Rezaeian vd., 2009). Kayma incelmesi davranışı karbon elyaf yüklü kompozitlerde elyafların akış yönündeki oryantasyonundan kaynaklandığı söylenebilir (Kráčalík vd., 2008). Elde edilen bu bulgular Bölüm 4.5'deki dikey kuvvet ölçümleri ile örtüşmektedir. Ayrıca, Bölüm 4.1'deki SEM analiz sonuçlarında da tartışıldığı üzere PTPE miktarının %10'dan %30'a artırılmasıyla karbon elyaf ve PEIT arasındaki arayüzey etkileşimi arttırmıştır. Elyafın matris yüzeyini ıslatabilirliği iyileşmiştir. Bundan dolayı elyaf matris arayüzey etkileşiminin iyileşmesi ile birlikte kompleks viskozite artmasına buna bağlanmaktadır.



Şekil 4.18. Depo modülü değerlerinde meydana gelen değişimler

Şekil 4.18'den görüleceği üzere tüm örneklerin depo modülü (G') değerlerinde tüm frekans aralığında artış gözlenmektedir. PEIT/PTPE karışımlarına CCF ilavesiyle özellikle yüksek frekansta depo modülü artmıştır. PEIT/PTPE karışımlarının depo modülü ile kıyaslandığında PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin deformasyon sonucunda büyük miktarda enerji depolayabildiği tespit edilmiştir. Kompozit büyük frekanslarda deforme olduğunda dolaşık zincirlerin gevşemek için zamanı olmadığından modül değeri yükselmektedir (Rezaeian vd., 2009). Bu durum eriyik mukavemetinin arttığını göstermektedir.



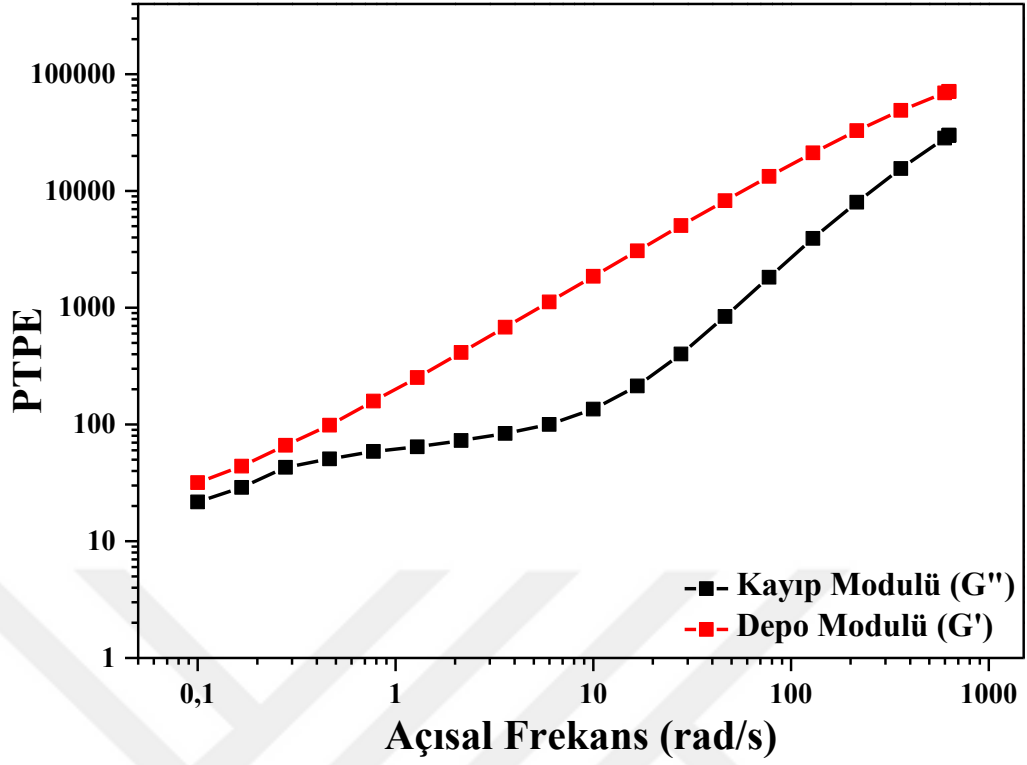
Şekil 4.19. Kayıp modülü değerlerinde meydana gelen değişimler

Açısal frekans ile depo modülü arasındaki değişimlere benzer sonuçlar kayıp modül değerlerinde de gözlemlenmiştir. Şekil 4.19'den görüleceği üzere örneklerin kayıp modülünün artan frekans ile arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca PTPE ilavesi ile kayıp modülü değerleri azalmış, ancak CCF ilavesi ile artmıştır (Şekil 4.19). Bu durum, PEIT-CCF kompozitine PTPE ilavesi ile birlikte artan arayüzey etkileşimden kaynaklanmaktadır.

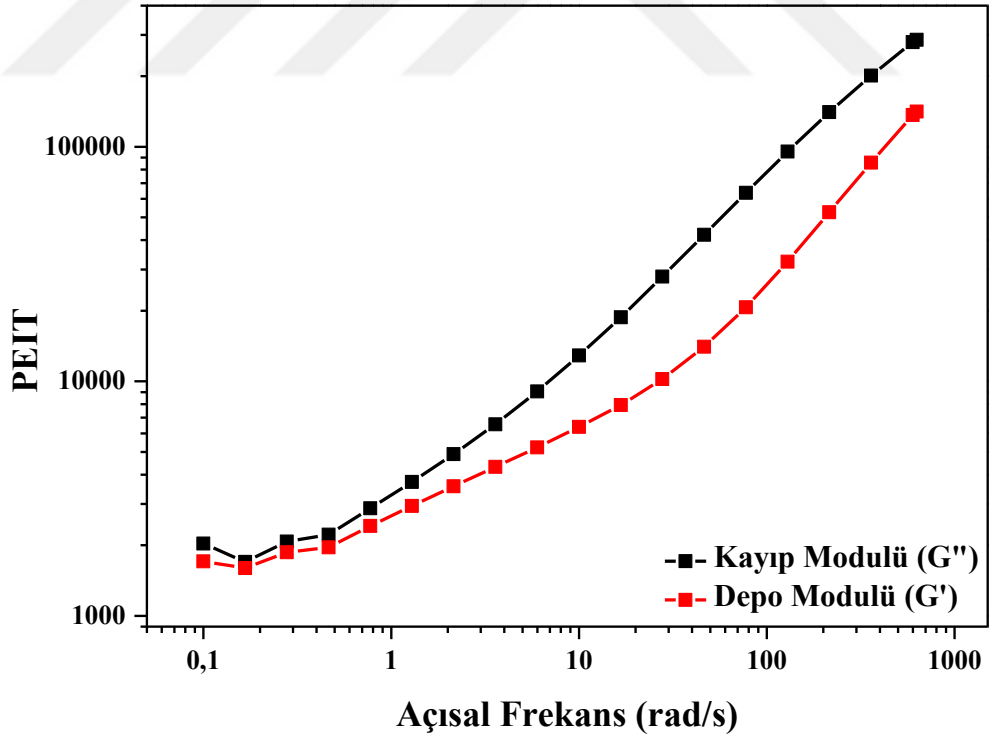
Tüm bunlara ilaveten saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE-25CCF kompozitlerinin kayıp modülü değerleri depo modülü değerlerine göre daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.20-Şekil 4.2828). Çalışılan sıcaklık ve kayma oranında hazırlanan örneklerin sıvı gibi-liquid like davranışında yani viskoz davranış sergilemektedir (Kılıç Tüccar, 2019; Krácalík vd., 2008).

Şekil 4.20-Şekil 4.28 arasında çaprazlama geçiş noktaları gösterilmektedir. Çaprazlama geçiş noktası, kayıp faktör yani $\tan \delta$ ile ilgilidir. $\tan \delta$, polimerin viskoz özelliğinin elastik özelliğine diğer bir deyişle kayıp modülünün depo modülüne oranıdır. Polimerin katı halinin sıvı haline dönüştüğü noktayı ifade etmektedir. $\tan \delta$ 'nın 1'e eşit olduğu nokta çaprazlama geçiş noktasıdır. Bu noktada G' ve G'' değerlerinin eşittir. Çaprazlama geçiş noktası ise polimer eriyiklerinin gevşeme sürelerinin bir ölçüsüdür. Çaprazlama geçiş noktası, bileşenler arasında birincil veya ikincil kimyasal etkileşim olması durumunda oluşabilecek dallanmış ve/veya çapraz bağlı yapıların varlığını tespit edebilmek için de kullanılmaktadır. Çaprazlama geçiş noktası, $\tan \delta=1$ noktası, eriyik işleme için önemlidir. Çünkü viskoz bileşen, ekstrüzyon aşamasında eriyik polimerin ekstrüde edilebilirliğini ve akışını belirler (Gupta vd., 2014).

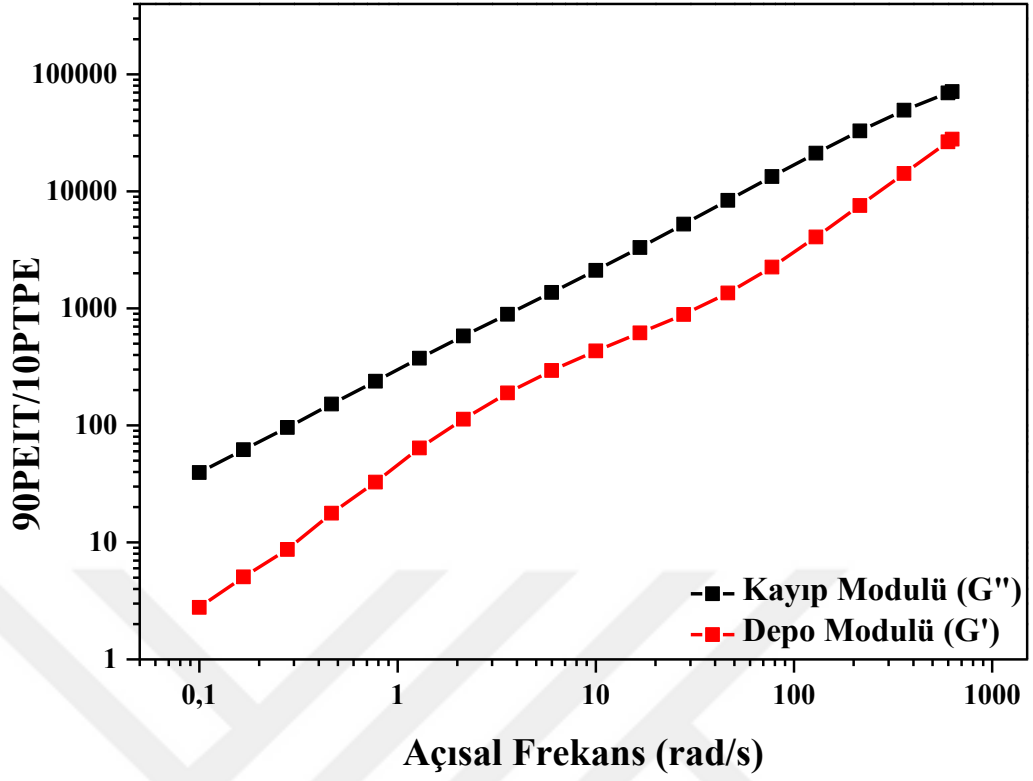
Çaprazlama geçiş noktaları numunelere uygulanan test frekansları aralığında gözlenmemiştir. Bu durum bazı polimerlerde gözlenebilmektedir. Çalışmada kullanılan polimerlerde de çaprazlama geçiş noktası çok düşük frekanslarda beklenmektedir. Dolayısıyla gerilme gevşeme zamanı (stress relaxation time) çok düşüktür denilebilir.



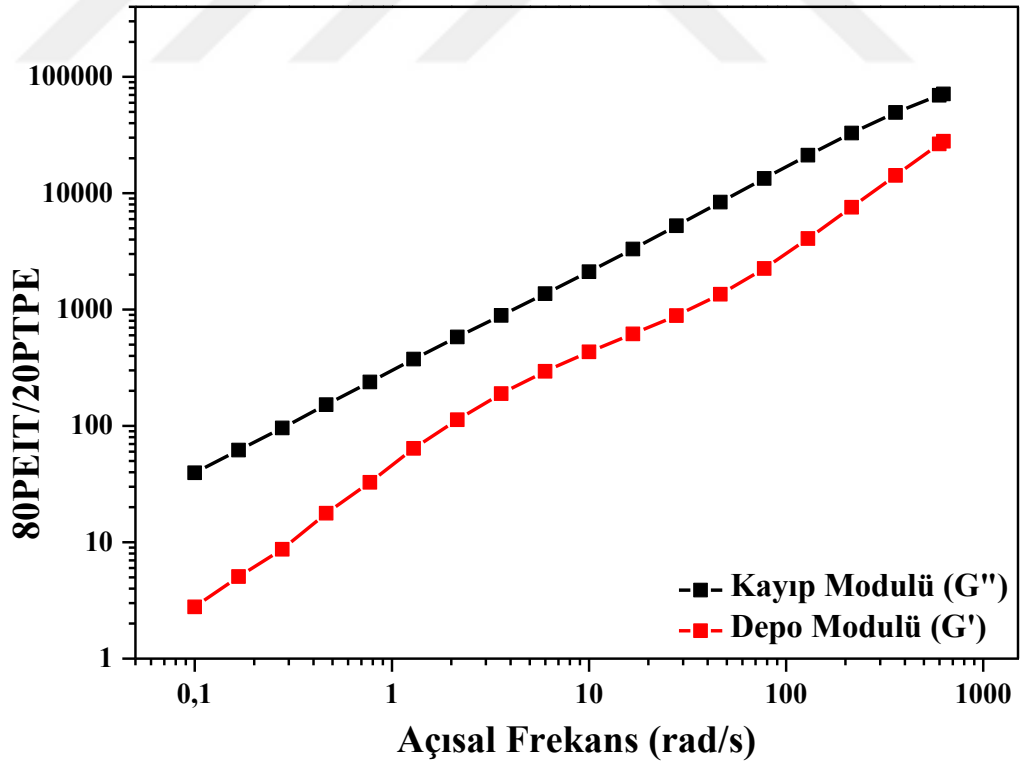
Şekil 4.20. Saf PTPE'nin kayıp ve depo modülünde meydana gelen değişimler



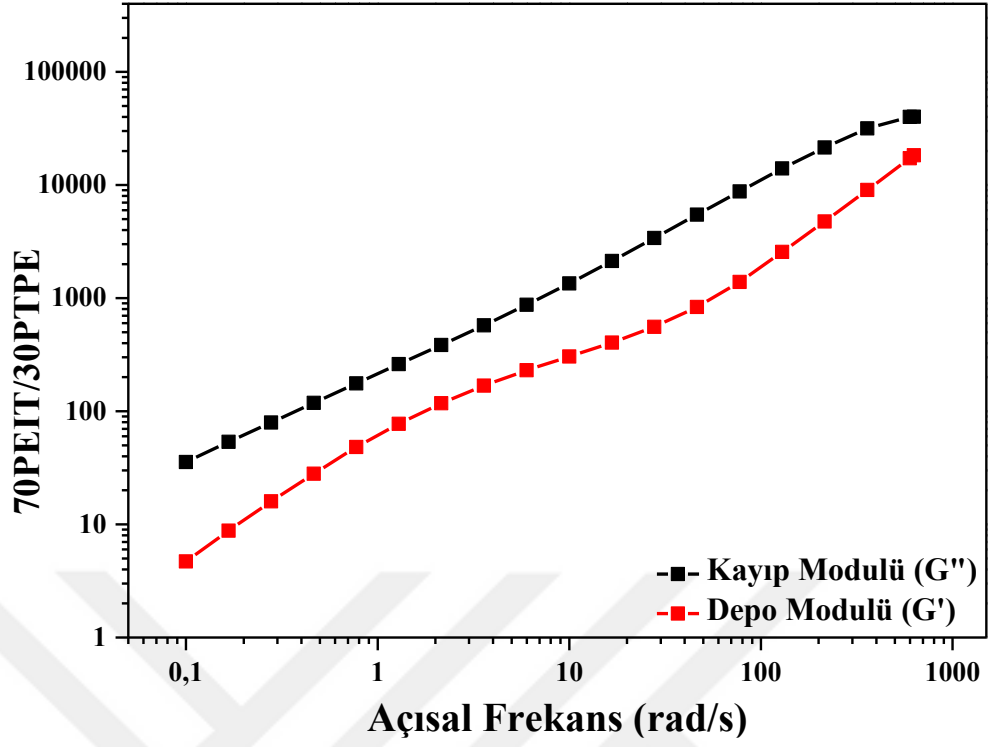
Şekil 4.21. PEIT numunesinin kayıp ve depo modülleri



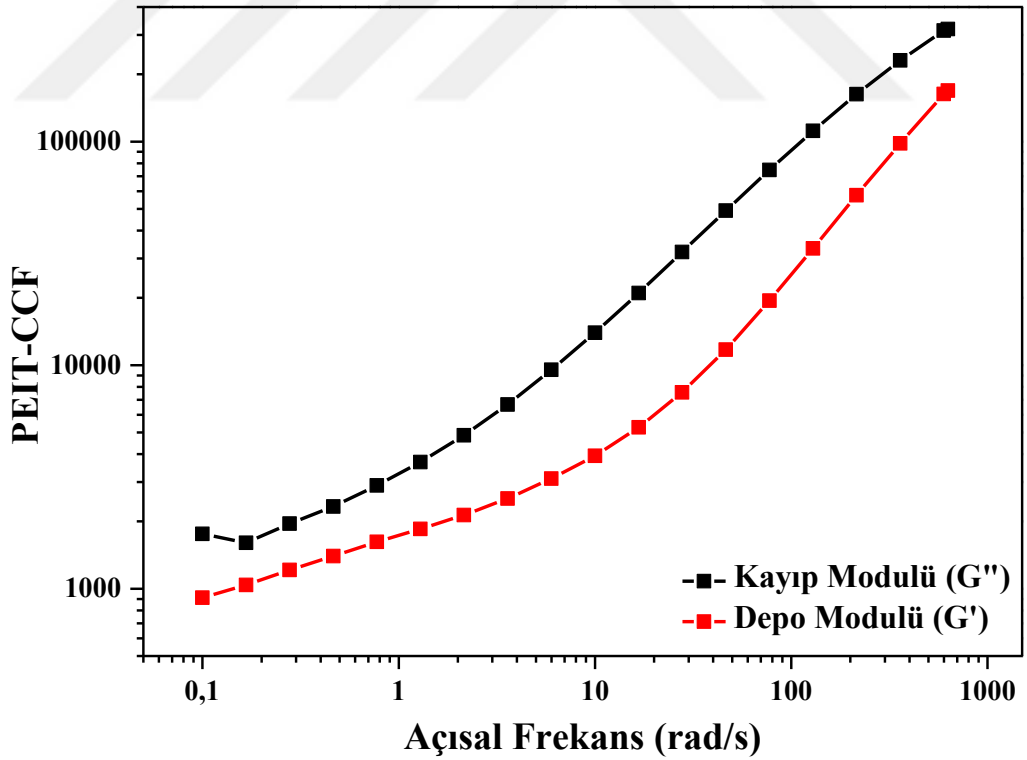
Şekil 4.22. 90PEIT/10PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri



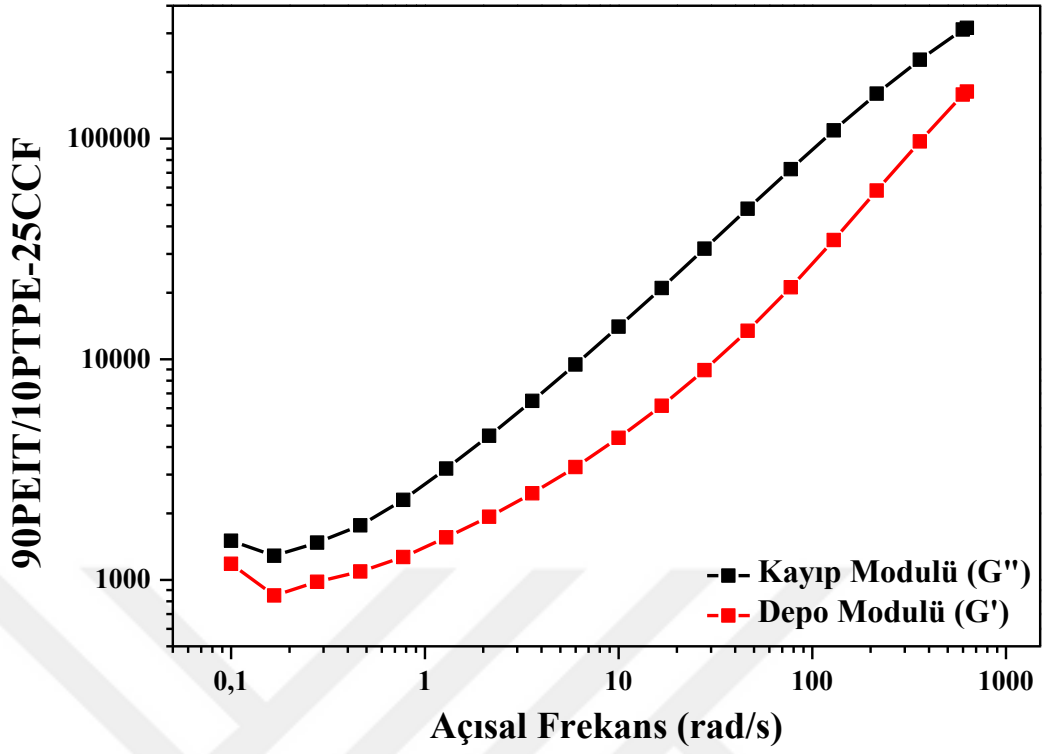
Şekil 4.23. 80PEIT/20PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri



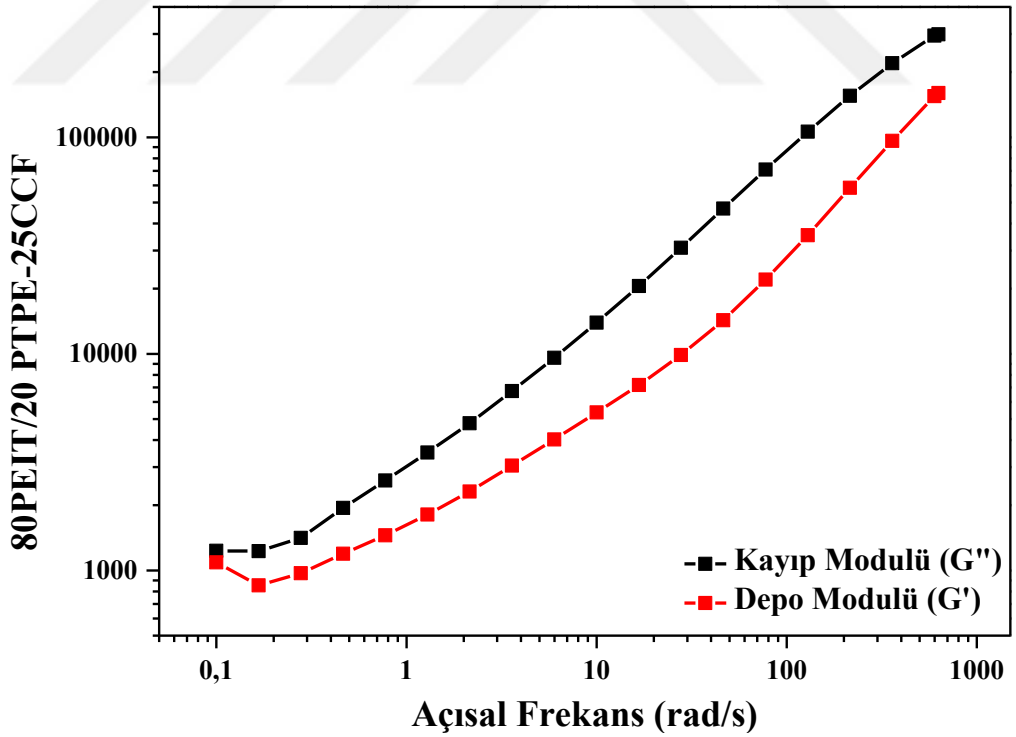
Şekil 4.24. 70PEIT/30PTPE numunesinin kayıp ve depo modülleri



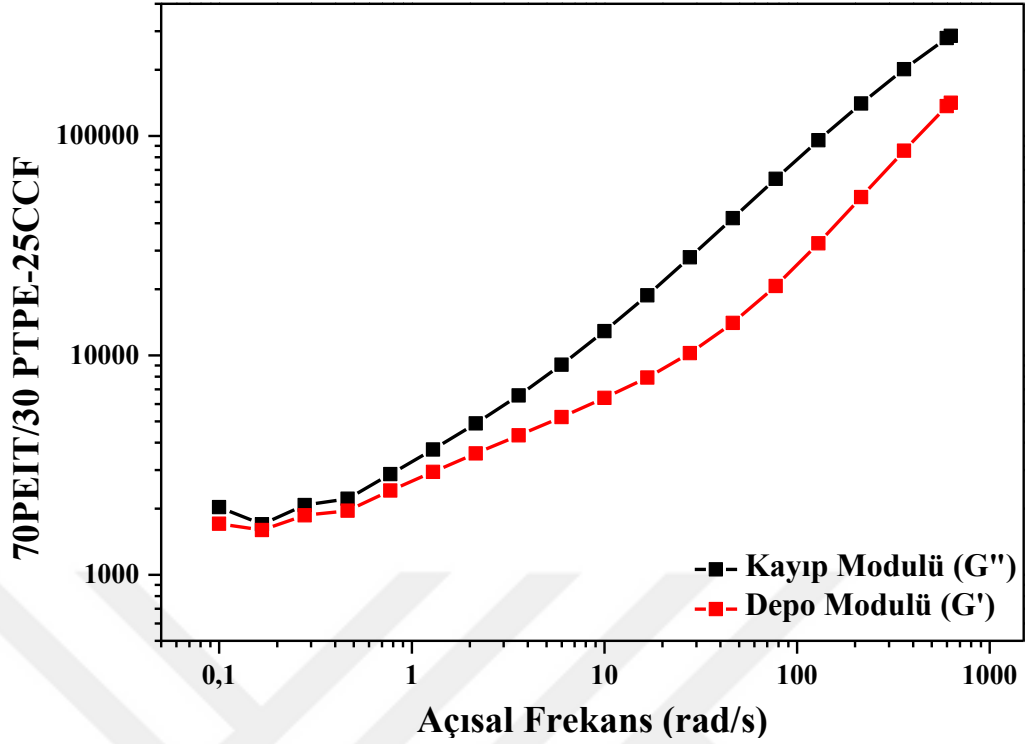
Şekil 4.25. PEIT-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri



Şekil 4.26. 90PEIT/10PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri



Şekil 4.27. 80PEIT/20PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri



Şekil 4.28.70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinin kayıp ve depo modülleri

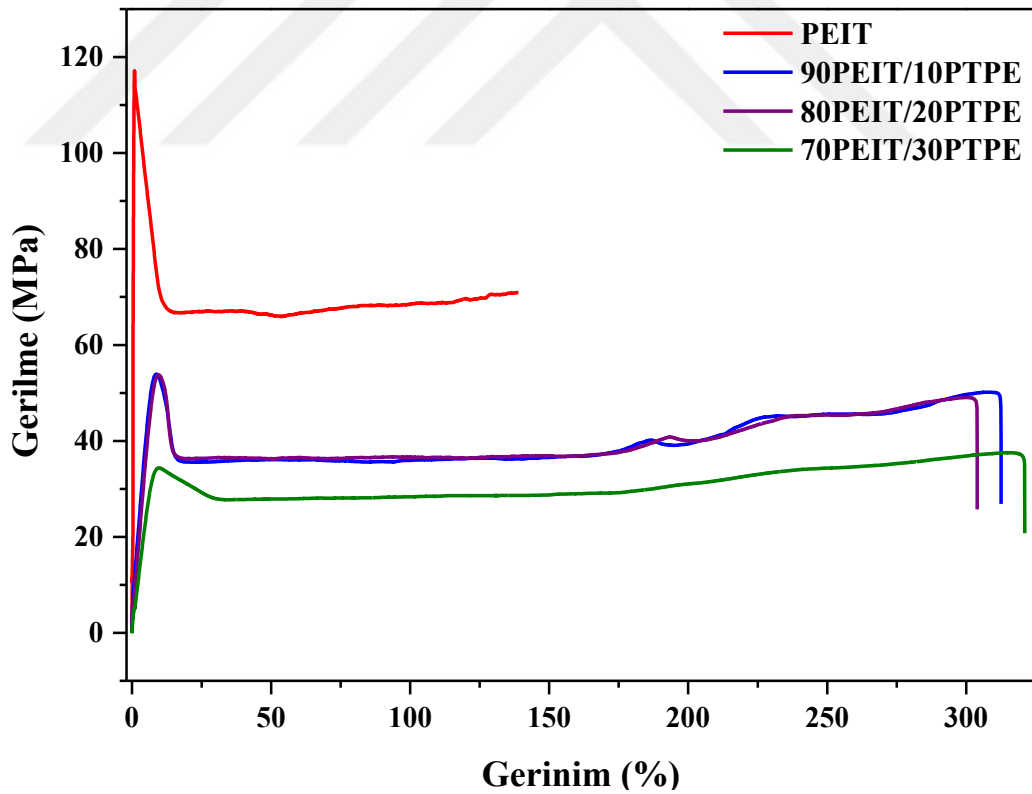
4.7.Çekme Testi Sonuçları

Saf PEIT, PEIT / PTPE ve PEIT / PTPE-CCF kompozitlerinin mekanik özellikleri çekme testleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.29 – Şekil 4.34 arasında verilmiştir.

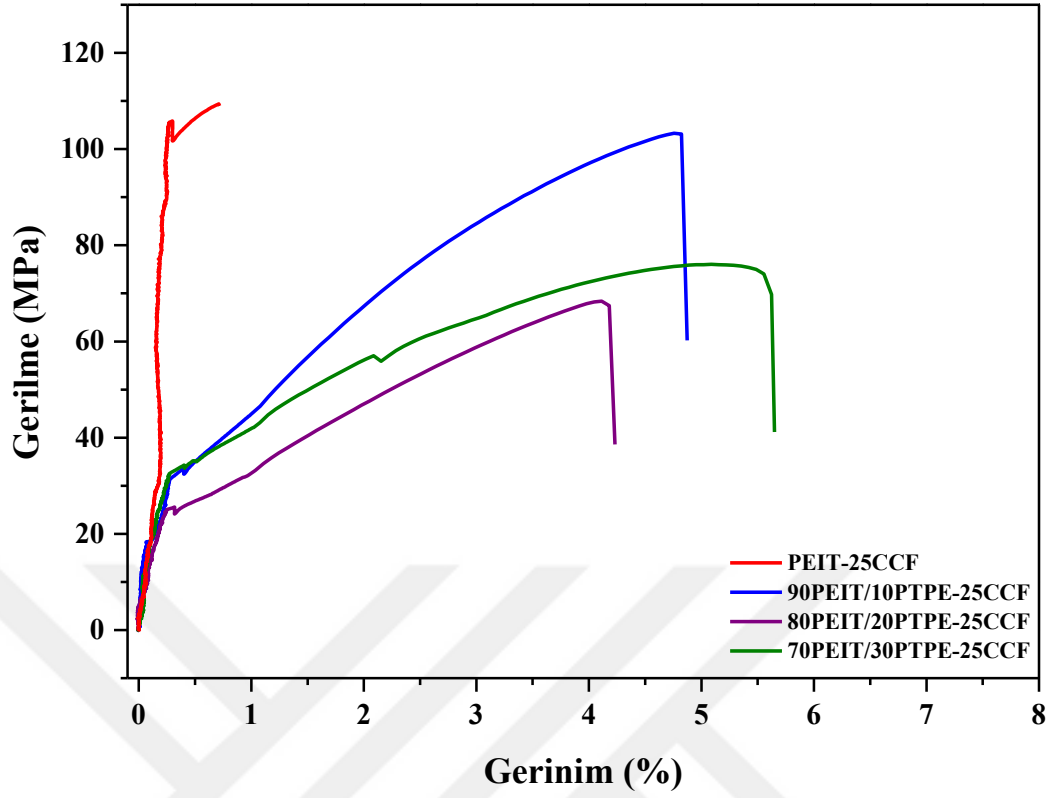
Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'de PEIT/PTPE karşılıklarının ve CCF ile takviye edilmiş PEIT/PTPE kompozitlerinin çekme testi sonrası elde edilmiş gerilme – gerinim (stress - strain) grafikleri görülmektedir. Çekme testine maruz bırakılan örneklerin görsel bir gösterimi de Şekil 4.31'de verilmiştir. Şekil 4.29'den görüleceği üzere, PEIT bir akma noktasının ardından soğuk çekme davranışı sergilemiştir. Bu durum PTPE ilavesi ile birlikte daha belirgin bir hale gelmiş ve PTPE'nin esnek olan kimyasal yapısından dolayı zincirlerin birbiri üzerinden kayması daha da artmıştır. Böylece, PTPE varlığında çekme dayanımı ve modül değerleri azalırken kopmada uzama değerleri kayda değer bir şekilde artmıştır.

PEIT-25CCF kompozitinin çekme davranışı incelendiğinde ise soğuk çekme gözlenmeksizin örneğin yüksek bir modül değeri sergileyerek kırılğan bir davranış sergilediği görülmektedir (Şekil 4.30). PEIT-25CCF'ye PTPE ilavesi ile birlikte

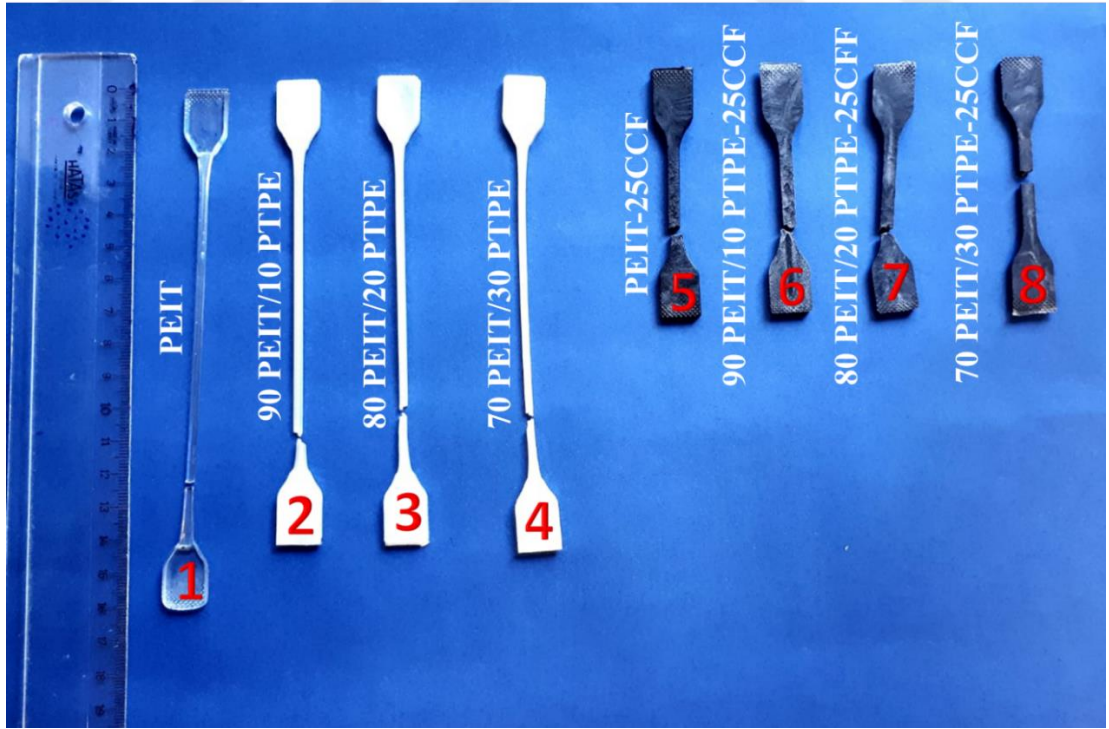
örneklerin soğuk çekme davranışı sergilediği ancak kopmada uzama değerlerinin yine de düşük kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, CCF varlığında zincir hareketliliğinin önemli derecede azalmasından kaynaklanmaktadır. Elyaf takviyeli kompozitlerde, akma boyunca akma dayanımı ve uzama arafazın kalitesine kayda değer derecede bağlıdır. Elyaf – matris arasında iyi bir yapışma olması durumunda elyaf – polimer arafazının ayrılması gecikecek ve bu durum akma dayanımının daha yüksek olmasına neden olacaktır (Wang vd., 2015). Böylece, polimer matrise gelen yük elyaf tarafından taşınmaya başlanacak ve mekanik özellikler iyileşebilecektir (Liang vd., 2014; Yuan vd., 2017; Unterweger vd., 2014; Li vd., 2017). PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin gerilme – gerinim grafikleri incelendiğinde kütlece %30 PTPE içeren kompozitin kopmada uzama değerinin nispeten de olsa daha yüksek değerler sergilemesi elyaf ve matris arasındaki arayüzey etkileşiminin artmasından kaynaklanmıştır. Bu durumu açığa kavuşturmak için SEM analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular Bölüm 4.1’de tartışılmıştır.



Şekil 4.29. Saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarının gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.30. PEIT-CCF ve PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin gerilme-gerinim eğrileri



Şekil 4.31. Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin çekme testi sonrası görünümü

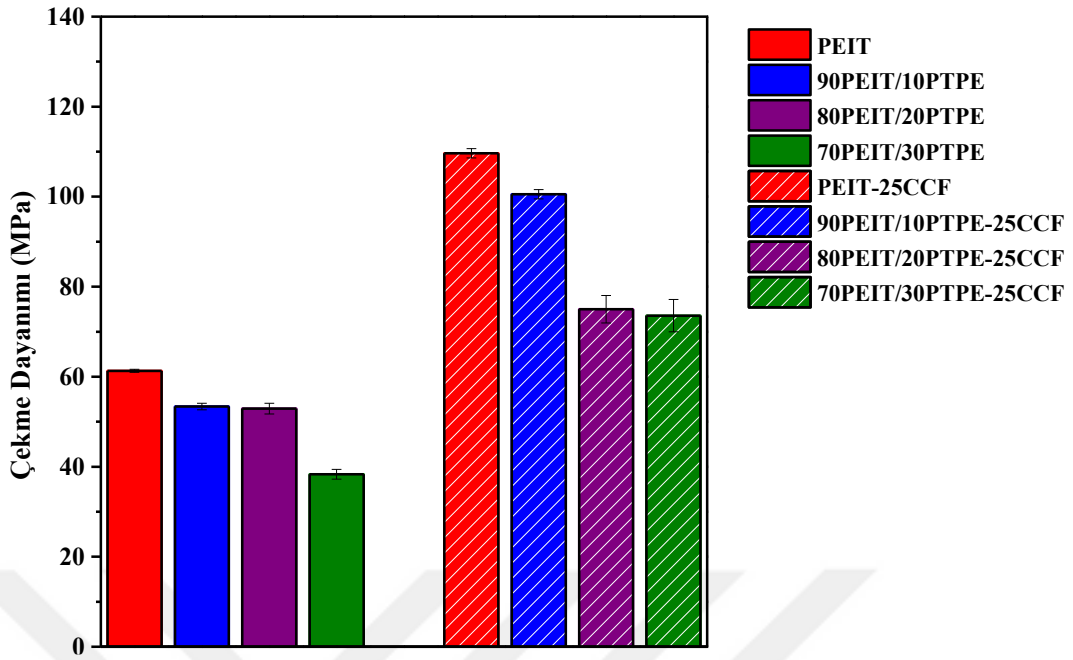
Şekil 4.32'den görüleceği üzere, saf PEIT içerisine PTPE ilave edildiğinde PTPE içeriğine bağlı olarak çekme dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Saf PTPE'nin çekme dayanımı değerinin ~22 MPa'dır ve saf PEIT'in çekme dayanımı (~63 MPa) ile kıyaslandığında daha düşüktür. Bu nedenden dolayı saf PEIT içerisine PTPE ilavesiyle birlikte çekme dayanımı değerleri beklenildiği üzere azalış göstermiştir.

Şekil 4.32'de CCF içeren PEIT/PTPE kompozitlerinin çekme dayanımı değerlerinden meydana gelen değişiklikler gösterilmiştir. Kısa elyaf takviyeli kompozitlerde mekanik özellikler arayüzey etkileşimine bağlı olduğu kadar kritik elyaf uzunluğuna da bağlıdır (Kelly vd., 1965; Wu vd., 2016; Zhao vd., 2016; Çelikçi, 2013).

Gerilim transferi elyafların uç noktasından başladığı için, çekme yükü altında polimer matristeki kırılma oluşumu bu noktalardan başlar. Uzama arttıkça, daha fazla yapıda çatlak meydana gelir. Çekme testinin başlangıcındaki çatlak, çatlak bölgesi ile temas halinde bulunan elyaflara yük transferi ile ilgilidir. Literatüre de ifade edildiği gibi, örnekteki çatlak sayısı kritik bir seviyeye ulaştığında elyaf ve matrisi yük taşıyamamaya başlar ve örnek en zayıf noktadan örnek deforme olur (Fu vd., 1999; Sato vd., 1984; Furukawa vd., 1968; Kodal vd., 2015). Elyaf uzunluğu azaldıkça elyaf sonlarının sayısı ya da bir başka ifadeyle matristeki gerilim konsantrasyonu sayısı artar. Dolayısıyla, kısa zincirlere sahip olan bir polimer ile kıyaslandığında kompozit malzeme erkenden deforme olur.

Bölüm 4.2'deki elyaf boyut dağılımı ve Bölüm 4.1'deki SEM sonuçlarında da tartışıldığı üzere en yüksek elyaf boyut dağılımına ve en iyi arayüzey etkileşimine sahip olan 70PEIT/30PTPE-CCF kompozitinin daha yüksek bir çekme dayanımı değeri sergilediği söylenebilir.

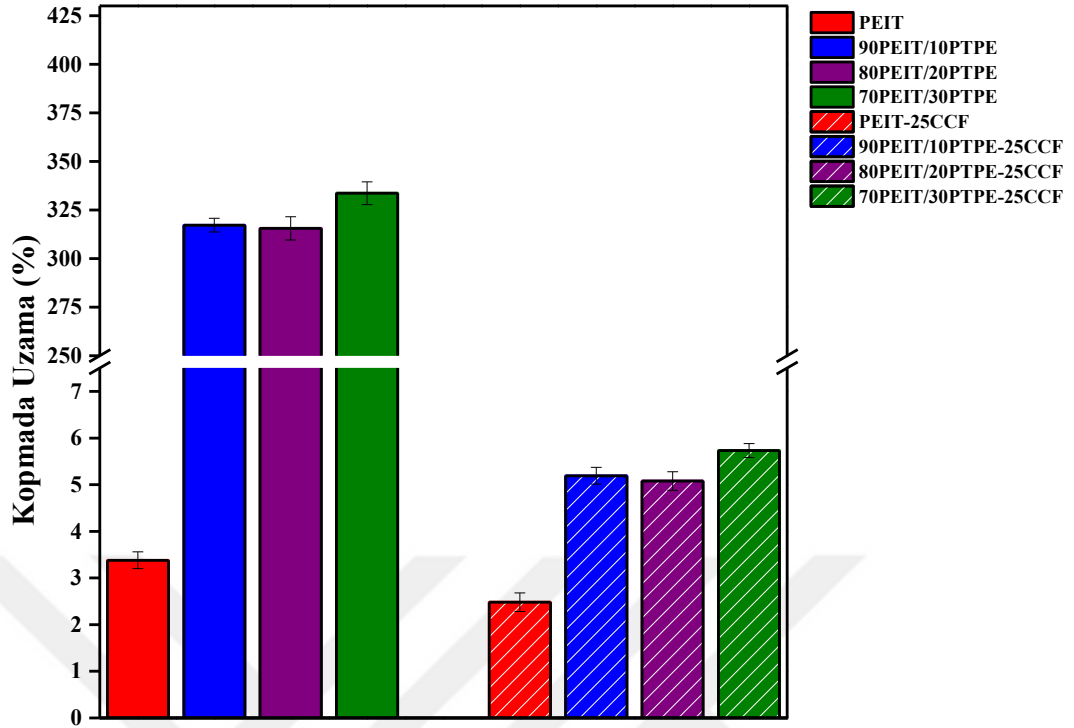
Her ne kadar Şekil 4.32'de 70PEIT/30PTPE-CCF kompozitinin en düşük çekme dayanımı değerine sahip olduğu algılansa da bu örnekte oldukça esnek yapıda olan PTPE örneğinin diğerleri ile kıyaslandığında en yüksek konsantrasyonda olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.32. Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının kopma dayanımı değerleri

Şekil 4.33’de grafiğin sol tarafındaki sütunlar saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarını, sağ taraftaki sütunlar ise bu karışımlara kırılmış elyaf eklenmiş kompozitleri temsil etmektedir. Şekil 4.33’deki kopmada yüzde uzama değerleri incelendiğinde, %10 PTPE ilavesi ile birlikte PEIT’in %3,5 olan kopmada uzama değeri ~%9400 artarak %317’ye artmıştır. Bu artış PTPE ilavesi ile birlikte devam etmiştir. Kırılgan bir davranış sergileyen PEIT’in çekme tokluğu PTPE ile harmanlanmasından sonra kayda değer bir şekilde iyileşmiştir. PEIT-25CCF ve PEIT/PTPE-25CCF kompozitlerinin kopmada uzama değerleri karşılaştırıldığında ise en düşük kopmada uzama değeri PEIT-25CCF kompozitinde gözlemlenmiştir.

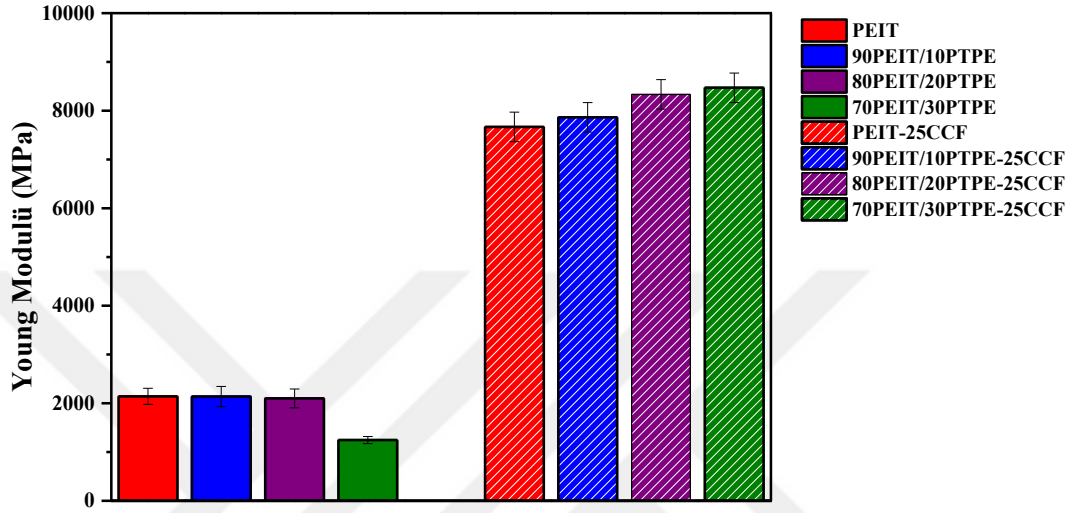
Elyaf ve parçacık takviyeli polimerik kompozit malzemelerin kopmada uzama değerlerini etkileyen en önemli parametre arayüzey yapışmasıdır (Kodal, 2016; J. Li & Zhang, 2010). Dolayısıyla daha önce de tartışıldığı üzere PEIT – CCF arasındaki arayüzey etkileşiminin yetersiz seviyede kalması kopmada uzama değerlerinin istenilen seviyede olmamasına neden olmuştur. Aksine PTPE oranının artmasıyla birlikte kopmada uzama değerlerinde meydana gelen artışlar PEIT – CCF arasındaki arayüzey etkileşiminin arttığının bir diğer göstergesidir.



Şekil 4.33. Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının kopmada uzama değerleri

Şekil 4.34’de saf PEIT, Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin Young modülü değerlerinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Saf PEIT’in, PEIT/PTPE karışımlarına göre yüksek bir modül değerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, PEIT’in nispeten yüksek cam geçiş sıcaklığı nedeniyle çok kırılmalı bir yapıya sahip olmasıdır. Kopmada uzama değerlerine paralel olarak PEIT/PTPE karışımlarının genel olarak modül değerleri bir başka ifadeyle sertlikleri PTPE’nin artan oranlarda kullanılmasıyla azalış göstermiştir. Elyaf takviyeli kompozitlerde ise modül değerleri PEIT-CCF kompoziti, PEIT/PTPE-CCF ile kıyaslandığında düşüktür. Kısa elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elastik modül elyaf hacim fraksiyonuna, elyaf yönlenmesine ve elyaf uzunluğuna bağlıdır (Ozkoc vd., 2005). Bir başka ifadeyle, arafaz modül üzerinde kritik bir etkiye sahip değildir. Çünkü modül değeri çok küçük gerinim değerlerinde elde edilmektedir. Dolayısıyla, PTPE yükleme oranından bağımsız olarak PEIT/PTPE-CCF kompozitleri benzer modül değerleri sergilemiştir. Bununla birlikte, PTPE yükleme oranı bakımından ele alındığında en yüksek PTPE yükleme oranında dahi modül değerinin %10 ve %20 PTPE içeren CCF takviyeli PEIT kompoziti ile benzer modül değerine sahip olması, en yüksek PTPE içeren örnekte kritik elyaf uzunluğunun daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, PEIT'in düşük olan çekme tokluğu PTPE ilavesi ile birlikte artırılmış, ancak PTPE varlığında düşen modül ve çekme dayanımı değerleri ise CCF katkısı ve PTPE konsantrasyonuna bağlı olarak geri kazanılmıştır. Dolayısıyla, çalışmanın temelini oluşturan peklilik/tokluk dengesinin PTPE derişimine bağlı olarak sağlandığı elde edilmiştir.



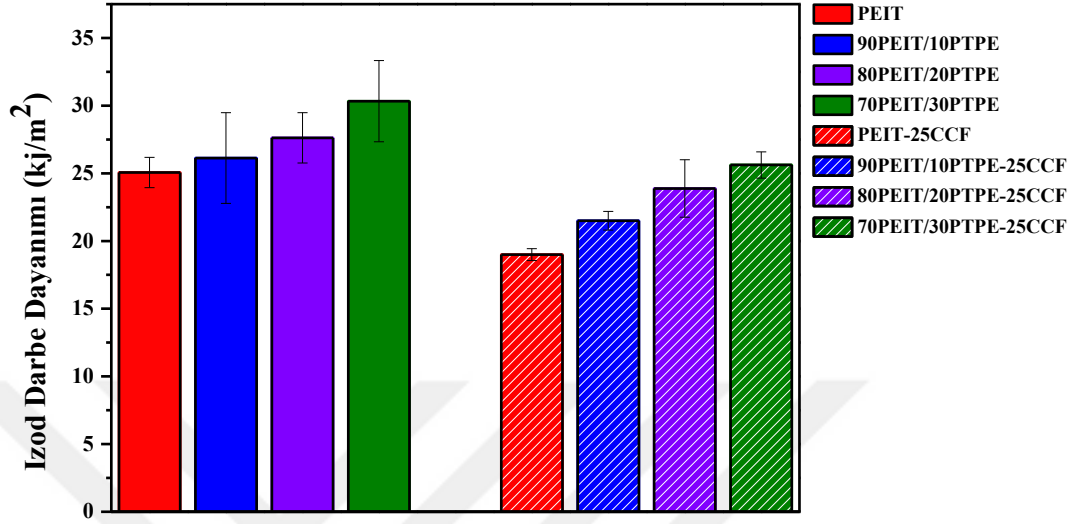
Şekil 4.34. Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının Young's modülü değerleri

4.8.Darbe Testi Sonuçları

Şekil 4.35'da PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF Izod darbe testi değerlerinde meydana gelen değişimler verilmiştir. Saf PTPE elastomer yapısı nedeniyle yüksek elastikiyete sahiptir. T_g değeri yaklaşık -74°C olup çok yüksek tokluk değeri gösterir ve kırılma davranışı sergilemez. Dolayısıyla, saf PEIT'in yaklaşık 25 kJ/m^2 olan Izod darbe dayanımı PTPE ilavesi ile birlikte artmıştır. Ayrıca, PEIT'in Izod darbe dayanımındaki bu artış elastomerik fazın matris içinde iyi dağılmasına da bağlanabilir. Bölüm 4.1'deki SEM sonuçlarında da tartışıldığı üzere, PEIT-PTPE arasında herhangi bir faz ayrımı gözlemlenmemiş ve tokluğun iyileştirildiğine dair kauçuk ile toklaştırılmış polimerlerde gözlemlenen kayma bantları tespit edilmiştir.

Çekme testinden elde edilen kopmada uzama ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklere benzer şekilde %30 PTPE içeren PEIT-CCF kompozitinin en yüksek Izod darbe dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle, darbe testi esnasında çatlağın ilerlemesi için gerekli olan enerji miktarı artmıştır. Bu durum ise

kritik elyaf uzunluğunun %30 PTPE içeren PEIT–CCF kompozitinde daha yüksek olmasından ve arayüzey etkileşiminin kayda değer şekilde artırılmasından kaynaklanmıştır (Park vd., 2014).



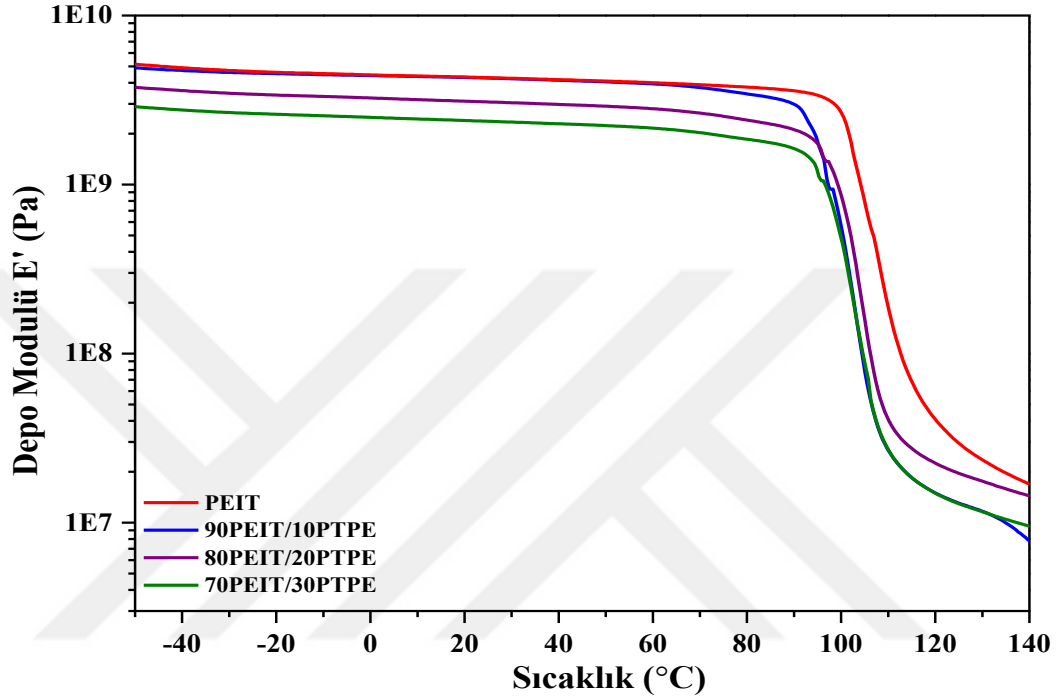
Şekil 4.35. Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF karışımlarının darbe dayanımı değerleri

4.9.Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Saf PEIT, saf PTPE ve elyaf takviyeli kompozitlerin termomekanik özellikleri DMA analizleri ile belirlenmiştir. Termoplastik elastomer ile toklaştırılmış ve CCF ile takviye edilmiş PEIT kompozitlerinin Şekil 4.36-Şekil 4.38 arasında depo modülü ve tan δ değerlerinde meydana gelen değişimler gösterilmektedir.

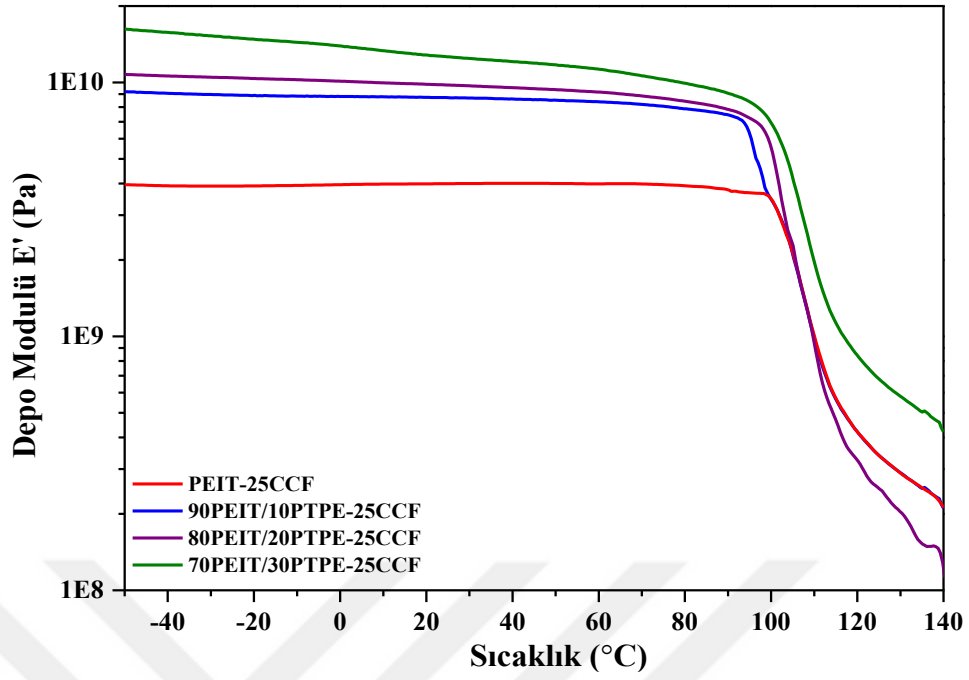
Depo modülü (E'), esnekliğin bir ölçüsüdür ve elastik deformasyonun bir göstergesidir. Deformasyon direncine elastik tepki hakkında bilgi sunar (Liang vd., 2014). Şekil 4.36'dan görüleceği üzere PTPE ilavesi ile birlikte saf PEIT'in depo modül değeri düşmüştür. Depo modülünde meydana gelen bu azalış PTPE konsantrasyonunun kütlece %10'dan %30'a artırılmasıyla birlikte devam etmiştir. Bu durum PTPE'nin PEIT ile kıyaslandığında daha esnek olan yapısından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, PEIT/PTPE karışımlarına kırılmış karbon elyaf ilavesi ile birlikte PEIT/PTPE karışımlarının herhangi bir yükleme oranıyla karşılaştırıldığında daha yüksek depo modülü değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.36). Bu artış, karbon elyafın kendisinin polimerler ile kıyaslandığında daha yüksek modül değerine sahip olmasıyla veya başka bir ifadeyle malzemenin sertliğinin artması ile açıklanabilir (Rezaei vd., 2009). PEIT/PTPE karışımlarının ve PEIT/PTPE-CCF

kompozitlerinin saf PEIT'in camsı geçiş sıcaklığı bölgesinin altında yüksek depo modülü değerine sahip olduğu, camsı geçiş sıcaklığı bölgesine de yaklaştıkça ve üzerine çıktıkça depo modülünde ani düşüşler olduğu gözlenmiştir. Bu durum camsı geçiş sıcaklığının üzerinde polimer zincir hareketliğinin artmasından kaynaklanmaktadır (Haponiuk, 1995).



Şekil 4.36. PEIT/PTPE karışımlarının depo modül değerleri

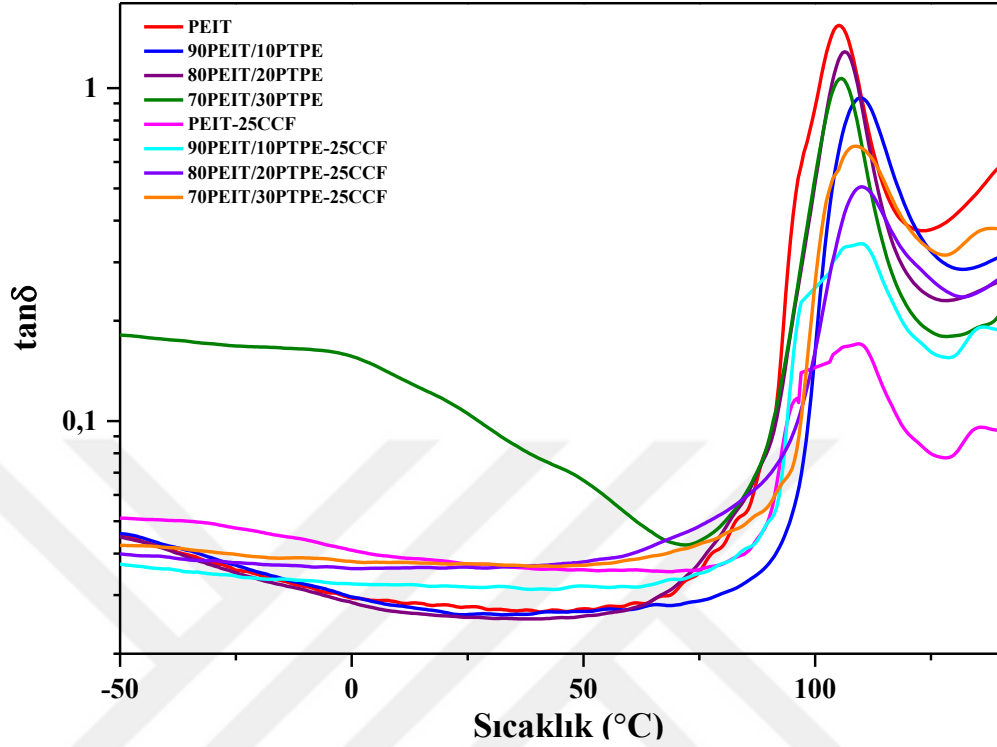
PEIT/PTPE-CCF kompozitleri kendi içinde karşılaştırıldığında en yüksek depo modülü değeri %30 PTPE içeren kompozit malzemede elde edilmiştir. Yüksek lisans tez çalışmasının morfoloji analiz sonuçlarında da (Bölüm 4.1) tartışıldığı üzere PEIT-CCF arasında arayüzey etkileşimi oldukça zayıf olup elyafların polimer matris yapıdan ayrıldıkları görülmektedir. Bu durum, PEIT – CCF kompozitine %10 ve %20 PTPE ilavesiyle de değişmemiştir. Ancak PTPE yükleme oranının %30'a çıkarılmasıyla birlikte elyaf – matris etkileşiminin önemli derecede iyileştiği tespit edilmiştir. Bu durum, CCF ve polimer matris arasında daha büyük bir arayüzey alanı oluşmasına neden olmuş ve 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinin daha yüksek depo modülü değeri sergilemesi ile sonuçlanmıştır.



Şekil 4.37. PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin depo modül değerleri

Tan δ , malzemelerin hem viskoz hem de elastik davranışından sorumludur (Rezaei vd., 2009). Enerji dağılımının bir ölçüsü olan tan δ , kayıp modülünün depo modülüne oranıyla elde edilir. Tan δ değerlerindeki tepe noktası, camsı geçiş sıcaklık değerini verir (Chatterjee vd., 2016). Saf PEIT'in T_g değeri 105,6°C olarak bulunmuştur. Saf PEIT'e PTPE ilavesiyle birlikte camsı geçiş sıcaklığının çok fazla değişmeden kaldığı görülmektedir. Ancak CCF ilavesiyle birlikte nihai yapıların camsı geçiş sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda tan δ 'nın genliğindeki değişiklikler, faz yapılarının durumu ve polimer kompozitlerdeki etkileşimlerin boyutu hakkında bilgi vermektedir (Haponiuk, 1995). Dolayısıyla tan δ eğrilerinin genliklerinden elyaf takviyeli örneklerin arayüzey yapışması hakkında bilgi edinilebilir. Tan δ eğrilerde genliğin düşük olması, iyi bir arayüzey yapışması olduğunu gösterir. Elyaf ile matris arasında iyi bir bağlanma olduğunda moleküler hareketlilik azalarak sabit bir ara faz oluşur. Bu durumda da enerji dağılımı daha az olacağından tan δ pik yüksekliği düşer (Liang vd., 2014; Dehghani vd., 2013; Rezaei vd., 2009 ; Kim vd., 2009; Yu-Li vd., 2009; Kodal vd., 2015; Rezaei vd., 2008). Şekil 4.38'dan görüleceği üzere tan δ pik genliğinin en düşük olan örneğin %30 PTPE ile toklaştırılmış CCF içeren kompozitte olduğu görülmektedir. Bu durum, % 30PTPE içeren PEIT ile CCF arasında diğer örneklerle kıyaslandığında oldukça iyi bir arayüzey etkileşiminin olduğunu bir başka

göstergesidir. Elde edilen bu bulgular hem depo modülü hem de Bölüm 4.1’de tartışılan SEM analiz sonuçları ile de örtüşmektedir.



Şekil 4.38. PEIT, PEIT/PTPE, PEIT-CCF ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin tan δ değerlerinde meydana gelen değişimler

4.10. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin ısı özellikleri DSC analizleri ile belirlenmiştir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da örneklerin DSC termogramları ve Tablo 4.7’de ise DSC termogramlarından elde edilen ısı geçiş değerleri verilmiştir.

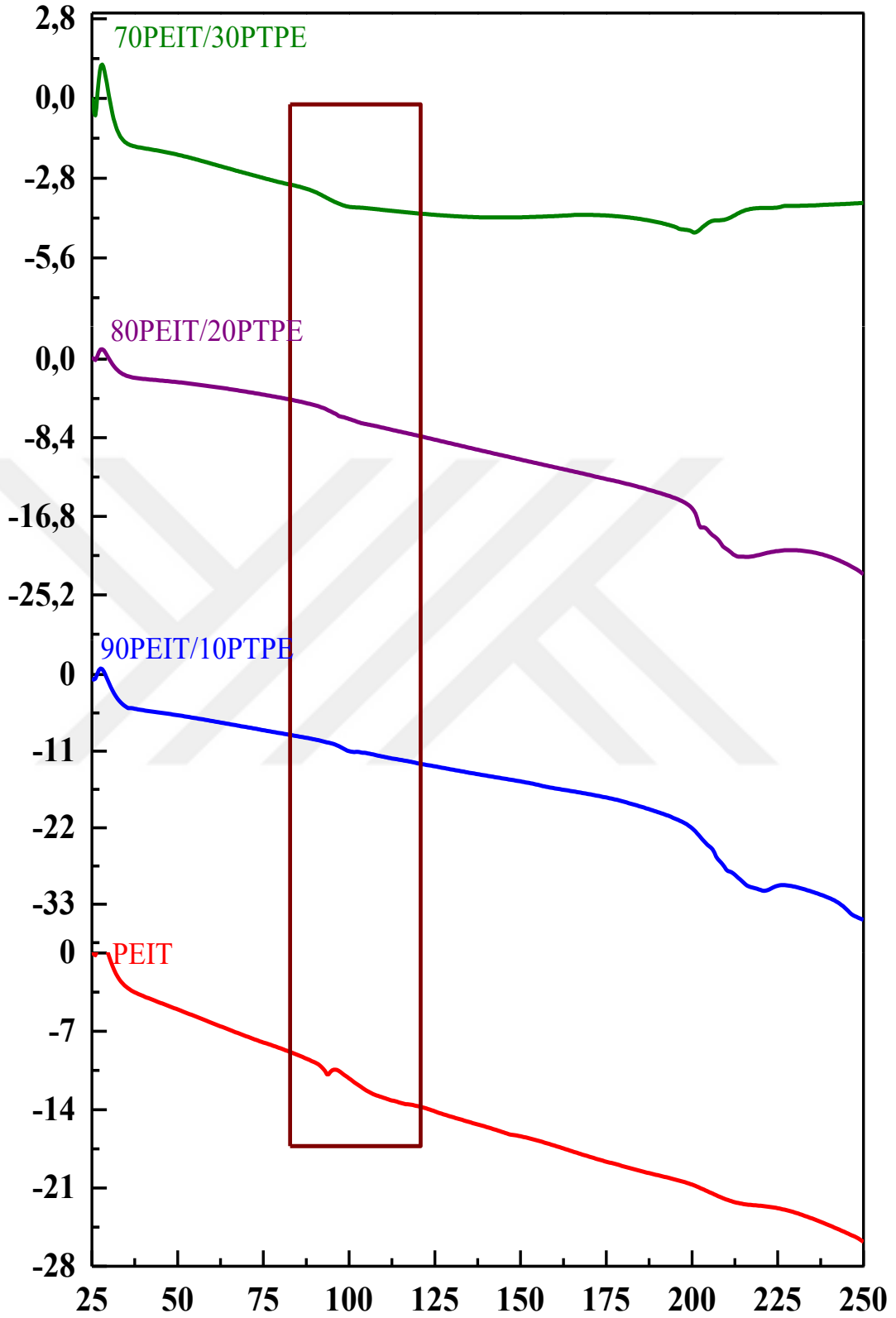
Şekil 4.39’da saf PEIT’in camı geçiş sıcaklığı (T_g) çevresinde küçük bir ekzoterm yani entropik gevşeme sonucu bir pik gözlenmiştir (McGonigle vd., 2000). Diğer bir deyişle, fiziksel yaşlanma gözlenmektedir. Fiziksel yaşlanma, camı ya da yarı kristal polimerlerde amorf fazın fiziksel özelliklerini etkileyen moleküler hareketliliğin azalmasına neden olan bir durumdur. Fiziksel yaşlanma olayı polimer zincirlerinin büyük segmentlerinin hareketliliğini kontrol eden serbest hacmin azalmasıyla ilişkilidir. Bu durum neticesinde polimerlerde büzüşme, peklilik, kırılabilirlik gibi mekanik özellikleri etkileyen değişimler ortaya çıkmaktadır (Kodal, 2014).

Tablo 4.7'den görüleceği üzere, saf PEIT'in 98,4°C olan camsı geçiş sıcaklığı (T_g) değerinin PEIT'e PTPE ilavesi ile birlikte düştüğü görülmektedir.

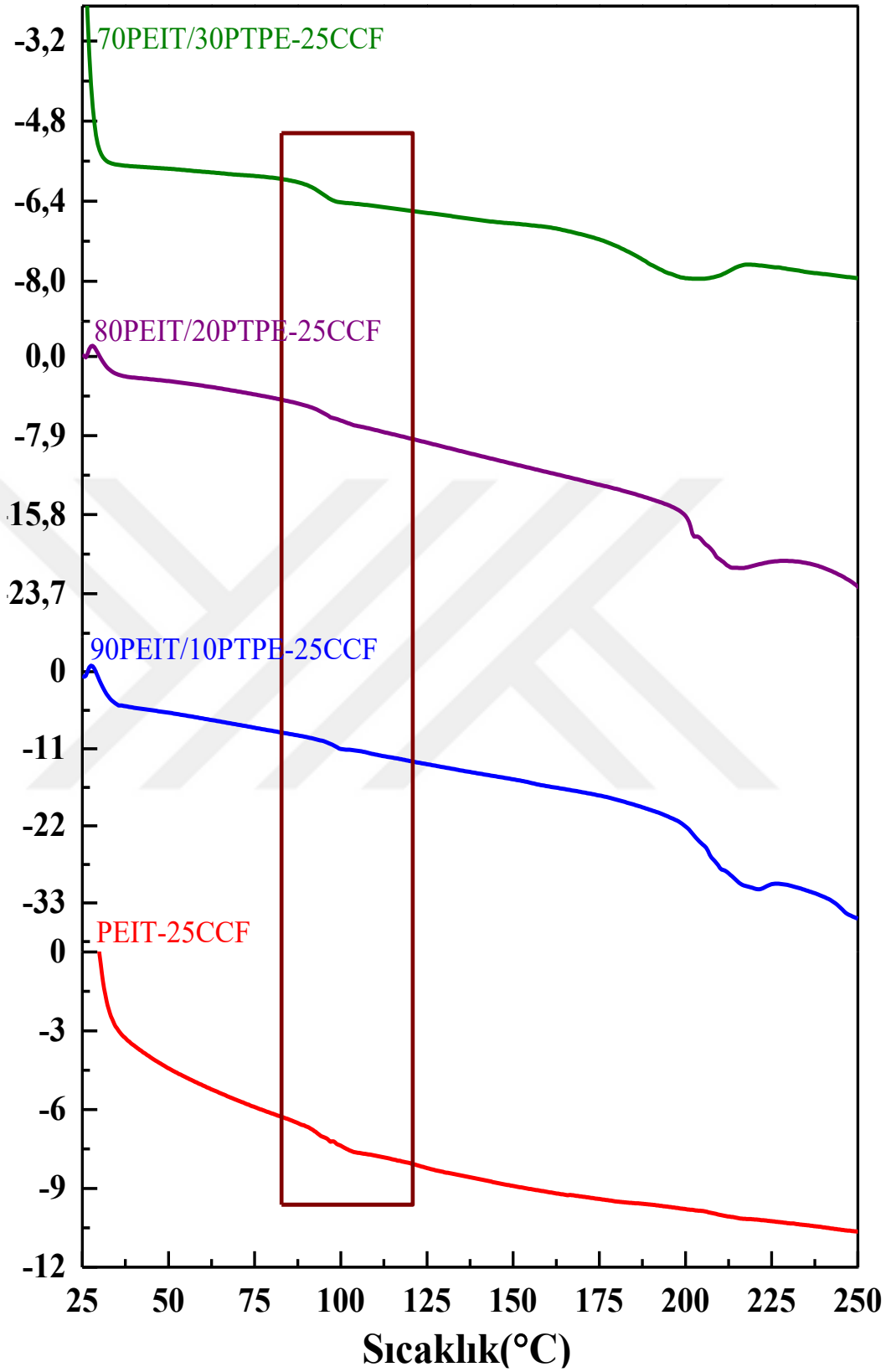
Bir başka ifadeyle, PTPE ilavesi PEIT'in zincir hareketliliğini az da olsa etkilemiş ve camsı geçiş sıcaklığı değerini değiştirmiştir. Bununla birlikte PEIT-CCF kompozitinin T_g değerinin saf PEIT ile kıyaslandığında benzer bir trend sergilediği tespit edilmiştir. Bu bulgu beklenen bir değişim olmamakla birlikte, karbon elyaf ve PTPE ile toklaştırılmış PEIT arasındaki zayıf arayüzey etkileşimine bağlanabilir. Bununla birlikte %30 PTPE içeren PEIT/PTPE karışımı ile kıyaslandığında karbon elyaf ilavesiyle birlikte 70PEIT/30PTPE-25CCF örneğinin camsı geçiş sıcaklığının bir miktar da olsa arttığı gözlenmiştir. Bu durum CCF içeren 90PEIT/10PTPE-25CCF ve 80PEIT/20PTPE-25CCF ile kıyaslandığında 70PEIT/30PTPE-25CCF karışımı ile karbon elyaf arasındaki etkileşimin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgular Bölüm 4.1'deki SEM sonuçlarında ele alınmıştır.

Şekil 4.39'dan görüleceği üzere saf PEIT 198-226°C aralığında bir erime endotermi vermektedir. PEIT'e PTPE ilavesiyle birlikte saf PEIT'in erime sıcaklık aralığı hemen hemen aynı kalırken, 5,1 J/g olan erime entalpisi değerinin arttığı görülmektedir (Tablo 4.7). Erime entalpisinde meydana gelen bu azalış PTPE'in artan miktarlarda kullanılmasıyla devam etmektedir. Elde edilen bu sonuçlar PTPE varlığında PEIT'in kristal morfolojisinin değiştiğini göstermektedir.

Karbon elyaf ilavesiyle birlikte PEIT'in erime sıcaklığında nispi bir artış tespit edilmiştir. Bununla birlikte PEIT-CCF kompozitine PTPE ilavesiyle birlikte de erime sıcaklıkları azalmıştır. Ayrıca PEIT'e CCF ilavesiyle birlikte erime entalpisi değerinin 0,37 J/g gibi çok küçük bir değer sergilediği tespit edilmiştir. Bu durum CCF ilavesinin PEIT'in kristallenmesini baskılamasından kaynaklanmıştır. Elde edilen bu bulgu PEIT/PTPE karışımları için geçerlidir. Ayrıca CCF içeren karışımlarda en düşük erime entalpisi değeri 70PEIT/30PTPE-25CCF karışımı için elde edilmiştir. Bu durum elyaf matris arayüzey etkileşiminin artmasıyla birlikte PEIT zincirlerinin bir araya gelmesinden kaynaklanmıştır.



Şekil 4.39. PTPPE yükleme oranına bağlı olarak PEIT numunelerinin DSC termogramları



Şekil 4.40. CCF yükleme oranına bağlı olarak PEIT/PTPE numunelerinin DSC termogramları

Tablo 4.7. Saf PTPE, saf PEIT, PEIT-PTPE ve PEIT-PTPE-CCF karışımlarına ait DSC analiz sonuçları

| Numune | T _g (°C) | T _m (°C) | ΔH _m (J/g) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| PTPE* | - | 197,1 | - |
| PEIT | 98,4 | 211,5 | 5,1 |
| 90PEIT/10PTPE | 97,4 | 214,6 | 31,7 |
| 80PEIT/20PTPE | 95,0 | 212,0 | 40,8 |
| 70PEIT/30PTPE | 93,0 | 217,6 | 16,3 |
| PEIT/25CCF | 99,3 | 215,48 | 0,37 |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 97,7 | 203,4 | 10,6 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 97,0 | 205,4 | 20,5 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 95,3 | 198,7 | 6,6 |

*(Uzuner, 2020)

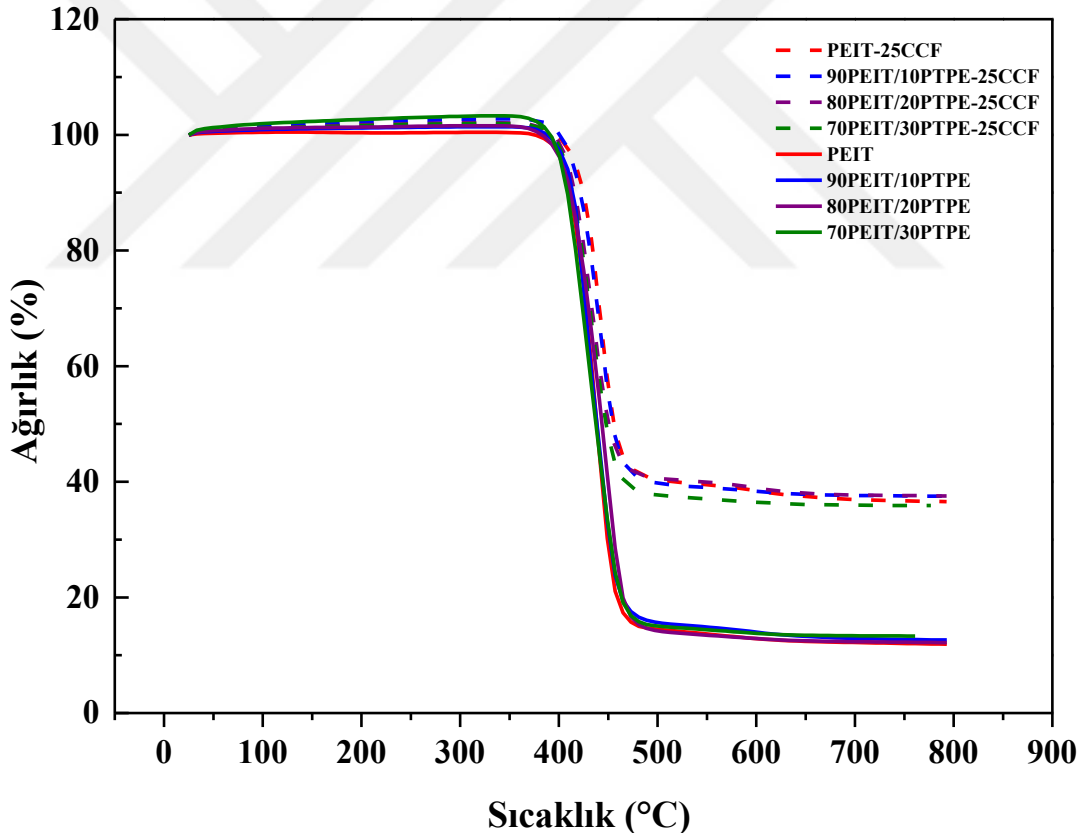
4.11. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

Saf PEIT, PEIT/PTPE ve PEIT/PTPE-CCF örneklerinin ısıl kararlılığını analiz etmek için TGA testi yapılmıştır. Şekil 4.41’de hazırlanan tüm örneklerin TGA eğrileri verilmiştir. TGA eğrilerinden elde edilen sayısal veriler Tablo 4.8’de özetlenmiştir. Saf PEIT’in 395,82°C’de %5 kütle kaybına uğradığı (T_{d5}), 403,17°C’de %10 kütle kaybına uğradığı (T_{d10}) ve maksimum kütle kaybına uğradığı bozunma sıcaklığının (T_{dmak}) ise 430,31°C olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte Tablo 4.8’den görüleceği üzere PTPE ilavesiyle birlikte PEIT’in ısıl kararlılığının iyileştiği gözlemlenmiştir.

Karbon elyaf ilavesiyle birlikte saf PEIT’in T_{d5} sıcaklık değerinin yaklaşık 30°C arttığı belirlenmiştir. Bu durumun karbon elyaf ilavesinin polimer matrise gelen ısıl enerjiyi fiziksel bir bariyer gibi davranarak arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca karbon elyaf varlığında örneklerin % kül miktarlarının da önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

Literatürde de benzer bulgular elde edilmiştir. Karbon elyafın 400°C'nin üzerinde ağırlık kaybına uğramaya başladığı ve 850°C'de tamamen bozunduğu ifade edilmiştir (Minus vd., 2005). Dolayısıyla karbon elyafın ısıl kararlılığının PEIT'den yüksek olması PEIT'e CCF ilavesi ile birlikte örneğin ısıl kararlılığını iyileştirmiştir.

Literatürde farklı elyaf takviyeli polimer kompozit sistemler için elyaf miktarına bağlı olarak polimerlerin ısıl kararlılıklarının iyileştiği rapor edilmiştir (Park vd., 2014). Bölüm 4.12'de sınırlayıcı oksijen indeks analizlerinde de tartışılacağı üzere polimer karışımına karbon elyaf takviyesi ile termal ve yanma özellikleri iyileşmiştir. Ancak PEIT-CCF kompozitine PTPE ilavesiyle birlikte verilen herhangi bir kütle kaybındaki sıcaklık değerlerinin daha düşük değerlere kayması PTPE'nin ısıl kararlılığının CCF'den düşük olmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 4.41. Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin TGA eğrileri

Tablo 4.8. Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE/CCF kompozitlerinin TGA analiz sonuçları

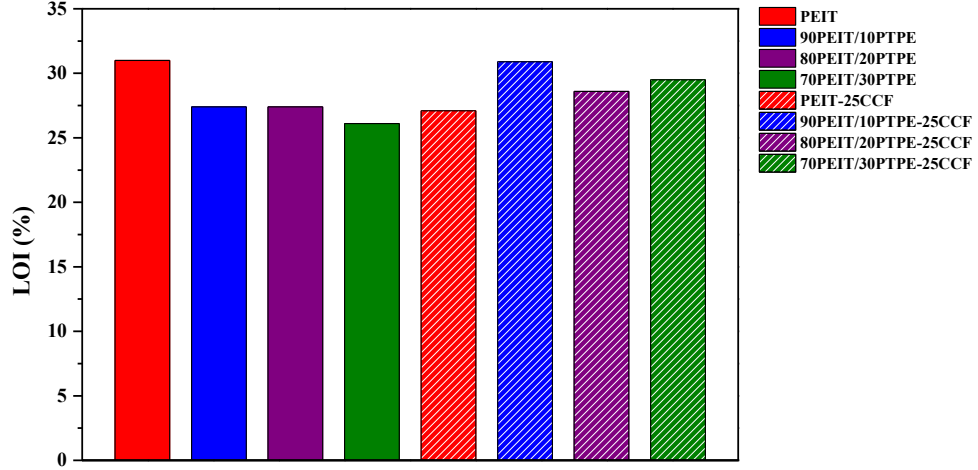
| Numune | Td _{5%} (°C) | Td _{10%} (°C) | Td _{mak} (°C) | Kül miktarı (%) 800°C |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| PEIT | 395,82 | 403,17 | 430,31 | 11,86 |
| 90PEIT/10PTPE | 406,56 | 415,04 | 430,87 | 12,64 |
| 80PEIT/20PTPE | 407,13 | 413,91 | 441,05 | 12,18 |
| 70PEIT/30PTPE | 402,61 | 408,67 | 430,87 | 13,32 |
| PEIT/25CCF | 424,65 | 416,74 | 442,18 | 36,56 |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 414,48 | 421,83 | 441,05 | 37,49 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 416,17 | 409,39 | 434,26 | 37,54 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 413,91 | 407,13 | 432,00 | 35,86 |

4.12. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI)

Plastik malzemeler yanıcı olma eğilimindedir ve kolayca tutuşabilirler. Bu nedenle plastiklerin kullanım yerlerini belirlemeden önce yanıcılık özellikleri tespit edilmelidir. LOI testi, polimerik malzemelerin yanma özelliklerinin analizi için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Saf PEIT, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE-CCF kompozitleri için sınırlayıcı oksijen indeksi analiz sonuçları Tablo 4.9'de verilmiştir.

Tablo 4.9. LOI analiz sonuçları

| Numune | LOI (%O ₂) | Yanma Süresi (sn) |
|----------------------------|------------------------|-------------------|
| PEIT | 31.0 | 26 |
| 90PEIT/10PTPE | 27.4 | 35 |
| 80PEIT/20PTPE | 27.4 | 34 |
| 70PEIT/30PTPE | 26.1 | 26 |
| PEIT-25CCF | 27.1 | 217 |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 30.0 | 132 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 28.6 | 143 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 29.5 | 149 |



Şekil 4.42. Örneklerin LOI değerleri

LOI değeri, bir malzemenin yanması için gerekli minimum oksijen miktarıdır. Genellikle LOI değeri %25'in üzerinde, yani yanma için gerekli olan %25 O₂'ye sahip malzemeler havadaki kendi kendine sönen malzemelerdir. Yanmaya dayanıklıdır. En düşük LOI değerine sahip malzemeler kolayca tutuşur ve yanar (ÖZ, 2006).

Literatürde saf poli(etilen tereftalat)'ın (PET) LOI değerinin 22,0 olduğu görülmektedir (ÖZ, 2006). Saf PEIT'in LOI sonucu 31,0 olarak belirlenmiştir. Yani PEIT'in yanma direnci PET'e göre oldukça iyidir. Saf PEIT'e PTPE eklendiğinde LOI değerlerinin düştüğü görülmektedir. Buna rağmen PEIT/PTPE karışımları sınırlı alev geciktirici özelliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

LOI değerleri, CCF'nin PEIT/PTPE karışımlarına ilavesi ile artar. Saf PEIT en yüksek LOI değerini gösterirken, kompozitler düşünüldüğünde 90PEIT/10PTPE-25CCF kompoziti en yüksek LOI değerini göstermiştir. %10 ve %30 PTPE katkılı kompozitlerin alev geciktirici özellikler gösterdiğini söylemek mümkündür.

Elyaf ilavesiyle LOI değerinin artması, polimer üzerinde kömür tabakasının oluşmasıyla açıklanabilir. Oluşan bu kömür tabakası fiziksel bir bariyer gibi davranarak malzemenin kütle ve ısı transferini kesmektedir(Çoban, 2017).

4.13. Elektriksel İletkenlik Sonuçları

Malzemeler elektriği iletip iletememe durumuna göre iletken, yarı iletken ve iletken olmayan olarak üç başlık altında sınıflandırılır. Polimerlerin yüzey direnci genel olarak 10¹²- 10¹³ ohm değerlerindedir. Polimerlere eklenen katkılar, dolgular ya da takviye edici malzemeler ile bu değer düşürülebilmektedir. Yüzey direnci 10¹⁰ ila 10¹² ohm

arasında ise malzemeler antistatik, yüzey direnci 10^6 ile 10^{10} ohm arasında ise yarı iletken olarak belirtilmektedir. Yüzey direnci 10^6 ohm değerinin altında ise malzeme iletken olarak adlandırılabilir. Polimerler, tarih boyunca ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlık özellikleri bakımından kullanılmaktadır. İletkenlik ve değerlik bantları arasında enerji farklarının büyük olmasından dolayı polimerler elektriksel olarak yalıtkandır. Yaygın olarak 10^{-20} kullanılan ticari polimerler, iletkenlik değerleri Siemens/santimetre (S/cm) seviyelerinde olan ve yalıtkan olarak sınıflandırılan malzemelerdir. Elektriksel iletkenlik istenilen kullanım alanlarında metaller tercih edilmektedir. Ancak metaller polimerlere kıyasla şekil vermek daha zordur. Ayrıca metaller polimerlere nazaran daha ağır ve pahalıdır. Bu gibi olumsuz durumları bertaraf etmek için bilim insanları polimer iletkenliğine odaklanmıştır. Poliasetilen, polianilin, polipirol polifenilen gibi polimerlerde iletkenlik, yapılarındaki konjuge çift bağlar üzerinden elektron taşınımına dayanır ve bu polimerlere elektron sağlayan asitlerin (HCl, HBr gibi) dop etmesiyle iletkenlik artırılır. Diğer bir alternatif yöntem ise yalıtkan polimerlerin karbon esaslı takviyelerle kompozitinin sağlanmasıdır. Bu yöntemde oluşan kompozitlerinin iletkenlik değeri daha yüksek olması ve bunun yanı sıra kompozitlerin hazırlanma sürecinin daha kolay olması, maliyetin daha düşük olması sebebiyle kendiliğinden iletken polimerlere göre tercih sebebidir (Yıldırım, 2016; Zhao vd., 2019). Bu yüksek lisans tez çalışmasında, yalıtkan polimer karışımlar kırılmış karbon elyaf ile kompozit haline getirilerek elektriksel iletkenliğine bakılmıştır.

Tablo 4.10. Örneklerin yüzey dirençleri ve iletkenlikleri

| Numune | Direnç Ω (ohm) | Özdirenç ρ (ohm.cm) | İletkenlik σ (S/cm) |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| PEIT | 10^8 | 4×10^7 | $2,5 \times 10^{-8}$ |
| 90PEIT/10PTPE | 10^9 | 4×10^8 | $2,5 \times 10^{-9}$ |
| 80PEIT/20PTPE | 10^9 | 4×10^8 | $2,5 \times 10^{-9}$ |
| 70PEIT/30PTPE | 10^9 | 4×10^8 | $2,5 \times 10^{-9}$ |
| PEIT-25CCF | 10^3 | 4×10^2 | $2,5 \times 10^{-3}$ |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 10^3 | 4×10^2 | $2,5 \times 10^{-3}$ |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 10^4 | 4×10^3 | $2,5 \times 10^{-4}$ |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 10^4 | 4×10^3 | $2,5 \times 10^{-4}$ |

Kompozitlerin yüzey dirençleri verilmiştir ve yüzey iletkenliğine geçilmiştir.(Tekin, y.y.)

$$\rho = R \frac{A}{L} \text{ (ohm. cm)} \quad (4.1)$$

R: direnç [Ω], L: uzunluk [cm] olmak üzere formülü ile hesaplanır.

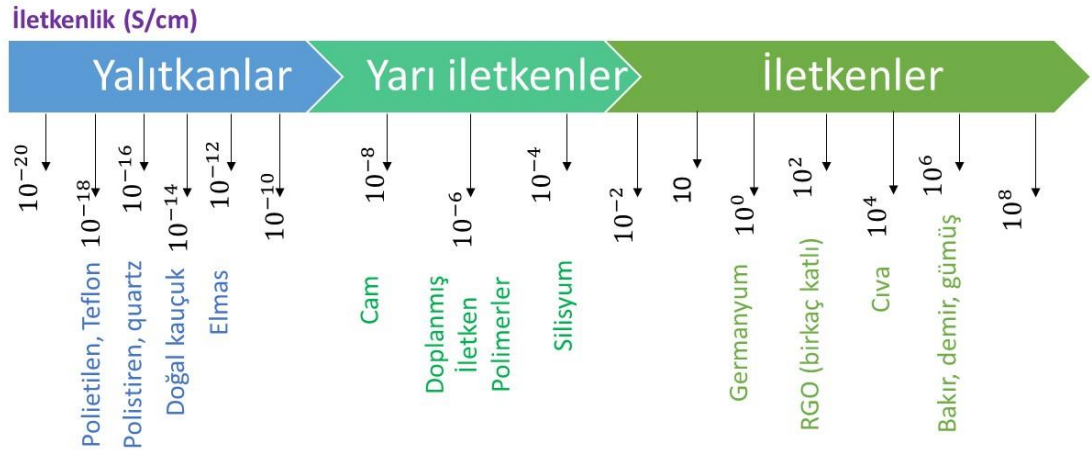
A ile ifade edilen kesit alanı;

$$A = w \cdot L \text{ (cm}^2\text{)} \quad (4.2)$$

malzemenin genişliği (w) ve kalınlığı (t) olmak üzere hesaplanır.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ (ohm. cm)}^{-1} \quad (4.3)$$

Aşağıda Şekil 4.43'da bazı malzemelerin iletkenlik değerleri (S/cm) ve sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 4.43. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında iletkenlik değerleri

Polimerlerde elektronik iletkenlik gözlenebilmesi için, polimer zincirlerinde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması gerekir. Bu koşulu ana zincirde konjuge çift bağlar bulunan polimerler sağlar. Polimer zincirleri arası yük transferi ve bir molekülden diğerine yük taşıyıcılarının hareketi elektron hopping (atlama) yardımıyla açıklanmaktadır. Hopping kuralı, polimerlerin iletkenliğini belirleyen yüklerin zincirler arasındaki hareketini esas alır. İndirgenme ve yükseltgenme ile polimer zinciri üzerinde meydana gelen iyonik halde yüklerin bir molekülden diğerine transferini bu sistemi daha iyi açıklamaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında ise toklaştırma amaçlı kullanılan PTPE'nin yapısı gereği amorf kısımda zincirler birbirine yakın değildir. Zincirlerin birbirine yakın olmaması nedeniyle elektronların zincir üzerinde hareket etmesine direnç göstermektedir. PEIT'in yapısında ise kristaller bulunmaktadır. PEIT'in iletkenliği PTPE'ye göre nispeten daha iyidir. Bu çalışmada kristal olan bir polimere amorf polimer ilavesiyle kristallik bozulmaktadır. Diğer bir deyişle iletkenlik azalmaktadır (Aydın, 2007). Görüldüğü gibi saf PEIT'in elektriksel iletkenliği 10^{-8} mertebesindeyken, PTPE ilavesiyle bu değer 10^{-9} S/cm'ye düşmektedir. Bir başka şekilde açıklayacak olursak, PTPE'nin T_g 'si yaklaşık -74°C olup oldukça düşüktür. Zincirler arası mesafe fazladır dolayısıyla elektron hopping gözlenmemektedir. Karışıma karbon elyaf takviyesiyle her bir kompozit malzemenin elektriksel iletkenliği saf polimerin elektriksel iletkenliğine göre artış göstermiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kompozit malzemeye karbon elyafların yüksek elektriksel iletkenlik özelliği kazandırdığı saptanmıştır. Saf PEIT'in 10^8 olan direnç değeri PEIT-25CCF ile 10^3 'e düşmüştür. Dirençteki 10^5 mertebesindeki düşüş karbon elyafların mükemmel elektriksel iletkenlik özellik sağladığının göstergesidir. Bu durumda, elektronların karbon elyaflar üzerinden atlayabildiği söylenebilir. Ancak yine sisteme PTPE dahil edildiğinde elektrik iletkenlik değerlerinde küçük de olsa düşüşler gözlenmiştir.

Elektriksel iletkenlik analizlerinde PTPE oranı arttıkça iletkenliğin azalması beklenmektedir. 70PEIT/30PTPE-25CCF numunesinde elastomer miktarı en fazladır. Elastomer miktarı numuneye iletkenlik katan karbon elyafı domine etmiştir.

4.14. Parlaklık Ölçümleri

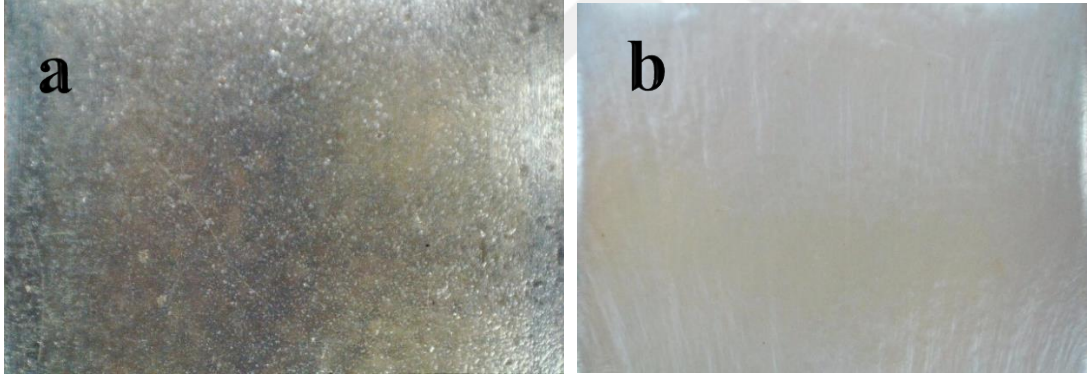
Polimerlerin pus, parlaklık, şeffaflık ve renk gibi optik özellikleri ticari uygulamalarda oldukça önemlidir. Tüketicinin nihai üründe yüzeyin parlaklığı güçlü yüzeydir algısı ürünün değerini oldukça arttırmaktadır. Parlaklık, polimer yüzeyin ışığı belirli bir yönde yansıtma kapasitesidir. Parlaklık değeri GU ile ifade edilmektedir. Malzemenin ışık geçirgenliğine göre optik özellikler opak, yarı saydam ve saydam olarak sınıflandırılır (URL-4).

PEIT/PTPE karışımlarının numune yüzeylerine bakıldığında iyi yüzey görünümü ve parlaklık olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.44) Literatürde büyük ölçüde enjeksiyon kalıplı

cihazlar ve otomotiv bileşenleri için parlak yüzeyli malzemeler kullanıldığı ifade edilmiştir. Dumoulin ve ark. yaptığı bir çalışmada PET/PBT karışımları sonucu üretilen nihai ürünün iyi yüzey görünümü ve parlaklık verdiği tespit edilmiştir (Utracki, 2013). Parlaklık değeri, numunenin yüzey (pürüzlülük, doku gibi) özelliklerinden ya da örneğin kalıbı tam doldurup dolduramamasından etkilenir.



Şekil 4.44. PEIT/PTPE karışımlarında numune yüzey parlaklığı



Şekil 4.45. Seçilen örneklerin mikroskopta yüzey görünümü a)PEIT b)PEIT/PTPE

Örneklerin parlaklığı malzemenin amorf ya da kristal olması ile ilişkilidir. Örneğin yüzeyinde bulunan kristaller ne kadar küçük tanecikliyse numune o kadar parlak olmaktadır. Amorf polimerler parlaklık özelliği gösterdiğinden görsellik isteyen uygulamalarda kullanılır. Kristalin polimerler ise mikroskopta incelendiğinde yüzeyde portakal kabuğu görünümü oluşmaktadır. Saf PEIT'in ve 80PEIT/20PTPE'nin yüzeylerine mikroskopta bakılmış Şekil 4.45'de verilmiştir. PEIT'in PTPE'ye göre daha kristal olmasıyla nedeniyle PEIT'in mikroskop görüntüsünde portakal kabuğu etkisi gözlenmiştir. Saf PEIT nispeten daha pürüzlü bir görüntüye sahiptir. PEIT içerisine %20 elastomer ilavesiyle parlaklık artmıştır. Tablo 4.11 'de saf PEIT, saf PTPE, PEIT/PTPE karışımları ve PEIT/PTPE-CCF karışımlarının parlaklık değerleri

listelenmiştir. Saf PEIT'in parlaklığı numunenin şeffaf olmasından dolayı okunamamaktadır. Saf PTPE'nin ise 20,7 GU'dur. Bu iki malzemenin karıştırılmasıyla elde edilen numunelerde ise parlaklık artmıştır. Karışımlarda PTPE oranı %10'dan %20'ye çıktığında parlaklık en yüksek değeri görmüş olup 86,9 GU değerindedir. PTPE oranının %20'den %30'a artmasıyla GU değerinde hafif bir düşme gözlemlenmiştir. Bu düşmenin nedeni faz boyutlarının büyümesi olabilir.

Tablo 4.11. Örneklerin parlaklık değerleri (GU)

| Numune | Parlaklık (GU) |
|----------------------------|-----------------------|
| PEIT | - |
| PTPE | 20,7 |
| 90PEIT/10PTPE | 67,6 |
| 80PEIT/20PTPE | 86,9 |
| 70PEIT/30PTPE | 83,4 |
| PEIT-25CCF | 12,4 |
| 90PEIT/10PTPE-25CCF | 13,0 |
| 80PEIT/20PTPE-25CCF | 10,4 |
| 70PEIT/30PTPE-25CCF | 10,8 |

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında, PET'in izosorbit monomeri ile yapılan kopolimeri PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarına karbon elyaf takviyesiyle kompozitler hazırlanmıştır. Karbon elyaf takviyesi ve PTPE'nin yükleme oranı değişken olarak ele alınmıştır. Karışımlar eriyik harmanlama yöntemi ile hazırlanmış ve enjeksiyon kalıplama cihazı ile kalıplana kullanılarak test örnekleri elde edilmiştir. Eriyik viskozite değerleri harmanlama esnasında zamana karşı kaydedilen dikey kuvvet ölçümleri ile belirlenmiştir. Hazırlanan kompozitler kül fırınında yakılarak optik mikroskop ile elyaf boyut analizlerine bakılmıştır. Bileşenler arasındaki etkileşimler FTIR analizleriyle, reolojik özellikler salınımlı dönel reometre yardımı ile, mekanik özellikler çekme ve darbe testleri ile, termo–mekanik özellikler DMA ile, morfolojik yapılar SEM ile, termal özellikler DSC ve TGA ile yanma özellikleri LOI ile belirlenmiştir. Kompozitlerin yüzey elektriksel iletkenleri de ölçülmüştür. Ek olarak numunelere parlaklık analizi yapılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının öne çıkan sonuçları aşağıda maddelenmektedir.

- ✓ SEM analiz sonuçları PEIT/PTPE karışımları arasında herhangi bir faz ayrımı olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla PEIT ve PTPE'nin kısmen karışabilen polimerler olduğu söylemek mümkündür. PEIT/PTPE karışımlarına elyaf ilavesiyle oluşan kompozitlerde; PEIT – CCF arasındaki yapışmanın PTPE'nin artan yükleme oranlarında kullanılması ile birlikte arttığını gözlenmiştir.
- ✓ Karbon elyaf boyut dağılımı optik mikroskopla tayin edilmiş ve termoplastik elastomer konsantrasyonu arttıkça, elyaf boyutlarında kırılma oranı azalmıştır. Elyaf ve matris arasındaki arayüzey etkileşimleri elyaf uzunluğunu etkilediği tespit edilmiş ve SEM analiz sonuçlarının da desteklediği gibi arayüzey yapışmasının en iyi olduğu örnekte 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinde en uzun elyaflar elde edilmiştir.
- ✓ FTIR analizleri için PEIT ve elyaf arasında ya da PTPE ve elyaf arasında bir etkileşim olmadığı açığa çıkarken, PEIT ve PTPE polimerlerinin arasında transesterifikasyon tepkimelerinin olduğu söylenebilir.

- ✓ Dikey kuvvet değerleri ile eriyik viskozitesi hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. PEIT'in kohesiv enerji yoğunluğunun PTPE'den daha yüksek olmasından ötürü PTPE'nin dikey kuvvet değerleri PEIT'den daha düşük gelmiştir. PEIT/PTPE karışımlarının tümünde kayma incelmesi gözlenmiş bu durum örneklerin proses edilebilirliğinin kolaylaşması açısından bir avantaj oluşturmuştur. Elyaf boyut kırılmalarını önlemek amacıyla 30 saniye CCF eklenmiş ve kompozitlerin eriyik viskozitesinde ani artışlar gözlenmiştir. Çünkü karbon elyaf ilavesi ile zincir hareketliliğinin kısıtlanmıştır.
- ✓ Reolojik analiz sonuçları ise PTPE içerisinde bulunan esnek gruplar nedeniyle saf PEIT'in saf PTPE'ye göre daha yüksek kompleks viskozite sergilediğini anlaşılmaktadır. PEIT/PTPE karışımlarının tamamında PTPE yükleme oranından bağımsız olarak CCF içeren kompozit malzemelerin kompleks viskozite değerlerinin tamamının saf PEIT'den ve CCF içermeyen karışımlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PEIT/PTPE karışımlarına CCF ilavesiyle özellikle yüksek frekansta depo modülü artmıştır. PEIT/PTPE karışımlarının depo modülü ile kıyaslandığında PEIT/PTPE-CCF kompozitlerinin deformasyon sonucunda büyük miktarda enerji depolayabildiği tespit edilmiştir. Açısız frekans ile depo modülü arasındaki değişimlere benzer sonuçlar kayıp modül değerlerinde de gözlemlenmiştir.
- ✓ Mekanik analiz için çekme testi yapılmıştır. PEIT'in düşük olan çekme tokluğu PTPE ilavesi ile birlikte artırılmış, ancak PTPE varlığında düşen modül ve çekme dayanımı değerleri ise CCF katkısı ve PTPE konsantrasyonuna bağlı olarak geri kazanılmıştır.
- ✓ Darbe testi diğer bir mekanik analiz çeşididir. Çekme testinden elde edilen kopmada uzama ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklere benzer şekilde 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinin en yüksek Izod darbe dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Dinamik mekanik analiz sonuçlarından elde edilen edinimler şöyledir; PTPE ilavesi ile birlikte saf PEIT'in depo modül değeri düşmüştür. PTPE konsantrasyonunun artmasıyla depo modülünde azalış devam etmiştir. Bu durum PTPE'nin PEIT ile kıyaslandığında daha esnek olan yapısıyla ilgilidir. PEIT/PTPE karışımlarına CCF ilavesi ile birlikte PEIT/PTPE harmanlarının herhangi bir

yükleme oranıyla karşılaştırıldığında daha yüksek depo modülü değerleri elde edilmiştir. Tanδ değerleri camsı geçiş sıcaklıkları hakkında bilgi vermektedir. Saf PEIT'e PTPE ilavesiyle birlikte T_g 'si çok fazla değişmeden kaldığı görülmektedir. Ancak CCF ilavesiyle birlikte nihai yapıların T_g 'si artmaktadır.

- ✓ Isıl analizler için yapılan DSC analiz sonuçları saf PEIT'e PTPE ilavesi zincir hareketliliğini etkilememiş ve camsı geçiş sıcaklığı değerini değiştirmedini göstermiştir. PEIT'e elyaf ilavesiyle T_g artmış ancak PEIT – CCF kompozitine PTPE ilavesiyle T_g azalmıştır. Bu polimer zincirler arası serbest hacmin artması ile ilgilidir.
- ✓ TGA sonuçları saf polimere ya da polimer karışımlarına karbon elyaf ilavesiyle ısıl kararlılığın arttığını göstermiştir.
- ✓ LOI testiyle PEIT/PTPE karışımlarının sınırlı alev geciktirici özelliğe sahip olduğunu, %10 ve %30 PTPE katkılı kompozitlerin alev geciktirici özellikler gösterdiğini tespit edilmiştir.
- ✓ Elektriksel iletkenlik sonuçlarına göre saf PEIT ve PEIT/PTPE karışımlarının direnç değerleri oldukça yüksek gözlemlenmiştir. Sisteme karbon elyafların yüksek elektriksel iletkenlik özelliği kazandırdığı saptanmıştır. Saf PEIT'in 10^8 olan direnç değeri PEIT-25CCF ile 10^3 'e düşmüştür. Sisteme PTPE dahil edildiğinde elektrik direnç değerlerinde küçük de olsa artışlar gözlenmiştir.
- ✓ Optik özelliklerin tespiti için parlaklık analizi yapılmıştır. Numunenin pürüzlülük, doku gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Saf PEIT nispeten daha pürüzlü bir görüntüye sahiptir. PEIT içerisine %20 elastomer ilavesiyle parlaklık artmıştır.

Genel bir yorum yapılacak olunursa PEIT'in olumsuz özelliklerini bertaraf etmek adına kauçuk ile toklaştırma yapılmış ve elyafla takviye edilmiştir. Elyafli sistemlerde arayüzey yapışması oldukça önemlidir. 70PEIT/30PTPE-25CCF kompozitinin diğer örneklerle kıyasla reolojik, morfolojik ve mekanik özellikler bakımından üstün geldiği tespit edilmiştir.

Türkiye Plastik Sanayileri Derneği 2014 raporuna göre, kişi başı plastik kullanımı 74 kg'dır ve her geçen yıl bu sayı artış göstermektedir (URL-6). Bu bağlamda, geri dönüştürülebilirlik, biyobozunurluk, alternatif ürünlere yönelmek, ekolojik ayak izini düşürecek çalışmalarda bulunmak yeşil bir çevre için oldukça önemlidir. Bu yüksek lisans tez çalışması literatürde ilk defa PEIT'in kauçukla toklaştırılmış elyaf takviyeli

kompozitlerinin özelliklerini incelemiştir. PEIT'in karbon ayak izi poliesterlere kıyasla oldukça iyidir. PEIT'in mekanik özellikleri en yakın rakibi PET'e göre daha iyidir. Nihai ürün mühendislik plastikleri olarak, otomotiv, havacılık, beyaz eşya, dijital eşyaların yüzeylerinde gibi kullanım alanlarında kullanılmaya adaydır. Dolayısıyla ileriye dönük çalışmalara yol göstereceği ön görülmektedir. Elde edilen birikim ve deneyim sonucunda araştırmacılara aşağıdaki öneriler maddelenmektedir.

- ✓ Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan kırılmış karbon elyafların elyaf uzunluğu 6 mm'dir. Proses koşullarında 180-200 nm'ye kadar düşmüştür. Bu oran kritik elyaf uzunluğundan oldukça düşüktür. Bu nedenle, farklı proses koşulları üzerine araştırma yapıp optimum proses koşulları tespit edilebilir. Ek olarak, bu çalışmada kullanılan mikroharmanlayıcı ve enjeksiyon cihazları genel kullanım içindir. Uygun vida tasarımı ile elyaf boyutu, kritik elyaf boyutu üzerine taşınabilir.
- ✓ Bu tez çalışması elastomer miktarının oranının prosese etkisini incelemiştir. PEIT/PTPE karışımlarına takviye edilen karbon elyaf oranı değiştirilerek çalışılabilir. Bu sayede perkolasyon oranı belirlenebilir.
- ✓ Çalışma esnasında transesterleşme tepkimelerinin olabileceği literatürden destekle öngörülmüştür. Ancak yapılan analizler sonucu net bir kanıya varılamamıştır. Çeşitli çok fonksiyonlu epoksiler, izosiyanatlar gibi uyumlaştırıcılarla sisteme ekleyerek, reaksiyonlar gözlenebilir.
- ✓ Kırılmış karbon elyafın elektriksel iletkenliği kazandırdığı tespit edilmiştir. Farklı oranlarda elyaf miktarı ile perkolasyona etkisi tespit edilebilir. Ayrıca elyaf türü değiştirilerek sisteme etkisi gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

Acar I., Polietilen Tereftalat (PET)'in Biyolojik Bozunabilen Ara Ürünlerle Modifikasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 130840.

Adelman D. J., Charbonneau L. F., Sophie U., Process for Making Poly(ethylene co-isosorbide) terephthalate Polymer, 2003, U. S. Patent No. 6,656,577 B1, United States Patent.

Adnan A., Shah J., Jan M., Effect of polyethylene terephthalate on the catalytic pyrolysis of polystyrene: Investigation of the liquid products, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2015, **51**, 96-102

ASTM D1566, Standard Terminology Relating to Rubber, *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, 2008.

Aravinthan G., Kale D. D., Blends of Poly(ethylene Terephthalate) and Poly(butylene Terephthalate), *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, **98**(1), 75–82.

Arıcioglu M. K., Mert B., Soydan Y., Polimer Malzemelerin Mekanik Analiz Yöntemleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2000, **4**(1–2), 51–58.

Aydın Z., İletken Poli(Etilen Teraftalat)/Polipirol Kompozit Liflerinin Kimyasal Polimerizasyonla Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 213818.

Balbay Ş., UV Kürlendirilmiş Hibrid Sol Jel Yöntemiyle Polistiren Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2019, **7**(3), 480–486.

Besse V., Auvergne R., Carlotti S., Boutevin G., Otazaghine B., Caillol S., Pascault J. P., Boutevin B., Synthesis of isosorbide based polyurethanes: An isocyanate free method, *Reactive and Functional Polymers*, 2013, **73**(3), 588–594.

Bora M. Ö., Polimer Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Yüklemeleri Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007, 233134.

Can S., Farklı Zincir Uzaticılar Kullanılarak Geri Kazanılmış PET/PEN Karışımlarının Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 372713.

Çelikçi H., Karbon Elyaf Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, 2013, 343215.

Cho J. W., Paul D. R., Glass fiber-reinforced polyamide composites toughened with ABS and EPR-g-MA, *Journal of Applied Polymer Science*, 2001, **80**(3), 484–497.

Chung D. D. L., *Carbon Fiber Composites*, Butterworth-Heinemann, 1994.

Çoban M., Farklı Nano Katkıların Ve Kabaran Alev Geciktiricili Sistemin Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit)'in Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017, 494759.

Corrêa R. A., Nunes R. C. R., Franco Filho W. Z., Effect of injections on the orientation of short fibre composites. An optical microscopic analysis, *Polymer Testing*, 1996, **15**(5), 467–475.

Dehghani A., Madadi Ardekani S., Al-Maadeed M. A., Hassan A., Wahit M. U., Mechanical and Thermal Properties of Date Palm Leaf Fiber Reinforced Recycled Poly (ethylene terephthalate) Composites, *Materials & Design (1980-2015)*, 2013, **52**, 841–848.

Di Gianfrancesco A., Technologies for chemical analyses, microstructural and inspection investigations, *Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants*, DOI: 10.1016/B978-0-08-100552-1.00008-7.

Dos Santos Pereira A. P., Da Silva M. H. P., Lima É. P., Dos Santos Paula A., Tommasini F. J., Processing and Characterization of PET Composites Reinforced with Geopolymer Concrete Waste, *Materials Research*, 2017, **20**, 411–420.

Ebewele R. O., *Polymer Science and Technology*, CRC Press, Nigeria, 2000.

Erdal D. Y., Yılıgör E., Yılıgör İ., Baysal B., Polietilentereftalat (PET) ve Polkarbonat (PC) Karışımları Üzerine Transesterifikasyon Çalışmaları, *12. Ulusal Kimya Kongresi*, Edirne, Türkiye, 2000.

Escala A., Stein R. S., Crystallization Studies of Blends of Polyethylene Terephthalate and Polybutylene Terephthalate, *American Chemical Society*, DOI: 10.1021/ba-1979-0176.ch024.

Fried J. R., *Polymer Science And Technology*, 3rd ed., Prentice Hall, Florida, 2014.

Fu S. Y., Hu X., Yue C. Y., The Flexural Modulus of Misaligned Short-Fiber-Reinforced Polymers, *Composites Science and Technology*, 1999, **59**(10), 1533–1542.

Fu S. Y., Lauke B., Mäder E., Yue C. Y., Hu X., Tensile Properties of Short Glass Fiber and Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2000, **31**(10), 1117–1125.

Furukawa T., Kamiya T., Nakamura A., Sagamihara-shi, Fiberglass Reinforced Polyethylene Terephthalate, 1968, U. S. Patent No. 3,368,995, Japonya.

Ghayur A., Verheyen T. V., Modelling a Biorefinery Concept Producing Carbon Fibre-Polybutylene Succinate Composite Foam, *Chemical Engineering Science*, 2019, **209**, 115-169.

Gioia C., Vannini M., Marchese P., Minesso A., Cavalieri R., Colonna M., Celli A., Sustainable Polyesters for Powder Coating Applications From Recycled PET, Isosorbide and Succinic Acid, *Green Chemistry*, 2014, **16**(4), 1807–1815.

Gohil R. M., Properties and Strain Hardening Character of Polyethylene Terephthalate Containing Isosorbide, *Polymer Engineering and Science*, DOI: 10.1002/pen.20840.

Gordon Joseph M., *Total Quality Process Control for Injection Molding*, 2nd ed., A John Wiley & Sons, Inc., Publication, Kanada, 2010.

Grozdanov A., Bogoeva-Gaceva G., Carbon Fibers/Polyamide6 Composites Based on Hybrid Yarns, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2010, **23**(1), 99–110.

Güçlü M., Thermal Stability Investigation of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Through Dynamic Rheological Measurements, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 636191.

Gupta S. S., Meena A., Parikh T., Serajuddin A. T. M., Investigation of Thermal and Viscoelastic Properties of Polymers Relevant to Hot Melt Extrusion - I: Polyvinylpyrrolidone and Related Polymers, *J. Excipients and Food Chem.*, 2014, **5**(1), 32–45.

Hanlan J., Skoog D. A., West D. M., Principles of Instrumental Analysis, 6th ed., Thomson Brooks/Cole, Kanada, 1973.

Haponiuk J. T., Dynamic Mechanical Thermal Analysis of Polyamide 6/Thermoplastic Polyurethane Blends, *Journal of Thermal Analysis*, 1995, **43**(1), 91–101.

Hawal T. T., Patil M. S., Kulkarni R. M., Nandurkar S. N., Synergetic effect of rubber on the tensile and flexural properties of graphene based epoxy-carbon fiber hybrid nanocomposite, *Materials Today: Proceedings*, 2019, **27**, 515–518.

Hazer S., Karbon Elyaf Takviyeli Poli(laktik asit)/Polikarbonat Kompozitlerin Isıl, Yanma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 522089.

Holden G., Thermoplastic Elastomers, *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Editör: Holden Polymer Consulting 1st ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 653–703, 2000.

Holden G., Bishop T., Legge N. R., Thermoplastic Elastomers, *Journal of Polymer Science: Part C*, 1969, **26**, 37-57.

Holden G. Thermoplastic Elastomers, Editör: Morton M., *Brydson's Plastics Materials*, 1987, 8th ed., 465-466.

Ioakeimidis, C., Fotopoulou, K. N., Karapanagioti, H. K., Geraga, M., Zeri, C., Papathanassiou, E., Galgani, F., Papatheodorou, G., The degradation potential of PET bottles in the marine environment: An ATR-FTIR based approach, *Scientific Reports*, 2016, **6**, 1-8.

Jha A., Bhowmick A. K., Thermoplastic Elastomeric Blends of Poly(ethylene terephthalate) and Acrylate Rubber, *Polymer*, 1997, **38**(17), 4337–4344.

Karagöz S., Poli(Laktik Asit)/Modifiye Termoplastik Nişasta Karışımları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 301647.

Karakoç Z., Ketani M. A., Ketani Ş., Mikroskopların Çalışma Mekanizması ve Çeşitleri, *Dicle Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 2016, **1**(1), 1–6.

Kaşgöz A., Karbon Dolgulu Siklo-olefin Kopolimer (COC) Kompozitlerinin Reolojik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 316442.

Kelly A., Tyson W. R., Tensile Properties of Fibre-Reinforced Metals: Copper/Tungsten and Copper/Molybdenum, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1965, **13**(6).

Kim Y. H., Yoon S. H., Jang S. H., Lee Y. K., Sung Y. T., Lee H. S., Kim W. N., Effects of Fiber Characteristics on the Rheological and Mechanical Properties of Polycarbonate/Carbon Fiber Composites, *Composite Interfaces*, 2009, **16**(4–6), 477–491.

Kılıç Tüccar N., Epoksi-Poss Nanoparçacıklarının Poli(Laktik Asit) Temelli Polimer Karışımlarında Uyumlaştırıcı Olarak Kullanılabilme Potansiyelinin Araştırılması, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 544771.

Kodal M., Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit) Temelli Nanokompozitlerinin Fiziksel Özellikleri Ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379726.

Kodal M., Topuk Z. D., Ozkoc G., Dual Effect of Chemical Modification and Polymer Precoating of Flax Fibers on the Properties of Short Flax Fiber/Poly(lactic acid) Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, **132**(48).

Kráčalík M., Pospíšil L., Šlouf M., Mikešová J., Sikora A., Šimoník J., Fortelný I., Effect of Glass Fibers on Rheology, Thermal and Mechanical Properties of Recycled PET, *Polymer Composites*, 2008, **29**(8), 915–921.

Li-Na J., Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET), *Applied Mechanics and Materials*, 2013, **312**, 406–410.

Li J., Zhang Y. F., The Tensile Properties of Short Carbon Fiber Reinforced ABS and ABS/PA6 Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2010, **29**(11), 1727–1733.

Li J., Zhang G., Li J., Zhou L., Jing Z., Ma Z., Preparation and Properties of Polyimide/Chopped Carbon Fiber Composite Foams, *Polymers for Advanced Technologies*, 2017, **28**(1), 28–34.

Liang J., Xu Y., Wei Z., Song P., Chen G., Zhang W., Mechanical Properties, Crystallization and Melting Behaviors of Carbon Fiber-Reinforced PA6 Composites, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, **115**(1), 209–218.

Lin G., Li D., Liu M., Zhang X., Zheng Y., Rheological Behavior, Mechanical Properties, and Nonisothermal Crystallization Behavior of Poly(ethylene terephthalate)/Modified Carbon Fiber Composites, *High Performance Polymers*, 2019, **31**(6), 733–740.

Malhotra S. V., Kumar V., East A., Jaffe M., Applications of Corn-Based Chemistry, *National Academy of Engineering*, 1998, **37**(4), 17–24.

Mazumdar S. K., *Composites Manufacturing*, CRC Press, New York, 2002.

McGonigle E. A., Daly J. H., Jenkins S. D., Liggat J. J., Pethrick R. A., Influence of Physical Aging on the Molecular Motion and Structural Relaxation in Poly(ethylene terephthalate) and Related Polyesters, *Macromolecules*, 2000, **33**(2), 480–489.

Merdivenci Y., Yeni Fonksiyonel Metakrilat Polimerlerinin Elektrokinetik ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocaepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2019, 564062.

Minus M. L., Kumar S., The Processing, Properties, and Structure of Carbon Fibers, *JOM*, 2005, **57**(2), 52–58.

Naskar K., Babu R. R., Thermoplastic Elastomers (TPEs) and Thermoplastic Vulcanizates (TPVs), *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*, 2014, Springer Berlin Heidelberg, 1–7.

Ng H. M., Saidi N. M., Omar F. S., Ramesh K., Ramesh S., Bashir S., *Thermogravimetric Analysis of Polymers*, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 1–29.

Öz M. K., Yanmaya Karşı Dirençli (FR) Ve Katyonik Boyalarla Boyanabilen (CD) Polyester Üretimi Ve Bu Polyesterin Elyaf Prosesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006, 183601.

Özkoc G., Bayram G., Bayramli E., Short glass fiber reinforced ABS and ABS/PA6 composites: Processing and characterization, *Polymer Composites*, 2005, **26**(6), 745–755.

Özkoç G., Abs/Polyamide-6 Blends, Their Short Glass Fiber Composites And Organoclay Based Nanocomposites: Processing And Characterization, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Ankara, 2007, 199233.

Park J. S., Nam B. U., Study on Morphology, Thermal Properties and Miscibility of Isosorbide Based PET / Polycarbonate Blends, *Applied Chemistry*, 2013, **17**(1), 5–8.

- Park J. S., Kim S. B., Kim H. R., Nam B. U., Preparation and Characterization of Elastomeric Ethylene Terpolymer Reinforced Poly(ethylene-co-isosorbide terephthalate)/Multi-Walled Carbon Nanotube Composites, *Polymers and Polymer Composites*, 2014, **22**(2), 163–168.
- Pereira A., Silva M., Lima J., Paula A., Tommasini F., Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste, *Materials Research*, 2017, **20**, 411-420.
- Rauwendaal C., *Polymer Extrusion*, 5. baskı, Hanser, Munich, 2013.
- Rezaei F., Yunus R., Ibrahim N. A., Mahdi E. S., Development of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composite for Car Bonnet, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2008, **47**(4), 351–357.
- Rezaei F., Yunus R., Ibrahim N. A., Effect of Fiber Length on Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polypropylene Composites, *Materials and Design*, 2009a, **30**(2), 260–263.
- Rezaeian I., Jafari S. H., Zahedi P., Nouri S., An Investigation on the Rheology, Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Recycled Poly(ethylene terephthalate) Reinforced with Modified Short Glass Fibers, *Polymer Composites*, 2009, **30**(7), 993–999.
- Run M., Song H., Wang S., Bai L., Jia Y., Crystal Morphology, Melting Behaviors and Isothermal Crystallization Kinetics of SCF/PTT Composites, *Polymer Composites*, 2009, **30**(1), 87–94.
- Sato N., Kurauchi T., Sato S., Kamigaito O., Mechanism of Fracture of Short Glass Fibre-Reinforced Polyamide Thermoplastic, *Journal of Materials Science*, 1984, **19**(4), 1145–1152.
- Saxon D. J., Luke A. M., Sajjad H., Tolman W. B., Reineke T. M., Next-Generation Polymers: Isosorbide as a Renewable Alternative, *Progress in Polymer Science*, 2020, **101**, 101-196.
- Scheirs J., *Compositional and Failure Analysis of Polymers Practical Approach*, 2nd ed. 2000, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Schramm G., Creep and recovery, *A Practical Approach to Rheology and Rheometry*, 1994, 101–117.
- Shah V., Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis, *Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 2007.
- Shaw M. T., Introduction to Polymer Rheology, *A John Wiley & Sons*, New Jersey, 2011.
- Shi P., Wu W., Chen Y., Liu M., Liu Y., Wu X., Influence of Fiber Surface Treatment on Mechanical Properties of CF/PET Composites, *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 2012, **51**(8), 1485–1497.

Şirin H., Poli(hedral oligomerik siseskuokzan) (POSS) Esaslı Nanokompozit Endüstriyel Liflerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012, 301648.

Soncu S., Plastik Parçalarda Boya Öncesi Yüzey Hazırlık Prosesinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2019, 595166.

Stanley N., Chenal T., Delaunay T., Saint-Loup R., Jacquelin N., Zinck P., Bimetallic Catalytic Systems Based on Sb, Ge and Ti for the Synthesis of Poly(ethylene terephthalate-co-isosorbide terephthalate), *Polymers*, 2017, **9**(11).

Szostak M., Mechanical and Thermal Properties of PET/PBT Blends, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2004, **416**(1), 209–215.

Tekin G., Bipolar Plaka Uygulamaları İçin PBT/GRAFİT Kompozit Plakanın Perkolasyon Aralığının Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

Tharmapuram S. R., Jabarin S. A., Processing characteristics of PET/PEN blends, part 1: Extrusion and Transesterification Reaction Kinetics, *Advances in Polymer Technology*, 2003, **22**(2), 137–146.

Tian G., Liang X., Wang M., Lei Y., Jin G., Wang X., Fiber Breakage Behavior of Long Glass Fiber-Reinforced Polypropylene Through the Convergent Channel, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2017, **36**(22), 1629–1638.

Turgut G., Yeni Nesil Hibrit Poss Nano-Katkıların Polipropilen Harmanların Yanma Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2017, 494777.

Üçpınar B., Karbon Elyaf Kaplama Türlerinin Ve Uyumlaştırıcıların Karbon Elyaf Takviyeli Poli(Fenilen Sülfid) Kompozitlerinin Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 494772.

Unterweger C., Brüggemann O., Fürst C., Synthetic fibers and thermoplastic short-fiber-reinforced polymers: Properties and characterization, *Polymer Composites*, 2014, **35**(2), 227–236.

URL-1: <https://pagev.org/tpe-e>, (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2020)

URL-2: <https://www.resinex.com.tr/urunler/arnitel.html> (Ziyaret tarihi: 9 Eylül 2020)

URL-3: <https://www.ossila.com/pages/contact-angle-theory-measurement>, (Ziyaret tarihi: 9 Şubat 2021)

URL-4: <https://polymerdatabase.com/polymer%20physics/Gloss.html> (Ziyaret tarihi: 1 Aralık 2021)

URL-5: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_118.html (Ziyaret tarihi: 15

URL-6:<http://www.plastik-ambalaj.com/tr/2012-02-17-15-08-38/119-plastik-ambalaja-makale/1343-ambalajda-biyobozunur-plastikler> (Ziyaret tarihi:10 Haziran 2021)

Utracki L. A., *Polymer Blends*, Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing, John Wiley & Sons, 2013.

Uzuner A., Yeni Nesil Nanoparçacıklar İle Uyumlaştırılmış Ptpc/Pa6 Karışımlarının Mekanik, Isıl, Reolojik Ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 650994.

Visakh P. M., Semkin A., *High Performance Polymers And Their Nanocomposites*, Scrivener Publishing, Beverly, 2019.

Wagner J. R. J., Mount, Eldridge M. I., Giles, Harold F. J., *Extrusion: The Definitive Processing Guide And Handbook*, 2nd ed., Elsevier, 2014, New York.

Weitz D., Wyss H., Larsen R., *Oscillatory Rheology: Measuring The Viscoelastic Behaviour Of Soft Materials*, *G.I.T Laboratory Journal Europe*, 2007, **11**(3–4), 68–70.

Wu G., Ma L., Wang Y., Liu L., Huang Y., *Interfacial Properties and Thermo-Oxidative Stability of Carbon Fiber Reinforced Methylphenylsilicone Resin Composites Modified With Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes in The Interphase*, *Rsc Advances*, 2016, **6**(6), 5032–5039.

Xu T., Zhou S., Cui S., Song N., Shi L., Ding P., *Three-Dimensional Carbon Fiber-Graphene Network For Improved Thermal Conductive Properties Of Polyamide-İmide Composites*, *Composites Part B: Engineering*, 2019, **178**, 107495.

Yıldırım B., İletken Nanokompozit Malzemelerin Üretimi, Yapısal Özelliklerinin ve İletkenlik Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2016, 436290.

Yıldırım F., Polipropilen (PP)/Polietilen Tereftalat (Pet) Harmanlarının Reolojik Davranışları Ve Viskoelastik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 352210.

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*, 2017, **401**, 414–423.

Zhang J., *Different Surface Treatments of Carbon Fibers and Their Influence on the Interfacial Properties of Carbon Fiber*, 2012, Doktora Tezi, École Centrale Paris, Paris, 2012.

Zhao M., Meng L., Ma L., Wu G., Wang Y., Xie F., Huang Y., *Interfacially Reinforced Carbon Fiber/Epoxy Composites by Grafting Melamine onto Carbon Fibers in Supercritical Methanol*, *Rsc Advances*, 2016, **6**(35), 29654–29662.

Zhao Q., Zhang K., Zhu S., Xu H., Cao D., Zhao L., Zhang R., Yin W., Review On The Electrical Resistance/Conductivity Of Carbon Fiber Reinforced Polymer, *Applied Sciences*, 2019, **9**(11).

Zhou H., Qian Z., Meng X., Ding Y., Zhang S., Yang M., Fiber Breakage and Dispersion in Carbon-Fiber-Reinforced Nylon 6/Clay Nanocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, 2007, **106**(3), 1751–1756.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

İnan Ö., Uzuner A., Kodal M., Özkoç G., Kauçuk ile Toklaştırılmış Kırpılmış Karbon Elyaf Takviyeli PEIT Kompozitleri: Elastomer Miktarının Etkisi, *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 19–20 Haziran 2020.

Yıldırım R., **İnan Ö.**, Kodal M., Özkoç G., Ekmek Atıklarından Termoplastik Nişasta Eldesi ve LDPE ile Harmanlarının Karakterizasyonu, *14. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK2020)*, Konya, Türkiye 10-12 Haziran 2021.

Yazıcı N., **İnan Ö.**, Metin M., Kodal M., Özkoç G., Kayma Hızı ve Kovan Sıcaklığının EPDM/PP TPV'lerinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *14. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK2020)*, Konya, Türkiye 10-12 Haziran 2021.

Yazıcı, N., Metin, M., **İnan, Ö.**, Kodal, M., Özkoç, G., “Rheological and Thermal Properties Of OV-POSS as an Alternative Coagent for PP/EPDM Based Thermoplastic Vulcanizates”, *36th International Conference of the Polymer Processing Society*, Montreal, Canada, 26-30 Eylül 2021.

Yazıcı, N., Metin, M., **İnan, Ö.**, Kodal, M., Özkoc, G., “OV-POSS as an Alternative Coagent for PP/EPDM based Thermoplastic Vulcanizate: “Comparison of Mechanical and Morphological Properties””, *Brightlands Polymer Days 2021*, Veldhoven, The Netherlands, 7-9 Kasım.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini İzmir’de tamamladı. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nde üniversite eğitimine başladı. Lisans eğitimini 2019 yılında tamamladı. 2019 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2020 Şubat – 2021 Nisan aralığında Kocaeli Üniversite bünyesinde, TÜBİTAK projesinde proje asistanı olarak görev aldı. Nisan 2021’den itibaren Brisa bünyesinde Proses Geliştirme Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

