

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE KAPLANMIŞ  
KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİAMİT 6,6 VE  
POLİ(BÜTİLEN TERAFTALAT) KARMALARIN  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**NEVİN GAMZE KARSLI YILMAZ**

**KOCAELİ 2014**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE KAPLANMIŞ  
KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİAMİT 6,6 VE  
POLİ(BÜTİLEN TERAFTALAT) KARMALARIN  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

NEVİN GAMZE KARSLI YILMAZ

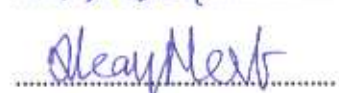
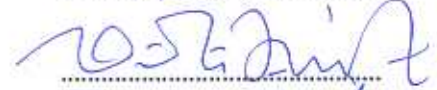
Doç.Dr. Ayşe AYTAÇ  
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Veli DENİZ  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. H. Yıldırım ERBİL  
Jüri Üyesi, GYTE

Prof.Dr. Meral KARAKIŞLA ŞAHİN  
Jüri Üyesi, Ankara Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Olcay MERT  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 21.04.2014

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmam boyunca desteğini ve bana duyduğu güveni her zaman hissettiğim danışman hocam Doç. Dr. Ayşe Aytaç'a bana sunduğu değerli emeği için sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Akademik hayata adım attığım ilk günden beri yanımda olan, beni destekleyen, güvenen ve yüreklendiren Prof. Dr. Veli Deniz'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya 01020.STZ.2011-2 No'lu SAN-TEZ projesi kapsamında sağladığı destek için, Sanayi Bakanlığı'na ayrıca sanayi üniversite işbirliği çerçevesinde çalışmama büyük destek sağlayan AKSA yöneticilerine teşekkür ederim.

Bilgisinden, deneyimlerinden ve yardımlarından faydalanmaktan dolayı minnet duyduğum ve duyacağım Doç. Dr. Güralp Özkoç'a, çok kıymetli hocam Dr. Sertan Yeşil'e, doktora tez çalışmam sırasında, Kocaeli Üniversitesi İleri Malzemeler Laboratuvarı'nın tüm imkanlarından faydalanmama olanak sağlayan Prof. Dr. Tamer Sınmazçelik'e teşekkürü borç bilirim.

Üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Prof. Dr. Ayşe Nilgün Akın'a ve tüm bölüm hocalarıma, ayrıca Derya Ünlü, Togayhan Kutluk, Merve Ercan ve Nurdan Öztemel başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığım proje arkadaşım Cem Özkan'a, canım arkadaşım Sibel Yıldız'a ve en zor zamanlarımda değerli dostluğunu ve desteğini her zaman hissettiğim sevgili Filiz Uğur Nigiz'e içtenlikle teşekkür ederim.

Aile olmanın ve iyi ve kötü günde hep bir arada kalabilmenin değerini bana öğreten sevgili babaanneme, ayrıca Karşlı, Hamutçu ve Yılmaz ailelerinin çok kıymetli üyelerine hayatımdaki varlıkları ve destekleri için teşekkür ederim.

En kıymetli varlıklarım, annem İlhan Nur Karşlı'ya ve kızkardeşim Özge Karşlı'ya her zaman kalbimde ve yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kendisine duyduğum sevgiyi ve saygıyı kelimelerle ifade edemeyeceğim hayat arkadaşım ve can yoldaşım, sevgili eşim Taner Yılmaz'a, hayatıma girdiği, içimdeki beni fark etmemi sağladığı ve benim için yaptığı tüm fedakarlıklar, yardımlar ve bana karşı gösterdiği sonsuz sabrı için teşekkür ederim.

Ve son olarak, beni bir yerlerden izlemeye devam ettiğini bildiğim CANIM BABAM'a, hayatta her koşulda ayakta kalabilmenin önemini ve değerini bana öğrettiği için kalbimin en derin yerinden teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	ix
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER .....	3
1.1. Literatür İncelemesi.....	7
1.2. Çalışmanın Özgün Yanı .....	15
1.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler .....	16
1.3.1. Poliamit 6,6 .....	16
1.3.2. Poli(bütülen teraftalat) .....	18
1.3.3. Karbon elyaf .....	20
1.3.4. 1,4-fenilen bisoksazolin .....	22
1.3.5. Karbonil bis(1-kaprolaktam) .....	23
1.3.6. 1,4-Fenilendiizosiyanat .....	23
1.3.7. Joncryl® .....	23
1.4. Çalışmada Kullanılan Karma Üretim Yöntemi .....	24
1.5. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri.....	25
1.5.1. X-ışını fotoelektron spektroskopu .....	25
1.5.2. Termogravimetrik analiz .....	27
1.5.3. Temas açısı ölçümü ve yüzey enerjisi analizi .....	28
1.5.4. Çekme testi .....	32
1.5.5. Darbe testi .....	33
1.5.6. Dinamik mekanik analiz.....	34
1.5.7. Taramalı elektron mikroskopisi analizi.....	35
2. MALZEMELER VE YÖNTEM .....	37
2.1. Malzemeler .....	37
2.2. Yöntem .....	38
2.3. Karakterizasyon .....	39
2.3.1. Elyaf yüzey karakterizasyonu .....	39
2.3.1.1. X-ışını fotoelektron spektroskopu .....	39
2.3.1.2. Termogravimetrik analiz.....	40
2.3.1.3. Temas açısı ölçümü ve yüzey enerjisi analizi.....	41
2.3.2. Karma karakterizasyonu .....	43
2.3.2.1. Elyaf uzunluk dağılımı analizi .....	43
2.3.2.2. Çekme testi .....	43
2.3.2.3. Darbe testi .....	44
2.3.2.4. Dinamik mekanik analiz .....	45
2.3.2.5. Elektriksel direnç ölçümü .....	45
2.3.2.6. Taramalı elektron mikroskopisi analizi .....	46

3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	47
3.1. Elyaf Yüzeyi Karakterizasyon Sonuçları .....	47
3.1.1. XPS analizi .....	47
3.1.2. Termogravimetrik analiz .....	52
3.1.3. Temas açısı ve yüzey enerjisi analizi .....	58
3.2. PA 6,6 Matrisli Karmaların Karakterizasyon Sonuçları .....	62
3.2.1. Çekme testi .....	62
3.2.2. Elyaf uzunluk dağılımı analizi .....	72
3.2.3. Darbe testi .....	73
3.2.4. Dinamik mekanik analiz.....	76
3.2.5. SEM analizi .....	80
3.3. PBT Matrisli Karmaların Karakterizasyon Sonuçları .....	84
3.3.1. Çekme testi .....	84
3.3.2. Elyaf uzunluk dağılımı analizi .....	94
3.3.3. Darbe testi .....	94
3.3.4. Dinamik mekanik analiz.....	97
3.3.5. Elektriksel iletkenlik analizi.....	100
3.3.6. SEM analizi .....	102
3.4. Üretilen Karmaların Özelliklerinin Farklı Ticari Karbon Elyaf Türleri Kullanılarak Üretilen Karmaların Özellikleri ile Karşılaştırılması.....	105
3.4.1. Çekme testi .....	105
3.4.2. Darbe testi .....	109
3.5. Farklı Bağlanma Ajanlarının PA 6,6 Matrisli Karmaların Özellikleri Üzerine Etkisi .....	111
3.5.1. Çekme testi .....	111
3.5.2. Dinamik mekanik analiz.....	116
3.5.3. SEM analizi .....	119
3.6. Farklı Bağlanma Ajanlarının PBT Matrisli Karmaların Özellikleri Üzerine Etkisi .....	123
3.6.1. Çekme testi .....	123
3.6.2. Dinamik mekanik analiz.....	129
3.6.3. SEM analizi .....	133
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	138
KAYNAKLAR .....	144
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	154
ÖZGEÇMİŞ .....	158

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	PA 6,6'nın kondenzasyon tepkimesi.....	17
Şekil 1.2.	PBT'nin kondenzasyon tepkimesi.....	19
Şekil 1.3.	Karbon elyafın oksidasyon işlemi.....	21
Şekil 1.4.	Karbon elyafın karbonizasyon işlemi.....	22
Şekil 1.5.	PBO'nun moleküler yapısı.....	22
Şekil 1.6.	CBC'nin moleküler yapısı.....	23
Şekil 1.7.	PDI'nin moleküler yapısı.....	23
Şekil 1.8.	Joncryl'in moleküler yapısı.....	24
Şekil 1.9.	Bir ekstrüderin temel yapısı.....	25
Şekil 1.10.	Enjeksiyonla kalıplama cihazının temel işleyişi.....	25
Şekil 1.11.	XPS cihazının temel bileşenleri.....	27
Şekil 1.12.	Termogravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 1.13.	Katı bir yüzeye damlatılan sıvı damlacığı için üçlü faz dengesi.....	29
Şekil 1.14.	Çekme cihazının temel bileşenleri.....	32
Şekil 1.15.	Izod darbe testi.....	33
Şekil 1.16.	Charpy darbe testi.....	34
Şekil 1.17.	Uygulanan gerinime karşı örnek tarafından oluşan gerilim ve iki durum arasındaki faz farkı.....	34
Şekil 1.18.	SEM'in şematik gösterimi.....	36
Şekil 2.1.	Laboratuar ölçekli aynı yönde dönen çift vidalı mikro karıştırıcı.....	38
Şekil 2.2.	Laboratuar ölçekli mikro enjeksiyonla kalıplama cihazı.....	38
Şekil 2.3.	PHI 5000 Versa Probe marka X-ışını fotoelektron spektroskopu.....	40
Şekil 2.4.	Perkin Elmer marka TGA cihazı.....	41
Şekil 2.5.	Attention Theta Lite marka temas açısı ölçüm cihazı.....	42
Şekil 2.6.	Görüntü analizi basamakları.....	43
Şekil 2.7.	Instrument-LRX Plus marka çekme cihazı.....	44
Şekil 2.8.	Ceast marka izod darbe testi cihazı.....	44
Şekil 2.9.	Metravib marka dinamik mekanik analiz cihazı.....	45
Şekil 2.10.	Elektriksel iletkenlik ölçümlerinde kullanılan test örnekleri.....	46
Şekil 3.1.	Ön kaplanmamış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	47
Şekil 3.2.	PA kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	48
Şekil 3.3.	P kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	48
Şekil 3.4.	PU kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	49
Şekil 3.5.	PI kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	49
Şekil 3.6.	EP/P kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu.....	50
Şekil 3.7.	Ön kaplanmamış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	53
Şekil 3.8.	P kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	53
Şekil 3.9.	PI kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	54
Şekil 3.10.	EP/P kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	54
Şekil 3.11.	PA kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	55
Şekil 3.12.	PU kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi.....	55
Şekil 3.13.	Karma üretimi süresince ön kaplanmış elyafa ait kütle kaybı eğrisi.....	58

Şekil 3.14. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	62
Şekil 3.15. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	63
Şekil 3.16. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	64
Şekil 3.17. Ön kaplama türü ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması .....	65
Şekil 3.18. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	67
Şekil 3.19. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	67
Şekil 3.20. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	68
Şekil 3.21. Ön kaplama türü ve miktarının kopma uzaması üzerine etkisinin karşılaştırılması .....	68
Şekil 3.22. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri .....	70
Şekil 3.23. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri .....	70
Şekil 3.24. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri .....	71
Şekil 3.25. Ön kaplama türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması .....	71
Şekil 3.26. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri.....	74
Şekil 3.27. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri.....	74
Şekil 3.28. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri.....	75
Şekil 3.29. Ön kaplama türü ve miktarının darbe dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması .....	75
Şekil 3.30. Ön kaplama türünün depo modülü üzerine etkisi.....	77
Şekil 3.31. Ön kaplama türünün sönmleme faktörü üzerine etkisi.....	77
Şekil 3.32. Kaplama miktarının depo modülü üzerindeki etkisi (a) PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar, (b) PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar.....	79
Şekil 3.33. Kaplama miktarının sönmleme faktörü üzerindeki etkisi (a) PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar, (b) PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar .....	80
Şekil 3.34. Ön kaplanmamış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi .....	81
Şekil 3.35. EP/P ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi.....	81
Şekil 3.36. PI ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi .....	82
Şekil 3.37. P ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi.....	82
Şekil 3.38. PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi.....	83
Şekil 3.39. PA ön kaplanmış karbon elyaf takviyeli karmaya ait SEM mikrografi.....	83

Şekil 3.40. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	84
Şekil 3.41. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	85
Şekil 3.42. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri .....	86
Şekil 3.43. Ön kaplama türü ve miktarının karmaların çekme dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması.....	87
Şekil 3.44. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	89
Şekil 3.45. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	90
Şekil 3.46. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri.....	90
Şekil 3.47. Ön kaplama türü ve miktarının kopma uzaması değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 3.48. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri .....	92
Şekil 3.49. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri .....	92
Şekil 3.50. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri .....	93
Şekil 3.51. Ön kaplama türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması .....	93
Şekil 3.52. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri .....	95
Şekil 3.53. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri .....	95
Şekil 3.54. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri .....	96
Şekil 3.55. Ön kaplama türü ve miktarının darbe dayanımı değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 3.56. %1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait sönümlenme faktörü grafiği .....	98
Şekil 3.57. %2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait sönümlenme faktörü grafiği .....	98
Şekil 3.58. %3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait sönümlenme faktörü grafiği .....	99
Şekil 3.59. PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda kaplama miktarının PBT karmaların sönümlenme faktörü üzerine etkisi .....	100
Şekil 3.60. Hazırlanan karmalara ait elektriksel iletkenlik sonuçları .....	101
Şekil 3.61. Ön kaplanmamış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı.....	102
Şekil 3.62. EP/P ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı.....	103
Şekil 3.63. PI ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı.....	103



Şekil 3.64. PA ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi.....	104
Şekil 3.65. P ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi .....	104
Şekil 3.66. PU ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi.....	105
Şekil 3.67. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması .....	106
Şekil 3.68. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 3.69. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması .....	108
Şekil 3.70. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 3.71. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların darbe dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 3.72. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların darbe dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 3.73. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği .....	112
Şekil 3.74. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği .....	112
Şekil 3.75. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği .....	114
Şekil 3.76. % 1 oranında CBC ve PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği .....	115
Şekil 3.77. PBO bağlanma ajanı miktarının ön kaplanmamış KE takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı üzerine etkisi.....	116
Şekil 3.78. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği.....	117
Şekil 3.79. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği.....	117
Şekil 3.80. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği.....	118
Şekil 3.81. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların sönümlenme faktörü grafiği.....	119
Şekil 3.82. Ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografi (x1000) .....	120
Şekil 3.83. % 1 oranında CBC bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografi (x750).....	120
Şekil 3.84. % 1 oranında CBC bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografi (x1200).....	121
Şekil 3.85. % 1 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografi (x750).....	122
Şekil 3.86. % 1 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografi (x1200).....	122
Şekil 3.87. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği .....	123

Şekil 3.88.	% 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği.....	124
Şekil 3.89.	% 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği.....	124
Şekil 3.90.	% 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği.....	125
Şekil 3.91.	% 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği.....	126
Şekil 3.92.	Joncryl bağlanma ajanı miktarının PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı üzerine etkisi .....	127
Şekil 3.93.	Bağlanma ajanı içeren karmaların çekme dayanımının rakip ürünler kullanılarak hazırlanan PBT karmaların çekme dayanımları ile karşılaştırılması.....	128
Şekil 3.94.	% 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği .....	130
Şekil 3.95.	% 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği .....	130
Şekil 3.96.	% 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği .....	131
Şekil 3.97.	% 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların sönümlleme faktörü grafiği .....	132
Şekil 3.98.	Ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x500).....	133
Şekil 3.99.	% 0,3 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x1200).....	133
Şekil 3.100.	P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x500).....	134
Şekil 3.101.	% 0,3 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş, P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x1200) .....	135
Şekil 3.102.	PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x500).....	136
Şekil 3.103.	% 1 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x750).....	136
Şekil 3.104.	% 1 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x1200).....	137

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Test sıvılarının yüzey gerilimi değerleri.....	42
Tablo 3.1. Elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grupların bağlanma enerjileri ve yüzde bileşimleri.....	50
Tablo 3.2. Isıl işleme maruz bırakılmış elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grupların bağlanma enerjileri ve yüzde bileşimleri.....	52
Tablo 3.3. KE türlerine ait TGA sonuçları.....	56
Tablo 3.4. Elyaf türlerine ait izotermal TGA sonuçları .....	57
Tablo 3.5. Örneklerin temas açısı değerleri .....	59
Tablo 3.6. Örneklerin yüzey enerjisi değerleri.....	59
Tablo 3.7. Örneklerin yapışma işi ( $W^a$ ) değerleri .....	61
Tablo 3.8. PA 6,6 matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımı.....	73
Tablo 3.9. PBT matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımı .....	94

## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

E	:Modül (MPa)
$E_B$	:Bağlanma enerjisi (eV)
$E_{kin}$	:Kinetik enerji (Joule)
$E'$	:Depo modülü (MPa)
$E''$	:Kayıp modül (MPa)
$h\nu$	:Foton enerjisi (eV)
Tan delta	:Sönümlenme faktörü ( $\delta$ )
$T_g$	:Camsı geçiş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
V	:Hacim fraksiyonu ( $m^3$ )
$W^a$	:Yapışma işi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\eta_1$	:Elyaf uzunluğu düzeltme faktörü
$\eta_0$	:Elyaf yönlenme faktörü
$\gamma$	:Yüzey enerjisi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_{SL}$	:Katı ve sıvı arasındaki arayüzey gerilimi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_{SV}$	:Katı ve gaz arasındaki arayüzey gerilimi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_{LV}$	:Sıvı ve gaz arasındaki arayüzey gerilimi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_S^{AB}$	:Yüzey enerjisinin polar bileşeni ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_S^{LW}$	:Yüzey enerjisinin dispersiv bileşeni ( $mJ.m^{-2}$ )
$\gamma_S^{LW}$	:Toplam yüzey enerjisi ( $mJ.m^{-2}$ )
$\theta$	:Temas açısı ( $^{\circ}C$ )

### Kısaltmalar

ABS	:Akrilonitril Bütadien Stiren
AFM	:Atomik Kuvvet Mikroskobu
APO	:Atmosferik Plazma Oksidasyonu
CBC	:Karbonil Bis(1-kaprolaktam)
EP/P	:Epoksi+Fenoksi
ESCA	:Kimyasal Analiz İçin Elektron Spektroskopisi
FTIR	:Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
IFSS	:Ara Yüzey Kayma Dayanımı
KE	:Karbon Elyaf
P	:Fenoksi
PA	:Poliamit
PA 4,6	:Poliamit 4,6
PA 6	:Poliamit 6
PA 6,6	:Poliamit 6,6
PA 12	:Poliamit 12
PAN	:Poli(akrilo nitril)
PBO	:1,4-fenilenbisoksazolin
PBT	:Poli(bütülen tereftalat)
PC	:Polikarbonat

PDI	:Fenilendiizosiyanat
PEEK	:Poli(eter eter keton)
PEI	:Poli(eter imid)
PES	:Poli(eter sülfon)
PET	:Poli(etilen teraftalat)
PI	:Poliimid
POSS	:Poli(hedral oligomerik silseskuokzan)
PP	:Polipropilen
PPS	:Poli(fenilen sülfür)
PTPO	:Poli(tiyoarilen fosfin oksit)
PU	:Poliüretan
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskopisi
TGA	:Termogravimetrik Analiz
XPS	:X-ışını Fotoelektron Spektroskopu
XRD	:X-ışını Difraktometresi

## FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİ İLE KAPLANMIŞ KARBON ELYAF TAKVİYELİ POLİAMİT 6,6 VE POLİ(BÜTİLEN TERAFTALAT) KARMALARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada, farklı özellikte karbon elyaf (KE) takviyeli Poliamit 6,6 (PA 6,6) ve Poli(bütülen tereftalat) (PBT) matrisli karmalar hazırlanmıştır. Takviye malzemesi olarak ise 0,6 cm uzunluğunda kesilmiş, ön kaplanmamış ve beş farklı ön kaplama malzemesiyle kaplanmış KE kullanılmıştır. Kullanılan KE türleri yerli bir firmadan (Akkök Grup-Türkiye) temin edilmiştir. Kaplama malzemeleri ise, poliüretan (PU), fenoksi (P), poliimid (PI), epoksi+fenoksi (EP/P) ve poliamit (PA) olarak seçilmiştir. KE kaplama miktarları, kaplama çözeltisinin değişen derişimine bağı olarak % 1, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak her ön kaplama türünün ve miktarının hazırlanan karmaların mekanik, termomekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Her iki matris malzemesi kullanıldığı durumda da en iyi sonuç veren karma türü için, matris modifikasyonu yöntemi kullanılarak elyaf-matris arasındaki yapışmanın daha da iyileştirilmesine çalışılmıştır. Ayrıca, piyasada bulunan ve çalışmada kullanılan yerli karbon elyafa eşdeğer özellikteki KE türleri kullanılarak PA 6,6 ve PBT matrisli karmalar hazırlanmış ve yerli karbon elyafın takviye özelliğinin diğer firmaların eşdeğer özellikteki elyaf türlerinin takviye özelliği ile karşılaştırılabilir düzeyde olup olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, PA ve PU ön kaplanmış elyaf türlerinin PA 6,6 matris ile kullanıldıkları durumda en yüksek mekanik ve termomekanik sonuçları verirken P ve PU ön kaplanmış elyaf türlerinin PBT matris ile kullanıldıkları durumda en yüksek mekanik ve termomekanik özellikleri gösterdiği bulunmuştur. Kullanılan kaplama miktarının ise kompozitlerin özelliklerini önemli derecede etkilemediği görülmüştür. Matris modifikasyonu yöntemiyle üretilen PA 6,6 matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri incelendiğinde, ön kaplanmamış KE takviyeli kompozitlere %1 yükleme miktarında 1,4-fenilen bisoksazolin bağlanma ajanı ilavesiyle mekanik özelliklerde önemli ölçüde artış elde edilmiştir. PBT matrisli kompozitlerde ise PU ön kaplanmış KE takviyeli kompozitlere %1 yükleme miktarında stiren akrilik temelli bir bağlanma ajanı olan Joncryl ilavesiyle mekanik özelliklerde önemli ölçüde artış elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan ön kaplanmış KE türleri, PA 6,6 matrisle kullanıldıkları durumda diğer ticari ürünlere göre daha iyi takviye özelliği sergilerken PBT matrisle kullanıldıklarında aynı performansı sağlayamamışlardır.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Elyaf, Ön Kaplama, Poliamit 6,6, Poli(bütülen tereftalat).

## **INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF DIFFERENT SIZING MATERIALS COATED-CARBON FIBER REINFORCED POLYAMIDE 6,6 AND POLY(BUTYLENE TEREPHTHALATE) COMPOSITES**

### **ABSTRACT**

In this study, Polyamide 6,6 (PA 6,6) and Poly(butylene terephthalate) (PBT) matrix composites were prepared by using carbon fibers (CF) with different properties. Chopped (length was 0.6 cm), unsized CF and CFs sized with five different kinds of sizing agent were used as reinforcing materials. These CFs were supplied from a local company (Akkök Group-Turkey). Sizing materials were determined as polyurethane (PU), polyamide (PA), polyimide (PI), phenoxy (P) and epoxy+phenoxy (EP/P). Coating levels of sizing materials on CF surface were determined as 1, 2 and 3% with respect to concentration of sizing material solution. Consequently, effects of all sizing material types and loading levels on the mechanical, thermomechanical properties and morphology of the composites were investigated. It was aimed to improve the adhesion between fibers and matrix by using matrix modification method for both matrix materials. Moreover, CFs with similar properties were supplied from market and PA 6,6, PBT matrix composites were prepared by using these CFs. Hence reinforcing ability of CFs used in this study was evaluated by comparing with the properties of these composites. Characterization test results indicated that while PA and PU sized CFs exhibited best mechanical and thermomechanical properties with PA 6,6 matrix, P and PU sized CFs showed best mechanical and thermomechanical test results with PBT matrix. It was also observed that sizing coating level had no significant effect on the properties of composites. Investigation of the mechanical properties of PA 6,6 composites which were used by using matrix modification method was showed that unsized CF reinforced composites exhibited a significant increase in properties with the usage of 1%wt. 1,4-phenylene-bis-oxazoline coupling agent. In addition to this, when the mechanical properties of PBT composites which were used by using matrix modification method were examined, it was observed that PU sized CF reinforced composites exhibited a remarkable enhancement in properties with the addition of 1%wt. styrene-acrylic based Joncryl coupling agent. CF types used in this study represented better reinforcing ability than other market products in the case of PA 6,6 matrix. However they couldn't perform the same reinforcing ability in the case of PBT matrix.

**Keywords:** Carbon Fiber, Sizing, Polyamide 6,6, Poly(butylene terephthalate).

## **GİRİŞ**

Karbon elyaf (KE) diğer elyaf türleri ile karşılaştırıldığında yüksek dayanım ve yüksek modül değerlerine sahip bir destek malzemesidir. Karbon elyafın en önemli uygulama alanlarından biri de polimerik karmaların (kompozitlerin) takviye edilmesidir. Polimerik karma için de genel olarak, termoplastik ve termoset olmak üzere iki tip polimer matris kullanılır. Termoplastikler, termosetlerle karşılaştırıldıklarında işlenebilme hızlarının yüksek olması, yüksek sıcaklıklara dayanabilme özellikleri ve malzemeye sağladıkları esneklikten dolayı son yıllarda daha çok önem kazanmışlardır. Kısa elyaf takviyeli termoplastik karmalar ise birçok mühendislik uygulaması için tercih edilmektedir. Bu malzemeler, yüksek mekanik özellikleri, ekonomisi ve kolay üretilebilirliği ile karma pazarı için oldukça çekici görünmektedir.

Etkili bir takviye işlemi için, elyaf-matris arasında iyi bir yapışma gereklidir. Üretilen KE takviyeli termoplastik karmalarda, duşuk ozunurluk, yüksek eriyik viskozitesi, reaktif grupların azlığı gibi bazı termoplastik malzeme özelliklerinden dolayı, elyaf-matris ara yüzeyinde gerekli bağın sağlanması ve dolayısıyla malzeme özelliklerinin arttırılması, KE takviyeli termoset karmalara göre daha zor olmaktadır. Bu yüzden, elyaf yüzey işlemleri ya da matris modifikasyonu gibi değişik yöntemlerle ara yüzey özeliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, elyaf kaplama (sizing) ve matris modifikasyonu işlemlerinin KE takviyeli termoplastik karmaların özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve bu amaçla kullanılan KE türleri, ülkemizde ilk olarak KE üretimini gerçekleştiren yerli bir firmadan (Akkök Grup-Türkiye) temin edilmiştir.

Çalışmanın 1. bolumunde, karma malzemeler ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerin karakterizasyonu için kullanılan yöntemler ve karma üretiminin gerçekleştiği cihazlar anlatılmıştır.



Bunların yanı sıra yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgiler paylaşılmış ve yapılan çalışmanın özgün yanı belirtilmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde kullanılan malzemelerin temin edildikleri yerler, karma üretim şartları ve üretilen karmaların karakterizasyon test koşulları paylaşılmıştır. Çalışmanın 3. bölümünde, termoplastik matrislerle uyumlu olması için beş farklı kaplama malzemesi ile kaplanan ve kaplama miktarı % 1-3 arasında değişen kısa karbon elyafın, Poliamit 6,6 (PA 6,6) ve Poli(bütülen tereftalat) (PBT) matris malzemeleri ile yapışması incelenmiştir. Bunun ardından, seçilen en uygun elyaf-matris kaplama malzemesi için, matris modifikasyonu yöntemi kullanılarak elyaf-matris arasındaki yapışmanın iyileştirilmesine çalışılmıştır. Ayrıca, piyasada bulunan ve çalışmada kullanılan yerli KE türlerine eş değer özellikteki KE türleri kullanılarak, PA 6,6 ve PBT matrisli karmalar hazırlanmış ve bu karmaların özellikleri yerli KE kullanılarak hazırlanan karmaların özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yerli karbon elyafın takviye özelliğinin diğer firmaların elyafları ile karşılaştırılabilir düzeyde olup olmadığı değerlendirilmiştir. Çalışmanın 4. bölümünde ise elde edilen tüm sonuçlar derlenerek verilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, ön kaplanmamış ve beş farklı kaplama malzemesi ile ön kaplanmış karbon elyafın çeşitli termoplastik matrisler ile uyumunu incelemektir. Bu amaçla hem elyaf türlerinin hem de bu elyaf türleri kullanılarak hazırlanan karmaların özellikleri, detaylı olarak karakterize edilmiştir. Bu detaylı karakterizasyonlar sonucunda en iyi uyumu sağlayan elyaf türü ve matris malzemesi belirlenmiştir. Buna ek olarak kullanılan alternatif yöntemler ile bu uyumun artırılması ve üretilen karmaların özelliklerinin daha da iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Tüm bu çalışmalar ile piyasadaki karma üreticilerinin yerli bir firmadan temin edecekleri KE ile daha yüksek başarımlar (performans) sağlayabilecek karma üretebilmelerine yardımcı olacak detaylı bilgi sağlanması hedeflenmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Mühendislerin, değişik ürünlerin üretiminde kullanılabilecekleri 50,000'den fazla malzeme mevcuttur. Bunlar, yüzyıllardır kullanılan (bakır, demir, pirinç vb.) geleneksel malzemeler olabileceği gibi yeni geliştirilmiş ileri malzemeler de olabilirler. Malzemeler, karakteristik özelliklerine göre (dayanım, yoğunluk, erime sıcaklığı vb.) genel olarak (1) Metaller, (2) Plastikler, (3) Seramikler, (4) Karmalar olmak üzere başlıca dört bölüme ayrılabilirler (Mazumdar, 2002).

Plastikler, son on yılda en yaygın kullanılan mühendislik malzemeleri olmuştur ve bu süreçte plastik üretim miktarı çelik üretim miktarını aşmıştır. Düşük kütleleri, kolay işlenebilirlikleri ve korozyon dirençleri bu malzemeleri, otomobil parçalarında, tüketim, uzay ve havacılık malzemelerinde daha fazla kullanılabilir hale getirmiştir. Karmalar ise farklı maddelerin istenilen amaca yönelik, belli düzende bir araya getirilmesiyle hazırlanan malzemelerdir. Karma malzemeler, iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirerek, yeni ve tek bir malzeme elde etmek amacıyla oluşturulurlar (Mazumdar, 2002).

Karmalar iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki matris malzemesine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre karmalar: (1) organik matrisli, (2) metal matrisli, (3) seramik matrisli olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Buradaki "Organik matrisli karma" terimi polimer matrisli ve karbon matrisli karmaları ifade etmektedir.

İkinci tür sınıflandırma ise takviye malzemesine göre yapılmaktadır. Buna göre karmalar: (1) elyaf takviyeli, (2) parçacık takviyeli, (3) kılcal kristal (whiskers) takviyeli olarak sınıflandırılabilir. Elyaf takviyeli polimer matrisli karmalarda en çok kullanılan elyaf türleri ise: (1) cam, (2) bor, (3) aramid ve (4) karbon elyaf olarak sıralanabilir. Cam elyafı, düşük maliyeti, yüksek çekme dayanımı, yüksek darbe

dayanımı ve iyi kimyasal direnci sebebiyle ticari karma uygulamalarında sıkça kullanılır. Ancak KE ile karşılaştırıldıklarında modüllerinin (öz dayanımlarının) daha düşük olduğu görülür bu sebeple yüksek başarımlı karmalarının üretiminde çok sık kullanılmazlar. Bor elyafı, ileri karma üretiminde ilk kullanılan elyaf türüdür. Karbon elyafa benzer özelliklere sahip olmasına rağmen üretim süreçlerinin pahalı olması sebebiyle kullanımları ekonomik olarak faydalı değildir. Aramid elyaf, bükülmezlik (rigidity) ve dayanım özellikleri cam ve karbon elyafın özelliklerinin arasında yer alan organik bir elyaf türüdür. Dupont firmasının Kevlar® ticari adıyla ürettiği elyaf en çok kullanılan aramid türüdür. Aramid elyaf yüksek çekme dayanımına, modüle, tokluğa sahiptir ve hafiftir. Ancak yüzey işlemesi için uygun değildir. Bu sebeple de matris malzemesine zayıf yapışma gösterir. KE ise, düşük yoğunluk, düşük ısı (termal) genleşme katsayısı, yüksek yorulma direnci, dayanım ve modül gibi özellikleri sayesinde özellikle uzay ve havacılık uygulamalarında en çok kullanılan takviye malzemesi türüdür (Xanthos, 2010), (Dai ve diğ., 2011), (Botelho ve diğ., 2002).

Karbon elyafın en önemli uygulama alanlarından biri ise polimerik matrisli karmaların takviye edilmesidir. Karmalarda kullanılan matris malzemesinin görevi, elyafı uygun pozisyonda tutmak, aşınmayı önlemek, yükü elyafa iletmek ve tabakalar arası kayma gerilimi sağlamak şeklinde sıralanabilir. Ayrıca kullanılan matris malzemesi, ısıya, kimyasallara ve neme karşı direnç sağlar. Polimerik karmaların üretiminde kullanılan polimerik matrisler; termosetler ve termoplastikler olarak sınıflandırılabilirler.

Termoset matris, genelde bir reçineden (örneğin epoksi) ve bir çapraz bağ yapıcı malzemedan oluşur. Bu iki malzemenin karıştırılmasıyla düşük viskoziteli yeni bir malzeme elde edilir. Yapının içinde oluşan, ya da dışarıdan yapıya uygulanan ısı sonucu bu düşük viskoziteli malzeme çapraz bağlanmış olur. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar sonucunda büyük bir moleküler ağ meydana gelir ve tekrar tekrar ısıtılarak işlenemeyen sert bir yapı elde edilir. Karmalarda kullanılan termoset reçineler poliestерler, vinilesterler, epoksiler, siyanat esterleri, poliimidler ve fenoliklerdir. Bunların içinde epoksiler en çok kullanılan termoset reçinelerdir (Campbell, 2004).

Termoplastikler, termosetlerle karşılaştırıldıklarında işlenebilme hızlarının yüksek olması, yüksek sıcaklıklara dayanabilme özellikleri ve malzemeye sağladıkları esneklikten dolayı son yıllarda daha çok önem kazanmışlardır. Termoplastikler genellikle, yüksek viskoziteli, ısıtılarak çapraz bağlanmayan yeterli sıcaklığa ısıtıldıklarında yumuşayıp, eriyebilen malzemelerdir. Böylece birçok defa işlenebilirler. Karma üretiminde, termoplastik matris olarak başlangıçta amorf yapılı poli(eter sülfon) (PES) ve poli(eter imid) (PEI) kullanılmıştır. Sonraki dönemde ise havacılık sektörü uygulamaları için çözücülere karşı dayanıklı termoplastik matrislerin kullanılması önemli bir ön koşul olarak ortaya çıkmıştır. Bundan sonra Poli(eter eter keton) (PEEK) ve Poli(fenilen sülfür) (PPS) gibi yarı-kristal yapılı plastik malzemeler geliştirilmiştir. Bu malzemelerin yanı sıra, Polipropilen (PP) farklı alanlarda çok amaçlı uygulamalarda ve düşük sıcaklıklarda kullanılabilinen bir matris malzemesi olarak özellikle otomotiv endüstrisi için üretilen karmalarda sıklıkla tercih edilmiştir. (Miracle ve Donaldson, 2001).

Ancak KE takviyeli karmaların özellikleri sadece karbon elyafın ve matrisin özelliklerine bağlı olmamakla birlikte elyaf-matris ara yüzeyindeki etkileşimlerden de etkilenir. Çünkü bu iki bileşen arasındaki arayüzey; uygulanan gerilimi matristen elyafa aktarır. Dolayısıyla matris ile elyaf arasındaki yapışma karmanının son mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Dai ve diğ., 2011), (Bourgeois ve Davidson, 1994), (Qian ve diğ., 2013), (Dányádi ve diğ., 2003), (Piggoit, 1989), (Iroh ve Yuan, 1996), (Chen ve diğ., 2007a), (Dilsiz ve Wightman, 2000), (Zhang ve diğ., 2012), (Luo ve diğ., 2011), (Zhang ve diğ., 2011a), (Yao ve diğ., 2012), (Yang ve diğ., 2013). Ancak bununla birlikte termoplastikler termosetlere kıyasla daha az reaktif grup içerdikleri için söz konusu etkileşim özellikle termoplastik bir matris malzemesi kullanıldığında daha önemli bir hal alır (Dányadi ve diğ., 2003). Bunun yanı sıra KE da yüzeyinde son derece az reaktif grup içerir. Bunun sebebi KE üretim sürecinin karbonizasyon aşamasında çok yüksek sıcaklıklara çıkılmasıdır. Bu sıcaklıklarda elyaf yüzeyindeki fonksiyonel gruplar ortadan kaybolurlar (Qian ve diğ., 2013). Dolayısıyla elyaf yüzeyindeki ve termoplastik matristedeki reaktif grup azlığı, KE ve termoplastik matris arasında zayıf yapışmaya sebep olur. Yapışmanın zayıf olduğu durumda ise matris uygulanan gerilimi etkin bir şekilde elyafa transfer edemez ve böylece elyaf da uygulanan yükü taşıma görevini yerine getiremez

(Dányadi ve diğ., 2003). Elyaf-matris arayüzeyinin bu kadar önemli olması sebebiyle elyaf-matris yapışmasını arttırabilmek için bu alanda birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmaların bazıları elyaf yüzeyini reaktif hale getirmeye odaklanırken bir kısmı da matrisi reaktif hale getirmeye odaklanır. Elyaf yüzeyini reaktif hale getirmek için ilk aşamada, karbonizasyon işleminin ardından elyafa yüzey işlemesi yapılır. Böylece elyaf yüzeylerini temizlenmiş ve yüzeylere fonksiyonel gruplar eklenmiş olur. Birçok üretici bu amaçla elektrolitik oksidasyon sürecini kullanmaktadır. Böylece elyaf yüzeylerinde karboksil, karbonil ve hidroksil gruplar meydana gelmektedir. Bu sayede elyafın bazı matris türlerine yapışması iyileştirilmiş olur.

Ön kaplama (sizing) ise elyafı sonraki işlemlerden korumak ve matrise daha iyi yapışmasını sağlamak için yapılan bir diğer işlemdir. Bu işlem sırasında elyaf uygun bir polimer ya da reçine ile kaplanır (Piggoit, 1989), (Iroh ve Yuan, 1996). Bu ön kaplama malzemesi fonksiyonel gruplar içerir ve elyaf yüzeyindeki bu gruplar polimer matris ile tepkimeye veya etkileşime girerek matris ile elyaf arasındaki arayüzey yapışmasını arttırırken, karmanın son mekanik özelliklerini de iyileştirir (Chen ve diğ., 2007a). Ancak, kullanılacak ön kaplama türünün matrise uyumlu olacak şekilde seçilmesi ve ön kaplama malzemesi kaplama miktarının, karmanın özelliklerini önemli ölçüde etkilediği göz önünde bulundurulmalıdır (Dilsiz ve Wightman, 2000), (Zhang ve diğ., 2012), (Luo ve diğ., 2011), (Zhang ve diğ., 2011a), (Yao ve diğ., 2012).

Matris modifikasyonu yönteminde ise elyaf yüzeyiyle kimyasal benzerliği olan polar bağlanma ajanları yardımıyla elyaf-matris ara yüzeyinin iyileştirilmesine çalışılır (Yang ve diğ., 2013). Bağlanma ajanı, görevi elyaf-matris ara yüzeyinde kimyasal bir köprü oluşturmak olan bir kimyasal maddedir. Bir bağlanma ajanı molekülünün bir ucunun elyaf yüzeyine bağlandığı diğer ucunun ise polimer matris ile tepkimeye girerek böylece ara yüzey yapışmasını iyileştirdiği düşünülür (Yang ve diğ., 2013), (Chung, 1994). Literatürde, matris modifikasyonu yönteminin, elyaf yüzeyi modifikasyonu yöntemi ile karşılaştırıldığında daha hızlı ve etkin bir yöntem olduğu belirtilmektedir (Pracella ve diğ., 2006).

## 1.1. Literatür İncelemesi

Literatürde öncelikle yüzeyi herhangi bir kaplama malzemesi ile kaplanmış karbon elyafın yüzey özelliklerinin incelendiği çalışmalar araştırılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Dilsiz ve Wightman (2000)'ın yaptıkları çalışmada yüzeyi kaplanmamış KE ile yüzeyi poliimid ve poliüretan ile kaplanmış KE yüzeylerinin yüzey enerjileri ve yüzeylerin asit-baz karakterleri dinamik temas açısı yöntemiyle incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada KE yüzeyindeki kaplama malzemesinin elyaf yüzeyi üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak KE yüzeyindeki kaplamanın yüzey enerjisini azalttığı ve asit-baz bölgeleri kaplayarak kapattığı bulunmuştur. Kaplanmamış ve kaplanmış karbon elyafın yüzey kimyasını incelemek için X-ışını fotoelektron spektroskopu (XPS) analizi yapıldığında, her iki kaplama kullanıldığı durumda da elyaf yüzeyindeki hidroksil grup sayısının azaldığı bulunmuştur. Ayrıca elyaf-matris ara yüzey yapışmasını değerlendirmek amacıyla, poliimid ve poliüretan kaplanmış ve kaplanmamış elyaf ile epoksi matris kullanılarak hazırlanan karmalara tek lif çekme testi yapılmıştır. Bu test sonucunda, lif yüzeyindeki kimyasal değişikliklerin elyaf-matris yapışması üzerinde direkt bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Dilsiz ve Wightman (1999)'ın yaptıkları başka bir çalışmada, KE/polimer matris karmalarda yapışma mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için yüzeyi kaplanmamış, yüzeyi polieterimid ve poli(tioarilen fosfin oksit) (PTPO) kaplanmış KE yüzeyleri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), XPS ve temas açısı analizleri ile incelenmiştir. AFM fotoğrafları ve yüzü pürüzlülük analizleri göstermiştir ki kaplama elyafın yüzey topografisini değiştirmektedir. Ayrıca kaplanmamış elyafın toplam yüzey enerjisi  $70 \text{ mJ/m}^2$  iken polieterimid kaplanmış elyafın toplam yüzey enerjisi  $54 \text{ mJ/m}^2$ 'ye, PTPO kaplı elyafın toplam yüzey enerjisi ise  $36 \text{ mJ/m}^2$ 'ye düşmüştür. Ayrıca kaplanmış elyaftaki fonksiyonel grup yüzdesinin kaplanmamış elyafa göre bir miktar azaldığı bulunmuştur. Sonuç olarak elyaf yüzeyindeki fonksiyonel grupların ve elyafın yüzey enerjisinin, elyaf-matris yapışmasını değerlendirirken kritik rol oynadığı tespit edilmiştir.

Dai ve diğ., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada KE yüzey kaplamasının, KE yüzeyine ve KE/epoksi arayüzey yapışmasına etkisi incelenmiştir. Bunu yaparken kaplanmış ve kaplanmamış elyaf özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla XPS analizi kullanılmıştır ve bu analizde karbon atomlarına bağlı oksijen ve azot atomları incelenmiştir. Yüzey kimyası analizi sonuçlarına göre kaplanmamış elyaf daha az miktarda hidroksil ve epoksi gruplarıyla tepkimeye girebilecek aktif karbon içermektedirler. Ters gaz kromatografisi analizi kaplanmamış karbon elyafın, kaplanmış olanlara göre daha fazla dispersiv yüzey enerjisi ( $\gamma_s^D$ ) ve daha az polar bileşen ( $\gamma_s^{SP}$ ) içerdiğini göstermiştir. Ayrıca mikro-damlacık testi, kaplanmamış elyaf/epoksi karmalarda ara yüzey kayma dayanımının (IFSS) kaplanmışlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum elyaf-matris arasında sadece fiziksel bir bağlanma olmadığını göstermektedir. Yapılan çalışmada, kaplanmamış elyaf yüzeylerinin daha az asidik olmasının elyaf ve asidik reçine arasındaki yapışmayı kolaylaştırdığı ve ara yüzey kayma dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Zhang ve diğ., (2011a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı molekül kütlesindeki kaplama malzemelerinin KE ve KE karmalarının başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı molekül kütlesindeki kaplama malzemesi kullanılmıştır. Elyaf yüzeylerinin kimyasal bileşimleri ve topografileri XPS, AFM ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca elyaf kaplamasının, yüzey yapışmasına etkilerinin incelenmesi amacıyla tabakalar arası kayma dayanımı ve hidrotermal yaşlanma testleri yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre kullanılan kaplama malzemesinin molekül kütlesinin KE takviyeli karmalar üzerinde önemli bir etkisi vardır. Yüksek ve düşük molekül kütleli kaplama malzemeleri, karmaların ara yüzey kayma dayanımını ve hidrotermal yaşlanma özelliklerini kötüleştirirken, orta dereceli molekül kütleli kaplama malzemesi bu özellikleri iyileştirmektedir.

Luo ve diğ. (2011)'nin yaptıkları çalışmada, kaplama malzemesinin KE yüzeyini ve KE-polimer matris karmalarında yapışmayı nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla SEM, XPS, AFM ve dinamik temas açısı analizleri yapılmıştır. SEM ve AFM

resimleri ile yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde kaplamanın elyaf yüzeyini pürüzsüzleştirdiği görülmüştür. Ayrıca elyaf yüzeylerinin kaplanmasından sonra yüzeydeki fonksiyonel polar grup sayısının, elyafa ait toplam yüzey enerjisinin ve yüzey enerjilerinin polar bileşenlerinin kaplama ile azaldığı bulunmuştur.

Dai ve diğ. (2012) tarafından yapılan bir başka çalışmada, karma üretimi sırasında KE ve kaplama malzemesi arasında meydana gelen kimyasal etkileşimin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yüzey kaplamasının ve ısıtılardan sonra kaplama malzemesi uzaklaşmış karbon elyafın farklı sıcaklıklarda yüzeylerinde meydana gelen yapısal değişiklikler Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi ile incelenmiştir. FTIR analizi sonuçlarına göre elyaf yüzey kaplamasındaki ve kaplaması uzaklaşan elyaf yüzeylerindeki epoksi grup miktarı, artan ısıtılardan sıcaklığı ile azalmıştır. Sıcaklık 200 °C'ye ulaştığında ise sıfır değerine kadar düşmüştür. Ayrıca ısıtılardan sonra, elyaf yüzeyinden ayrılan epoksi grup miktarı elyaf yüzeyindeki miktardan daha düşüktür. Bu durum KE ile kaplama arasındaki tepkime derecesinin, kaplamanın kendi içindeki tepkime derecesinden daha fazla olduğunu göstermiştir.

Zhang ve diğ. (2011b)'nin yaptıkları çalışmada, KE ve KE karmalarının özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, elyaf yüzeyleri üç farklı miktarda emülgatör içeren (% 10, 15 ve 20) kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Kaplama sonrası yüzey özelliklerinde meydana gelen değişiklikler SEM ve AFM analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca ıslanma ve yüzey enerjilerinin temas açısı yoluyla elde edilmesi için dinamik temas açısı analizi yapılmıştır. Kaplama malzemesindeki emülgatör miktarının elyaf özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla ise tek lif çekme dayanımı ve weibull dağılımı incelenmiştir. Ayrıca karmaların arayüzey kayma dayanımı ve hidrotermal yaşlanma özellikleri araştırılmıştır. SEM ve AFM sonuçları kaplama malzemesinin elyaf yüzey topografisini az miktarda değiştirdiğini göstermiştir. Emülgatör miktarı fazla olan (% 20) kaplama malzemesi ile kaplanan karbon elyafın, diğer elyafa göre daha iyi ıslanma, yüzey enerjisi, tek lif dayanımı ve weibull dağılımı gösterdiği elde edilen bir başka sonuçtur. Ayrıca emülgatör miktarı fazla olan kaplama malzemesi, elyaf-matris arasında daha iyi yapışma değeri verirken, % 15 emülgatör içeren kaplama malzemesi ile kaplanan elyaf daha iyi yaşlanma direnci göstermiştir.



Literatürde ayrıca yüzeyi nitrik asit ve maleik anhidrit ile modifiye edilmiş karbon elyafın özelliklerinin incelendiği (Xu ve diğ., 2006), yüzeyine ısı işlem uygulanmış karbon elyafın özelliklerinin incelendiği (Ramanathan ve diğ., 2001) ve kaplama malzemesinin derişiminin karmaların özellikleri üzerine etkisinin incelendiği (Zhang ve diğ., 2012) çalışmalar da bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, KE takviyeli PA 6,6 ve PBT matrisli karmalar hazırlanmıştır. Bu sebeple, literatürde bu tür karmaların incelendiği çalışmalar araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.

Bu bölümde, KE takviyeli poliamit matrisli karmaların hazırlanışının ve özelliklerinin incelendiği çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Erden ve diğ. (2010)'nin yaptıkları çalışmada, KE ile Poliamit 12 (PA 12) arasındaki ara yüzey yapışmasının iyileştirilmesi için elyaf yüzeyinin oksijen fonksiyonelliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bunun için de sürekli atmosferik plazma oksidasyonu (APO) yöntemi kullanılmıştır. APO sadece elyafın yüzey özelliklerini etkilerken, yığın özelliklerini değıştirmemiştir. Temas açısı ve  $\zeta$ -potansiyeli ölçümleri APO ile işlenmiş elyafın hidrofilik özelliklerinin önemli derecede arttığını göstermiştir. Bunun sebebi, elyaf yüzeyinde oksijen içeren polar grup sayısının artmasıdır. Bu durum ayrıca KE yüzey enerjisinin artmasıyla da sonuçlanır. Tek karbon lifi/PA 12 model karmasının arayüzey kayma dayanımı tek lif çekme testi ile incelenmiştir. Bu test sonucu, APO işleminin ara yüzey kayma dayanımını 40 MPa'dan 83 MPa'a çıkardığını göstermiştir. Bu durum elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyileştiğinin göstergesidir.

Li (2008) yaptığı çalışmada, poli(akrilonitril) temelli KE yüzeylerini ozon modifikasyonu yöntemiyle modifiye etmiştir. Ardından modifiye edilen elyaf yüzeyleri XPS analizi ile incelenmiştir. KE takviyeli Poliamit 6 (PA6) karmaların ara yüzey özellikleri ise tek lif çekme testi kullanılarak incelenmiştir. Sonuç olarak, yüzeyi ozon modifikasyonu ile işlem görmüş KE ile hazırlanmış karmaların ara yüzey kayma dayanımı değerlerinin, işlem görmemiş KE ile hazırlanan karmaların ara yüzey kayma dayanımı değerlerine göre % 60 arttığı bulunmuştur. XPS sonuçları

ise, ozonla modifiye edilmiş KE yüzeylerindeki karboksil grup sayısının arttığını göstermiştir. Bu sonuçlar KE ve PA6 arasındaki ara yüzey yapışmasının ozon işlemesi ile iyileştiğini göstermiştir.

Botelho ve Rezende (2006) tarafından yapılan çalışmada, örülmüş KE ile takviye edilmiş PA 6 ve PA 6,6 matrisli karmaların sıcak basınçla kalıplama yöntemiyle üretilmeleri sırasındaki süreç şartları optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla reolojik ve ısıl analizler yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, sıcak basınçla kalıplama sırasında kullanılması gereken süreç sıcaklığı PA 6 için 250 °C ve PA 6,6 için ise 290 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca karmaların kayıp modül değerlerinin karmadaki KE miktarı arttıkça arttığı, bununla birlikte camsı geçiş sıcaklığının sabit kaldığı bulunmuştur.

Botelho ve diğ. (2002)'nin yaptıkları bir başka çalışmada KE/PA 6,6 reçine emdirilmiş karmalar sıcak basınçla kalıplama yöntemiyle hazırlanmıştır. Karma üretimi sırasındaki farklı basamaklarda PA 6,6'nın davranışı, termogravimetrik analiz (TGA) ve kristalinite derecesinin incelenmesi yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca karbon elyafın polimer matris içindeki dağılımı optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. DSC sonuçlarına göre PA 6,6'nın erime sıcaklığı ve kristalinite değeri üretim öncesinde ve sonrasında hemen hemen aynı kalmıştır. TGA sonuçları PA 6,6'nın kütle kaybı profilinin reçine emdirme işlemi öncesinde ve sonrasında değişmediğini göstermiştir. X-ışını difraktometresi (XRD) sonuçları, kalıpta yavaş soğuma olduğu durumda, yapıda yeni bir kristal fazın oluştuğunu göstermiştir. Optik mikroskop ve SEM analizi karma hazırlanması sırasında belirlenen süreç şartlarının homojen bir karma üretilmesini sağladığını ve PA 6,6'nın KE üzerinde iyi dağıldığını göstermiştir.

Molnár ve diğ. (1999)'nin yaptıkları çalışmada kısa KE takviyeli PA 6 karmaları, ekstrüderle harmanlama ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleriyle hazırlanmıştır. Hazırlanan karmalarda elyaf içeriği hacimce % 0 ile % 16 arasında değiştirilmiştir. Enjeksiyonla kalıplama hızı ise 2,0 cm/s ile 22,6 cm/s arasında değişmiştir. Yapıyı karakterize etmek için ortalama elyaf uzunluğu ve yönlenmesi ölçülmüştür. Sonuçlar, artan elyaf miktarı ve kalıplama hızıyla ortalama elyaf uzunluğunun azaldığını göstermiştir. Ayrıca karmanın enjeksiyon cihazı ile temas eden en üst tabakasındaki

liflerin rastgele yönlendikleri ancak karmanın ortasındaki liflerin akış yönünde yönlendikleri görülmüştür. Yapılan darbe testi sonucunda, tüm bileşimlerin benzer şekilde gevrek kırılmaya uğradıkları, en düşük elyaf miktarında en düşük kırılma tokluğu ve darbe direncinin elde edildiği tespit edilmiştir. Bu sebeple elyaf miktarının ve enjeksiyon hızının malzemenin bükülmezliğini (rijitliğini) ve tokluğunu arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Nie ve diğ. (2010a)'nin yaptıkları çalışmada, KE yüzeyi, havada oksitlenme ve bir bağlanma ajanı ile modifiye edilmiş ve modifikasyon yöntemlerinden hangisinin karbon elyafın poliamit matrise yapışmasını iyileştirdiği incelenmiştir. Bağlanma ajanı modifikasyonu yöntemi, havada oksitlenme yöntemine göre elyaf-matris arasındaki yapışmayı oldukça kuvvetlendirmektedir. En uygun (optimum) ara yüzey yapışması kütlece % 0,3 yapışma ajanı derişiminde elde edilmiştir. Tüm ısıl genleşme süreci boyunca bağlanma ajanı kullanılan karmalardaki doğrusal uzunlukta meydana gelen değışim, diğere yöntemle modifiye edilen karmalarda meydana gelen değışimden daha düşük olmuştur. Bu durum, elyaf yüzeyinin bağlanma ajanı ile modifikasyonunun yapışmayı iyileştirdiği şeklinde yorumlanmıştır.

Yukarıda özetlenen çalışmalara ek olarak, KE yüzeyindeki bazik ve asidik oksitlerin, karbon elyafın poliamit matrise yapışmasına etkisinin incelendiği (Bismarck ve diğ., 1999), karbon nano-elyaf takviyeli PA 6,6 matrisli karma üretimi için alternatif yöntemlerin sunulduğu (Linares ve diğ., 2011) ve KE ile Poliamit 12 (PA 12) matris arasındaki yapışmanın incelendiği (Rashkovan ve Korabelnikov, 1997) yayınlar da literatürde bulunmaktadır. Bunların yanında, KE takviyeli PA 6 karmaların aşınma davranışlarının ve tribolojik özelliklerinin incelendiği (Nie ve Li, 2010), (Li ve Xia, 2010), KE takviyeli PA 6/kil nanokarmalarında elyaf dağılımının ve kırılmasının incelendiği (Zhou ve diğ., 2007), KE ile takviye edilmiş PPS/PA 6 karışımlarının aşınma özelliklerinin incelendiği (Chen ve diğ., 2007b) çalışmalara da rastlanmıştır. Ayrıca, KE takviyeli PA 6 matrisli karmaların elektriksel dirençlerinin ölçüldüğü (Mei ve Chung, 2000), farklı işlemlere maruz bırakılan KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların darbe özelliklerinin incelendiği (Korinek ve Steidl, 2000) ve farklı yöntemlerle üretilen KE takviyeli PA 6 ve PA 6,6 matrisli karmaların mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmalar da vardır (Botelho ve diğ., 2003), (Hassan ve diğ., 2003).

Bir başka çalışmada ise kısa cam elyaf ve kısa KE ile takviye edilmiş PA 6,6 matrisli melez karmaların tekrar işlenebilirlikleri incelenmiştir (Licea-Claverie ve diğ., 2002). Bunlardan başka literatürde, TiO<sub>2</sub>/kısa KE/PA 6,6 karmalarının aşınma davranışının incelendiği (Li ve Liang, 2010), yüzeyi işlem görmüş KE takviyeli akrilonitril bütadien stiren (ABS)/PA 6 karmaların çekme özelliklerinin incelendiği (Nie ve diğ., 2010b), (Li ve Zhang, 2009a) ve kısa KE takviyeli PA 6,6 ve polikarbonat matrisli karmaların ara yüzey yapışmalarının nano-yırtma testi ile değerlendirildiği (King ve diğ., 2007) çalışmalar da bulunmaktadır.

Ancak literatürde, bu tez çalışmasında kullanılan altı farklı kaplama malzemesi ile 3 farklı kaplama miktarında kaplanmış KE ile takviye edilmiş PA 6,6 matrisli karmaların özelliklerinin incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

Literatürde KE takviyeli PBT matrisli karmaların özelliklerinin incelendiği çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ng ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, bor nitrür ve KE takviyeli PBT matrisli hibrit karmalar, eriyikten karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Bu karmaların ısı ve elektriksel iletkenlikleri ile çekme ve reolojik özellikleri incelenmiştir. KE/PBT karmalarına bor nitrür koyulması ile karmaların çekme özellikleri ve işlenebilirlikleri aynı toplam takviye malzemesi miktarında PBT/bor nitrür karmalarından daha iyi değerler vermiştir. PBT/bor nitrür karmalarına KE eklenmesi, bu karmaların ısı iletkenliğini değiştirmese de, elektriksel iletkenliklerini önemli derecede azaltmıştır. Çalışmada, hibrit karmaların ısı iletkenliklerinin PBT/bor nitrür karmalardan daha düşük olmasının sebebi ekstrüzyon sırasında meydana gelen elyaf kırılması ve elyafın eriyik akış yönünde yönelmesi olarak gösterilmiştir. KE/PBT karmalarına bor nitrür koyulduğu durumda elektriksel iletkenliğin azalmasının sebebi ise bor nitrürün elektriksel direnç noktaları gibi davranması ve karmada oluşmuş iletken ağ yapısındaki etkin elektron iletim yollarının sayısını azalması olarak açıklanmıştır.

Wiedmer ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, KE yüzeyleri hızlandırılmış elektronlar ile ışınlanmıştır. Bu KE türleri kullanılarak PBT, Poliamit 4,6 (PA 4,6), PA 6,6 ve PPS termoplastik matrisli karmalar hazırlanmış ve bu karmaların

özellikleri incelenmiştir. Ayrıca malzemelerin farklı ışınlama dozlarına maruz kalmadan önce ve kaldıktan sonraki ısıl ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. PBT, PPS ve PA 4,6 polimerlerinin ışınlamadan sonra yapılarında önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ancak KE/PA 6,6 karmalarında çapraz bağlanma ajanı varlığında ışınlama sonrası bazı değişiklikler görülmüştür. Bu değişikliklerin ışınlamayla hızlandırılmış çapraz bağlanma tepkimesinden kaynaklandığı yorumu yapılmıştır. Bunun yanı sıra ışınlamanın eğilme özellikleri üzerine etkisinin önemsiz derecede olduğu, ancak akma davranışının iyileştiği görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada, takviye edilmemiş PA 6,6 örneklerinin ışınlamayla hızlandırılmış bir şekilde çapraz bağlandığı, çözücü ekstraksiyonu yöntemiyle gerçekleştirilen jel içeriği ölçümleri ile kanıtlanmıştır.

Literatürde, KE takviyeli PBT matrisli karmaların ortopedik uygulamalarda kullanımına yönelik araştırmaların yapıldığı (Brooks ve diğ., 2004), şekil hafızalı alaşım kablolarında kullanılan KE takviyeli PBT matrisli karmaların incelendiği (Aurrekoetxea ve diğ., 2011) ve KE takviyeli epoksi karmalara PBT eklenmesinin karmaların tokluğuna olan etkisinin araştırıldığı (Jang ve diğ., 1999) çalışmalar da bulunmaktadır. Ayrıca, karbon nano-elyaf takviyeli PBT matrisli karmaların incelendiği çalışmalar da yer almaktadır (Mago ve diğ., 2009).

Ancak literatür incelendiğinde, farklı kaplama malzemesi türlerinin ve kaplama malzemesi miktarının etkisinin incelendiği, KE ile takviye edilmiş PBT matrisli karmaların üretildiği ve özelliklerinin incelendiği çalışma bulunmadığı görülmüştür.

Literatürde KE takviyeli karmalarda elyaf-matris arasındaki arayüzey yapışmasının iyileştirilmesi amacıyla bağlanma ajanlarının kullanıldığı çalışmalar araştırılmıştır. Yapılan araştırmaya göre silan bağlanma ajanlarının KE dahil tüm elyaf türleri için en çok kullanılan bağlanma ajanı türleri oldukları ve bu konuyla ilgili yapılmış oldukça fazla çalışma olduğu görülmüştür (Yang ve diğ., 2013), (Shokoohi ve Azar, 2009), (Shokoohi ve diğ., 2008).

Bunun yanında, polar moleküller kullanılarak polimer modifikasyonu yöntemiyle elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyileştirilmeye çalışıldığı (Pracella ve diğ., 2006), (Saheb ve Jog, 1999), (Karsli ve Aytac, 2011), (Karsli ve diğ., 2013) ve yüksek polaritedeki poli(hedral oligomerik silseskuokzan) (POSS) nano parçacıklarının KE yüzeyine aşılınmasıyla elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyileştirilmeye çalışıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadırlar (Zhao ve Huang, 2011a, 2011b), (Zhao ve diğ., 2011a).

Bununla birlikte, 1,4-fenilenbisoksazolin (PBO) fenilendiizosiyanat (PDI), karbonil bis(1-kaprolaktam) (CBC) ve Joncryl gibi bifonksiyonel kimyasallar, polikondenzasyon tepkimesi ile üretilen polimerler için sıkça kullanılan ve etkin zincir uzatıcılardır (Yang ve diğ., 2013), (Böhme ve diğ., 2007), (URL-1), (Scheirs ve Long, 2003) ve bu kimyasalların matris modifikasyonu için kullanılmaları mümkündür. Ancak bu bağlanma ajanlarının ön kaplanmış ya da kaplanmamış KE ile polimerik matris arasındaki yapışmayı iyileştirme özelliklerinin incelendiği çalışmalara literatürde henüz rastlanmamıştır.

## **1.2. Çalışmanın Özgün Yanı**

Çalışmada, ön kaplanmamış ve beş farklı kaplama malzemesi ile ön kaplanmış karbon elyafın, çeşitli termoplastik matrisler ile uyumu incelenmiş ve özellikleri daha da iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu sayede elde edilen karmaların, mekanik, termomekanik ve morfolojik özellikleri belirlenmiş ve çeşitli sektörlerdeki karma üreticileri için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu amaçla çeşitli sektörlerle hitap edebilecek termoplastik matrisler kullanılmıştır. Böylece bu tez çalışması, KE destekli karma üretiminde, üreticiler için bir yol gösterici olmuştur. Ayrıca ön kaplanmış kısa KE kullanılarak üretilen karmaların konvansiyonel polimer işleme yöntemleri ile işlenebilir olması, çalışma sonucunda geliştirilen ürünün karma üreticileri tarafından kolaylıkla seri üretim koşullarında üretilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında farklı kaplama malzemeleriyle ve farklı kaplama miktarlarında kaplanmış karbon elyafın takviye malzemesi olarak kullanıldığı PA 6,6 ve PBT matrisli karma üretiminin yapıldığı, bu karmaların özelliklerinin karakterize edildiği ve elyaf-matris ara yüzey uyumunun incelendiği bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Ayrıca matris için en uygun kaplama türü ve kaplama miktarının belirlenerek elyaf-matris yapışmasının daha da iyileştirilmesi amacıyla matris modifikasyonu yönteminin kullanılmış olması, literatürde henüz böyle bir çalışma bulunmadığından çalışmanın özgünlüğünü arttırmaktadır.

### **1.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler**

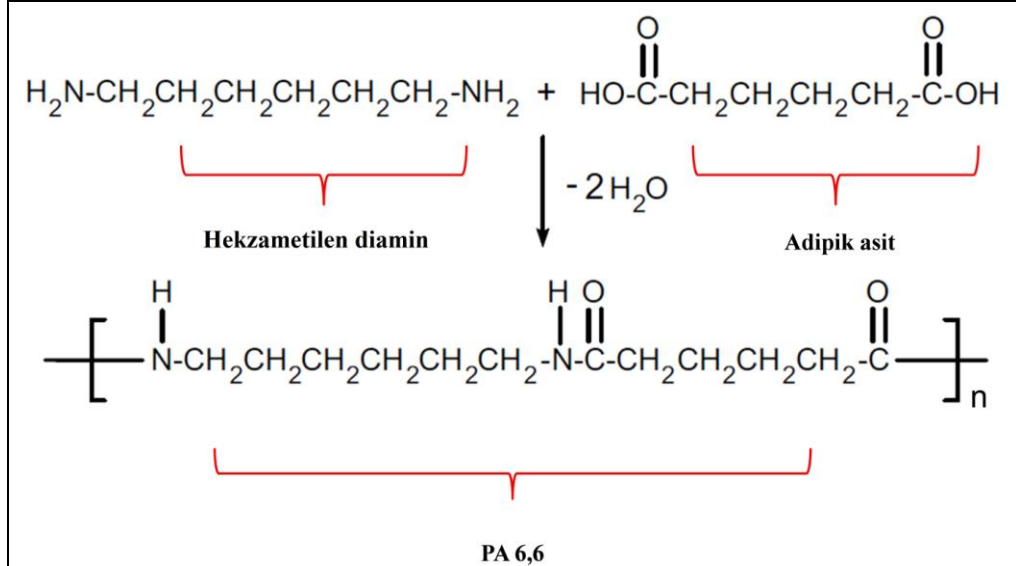
#### **1.3.1. Poliamit 6,6**

Poliamitler, ilk ticari termoplastik mühendislik polimerleridir. İlk poliamit olan Poliamit 6,6, 1928 yılında Wallace Carothers tarafından sentezlenmiştir. Ancak, 12 yıl kadar önemi farkına varılamamıştır. PA 6,6 1938 yılında ilk defa elyaf olarak üretilmiş ve ikinci dünya savaşı sırasında ipek kaynaklarının Japonya'nın elinde bulunması sebebiyle paraşüt yapamayan ABD tarafından ipeğe alternatif olarak hizmete sunulmuştur. Ürün daha sonra Amerikalılar tarafından NYLON (Now You Lose Old Nippon) şeklinde adlandırılmıştır (Melton ve diğ., 2011).

Poliamitler yapılarındaki amit bağı (-NH-CO-) ile karakterize edilirler. Üretimleri için beş temel polimerizasyon yöntemi vardır. Bunlar: (1) bir diamine ile bir dikarboksilik asitin tepkimesi, (2) uygun bir aminoasitin kondenzasyonu, (3) laktamın halka açılması, (4) bir diaminin bir diasit klorür ile tepkimesi, (5) bir diizosiyanatın bir dikarboksilik asit ile tepkimesidir (Baker ve Mead, 2000).

Piyasada, birçok poliamit türü vardır ve bu türler polimerin sentezi sırasında kullanılan başlangıç monomerine bağlıdır. Poliamitin adına, polimerizasyon sırasında kullanılan monomerdeki karbon atomu sayısı ile karar verilir. Eğer sadece bir monomer kullanılıyorsa poliamit sadece monomerindeki karbon atomu sayısı ile adlandırılır (PA 6, PA 12 gibi). Eğer iki farklı monomer kullanılıyorsa poliamit iki sayı kullanılarak adlandırılır (PA 6,6 ya da PA 6,12 gibi). İlk sayı kullanılan diamindeki karbon atomu sayısını ifade ederken ikinci sayı diasitteki karbon atomu sayısını ifade eder (Mark, 2004).

PA 6,6 ise heksametilen diamin ile adipik asitin kondenzasyon tepkimesi ile üretilir. PA 6,6'nın kondenzasyon tepkimesi heksametilen diamin ile adipik asit arasında gerçekleşir ve bu tepkime aşağıda verilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. PA 6,6'nın kondenzasyon tepkimesi (Melton ve diğ., 2011)

PA 6,6'daki polar amit ve karbonil grupların dizilimi simetriktir. Böylece komşu polar gruplar yönlendiklerinde aralarında kolayca hidrojen bağı oluşur. Bu da polimerin o bölgesindeki kristalinitesinin artmasını sağlar (Baker ve Mead, 2000), (Mark, 2004).

PA 6,6 yarı kristalin bir yapıdadır. Yani hidrojen bağı sayısının fazla olduğu kristalin bölgelerden ve bu bağı sayısının az olduğu amorf bölgelerden oluşur. Kristalin bölgeler yapıya bükülmezlik, dayanım, akma direnci, kimyasal direnç, ısıl kararlılık ve iyi elektriksel özellik gibi nitelikler sağlarken amorf bölgeler darbe dayanımı ve uzama özelliğini etkiler (Baker ve Mead, 2000), (Mark, 2004), (Ebewele, 2000).

PA 6,6'nın yüksek erime noktası, zincirler arasındaki kuvvetli hidrojen bağının ve kristal yapının bir fonksiyonudur. PA 6,6 dar bir erime sıcaklığı aralığına sahiptir. Bu sıcaklık aralığında yapıdaki hidrojen bağları aniden kırılmaya başlar ve polimerin eriyik viskozitesi aniden düşer (Melton ve diğ., 2011), (Mark, 2004).



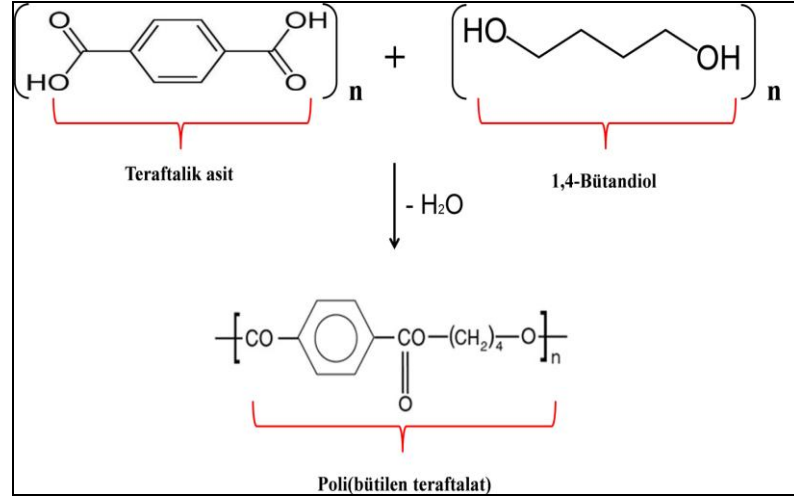
PA 6,6'nın en önemli karakteristik özelliklerinden biri de önemli miktarda nem tutmasıdır. Nem absorpsiyonu genellikle yapının amorf bölgelerinde meydana gelir. Nem, yapıdaki hidrojen bağlarını bozarak plastikleştirici etkisi yaratır ve camsı geçiş sıcaklığı ( $T_g$ ) değerini ve çekme dayanımını düşürür. Bununla birlikte malzeme daha esnek hale gelir ve darbe dayanımı artar (Baker ve Mead, 2000), (Mark, 2004), (Ebewele, 2000).

PA 6,6 çentiğe duyarlıdır bu sebeple malzemede çentik açıldığı zaman darbe dayanımı, çentiksiz darbe dayanımına göre oldukça düşer. PA 6,6'nın bükülmezlik ve dayanım gibi özellikleri cam elyaf ya da KE gibi takviye malzemelerinin eklenmesiyle arttırılabilir (Mark, 2004), (Ebewele, 2000).

PA 6,6'nın en önemli eksikliklerinden biri işlenmesi sırasında önemli ölçüde kalıp çekmesi meydana gelmesidir. Polimer eriyiği soğurken kristallenir ve bu sırada yoğunluğu artar. Bu durum üründe boşluklar oluşmasına ve çökmelere neden olur. PA 6,6'nın boyutsal kararlılığı takviye malzemesi ya da çekirdeklenme ajanı kullanılarak arttırılabilir (Baker ve Mead, 2000), (Mark, 2004).

### **1.3.2. Poli(bütülen teraftalat)**

Poliesterler, zincirlerinde ester grupları içeren doğrusal polimerik moleküllerdir ve bir diasit ile bir diol'ün kondenzasyon tepkimesi ile üretilirler. İlk ticari poliesterler alkid reçineleridir ve I. Dünya Savaşı'ndan sonra yüzey kaplaması olarak kullanılmışlardır. Daha sonra 1942 yılına kadar Carothers tarafından başka poliesterler de sentezlenmeye çalışılsa da ilk yüksek molekül kütleli poliester olan Poli(etilen teraftalat) (PET), 1942 yılında II. Dünya Savaşı başlarında İngiltere'de J. Rex Whinfiel ve W. Dickson tarafından sentezlenmiştir. Bu grup daha sonra da PBT'yi sentezlemiştir. Ancak PBT'nin ticarileştirilmesi II. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar mümkün olmamıştır. PBT'ye ait kondenzasyon tepkimesi Şekil 1.2'de verilmiştir (Mark, 2004).



Şekil 1.2. PBT'nin kondenzasyon tepkimesi

PBT, endüstriyel öneme sahip yarı kristalin bir termoplastik poliesterdir. Kalıplama yöntemiyle şekillenen PBT'nin özellikleri lif halindeki PBT'nin özelliklerinden daha iyidir. Bu sayede mühendislik plastikleri pazarında yıllık üretim miktarı 800,000 tonu aşmıştır. PBT, PET ile karşılaştırıldığında üstün gelen bu iyi özelliklerini, yüksek sayılabilecek kristallenme hızına borçludur. Ayrıca PET'den daha hızlı kristallenebilen PBT'nin kristallenebilmesi için çekirdeklenme ajanına ihtiyacı yoktur. Bu hızlı kristallenebilme özelliği PBT'yi enjeksiyonla kalıplama yöntemi için üstün kılar. PBT'nin erime sıcaklığı PET'e göre düşüktür, bu nedenle düşük sıcaklıklarda kalıplanabilir, hızlı işlenebilir ve üretilebilir. Bunların yanı sıra, PBT'nin özellikleri poliamitlerle karşılaştırıldığında, PBT'nin bazı üstünlüklere sahip olduğu görülür. Bunlardan en önemlisi nem çekme özelliğinin poliamitlere göre çok düşük olmasıdır. Poliamitlerin fiziksel özellikleri nem içeriklerine bağlıken PBT'de böyle bir eksiklik görülmez (Thomas ve Visakh, 2011).

Yarı kristalin özellikteki PBT'nin kristalizasyon derecesi yaklaşık % 35-40 civarındadır. Ayrıca  $T_g$  değeri yaklaşık 50-60 °C arasındayken, erime sıcaklığı ise 222-232 °C aralığındadır. PBT'nin genel karakteristik özellikleri poliamitlerle, PET arasında yer almaktadır. Düşük üretim maliyeti ve mükemmel kimyasal direnci gibi öne çıkan fiziksel özellikleri sayesinde, PBT poliamitler için en önemli rakiptir. PBT yüksek dayanım, düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk, düşük nem çekme, birçok organik çözücüye karşı iyi direnç gösterme, iyi aşınma direnci ve kolay işlenebilme gibi önemli ve faydalı özelliklere sahiptir. PBT'nin mekanik özellikleri (çekme

dayanımı ve modül gibi) diğer mühendislik polimerleri ile karşılaştırılabilir düzeyde olmakla birlikte PA 6,6'dan az miktarda düşük ancak polikarbonattan (PC) yüksektir. PBT'nin en önemli özelliklerinden biride iyi bir elektriksel yalıtkan polimer olmasıdır ve bu özellik geniş bir sıcaklık ve nem aralığında değişmemektedir. Bu da PBT'yi elektrik ve elektronik cihazların üretiminde kullanılmak üzere güvenilir ve uygun bir malzeme yapmaktadır (Thomas ve Visakh, 2011).

PBT, yukarıda bahsedilen özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elektronik ve iletişim cihazları, bilgisayarlar, televizyonlar, ev aletleri, aydınlatma sistemleri, medikal aletler PBT'nin kullanım alanlarından yalnızca birkaçıdır (Thomas ve Visakh, 2011).

Saf PBT'nin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve kullanım alanını genişletmek amacıyla elyaf takviyeli PBT matrisli karmalar hazırlanabilir. Hazırlanan PBT matrisli karmalarda, KE tercih edilen bir takviye malzemesi türüdür ve yüksek dayanım ve düşük yoğunluk özellikleri sebebiyle karmaya cam elyaftan daha iyi özellikler kazandırır. Ancak KE takviyeli PBT matrisli karmalarda en önemli nokta, yapı içinde yeterli elyaf teması sağlandığında, karbon elyafın PBT matrise iletkenlik kazandırmasıdır (Thomas ve Visakh, 2011), (Chen ve diğ., 2013).

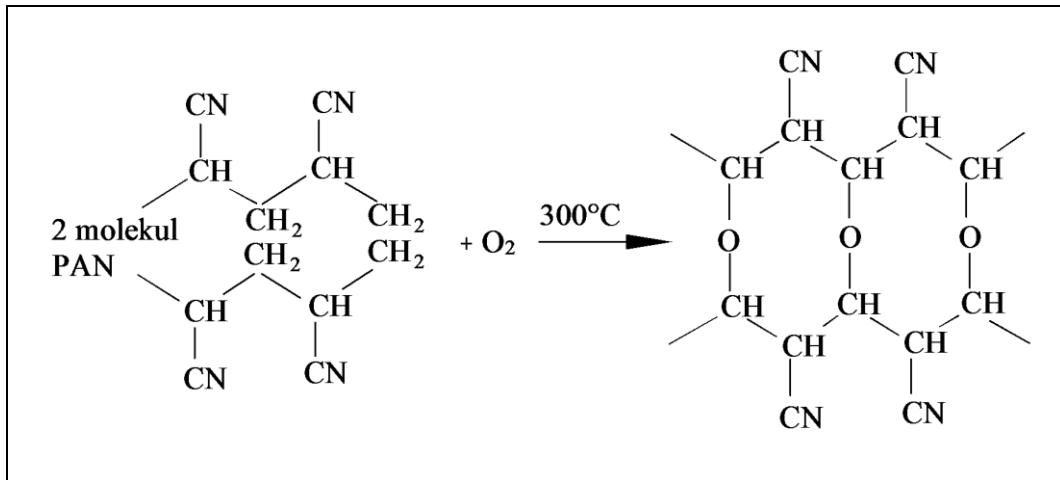
### **1.3.3. Karbon elyaf**

Karbon elyafın bilinen en eski ticari kullanımı; 1800'lerin sonlarında, akkor lamba teli (flamenti) elde etmek amacıyla pamuk ve bambu lifinin karbonizasyonu ile başlamıştır. Takviye malzemesi olarak kullanımı ise 1950'lerin sonlarında roket malzemesi olarak kullanılmasıyla olmuştur. 2. Dünya Savaşı sırasında Union Carbide Corporation firması, rayon ve poli(akrilo nitril)'in (PAN) karbonizasyonunu bulmuştur. Karbon lifi üretmek için uygun olduğu düşünülen diğer malzemeler poliesterler, poliamitler, poli(vinil alkol), poli-p-fenilen ve fenolik reçinelerdir. Bu malzemelerden rayon, PAN ve ziftin (pitch) iyi mekanik özellikler gösterdiği bilinmektedir. İlk KE rayondan yapılmıştır. Ancak günümüzde ticari olarak satılan karbon elyafın % 90'ı PAN temellidir. Çünkü PAN temelli KE, zift ya da rayondan

yapılan karbon elyafa kıyasla yüksek dayanım, modül ve kopma uzamasına sahiptir. Her hammaddeden KE üretme süreçleri farklılıklar gösterse de hepsinin üretiminde genel olarak aynı sıra izlenir: (1) Lif yapma, (2) Stabilizasyon (3) Karbonizasyon (4) Yüzey iyileştirmesi ve kaplama (Mazumdar, 2002).

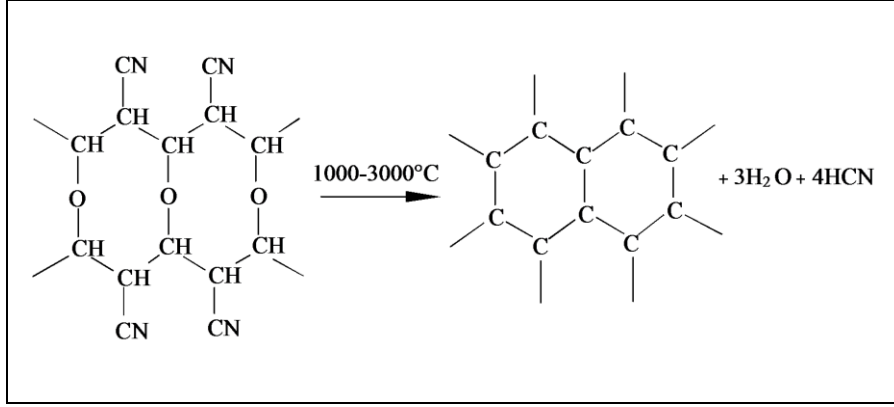
Günümüzde kullanılan karbon elyafın büyük çoğunluğu PAN temellidir. Üretimde ilk aşama, PAN polimerinin, standart tekstil lifi sürecinde olduğu gibi, lif haline getirilmesidir. PAN temelli karbon elyafın üretim süreci aşağıda anlatılmıştır (Mazumdar, 2002), (Miracle ve Donaldson, 2001):

Oksidasyon aşamasında elyaf gerdirilir ve oksijen ortamında yaklaşık 300 °C'ye kadar ısıtılır. Bu işlemle, elyafın hidrojen ayrılır ve yerine daha uçucu olan oksijen bağlanır (Şekil 1.3). Bu sayede moleküller yönlenir ve çapraz bağlanırlar. Bu da elyafın yüksek sıcaklıklarda bozunmasını önler.



Şekil 1.3. Karbon elyafın oksidasyon işlemi

Karbonizasyon, elyafın oksijensiz ortamda 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin % 100 karbonlaşmasının sağlandığı aşamadır (Şekil 1.4). Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler.



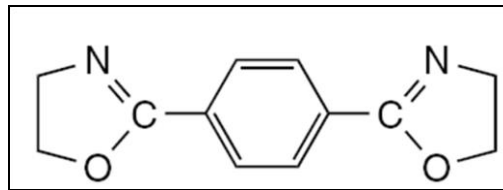
Şekil 1.4. Karbon elyafın karbonizasyon işlemi

Karbonizasyonun ardından elyafa yüzey işlemesi yapılır. Bu işlemin amacı elyaf yüzeylerini temizlemek ve yüzeylerinde fonksiyonel grup oluşturmaktır. Birçok üretici bu amaçla elektrolitik oksidasyon sürecini kullanmaktadır. Böylece elyaf yüzeylerinde karboksil, karbonil ve hidroksil gruplar meydana gelmektedir. Bu sayede elyafın matrise yapışması iyileştirilmiş olur.

Ön kaplama (sizing) ise elyafı sonraki işlemlerden korumak ve matrise daha iyi yapışmasını sağlamak için yapılan bir işlemdir. Bu işlem sırasında elyaf reçine ile kaplanır. Bu reçine karmada matris ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür. Kaplama işleminde reçine olarak genellikle epoksi kullanılır (Chung, 1994).

#### 1.3.4. 1,4-fenilen bisoksazolin

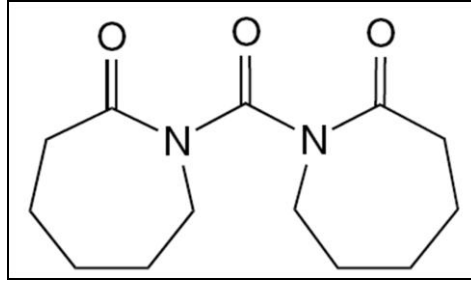
PBO, poliamitler ve poliesterler (PBT, PET, vb.) gibi polikondenzasyon tepkimesi ile üretilen polimerler için sıkça kullanılan doğrusal bir zincir uzatıcıdır. Zincir uzatıcılık görevini bu polimerlerin karboksilik asit ya da amin uç gruplarını bağlayarak gerçekleştirir (Scheirs ve Long, 2003). PBO'nun moleküler yapısı Şekil 1,5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. PBO'nun moleküler yapısı

### 1.3.5. Karbonil bis(1-kaprolaktam)

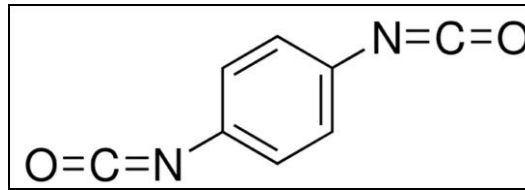
CBC, doğrusal bir zincir uzatıcıdır ve polikondenzasyon tepkimesi ile üretilen polimerler için (poliamitler ve poliesterler gibi) sıkça kullanılır. CBC, polikondenzasyon tepkimesi ile üretilen bu polimerlerin hidroksil ya da amin uç gruplarını bağlayarak daha yüksek moleküler kütlede polimer elde edilmesini sağlar (Scheirs ve Long, 2003). Bunun yanı sıra bağlanma ajanı ya da bağlanma ajanı olarak kullanılabilen CBC'nin moleküler yapısı Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. CBC'nin moleküler yapısı

### 1.3.6. 1,4-Fenilendiizosiyanat

İzosiyanatlar, yüksek miktarlarda doymamış gruplar içeren ve hem elektron alıcı hem de elektron verici gruplarla tepkimeye girebilen moleküllerdir. Özellikle hidroksil, amin, karboksil uç gruplarla ve suyla düşük sıcaklıklarda aktif bir şekilde tepkimeye girebilirler (Aksoy, 2008). PDI'nin moleküler yapısı Şekil 1.7'de verilmiştir.

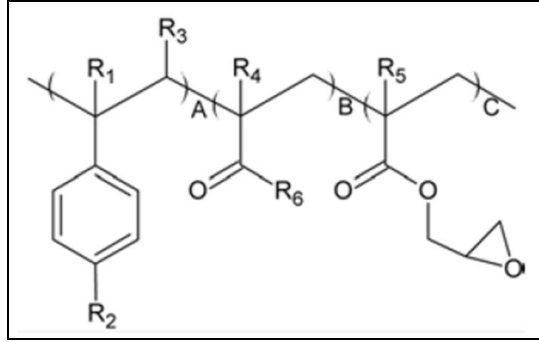


Şekil 1.7. PDI'nin moleküler yapısı

### 1.3.7. Joncryl®

Joncryl, doğrusal olmayan bir yapıya sahip, yüksek miktarda fonksiyonel epoksi grupları içeren, geniş kullanım alanına sahip oligomerik bir zincir uzatıcı ve bağlanma ajanıdır. Bu sayede kondenzasyon tepkimesi ile üretilen termoplastik polimerler ile tepkimeye girer (URL-1). Joncryl'in genel moleküler yapısı Şekil 1.8'de verilmiştir. Burada R<sub>1</sub>-R<sub>5</sub> hidrojen (H), metil (CH<sub>3</sub>), alkil grupları ya da

tümünü ortak olarak içeren grupları ifade ederken  $R_6$  bir alkil grubu ifade eder. Ayrıca A ve B indisleri 1-20 aralığında bir değer alabilirken C indisi ise 1-12 aralığında bir değer alabilir (Cailloux ve diğ., 2013).

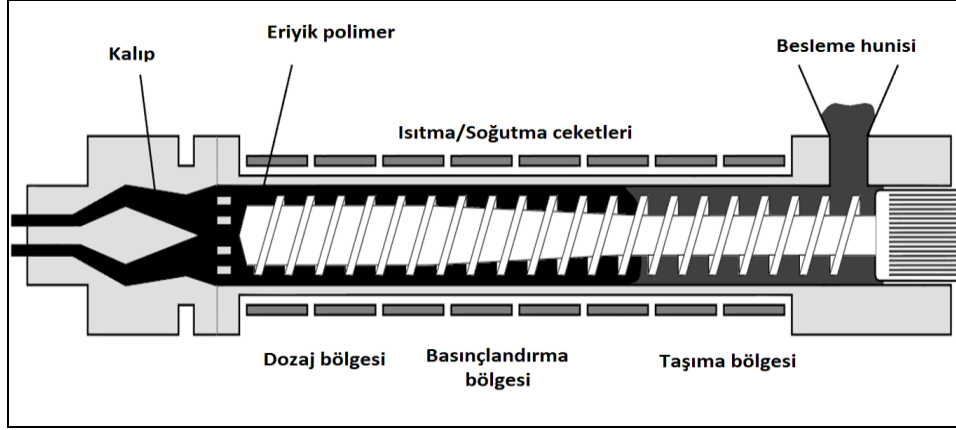


Şekil 1.8. Joncryl'in moleküler yapısı

#### 1.4. Çalışmada Kullanılan Karma Üretim Yöntemi

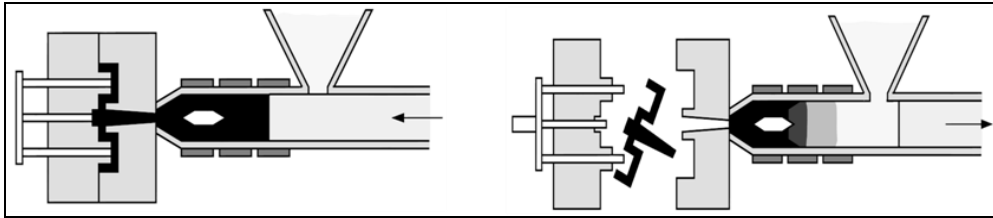
Ekstrüzyon, toz ya da granül haldeki termoplastik malzemeleri eriyik hale dönüştürmek, karıştırmak ve şekillendirmek için kullanılan bir işleme tekniğidir. Bir ekstrüderin temel görevi, malzemeye yeterli basıncı uygulamak ve bu sayede malzemenin kalıba doğru itilmesini sağlamaktır (Mark, 2004), (Baird, 2001), (Vegt, 2002), (Rauwendaal, 2001).

Bir ekstrüderin temel bileşenleri kontrol paneli, besleyici, vida, kovan ve kalıptır. Kontrol paneli, ekstrüzyon işleminin idare edildiği bölümdür. Vida ekstrüderin en önemli parçasıdır. Çünkü taşıma, ısıtma, eritme ve karıştırma gibi işlemler vida tarafından gerçekleştirilir. Bu sebeple sürecin kararlılığı ve ürünün kalitesi vida tasarımına bağlıdır. Kovan, vidanın içinde yer aldığı silindir şeklindeki bölümdür. Genellikle çelikten yapılır ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Kovanın aşınma direnci vidadan daha yüksektir. Çünkü vidayı tamir etmek ya da değiştirmek kovayı değiştirmekten daha kolaydır. Kalıp ekstrüderin ucunda, boşaltma bölgesinde yer alır. İşlevi ürün olarak alınan plastiğe istenilen şekli vermektir (Mark, 2004), (Baird, 2001), (Vegt, 2002), (Rauwendaal, 2001). Bir ekstrüderin temel yapısı Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Bir ekstrüderin temel yapısı (Vegt, 2002)

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastikleri ve bazı termoset malzemeleri pelet ya da toz halden çeşitli şekillerde ürünlere dönüştürmek için kullanılan işleme tekniklerinden biridir. Enjeksiyonla kalıplamada önce pelet ya da tozlar eriyinceye kadar ısıtılır. Daha sonra eriyik, istenilen şekildeki kalıba basınç altında enjekte edilir ve katılaşmaya kadar beklenir. Son olarak kalıp açılır ve ürün çıkartılır (Vegt, 2002), (Ebewele, 2000). Bir enjeksiyonla kalıplama cihazının temel işleyişi Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Enjeksiyonla kalıplama cihazının temel işleyişi (Vegt, 2002)

## 1.5. Çalışmada Kullanılan Karakterizasyon Yöntemleri

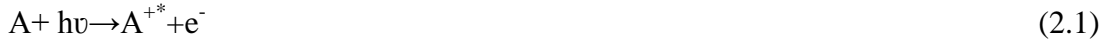
### 1.5.1. X-ışını fotoelektron spektroskopu

X-ışını fotoelektron spektroskopisi veya kimyasal analiz için elektron spektroskopisi (ESCA), katı malzemelerin yüzeyleri hakkında kimyasal bilgi elde etmek için kullanılan gelişmiş bir yüzey analiz tekniğidir. XPS yöntemi, ışın yayma prensibine dayanır. Bir yüzey X-ışınları ile uyarıldığında, yüzey atomlarının çekirdek



seviyesindeki elektronları X-ışını foton enerjisini ( $h\nu$ ) absorbe ederler. Böylece elektronların bağlanma enerjilerini ( $E_B$ ) aşan bu yüksek enerji yardımıyla yüzeyden belirli bir kinetik enerjiye sahip ( $E_{kin}$ ) bir elektron koparılır (Cao, 2008), (İsbir, 2007).

Bu olay aşağıdaki denklik gösterilebilir:

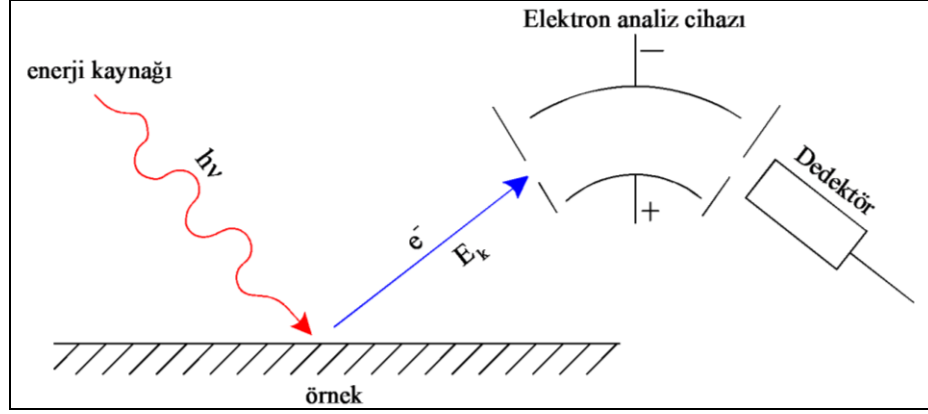


Bu denklikte, A atom, molekül veya iyonu,  $A^{+*}$  ise A'nın X-ışını foton enerjisi ile uyarılmasıyla oluşan iyonu ifade etmektedir. Bu süreç de aşağıdaki denklikle açıklanmaktadır:

$$E_{kin} = h\nu - E_B - \Psi \quad (2.2)$$

Bu denklikte,  $h\nu$  terimi X-ışını kaynağının enerjisini göstermektedir. Mg K $\alpha$  ve Al K $\alpha$ , yüksek enerjileri sebebiyle sıkça kullanılan X-ışını kaynaklarıdır. Denklikteki  $\Psi$  terimi ise cihazın iş fonksiyonudur. Ölçüm sonucunda koparılan elektronun kinetik enerjisi cihaz tarafından ölçülür. Böylece çekirdek seviyesindeki elektronların bağlanma enerjileri denklik 2.2 kullanılarak hesaplanabilir. Her bir elementin kendine ait bağlanma enerjisi olması sebebiyle XPS yöntemi, örnek yüzeyindeki elementlerin ayırt edilebilmesinde kullanılabilen işlevsel bir yöntemdir. Örneğin C1s ve O1s orbitallerindeki elektronlar sırasıyla yaklaşık 285 eV ve 532 eV bağlanma enerjilerinde pik verirler. Ancak belirli bir pikin oluştuğu bağlanma enerjisinde meydana gelen değişiklik sadece elementlerdeki farklılıktan kaynaklanmaz. Ayrıca atomların kimyasal çevreleri ve enerji durumları da pikin meydana geldiği bağlanma enerjisini etkileyen faktörlerdir. Atomun kimyasal çevresinde ya da enerji durumunda meydana gelen en ufak değişiklik atomun enerji seviyesini değiştireceği için pikin oluştuğu bağlanma enerjisinde kaymaya sebep olur (Cao, 2008), (İsbir, 2007).

Bir XPS cihazının temel bileşenleri, bir enerji kaynağı, kopan elektronların kinetik enerjisini ölçen bir elektron analiz cihazı ve bir elektron dedektörüdür (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. XPS cihazının temel bileşenleri (Kleimenov, 2005)

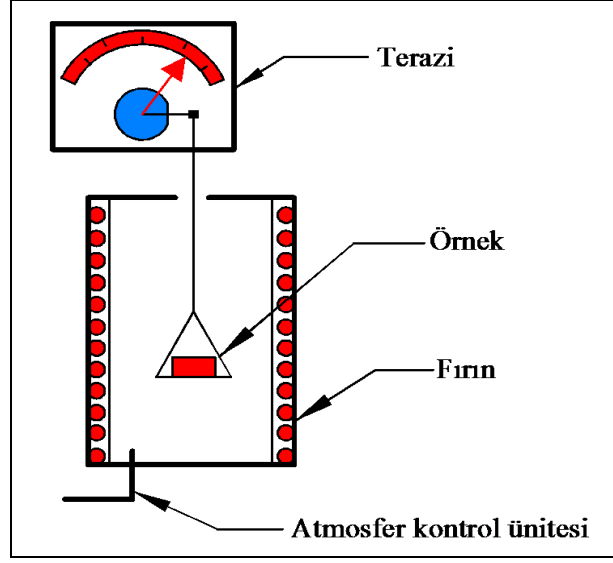
### 1.5.2. Termogravimetrik analiz

Termogravimetrik analiz, belirlenen atmosfer şartlarında, artan sıcaklıkla bir örneğin kütlesinde meydana gelen değişimin sıcaklık ve zamanla değişiminin incelendiği bir ısı analiz yöntemidir. Bu analiz sonucunda elde edilen ve kütle ya da kütle yüzdesindeki değişimin zamana bağlı olarak gösterildiği eğrilere “termogram” ya da “ısı bozunma eğrisi” adı verilir (Skoog ve diğ., 2007).

Örnek kütlesinde sıcaklıkla meydana gelen değişimi gösteren TGA, örnekte meydana gelebilecek bozunma ve oksidasyon tepkimeleri, buharlaşma, süblimleşme ve desorpsiyon gibi fiziksel değişimler hakkında bilgi verir (Skoog ve diğ., 2007).

Termogravimetrik analiz genel olarak üç şekilde gerçekleştirilebilir (Yorulmaz, 2005): (1) izotermal termogravimetrik analiz, (2) yarı izotermal termogravimetrik analiz, (3) dinamik termogravimetrik analiz. İzotermal termogravimetrik analizde sabit bir sıcaklıkta örnek kütlesinde meydana gelen değişim, zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Yarı izotermal termogravimetrik analizde örnek artan bir seri sıcaklığın her birinde kütlesi sabit kalana kadar ısıtılır. Dinamik termogravimetrik analizde ise örnek, sıcaklığı önceden belirlenmiş bir şekilde değiştirilen bir ortamda ısıtılır (Yorulmaz, 2005).

Bir termogravimetrik analiz cihazı temel olarak mikrohassasiyette bir terazi, bir fırın, inert ya da bazen reaktif bir atmosfer oluşturmaya yarayan bir atmosfer kontrol ünitesi ve enstrümental kontrol sağlayan bir bilgisayar sisteminden oluşur (Şekil 1.12) (Skoog ve diğ., 2007), (Yorulmaz, 2005).



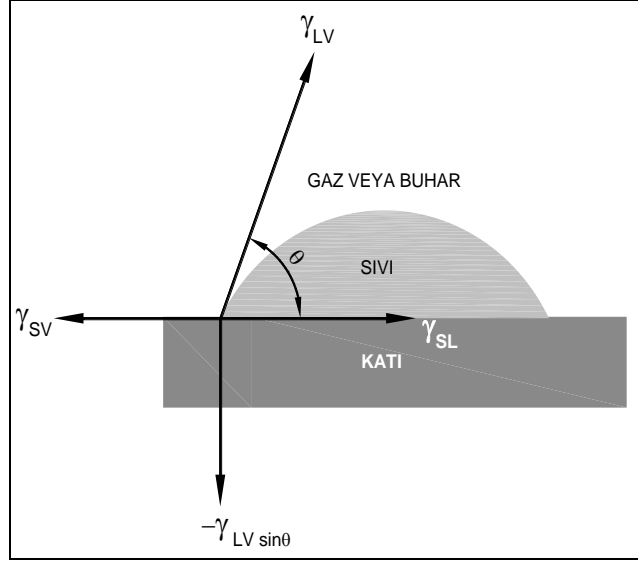
Şekil 1.12. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi

### 1.5.3. Temas açısı ölçümü ve yüzey enerjisi analizi

Elyaf-matris ara yüzey yapışması her iki malzemenin de yüzey özelliklerinin bir sonucudur. Bu özellikler, (a) yüzey topografisi ve pürüzlülüğü, (b) yüzey enerjileri ve yapışma işi ve (c) ara yüzeyde meydana gelen kimyasal bağlanmalar olarak genel başlıklar altında toplanabilir. Bu özelliklerden yapışma işi ( $W^a$ ) elyaf-matris arasındaki yapışmanın kalitesini belirlemekte sıkça kullanılan bir değerdir ve bu değer, temas açısı ( $\theta$ ) ve yüzey enerjisi ( $\gamma$ ) ölçümü yöntemleriyle analiz edilebilir (Nardin ve Ward, 1987).

Temas açısı kavramı ilk olarak 1805 yılında Thomas Young tarafından ortaya koyulmuştur. Bu kavram katı, sıvı ve gazdan oluşan ve birbiriyle temas halinde olan üçlü bir sistemde, temas noktalarındaki vektörel kuvvetlerin toplamı olarak tanımlanabilir (Erbil, 2006).

Şekil 1.13'te olduğu gibi katı bir yüzey üzerine damlatılmış bir sıvı damlacığını göz önünde bulundurursak damlacığın, katı ve sıvı arasındaki ( $\gamma_{SL}$ ), katı ve gaz arasındaki ( $\gamma_{SV}$ ), sıvı ve gaz arasındaki ( $\gamma_{LV}$ ) arayüzey gerilim kuvvetleri tarafından dengede olduğu söylenebilir. Bahsi geçen temas açısı ise sıvı damlacığı ile birbiriyle temasta olan bu üç fazın sınır yüzeyinde oluşan açı olarak tanımlanabilir (Erbil, 2006).



Şekil 1.13. Katı bir yüzeye damlatılan sıvı damlacığı için üçlü faz dengesi

Young tarafından türetilen ve bu üç faz arasındaki serbest enerji ilişkisini tarif eden denklik aşağıdaki gibidir (Erbil, 2006):

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (1.1)$$

Bu denklikte  $\gamma$  yüzey gerilimini (ya da yüzey serbest enerjisini) ifade eder. Bu denklige göre temas açısının  $0^\circ$  olması durumunda sıvının katı üzerinde tamamen yayılması söz konusudur. Temas açısının belirli bir değeri olması durumunda ise kısmi yayılma durumu gözlenir (Erbil, 2006).

Eğer iki fazdan oluşan bir sistemde, farklı moleküller arasında bir etkileşim söz konusuysa, yapışma ve yapışma işi ( $W_{12}^a$ ) terimi kullanılır. Bu terim, birim alanda iki fazı birbirinden ayırmak için gerekli olan işi ifade eder. Ayırma işleminden sonra (1) ve (2) olmak üzere iki yeni yüzey oluşmuş ve aralarındaki arayüzey (12) ortadan kalkmıştır. Yapışma işi terimi Dupré tarafından aşağıdaki şekilde formülize edilmiştir (Erbil, 2006):

$$W_{12}^a = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (1.2)$$

Katı sıvı etkileşiminin incelendiği bir sistem için denklik aşağıdaki şekilde yazılabilir (Erbil, 2006):

$$-\Delta G_{SL}^a = W_{SL}^a = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - \gamma_{SL} \quad (1.3)$$

Böylece, 1869 yılında Dupré, Young tarafından türetilen denklik 1.1'i aşağıdaki şekilde yeniden tanımlamıştır ve bu denklige Young-Dupré denkliği adı verilmiştir (Doganci ve diğ., 2012).

$$-\Delta G_{SL}^a = W_{SL}^a = \gamma_{LV} (1 + \cos\theta) \quad (1.4)$$

Young-Dupré denkliği, temas açısının termodinamik bir nicelik olduğunu bunun yanı sıra yapışma işi ( $W^a$ ) ve ara yüzey serbest enerjisi terimleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Temas açısı ( $\theta$ ) küçük olduğunda yapışma işi yüksektir yani iki fazı birbirinden ayırmak için daha fazla enerji harcanması gerekiyor demektir (Erbil, 2006).

1964 yılında Fowkes yapışma işi teriminin dağılma (dispersion, d), polar (p), başlatma (induction, i), ve hidrojen bağı (h) olarak bileşenlerine ayrılabilceğini öne sürmüştür. Ancak 1969'da Owens ve Wendt, Fowkes'un yaklaşımını temel alarak yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşıma göre yüzey geriliminin, dispersiv ( $\gamma_i^d$ ) ve polar ( $\gamma_i^p$ ) olmak üzere iki bileşenden oluştuğunu öne sürülmüştür. Buna göre, bir sıvıyla temasta olan bir polimer için yapışma işi Young denkliği ile de birleştirilerek aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Erbil, 2006):

$$W_{SL}^a = \gamma_{LV} (1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_{SV}^d \gamma_{LV}^d} + \sqrt{\gamma_{SV}^p \gamma_{LV}^p}) \quad (1.5)$$

Bu denklikte  $\gamma_{LV}$  sıvının toplam yüzey gerilimini  $\gamma_{LV}^d$  ve  $\gamma_{LV}^p$  terimleri ise sıvının sırasıyla dispersiv ve polar yüzey serbest enerjisi bileşenlerini ifade etmektedir (Erbil, 2006).

Ancak Owens-Wendt denkliği, asimetric olmayan hidrojen bağı etkileşimlerinin olduğu durumlarda kullanılamamaktadır. Böyle durumlarda genellikle, 1985 yılından sonra, van Oss, Good ve Chaudhury tarafından geliştirilen yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre katı bir yüzey iki bileşenden meydana gelir.

Bunlardan ilki Lifshitz-van der Waals etkileşimleridir ( $\gamma_s^{LW}$ ). Diğeri ise tüm elektron alıcı-verici etkileşimleri (hidrojen bağı gibi) kapsayan asit-baz etkileşimleridir ( $\gamma_s^{AB}$ ). Böylece katı bir yüzey için toplam yüzey enerjisinin, bu iki bileşenin toplamına eşit olduğu söylenebilir (Doganci, 2012), (Erbil, 2006).

$$\gamma_s^{TOP} = \gamma_s^{LW} + \gamma_s^{AB} \quad (1.6)$$

$\gamma_s^{AB}$ , elektron alıcı parametre olan  $\gamma_s^+$  ve elektron verici parametre olan  $\gamma_s^-$  terimlerinden oluşur (Doganci, 2012, Erbil, 2006).

Sonuç olarak, Oss-Good-Chaudhury tarafından, katıların yüzey serbest enerjileri hesaplanabilmesi amacıyla aşağıdaki denklik önerilmiştir (Doganci, 2012), (Erbil, 2006):

$$\gamma_L (1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_s^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_s^- \gamma_L^+}) \quad (1.7)$$

Denklem 1.7'deki katıya ait  $\gamma_s^{LW}$  terimi,  $\gamma_L$  ve  $\gamma_L^{LW}$  değerleri bilinen, diiyodometan gibi apolar bir sıvının katı üzerindeki temas açısının ölçümü ile hesaplanabilir. Apolar özellikteki diiyodometanın katıyla yaptığı asit-baz etkileşiminin ihmal edilebilir düzeyde olması sebebiyle denklem 1.7 aşağıdaki duruma indirgenir ve bu denklikten  $\gamma_s^{LW}$  hesaplanır (Doganci, 2012), (Erbil, 2006):

$$\gamma_L (1 + \cos\theta) = 2(\gamma_L^{LW} \gamma_s^{LW})^{1/2} \quad (1.8)$$

$\gamma_s^{LW}$ 'nin hesaplanmasının ardından  $\gamma_L^+$  ve  $\gamma_L^-$  değerleri bilinen farklı iki sıvının katı yüzeyindeki temas açılarının ölçülmesiyle, denklem 1.7 kullanılarak  $\gamma_s^+$  ve  $\gamma_s^-$ 'nin bilinmediği iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir ve bu iki denklem çözülerek  $\gamma_s^+$  ve  $\gamma_s^-$  hesaplanır (Doganci, 2012), (Erbil, 2006).

Bunun yanı sıra denklik 1.7'nin aşağıdaki şekilde yazılmasıyla katı ve sıvı arasındaki yapışma işi de hesaplanabilir (Doganci, 2012), (Erbil, 2006):

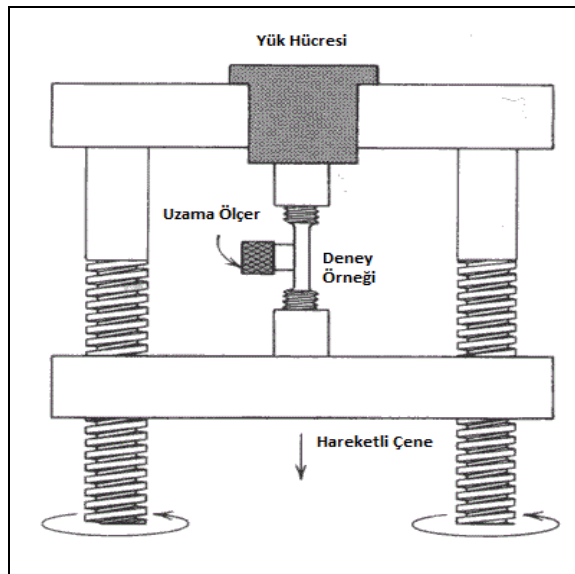
$$W^a = \gamma_L (1 + \cos\theta) = 2(\sqrt{\gamma_s^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_s^- \gamma_L^+}) \quad (1.9)$$

#### 1.5.4. Çekme testi

Malzemelerin kullanıldıkları yerlere uygun olarak çekme, basma gibi dış etkenler sonucunda ortaya koydukları davranışları incelemek ve bu şartlara maruz kalan malzemelerin sergileyecekleri özellikleri anlamak için mekanik testler yapılır. Bu şekilde malzemelerin, test yapılan koşullara benzer ortamlarda test edilen mekanik özellikler açısından kullanışlı olup olmadıkları anlaşılır. Çekme testi de bu amaçla kullanılan en temel mekanik testlerden birisidir (Nielsen ve Landel, 1994).

Çekme testinin amacı, malzemelerin uygulanan yük karşısındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için, boyutları standartlara uygun olarak hazırlanan deney numunesi çekme cihazına bağlanır ve örneğe aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır (Nielsen ve Landel, 1994).

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir (Nielsen ve Landel, 1994). Çekme testi sonucunda malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, kopma uzaması gibi özellikleri belirlenebilir. Bir çekme cihazının temel bileşenleri Şekil 1.14'te görülmektedir.



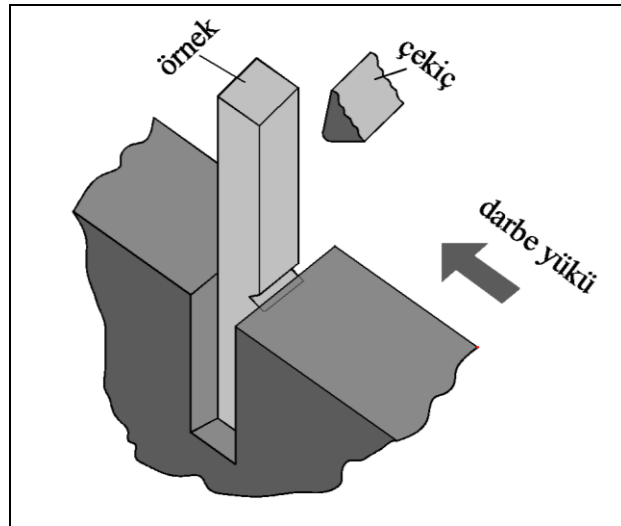
Şekil 1.14. Çekme cihazının temel bileşenleri

### 1.5.5. Darbe testi

Malzemelerin darbe özelliklerini değerlendirmekte kullanılan en önemli testlerden biri darbe testidir. Bu test aracılığıyla, belirli bir geometriye sahip bir örneğin kırılması için gerekli enerjinin belirlenmesi yoluyla malzemenin tokluğuna karar verilir (Ahmadnia, 2000).

Darbe testleri charpy ve izod darbe testi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir. Her iki test de metallerin ve polimerlerin enerji absorblama, çentik duyarlılığı, kırılma tokluğu ve kırılma davranışı özellikleri konusunda bilgi verir (Ahmadnia, 2000).

Izod darbe testinde, örnek cihaza dik bir şekilde yerleştirilir (Şekil 1.15). Yukarıdan serbest bırakılan çekiç örneğe çarpar ve kırılmasını sağlar. Kırılma sonucunda örneğin sönmüleyebileceği maksimum enerji değeri cihaz tarafından belirlenir. Test edilecek örneğin eni, boyu, kalınlığı, çentikli veya çentiksiz oluşu ve uygulanacak yük miktarı gibi parametreler ise kullanılacak standarta uygun olarak seçilir (Ahmadnia, 2000).

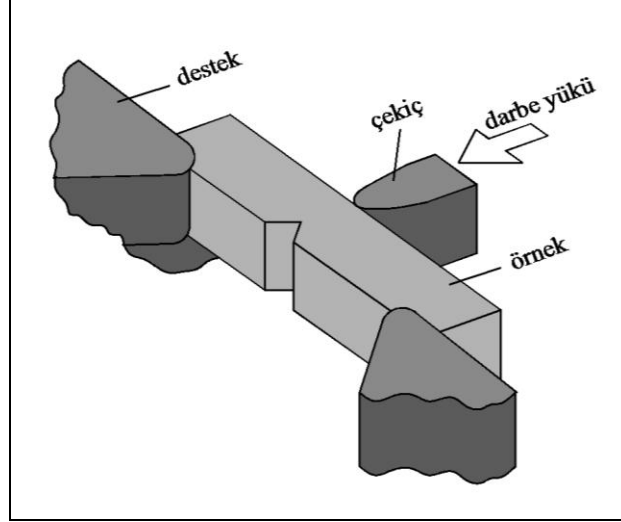


Şekil 1.15. Izod darbe testi

Charpy darbe testi ise izod darbe testi ile benzer şekilde uygulanır. Ancak aralarında örneğin cihaza yerleştirilmesi, uygulanan enerjinin farklı olması ve çekiğin örneğe farklı açıdan vurması gibi farklar söz konusudur. Bu yöntemde örnek cihaza yatay bir



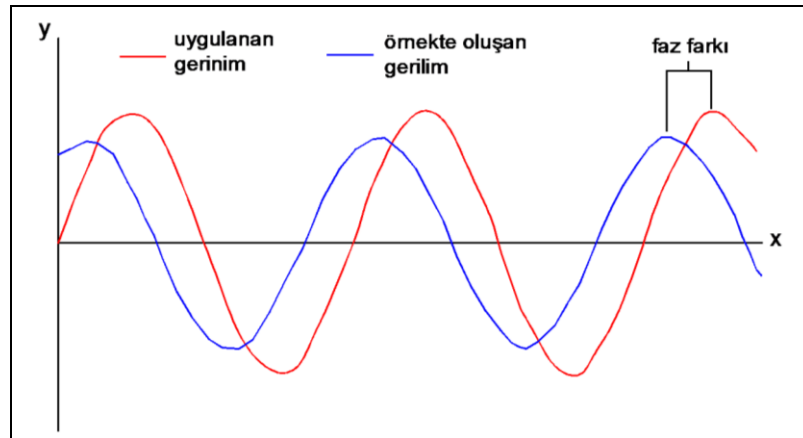
şekilde yerleştirilir (Şekil 1.16). Bunun yanı sıra test edilecek örneğin eni, boyu, kalınlığı, çentikli veya çentiksiz oluşu ve uygulanacak yük miktarı gibi parametreler ise izod darbe testinde olduğu gibi kullanılacak standarta uygun olarak seçilir (Ahmadnia, 2000).



Şekil 1.16. Charpy darbe testi

### 1.5.6. Dinamik mekanik analiz

Dinamik mekanik analiz, genellikle polimerlerin dinamik mekanik özelliklerini karakterize etmekte kullanılan bir yöntemdir. Dinamik mekanik testte, örneğe salınımlı ya da periyodik bir gerinim uygulanır ve bu gerinim sonucunda örnek tarafından salınımlı bir gerilim oluşur ve oluşan bu gerilim ölçülür (Şekil 1.17) (Premphet, 1995), (Menard, 1999).



Şekil 1.17. Uygulanan gerinime karşı örnek tarafından oluşan gerilim ve iki durum arasındaki faz farkı

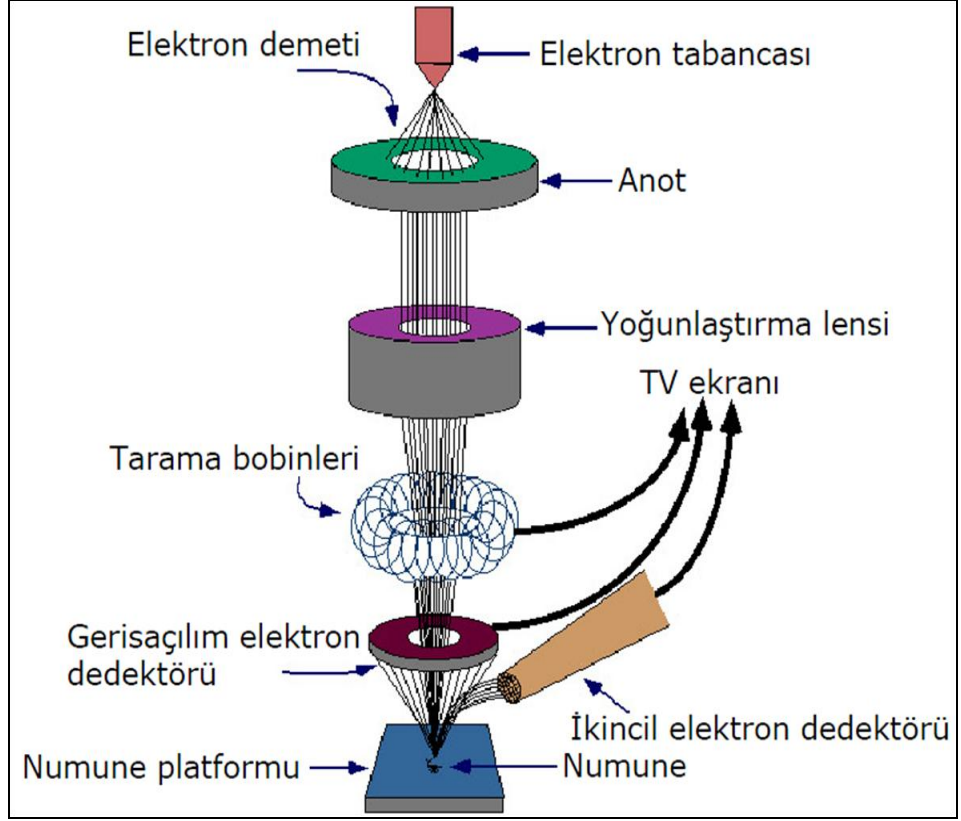
Polimerler viskoelastik malzemeler oldukları için hem elastik hem de viskoz davranış sergilerler. Dolayısıyla örnek tarafından üretilen gerilim elastik gerilim ve viskoz gerilim olarak ikiye ayrılabilir. Elastik ve viskoz gerilimlerin gerinim ile oranları modül olarak tanımlanır ve malzeme özellikleri ile ilgili bilgi verir. Elastik gerilimin gerinime oranı depo modülü ( $E'$ ) olarak tanımlanırken viskoz gerilimin gerinime oranı kayıp modül ( $E''$ ) olarak adlandırılır. Kayıp modülün depo modüle oranı ise sönümlenme faktörü ( $\tan \delta$ ) olarak adlandırılır (Premphet, 1995), (Menard, 1999).

Dinamik mekanik analiz sonucunda depo modülü, kayıp modül ve sönümlenme faktörü değerleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak elde edilir. Bu yöntem, moleküler hareketlere duyarlı bir yöntem olduğu için malzeme özelliklerinin incelenmesinde sıkça kullanılır (Premphet, 1995), (Menard, 1999).

#### **1.5.7. Taramalı elektron mikroskopisi analizi**

Taramalı elektron mikroskopu, örneklerin üç boyutlu yapısının görüntülenmesini ve incelenmesini sağlayan bir elektron mikroskopu türüdür. SEM'de görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, odaklanan bu elektronlar ve örnek yüzeyindeki atomlar arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiriciden geçirildikten sonra bir ekrana aktarılmasıyla elde edilir (Bindell, 1992).

SEM ile incelenen örnekler iletken ve yalıtkan olanlar şeklinde ikiye ayrılabilirler. Polimerler gibi iletken olmayan örneklerin görüntülerinin incelenebilmesi için önce iletken hale getirilmeleri bunun için de altın, altın/paladyum veya alüminyum gibi ince iletken bir tabakayla kaplanmaları gerekmektedir. Tipik bir SEM cihazının şematik gösterimi Şekil 1.18'de verilmiştir (Bindell, 1992).



Şekil 1.18. SEM'in şematik gösterimi

## 2. MALZEMELER VE YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Matris malzemesi olarak kullanılan Poliamit 6,6 Eplamid 66 ticari adıyla Epsan (Bursa)'dan temin edilirken PBT ise, Tecodur® ticari adıyla Interplast (İstanbul)'dan temin edilmiştir.

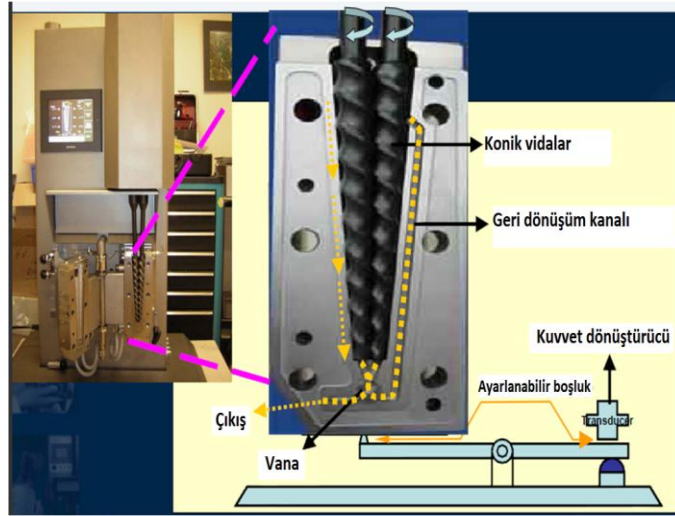
Bu tez çalışmasında, takviye malzemesi olarak 0,6 cm uzunluğunda kesilmiş, ön kaplanmamış ve beş farklı ön kaplama malzemesiyle kaplanmış KE kullanılmıştır. Kullanılan KE türleri yerli bir firmadan (Akkök Grup-Türkiye) temin edilmiştir. Kaplama malzemeleri ise, poliüretan (PU), fenoksi (P), poliimid (PI), epoksi+fenoksi (EP/P) ve poliamit (PA) olarak seçilmiştir. KE kaplama miktarı kaplama çözeltisinin değişen derişimine bağı olarak % 1-3 arasında değıştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, karşılaştırma yapmak amacıyla, ticari olarak satılan ve çalışmada kullanılan karbon elyafa eş değer özellikteki KE türleri, poliüretan ön kaplanmış SGL\_PUT, aromatik polimer ön kaplanmış SGL\_APS, kullanılan ön kaplama malzemesinin PC, PA, PBT ve PET polimerleri ile uyumlu olduğu belirtilen Zoltek\_3565 ve Tairyfil ticari isimleri ile temin edilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan 1,4-fenilen bisoksazolin ve karbonil bis(1-kaprolaktam) sırasıyla “Allinco™PBO” ve “Allinco™CBC” ticari adı ile DSM, Hollanda'dan temin edilmiştir. 1,4-Fenilendiizosiyanat Sigma Aldrich'den temin edilirken stiren akrilik temelli bir bağlanma ajanı olan Joncryl ise “Joncryl® ADR-4300” ticari adı ile BASF'dan temin edilmiştir.

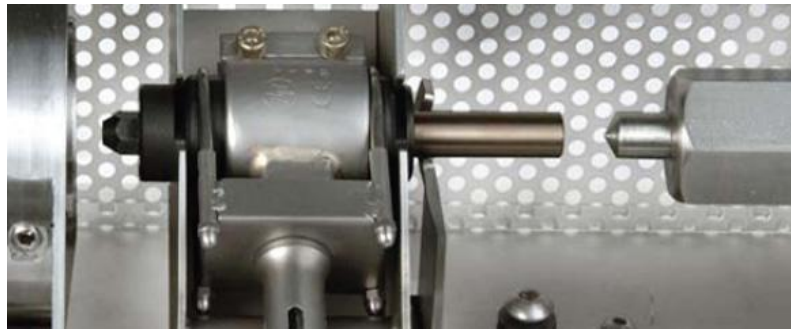
## 2.2. Yöntem

PA 6,6 matris, karma üretimi öncesinde vakum etüvünde 80 °C'de 24 saat bekletilmiştir. KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların üretiminde polimerik matrise kütlece % 30 oranında 0,6 cm uzunluğunda KE eklenmiş ve karıştırma işlemi laboratuvar tipi mikro karıştırıcı (Şekil 2.1) kullanılarak 100 rpm karıştırma hızında, 285 °C karıştırma sıcaklığında ve 3 dakika karıştırma süresinde yapılmıştır.



Şekil 2.1. Laboratuvar ölçekli aynı yönde dönen çift vidalı mikro karıştırıcı

Elde edilen karışımlardan test örneklerinin hazırlanmasında laboratuvar tipi mikro enjeksiyon cihazı (Şekil 2.2) kullanılmıştır. Bu sırada kovan sıcaklığı 285 °C, kalıp sıcaklığı 80°C ve enjeksiyon basıncı 10 bar olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2.2. Laboratuvar ölçekli mikro enjeksiyonla kalıplama cihazı

PBT matris, karma üretimi öncesinde vakum etüvünde 120 °C'de 8 saat bekletilmiştir. KE takviyeli PBT matrisli karmaların üretiminde polimerik matrise kütlece % 30 oranında 0,6 cm uzunluğunda KE eklenmiş ve karıştırma işlemi laboratuvar tipi mikro karıştırıcı kullanılarak 100 rpm karıştırma hızında, 255 °C karıştırma sıcaklığında ve 3 dakika karıştırma süresinde yapılmıştır. Elde edilen karışımlardan test örneklerinin hazırlanmasında laboratuvar tipi mikro enjeksiyon cihazı kullanılmıştır. Bu sırada kovan sıcaklığı 255 °C, kalıp sıcaklığı 130 °C ve enjeksiyon basıncı 10 bar olarak ayarlanmıştır.

Rakip ürünler kullanılarak hazırlanan karmaların üretim şartları da PA 6,6 ve PBT matris için belirlenen üretim şartları ile aynıdır.

Farklı bağlanma ajanlarının, PA 6,6 ve PBT matrisli karmaların özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla hazırlanan karmalarda, PA 6,6 ve PBT matrise kütlece % 30 oranında 0,6 cm uzunluğunda KE eklenmiştir. Ayrıca bağlanma ajanlarının polimerik matrise yükleme oranları ilk aşamada % 0,3 olarak belirlenmiştir. Ardından en iyi sonucu veren bağlanma ajanlarının yükleme miktarları % 1 ve 2 olarak değiştirilmiştir.

## **2.3. Karakterizasyon**

### **2.3.1. Elyaf yüzey karakterizasyonu**

#### **2.3.1.1. X-ışını fotoelektron spektroskopu**

Bu çalışmada, yüzeyi ön kaplanmamış ve % 3 kaplama miktarında kaplanmış KE yüzeylerinin kimyasal bileşimini incelemek amacıyla PHI 5000 Versa Probe marka X-ışını fotoelektron spektroskopu kullanılmıştır (Şekil 2.3). Spektrumlar 50,4 W gücünde monokromatik Al K $\alpha$  X-ışını kaynak kullanılarak toplanmıştır. Ayrıca elektron soğurma açısı örneğe göre 45° olacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen spektrumlar XPSPeak41 isimli program kullanılarak hesaplanmıştır. Örneklere O1s ve C1s için genel tarama yapıp, seçilen bazı bölgelere de kısmi tarama uygulanmıştır.



Şekil 2.3. PHI 5000 Versa Probe marka X-ışını fotoelektron spektroskopu

Bunun yanı sıra, PA 6,6 matrisli karmaların üretimi sırasında elyaf yüzeylerinin kimyasal bileşimindeki değişimi incelemek amacıyla, % 3 kaplama miktarında PU, PI ve PA kaplı KE türleri, karmaların işleme sıcaklığı ve süresi olan 285 °C’de 3 dakika süresince kül fırınında bekletilmişlerdir. Böylece karmaların üretim sürecinin benzetimi yapılarak, üretim sırasında elyaf yüzeylerinin kimyasal bileşiminde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

#### **2.3.1.2. Termogravimetrik analiz**

Yüzeyi ön kaplanmış ve kaplanmamış KE türlerinin, yüzeylerindeki ön kaplama malzemelerinin ısıl bozunma sıcaklıkları ve miktarları, Perkin Elmer marka TGA cihazı kullanılarak incelenmiştir (Şekil 2.4). Ölçümler 25 °C ile 900 °C arasında 10 °C/dk. ısıtma hızında ve azot ortamında gerçekleşmiştir.



Şekil 2.4. Perkin Elmer marka TGA cihazı

Bunun yanı sıra, PA 6,6 matrisli karmaların üretimi sırasında elyaf yüzeylerindeki ön kaplama malzemesinin ısıl bozunmasını incelemek amacıyla ön kaplanmamış ve PU ve PA kaplanmış KE türlerine izotermal şartlarda TGA analizi yapılmıştır. Buna göre örnekler önce 30 °C ile 285 °C arasında 100 °C/dk. ısıtma hızında ısıtılmışlar, ardından PA 6,6 matrisli karmaların üretim sıcaklığı ve süresi olan 285 °C'de 3 dakika bekletilmişlerdir. Böylece karmaların üretim süreci benzetimi yapılarak, üretim sırasında elyaf yüzeylerindeki ön kaplama malzemesinin bozunma davranışı incelenmiştir.

### **2.3.1.3. Temas açısı ölçümü ve yüzey enerjisi analizi**

Test sıvılarının, ön kaplama malzemeleri ve PA 6,6 ve PBT matrisler ile yaptıkları temas açıları Attention Theta Lite marka temas açısı ölçüm cihazı kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 2.5). Kullanılan test sıvıları bromonaftalat, etilen glikol ve deiyonize su olarak seçilmiştir. Bu test sıvılarına ait yüzey gerilimleri Tablo 2.1'de verilmiştir.





Şekil 2.5. Attention Theta Lite marka temas açısı ölçüm cihazı

Tablo 2.1. Test sıvılarının yüzey gerilimi değerleri (Luner ve Oh, 2001), (McMahon ve Ying, 1982)

Yüzey Gerilimi	Bromonaftalat	Etilen glikol	Deiyonize su
$\gamma_L^{TOP}$	44,6	48	72,8
$\gamma_L^{LW}$	44,6	29	21,8
$\gamma_L^{AB}$	-	19	51,0
$\gamma_L^-$	-	47	25,5
$\gamma_L^+$	-	1,92	25,5

PA 6,6'nın temas açısı analizinde kullanılacak test örnekleri, laboratuvar tipi enjeksiyonla kalıplama cihazı kullanılarak 285 °C kovan sıcaklığında, 80 °C kalıp sıcaklığında ve 10 bar enjeksiyon basıncında üretilmiştir.

PBT'nin temas açısı analizinde kullanılacak test örnekleri, laboratuvar tipi enjeksiyonla kalıplama cihazı kullanılarak 255 °C kovan sıcaklığında, 130 °C kalıp sıcaklığında ve 10 bar enjeksiyon basıncında üretilmiştir.

Ön kaplama malzemelerinin temas açısı ölçümleri için her bir ön kaplama malzemesi cam petri kapları üzerine dökülerek film haline getirilmiştir. Ardından bu filmlerin test sıvılarıyla yaptıkları temas açıları ölçülmüştür. Ortalama temas açısı değerini elde edebilmek için her örnek türüne en az 10 ölçüm yapılmıştır.

### 2.3.2. Karma karakterizasyonu

#### 2.3.2.1. Elyaf uzunluk dağılımı analizi

Üretilen karmaların elyaf uzunluk dağılımı analizi için öncelikle seçilen karmalardan yaklaşık 0,2 g ağırlığında örnekler alınarak krozelere koyulmuştur. Ardından 600 °C'deki kül fırınında (Nabertherm-B180) 30 dakika bekletilmişlerdir. Kül fırınından çıkan numuneler su ile dağıtılarak cam lamellere aktarılmış ve optik mikroskopla incelenerek elyaf uzunluk dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sırasında her örnek için yaklaşık 1000 adet lif uzunluk ölçümü yapılmıştır. Seçilen bir örnek için yapılan görüntü analizinin basamakları Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Görüntü analizi basamakları

#### 2.3.2.2. Çekme testi

Üretilen PA 6,6 ve PBT matrisli karmaların çekme testleri Lloyd Instrument-LRX Plus marka çekme cihazı kullanılarak (Şekil 2.7) ASTM D 638-10 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin modül, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri 5mm/dk. çekme hızında belirlenmiştir. Ortalama modül, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerini elde edebilmek için her örnek türüne en az 5 ölçüm yapılmıştır.



Şekil 2.7. Instrument-LRX  
Plus marka çekme cihazı

### 2.3.2.3. Darbe testi

Üretilen örneklerin Izod darbe dayanımı testleri Ceast marka darbe testi cihazı kullanılarak (Şekil 2.8) ISO 180 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Test için 5,5 J'lük çekiç kullanılmış, darbe hızı 3,46 m/sn. olarak ayarlanmış ve çentiksiz örnekler test edilmiştir.



Şekil 2.8. Ceast marka izod darbe testi  
cihazı

#### 2.3.2.4. Dinamik mekanik analiz

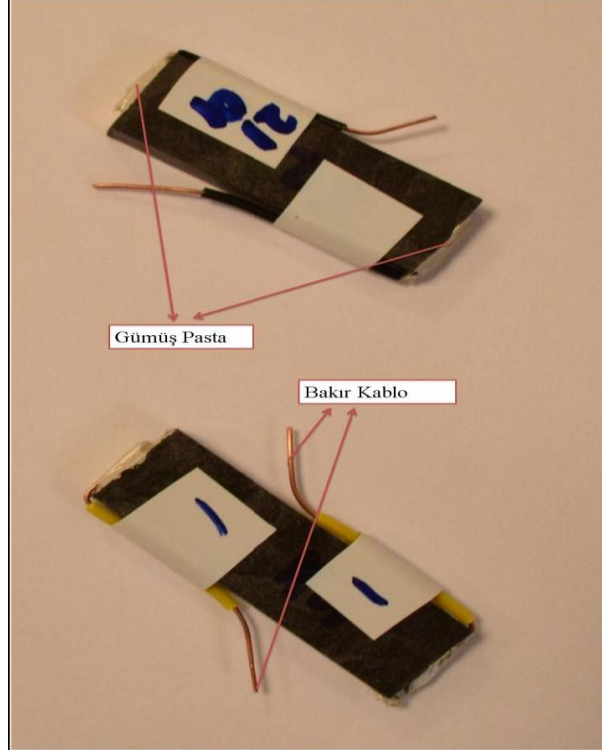
Test örneklerinin dinamik mekanik analizleri Metravib marka dinamik mekanik analiz cihazı kullanılarak gerilim şartında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.9). Örnekler  $1,5 \times 10^{-5}$  m dinamik yer değiştirme ve 1 Hz frekans uygulanarak 25 °C ile 200 °C aralığında 1 °C/dk. ısıtma hızında test edilmişlerdir. Analiz sonucunda örneklerin depo modülü ve sönümlenme faktörü değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.9. Metravib marka dinamik mekanik analiz cihazı

#### 2.3.2.5. Elektriksel direnç ölçümü

KE takviyeli PBT matrisli karmalarda, kullanılan elyaf ön kaplamasının elektriksel özelliklere etkisinin incelenmesi amacıyla elektriksel direnç değerleri ölçülmüştür. Bunun için önce karmaların uçları düzgünce kesilmiştir. Sonra kesilen uçlarına bakır kablolar gümüş pasta ile yapıştırılmıştır (Şekil 2.10). Gümüş pastanın kuruması için numuneler 2 gün bekletilmiştir. Daha sonra numunelerin elektriksel direnç değerleri, 2 nokta prob tekniği ile bakır teller yardımıyla, elektrik direnci ölçme (multimetre) cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 2.10. Elektriksel iletkenlik ölçümlerinde kullanılan test örnekleri (Özkan, 2013)

Ardından ölçülen elektriksel direnç değerleri, aşağıdaki denklik kullanılarak elektriksel iletkenlik değerlerine çevrilmiştir (Choi, 2000):

$$\frac{\text{Örnek Kalınlığı (cm)}}{\text{Elektrot Alanı (cm}^2\text{) x Direnç } (\Omega)} \quad (2.2)$$

### 2.3.2.6. Taramalı elektron mikroskopisi analizi

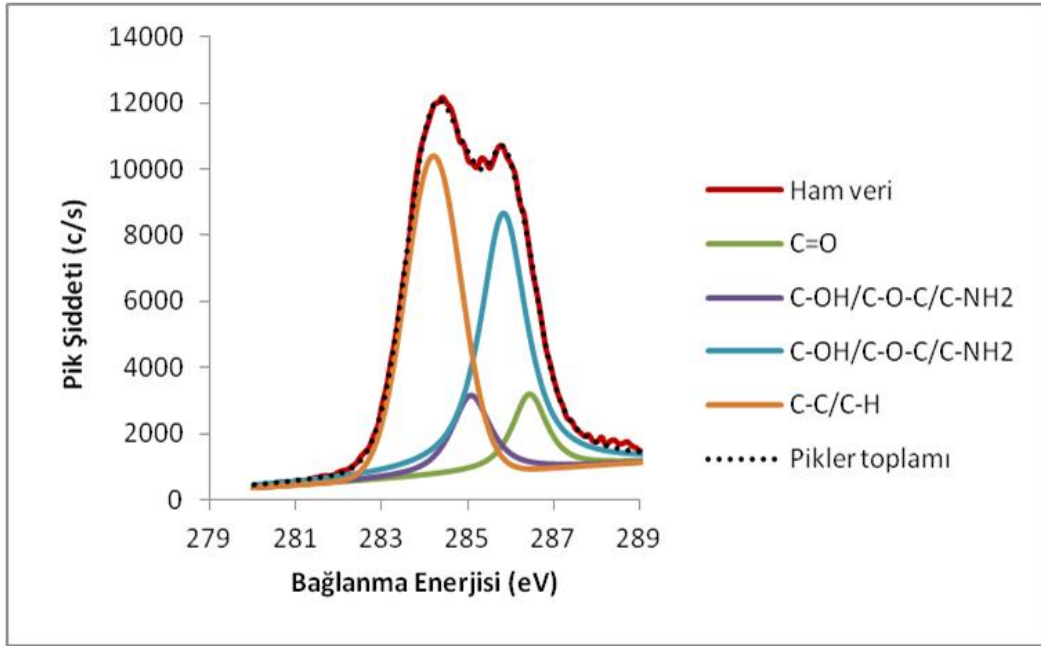
Bu tez çalışmasında üretilen örneklerin çekme testi sonucunda oluşan kopma yüzeyleri, JEOL JSM-6510 marka SEM ile incelenmiştir. İncelemeden önce örnek yüzeyleri altın ve paladyum ile kaplanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

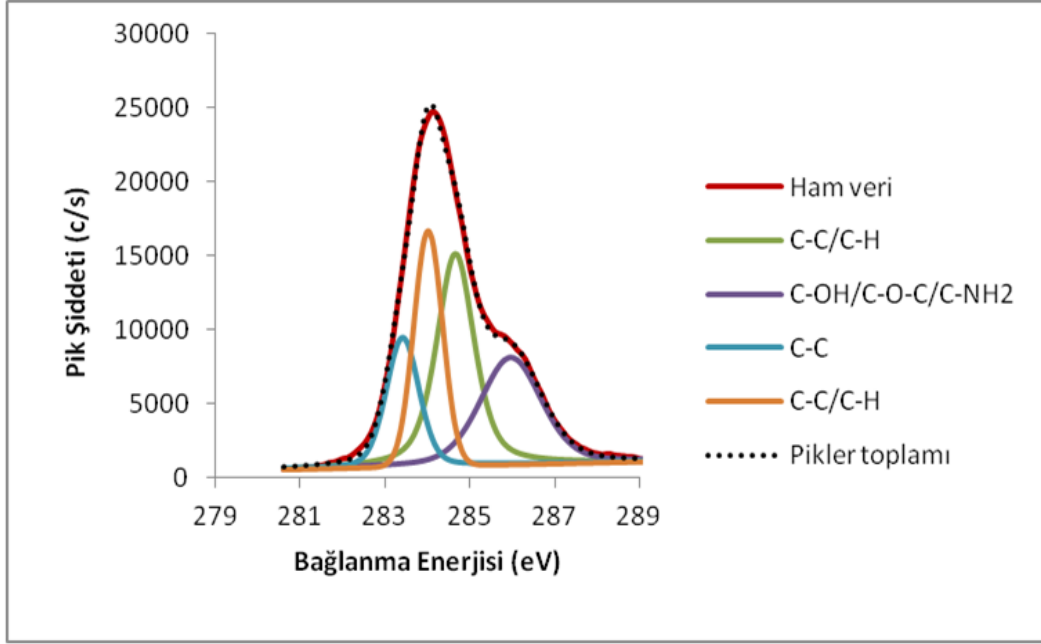
#### 3.1. Elyaf Yüzeyi Karakterizasyon Sonuçları

##### 3.1.1. XPS analizi

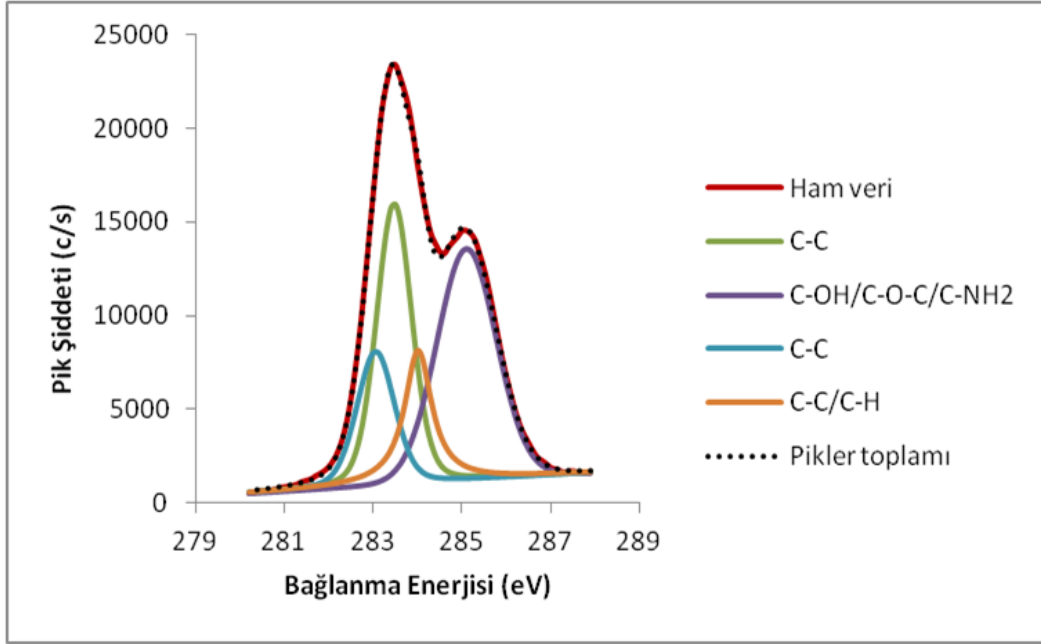
Yüzeyi ön kaplanmamış ve kaplanmış elyaf türlerinin yüzeylerindeki fonksiyonel gruplar, C1s piklerinin, bir eğri uydurma (curve fitting) programı olan XPSPeak programı yardımıyla incelenmesi ile analiz edilmiştir ve sonuçlar Şekil 3.1-3.6'da verilmiştir. Ayrıca her fonksiyonel grubun bağlanma enerjisi ve toplam C1s piki içerisindeki yüzde katkısı Tablo 3.1'de verilmiştir.



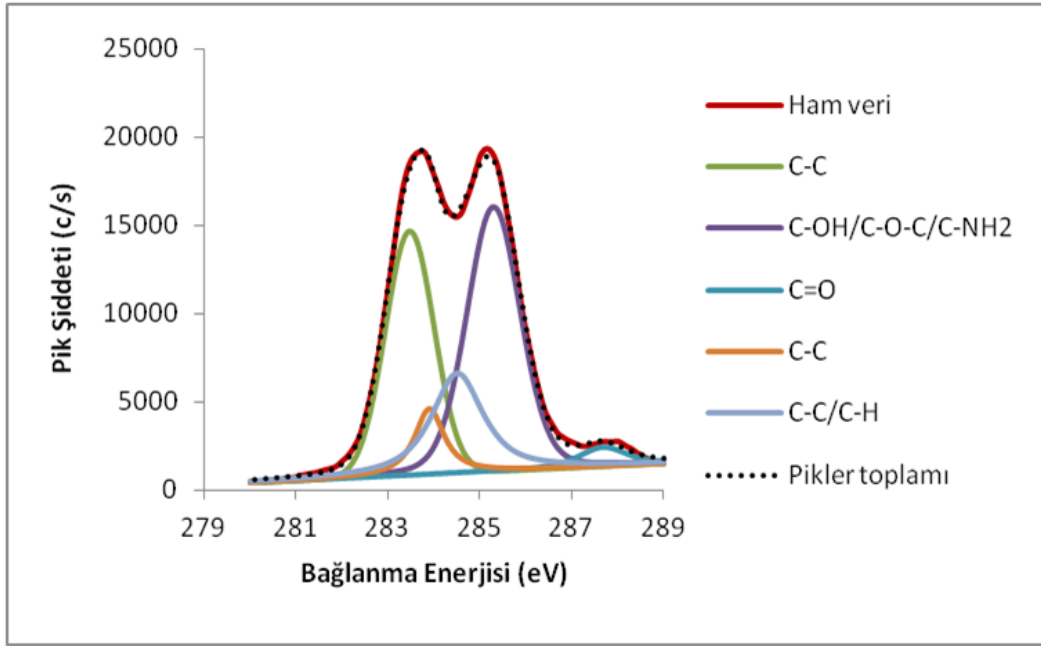
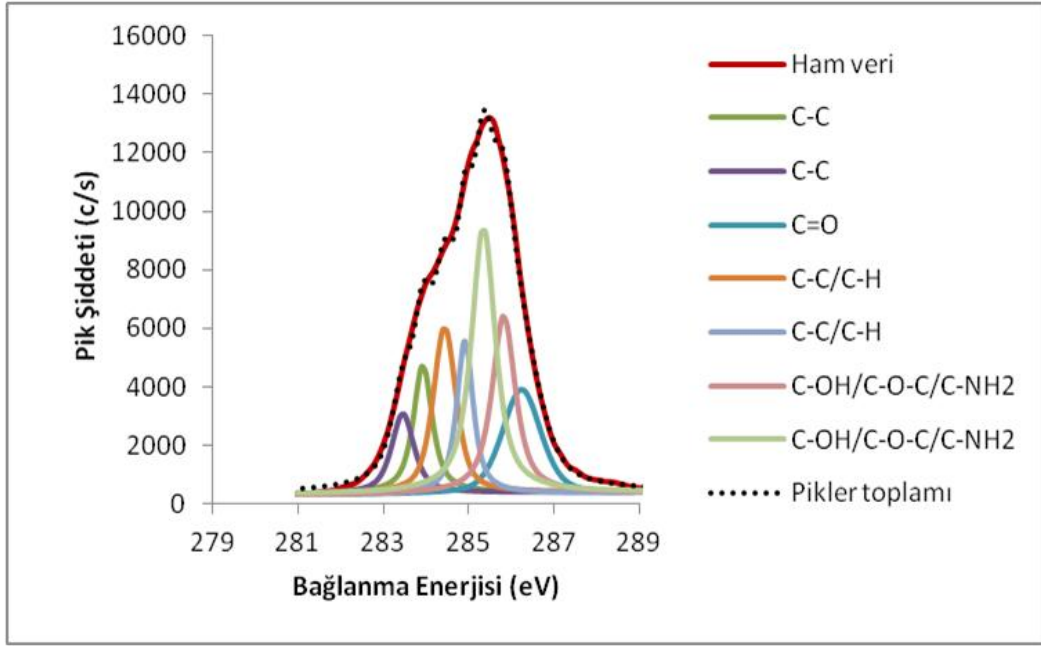
Şekil 3.1. Ön kaplanmamış KE yüzeyine ait XPS spektrumu



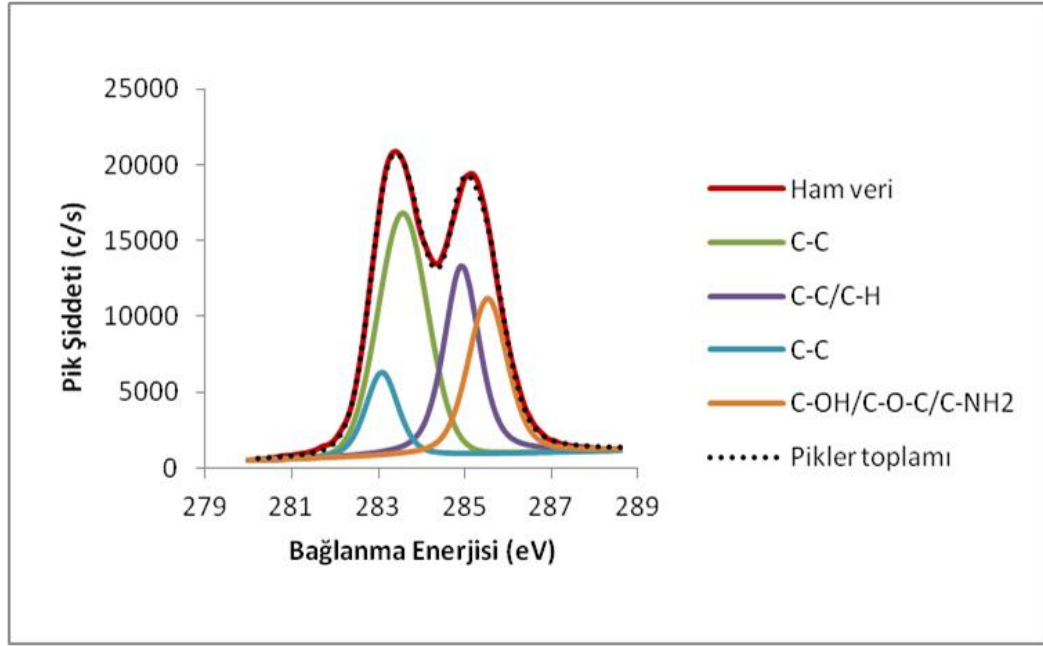
Şekil 3.2. PA kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu



Şekil 3.3. P kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu







Şekil 3.6. EP/P kaplanmış KE yüzeyine ait XPS spektrumu

XPS analizinde, inert ya da aktif olmayan karbon atomları C-C ya da C-H grupları ile tanımlanırken O ve N atomları ile bağ yapmış aktif karbon atomları ise C-OH, C-NH<sub>2</sub> ya da C=O gibi farklı fonksiyonel gruplarla tanımlanırlar (Yao ve diğ., 2012). Şekil 3.1-3.6'da da görüldüğü gibi elde edilen spektrumlar eğri uydurma programı ile değerlendirildiklerinde, elyaf yüzeylerinde bir çok aktif ya da aktif olmayan karbon atomu temelli fonksiyonel gruplar olduğu görülmüştür. Bu gruplar C-C ( $\approx 283$  eV), C-C ya da C-H ( $\approx 284$  eV), C-OH ya da C-OR ( $\approx 285$  eV) ve C=O ( $\approx 286-287$  eV) olarak sıralanabilir (Qian ve diğ., 2013).

Tablo 3.1. Elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grupların bağlanma enerjileri ve yüzde bileşimleri

Ön Kaplama Türü	Pik 1 (283 eV)	Pik 2 (284 eV)	Pik 3 (285 eV)	Pik 4 (286 eV)	Pik 5 (287 eV)
	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim
Ön kaplanmamış	–	41,9	49,3	8,8	–
PA	16,1	58,2	25,7	–	–
P	45,9	15,1	39	–	–
PU	17,2	24,9	43,8	14,1	–
PI	38,5	18,8	39,6	–	3,1
EP/P	50,2	26,5	23,3	–	–
	C-C	C-C/C-H	C-OH/C-OR/ C-NH <sub>2</sub>	C=O/COOH	

KE yüzeylerindeki aktif ya da aktif olmayan grupların toplam pik değeri içerisindeki toplam bileşimleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1 incelendiğinde ön kaplama yapılmamış KE yüzeylerindeki hidroksil ve karbonil gibi fonksiyonel grup miktarlarının diğer tüm ön kaplanmış elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grup miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle ön kaplama işlemiyle elyaf yüzeyindeki fonksiyonel grup miktarı azalmaktadır. Literatürde, oksijen içeren grupların fonksiyonel gruplar oldukları ve bu fonksiyonel grupların da KE yüzeyi ile polar matris malzemeleri arasındaki arayüzey yapışmasını iyileştirdikleri belirtilmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak, ön kaplama işleminden sonra yüzeydeki oksijen içeren fonksiyonel grup miktarındaki azalmanın elyaf-matris arayüzey yapışmasına olumsuz yönde etki edebileceği düşünülebilir (Luo ve diğ., 2011). Bunun yanında, elyaf yüzeyine uygulanan ön kaplama işlemi, karma üretimi sırasında elyaf kırılmalarını önlenmektedir. Ancak elyaf yüzeyine uygulanacak ön kaplama işleminin amacı elyaf kırılmalarını önlemenin yanı sıra elyaf-matris ara yüzeyini iyileştirmekse, bu amaç doğrultusunda ön kaplama malzemesi ile matris malzemesi arasındaki uyumluluğun da önemli bir rol oynadığı unutulmamalıdır (Dilsiz ve Wightman, 2000). Tablo 3.1 incelendiğinde görülmektedir ki ön kaplama yapılmış elyaf yüzeyleri arasında en yüksek fonksiyonel grup yüzdesi PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edilmiştir. PU ön kaplama malzemesindeki fonksiyonel grup yüzdesinin fazla olması sonucunun, PU yapısının PA 6,6 ve PBT matris malzemeleri ile uyumlu olması sonucuyla birleşmesi ile PU ile ön kaplama yapılmış KE takviyesinin, PA 6,6 ve PBT matrisli karmaların mekanik ve termomekanik özelliklerini iyileştirmesi beklenmektedir. Mekanik ve termomekanik test sonuçlarının bu beklentileri destekler yönde olup olmadıkları Bölüm 3.2 ve 3.3’te açıklanmıştır.

Şekil 3.1-3.6 ve Tablo 3.1 ayrıca göstermektedir ki ön kaplama yapılmamış KE yüzeyindeki grafitik karbona ait C-C piki sadece  $\approx 284$  eV’de görülürken ön kaplama işleminden sonra KE yüzeyleri daha düşük bağlanma enerjilerinde ( $\approx 283$  eV) C-C grafitik karbon piki vermektedirler. Bu pik kaymasının, KE yüzeyindeki elektronlar ile ön kaplama malzemesindeki elektronların etkileşiminden dolayı gerçekleştiği sonucu çıkarılabilir (Dilsiz ve Wightman, 1999), (Dilsiz ve Wightman, 2000), (Lee, 1992).

PA 6,6 matrisli karma üretiminin yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi sebebiyle, üretim sırasında elyaf yüzeylerinin kimyasal bileşimindeki değişimi incelemek amacıyla PU, PI ve PA kaplı KE türleri, karmaların işleme sıcaklığı ve süresi olan 285 °C’de 3 dakika boyunca kül fırınında bekletilmişlerdir. Böylece şartlar, karmaların üretim sürecine benzer hale getirilmiş olup, üretim sürecinde elyaf yüzeylerinin kimyasal bileşiminde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir ve sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir.

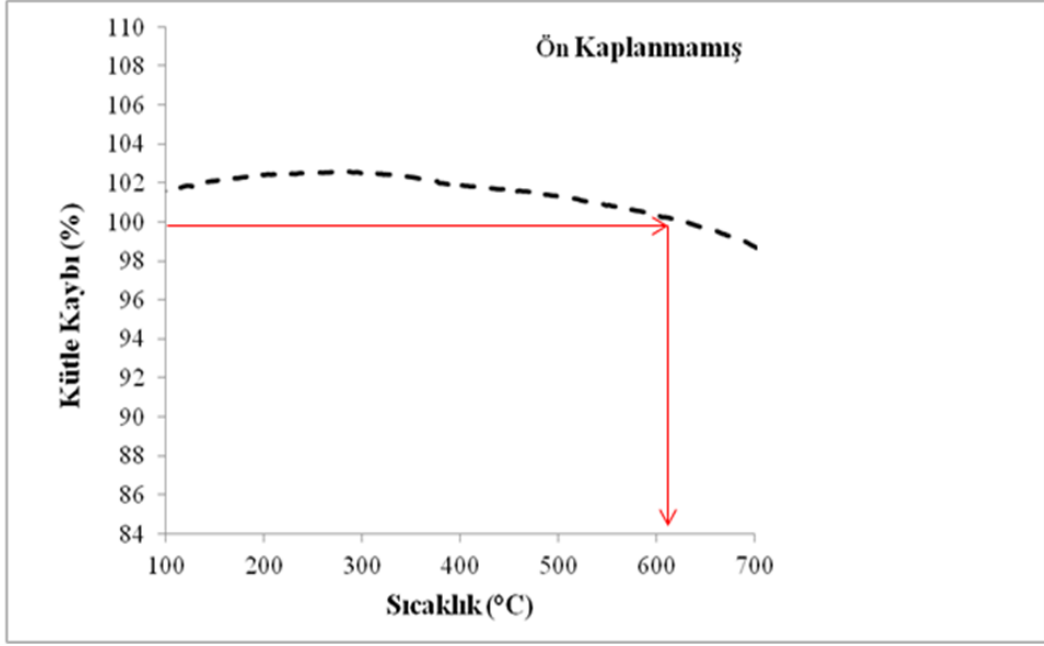
Tablo 3.2. Isıl işleme maruz bırakılmış elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grupların bağlanma enerjileri ve yüzde bileşimleri

Ön Kaplama Türü	Pik 1 (283 eV)	Pik 2 (284 eV)	Pik 3 (285 eV)	Pik 4 (286 eV)	Pik 5 (287 eV)
	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim	% Bileşim
PA (önce)	16,1	58,2	25,7	–	–
PA (sonra)	23,7	38,4	37,9	–	–
PU (önce)	17,2	24,9	43,8	14,1	–
PU (sonra)	–	42,4	57,6	–	–
PI (önce)	38,5	18,8	39,6	–	3,1
PI (sonra)	16,3	23,9	59,8	–	–
	C-C	C-C/C-H	C-OH/C-OR/ C-NH <sub>2</sub>	C=O/COOH	

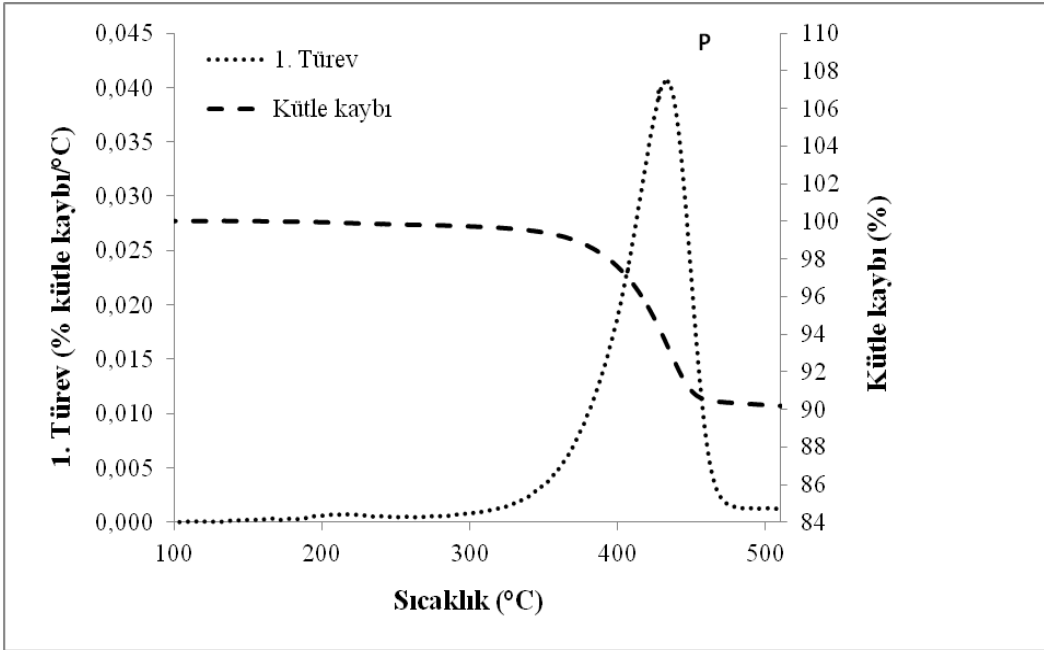
Tablo 3.2 incelendiğinde, PU ve PI ile ön kaplanmış elyaf yüzeylerinde C-C grafitik karbon piki yüzdesi azalırken PA ile ön kaplanmış elyaf yüzeylerinde C-C grafitik karbon pikinin yüzdesinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte her üç ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda da elyaf yüzeylerindeki hidroksil içeren fonksiyonel grup yüzdesinin arttığı ancak karbonil içeren grupların kaybolduğu görülmektedir. Buradan, karmaların üretim süreçlerinde elyaf türlerinin maruz kaldıkları ısı enerjisinin, elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grup yüzdesi üzerinde yarattığı etki Bölüm 3.5’de tekrar değerlendirilmiştir.

### 3.1.2. Termogravimetrik analiz

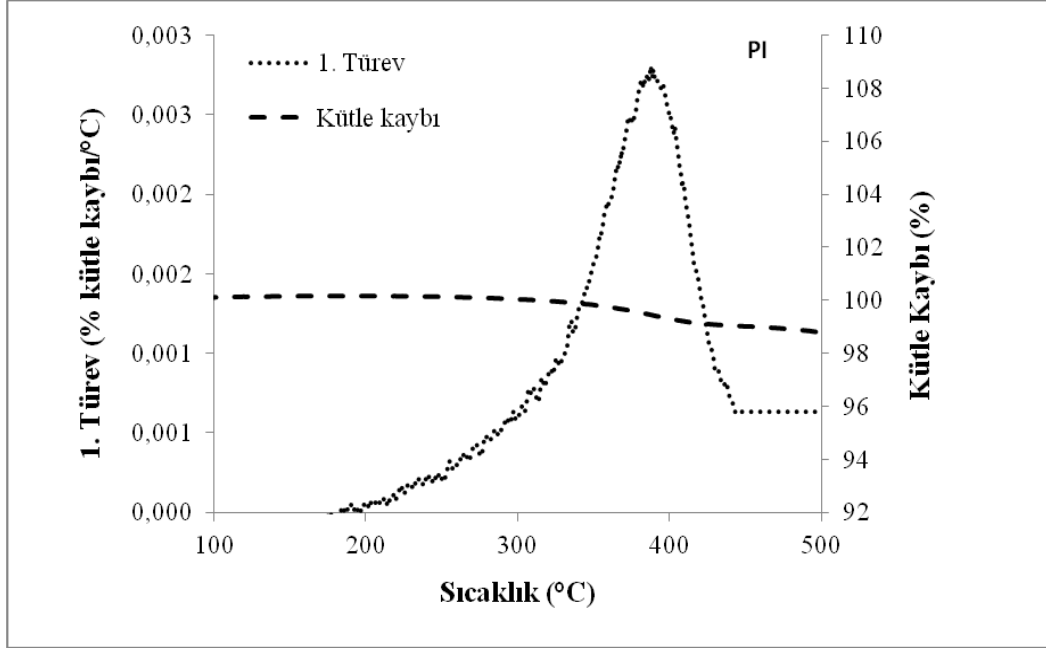
Ön kaplanmış ve kaplanmamış KE türlerinin ısıl kararlılıklarını incelemek amacıyla ilk aşamada, izotermal olmayan şartlarda termogravimetrik analiz gerçekleştirilmiştir ve kullanılan tüm elyaf türlerine ait TGA eğrileri Şekil 3.7-3.12’de verilmiştir.



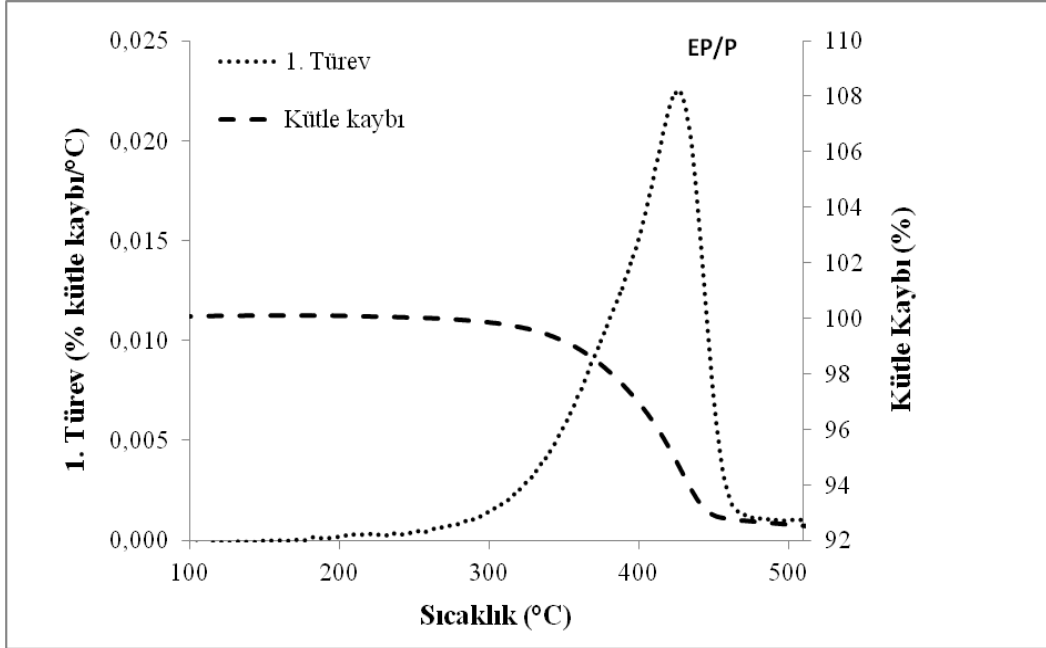
Şekil 3.7. Ön kaplanmamış karbon elyafa ait TGA eğrisi



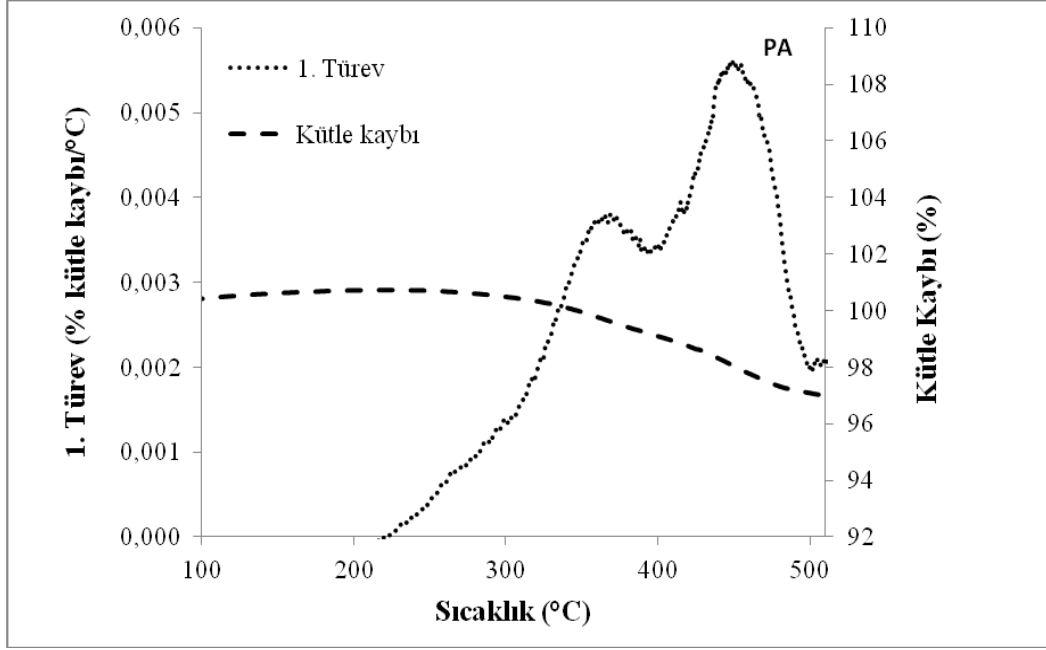
Şekil 3.8. P kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi



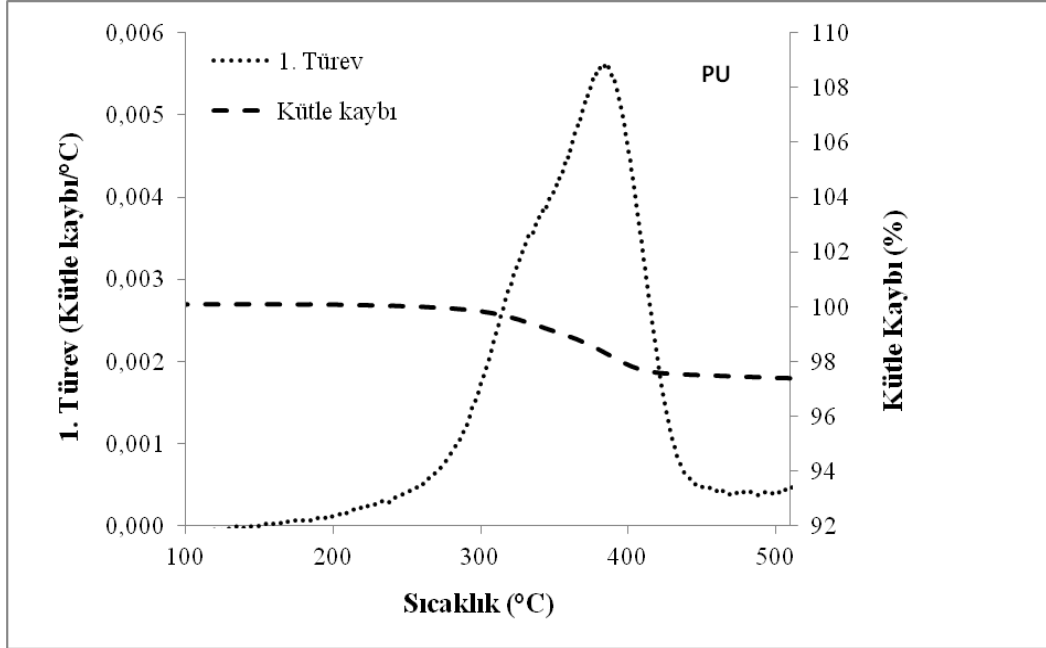
Şekil 3.9. PI kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi



Şekil 3.10. EP/P kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi



Şekil 3.11. PA kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi



Şekil 3.12. PU kaplanmış karbon elyafa ait TGA eğrisi

Ayrıca bütün elyaf türleri için ısıl bozunmanın başladığı sıcaklıklar ve toplam bozunma miktarları bu eğrilerden yola çıkılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. KE türlerine ait TGA sonuçları

<b>Ön kaplama türü</b>	<b>Bozunmanın başladığı sıcaklık (°C)</b>	<b>Toplam bozunma miktarı (%)</b>
<b>Ön kaplanmamış</b>	630	6,4
<b>PU</b>	270	6,7
<b>EP/P</b>	305	11,2
<b>PI</b>	310	5,8
<b>P</b>	345	13,7
<b>PA</b>	280	8

Şekil 3.7 ve Tablo 3.3 göstermektedir ki ön kaplanmamış karbon elyafın ısı bozunması 630 °C’de başlamaktadır ve ısı bozunmanın başladığı sıcaklığa kadar ise bir kütle artışı gözlenmektedir. Bu kütle artışının sebebi ortamda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar (süpürücü gaz içindeki O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> gibi safsızlıklar yaratan gazlarla reaksiyon) veya fiziksel geçişler (numune yüzeyinin gaz moleküllerinin adsorplaması) olarak düşünülebilir. Dolayısıyla buradan, ön kaplama işleminin elyaf yüzeyini bu dış etkilerden koruduğu sonucuna varılabilir (Wazir ve Kakakhel, 2009), (Ozkan ve diğ., 2014), (URL-2).

Bunun yanı sıra, Şekil 3.8-3.10 ve Tablo 3.3’ten görülmektedir ki EP/P, PI ve P ön kaplama malzemelerinin ısı bozunmaları 300°C’nin üzerinde başlamaktadır. Buradan, bu ön kaplama malzemelerinin PA 6,6 matrisli karma üretim sıcaklığı olan 285 °C’de ısı olarak kararlı oldukları sonucuna varılabilir.

Ancak Şekil 3.11-3.12’de verilen TGA eğrilerinden ve Tablo 3.3’teki verilerden de görüldüğü gibi, PU kaplanmış elyaf için ısı bozunma 270 °C’de başlarken PA kaplanmış elyaf için ise ısı bozunma 280 °C’de başlamaktadır. Bu durum PA 6,6 matrisli karma üretimi için son derece kritiktir. Çünkü karma üretimi mikro karıştırıcıda 285 °C’de 3 dakikalık karıştırma ile gerçekleşmektedir. Dolayısıyla buradan karma üretimi süresince PU ve PA ön kaplama malzemelerinin bir miktar bozdukları sonucuna varılabilir.

Bu iki kaplama malzemesinde, karma üretimi süresince meydana gelen bozunma miktarları ve bu bozunma miktarının toplam bozunmaya yüzde olarak oranı izotermal şartlarda ve oksijen ortamında TGA analizi yapılarak belirlenmiştir. TGA şartları karma işleme şartlarına benzer şekilde seçilmiş ve sonuçlar değerlendirilerek Tablo 3.4'te verilmiştir.

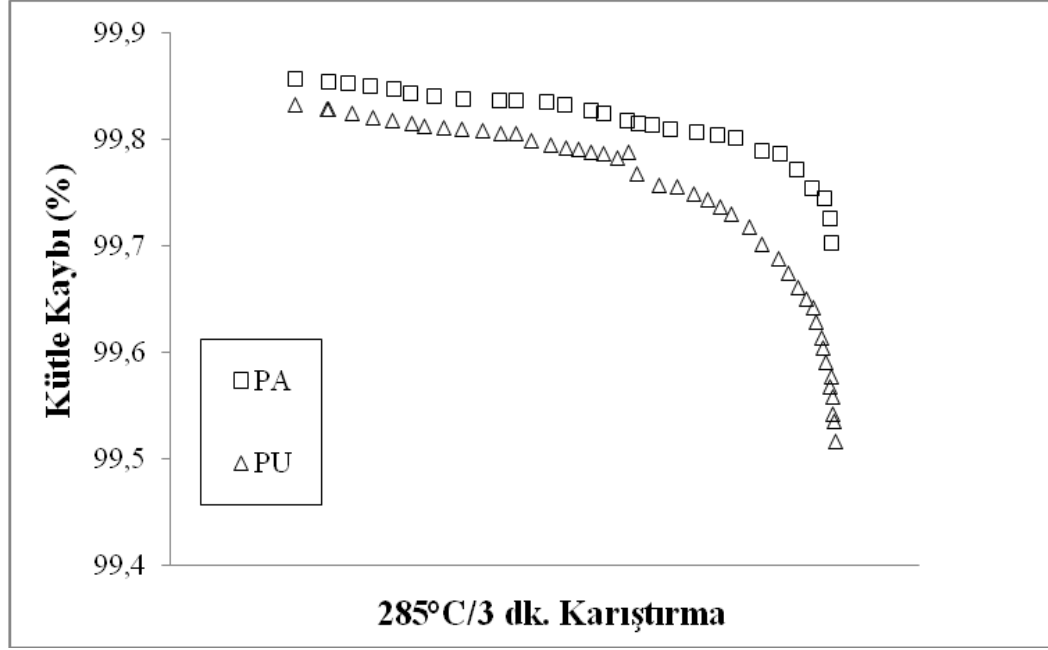
Tablo 3.4. Elyaf türlerine ait izotermal TGA sonuçları

<b>Ön kaplama türü</b>	<b>İşleme süresince meydana gelen bozunma miktarı (%)</b>	<b>Toplam bozunma içindeki payı (%)</b>
<b>PU</b>	0,48	7,2
<b>PA</b>	0,30	3,7

Tablo 3.4 incelendiğinde görülmektedir ki PU kaplama malzemesi karma üretimi süresince kütesinin % 0,48'ini kaybederken bu kütle kaybı toplam kütle kaybının % 7,2'sini oluşturmaktadır. Aynı şekilde PA kaplama malzemesi ise karma üretimi süresince kütesinin % 0,30'unu kaybederken bu kütle kaybı toplam kütle kaybının % 3,7'sini oluşturmaktadır. Karma üretimi süresince kaplama malzemelerinde meydana gelen bu kütle kayıplarının önem derecesi ve karmaların özellikleri üzerine etkisi, Bölüm 3.2 ve bölüm 3.5'te değerlendirilmiştir.

Şekil 3.13'teki TGA eğrilerinde, PA ve PU ön kaplanmış elyafların 285 °C'de 3 dakika bekletildikleri sürede kütlelerinde meydana gelen azalma verilmiştir. Bu eğriler göstermektedir ki kütle kaybı, sıcaklık 285 °C'de sabit tutulmasına rağmen, bu sıcaklığa maruz kalınan süre arttıkça artmaya devam etmektedir. Dolayısıyla denilebilir ki elyaf yüzeyindeki ön kaplama malzemesinin ısıl bozunması, sıcaklığa bağlı olduğu kadar, bu sıcaklığa maruz kaldığı süreye de bağlıdır.





Şekil 3.13. Karma üretimi süresince ön kaplanmış elyafa ait kütle kaybı eğrisi

### 3.1.3. Temas açısı ve yüzey enerjisi analizi

Bu çalışmada, ön kaplanmamış ve ön kaplanmış elyaf-matris arasındaki yapışma işinin hesaplanması amacıyla ön kaplama malzemeleri ve matris malzemelerinin (PA 6,6 ve PBT) üç farklı sıvı kullanılarak temas açısı ölçümleri yapılmış ve yüzey enerjileri hesaplanmıştır. Ön kaplanmamış karbon elyafın ise bu üç sıvı ile verdiği temas açısı değerleri literatürden elde edilmiştir (Luo ve diğ., 2011), (McMahon ve Ying, 1982). Temas açısı ölçümleri ve yüzey enerjisi hesaplamalarının ardından yapışma işi değerleri hesaplanarak yorumlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda ön kaplanmamış karbon elyafın, karbon elyaf yüzeylerinin kaplanmasında kullanılan ön kaplama malzemelerinin ve matris malzemesi olan PA 6,6 ve PBT'nin temas açısı değerleri Tablo 3.5'te, yüzey serbest enerjileri (polar ve dispersiv bileşenleri) ise Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.5. Örneklerin temas açısı değerleri

Ön kaplama türü&Matris malzemesi	Temas Açısı ( $\theta^\circ$ )		
	Bromonaftalat	Etilen glikol	Deiyonize su
PU	14	51,6	37,5
EP/P	25	55,2	56,7
PI	20,9	23,3	53,4
P	25,2	37,8	52,5
PA	37,3	46,3	60,0
Ön kaplanmamış KE	29	32,9	55,8
PA 6,6 Matris	45,6	48,4	65,1
PBT Matris	42,6	43,3	81,6

Tablo 3.6. Örneklerin yüzey enerjisi değerleri

Ön kaplama türü&Matris malzemesi	Polar Bileşen	Polar Bileşen	Dispersiv Bileşen	Toplam Yüzey Serbest Enerjisi
	( $\gamma_s^{AB}$ ) $\gamma_s^-$ ( $\text{mJ.m}^{-2}$ )	( $\gamma_s^{AB}$ ) $\gamma_s^+$ ( $\text{mJ.m}^{-2}$ )	$\gamma_s^{LW}$ ( $\text{mJ.m}^{-2}$ )	$\gamma_s^{\text{Top}}$ ( $\text{mJ.m}^{-2}$ )
PU	64,2	1,20	43,2	60,9
EP/P	36	0,50	40,5	49
PI	24,4	0,40	41,7	48,2
P	36,5	0,08	40,4	43,8
PA	26,4	0,03	35,9	37,7
Ön kaplanmamış KE	24,9	0,26	39,2	44,3
PA 6,6 Matris	20,9	0,20	32,2	36,3
PBT Matris	3,3	1,25	33,6	37,4

Elyafın matris tarafından iyi ıslanabilmesi için matrisin yüzey enerjisinin elyafın yüzey enerjisinden az olması gerekmektedir (Mäder, 1997). Buna göre Tablo 3.6'da verilen yüzey enerjisi değerleri incelendiğinde ön kaplama malzemeleri arasında en yüksek yüzey enerjisi değerinin PU ön kaplama malzemesine ait olduğu görülmektedir. En düşük yüzey enerjisi değerleri ise matris malzemesi olan PA 6,6 ve PBT'ye aittir. Buradan en iyi ıslanma değerinin, PU ön kaplanmış KE ile takviye edilmiş PA 6,6 ve PBT matrisli karmalarda elde edileceği sonucuna varılabilir.

Islanabilirlik, iyi elyaf-matris ara yüzey yapışmasının ön koşulu olmakla birlikte iyi bir yapışmanın gerçekleşebilmesi için ayrıca elyaf-matris ara yüzeyinde fonksiyonel gruplar içeren asidik ve bazik bölgelerinin de bulunması gerekmektedir. Bu teori ilk olarak Fowkes tarafından ortaya atılmıştır (Fowkes, 1987). Bu teoriye göre hidrojen bağı etkileşimleri yapışma için önemlidir ve bu etkileşimler ise temas açısı yöntemi

kullanılarak yüzeylerin polar (asit-baz) özelliklerinin incelenmesi ile değerlendirilebilir. Dolayısıyla, elyaf yüzeyinin polar özelliği, elyaf-matris arasındaki yapışmayı değerlendirirken çok önemli bir rol oynadığı için, kullanılan matris malzemesine uygun ön kaplama malzemesinin seçilmesinde ön kaplama malzemesinin polar özelliği dikkate alınmalıdır. Tablo 3.6’da verilen ön kaplama malzemelerine ait polar bileşen değerleri incelendiğinde en yüksek değer PU ön kaplama malzemesinde elde edildiği görülmektedir. Buradan PU ön kaplama malzemesinde polar grup miktarının diğer ön kaplama malzemeleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek değerde olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sonuç ayrıca XPS analizi sonuçları ile de örtüşmektedir.

Bunun yanı sıra, elyaf-matris ara yüzey dayanımı ise “yapışma işi” yardımıyla ölçülebilir (Tsutsumi ve diğ., 1990). Ölçülen bu yapışma işi değeri: (a) ön kaplanmamış elyaf ile ön kaplama malzemesi arasındaki yapışma işi değeri ( $W_{12}^a$ ), (b) ön kaplama malzemesi ile matris malzemesi arasındaki yapışma işi değeri ( $W_{23}^a$ ), (c) ön kaplanmamış KE ile matris malzemesi arasındaki yapışma işi değeri ( $W_{13}^a$ ) olarak üç bileşenden oluşur.  $W_{12}^a > W_{23}^a$  olması durumunda, karma hazırlanması sırasında ön kaplama malzemesinin elyaf yüzeyini tercih ettiği ve böylece elyaf-matris arasındaki yapışmaya katkıda bulunmasının yanı sıra elyaf kırılmasını önleyerek elyaf etkinliğine de katkıda bulunduğu sonucuna varılabilir. Bunun yanında,  $W_{12}^a < W_{23}^a$  olması durumunda ise ön kaplama malzemesi matris malzemesini tercih edecek ve elyaf kırılmasını önleme görevini tam anlamıyla yerine getiremeyecektir.  $W_{13}^a > W_{12}^a$  olduğu durumda ise ön kaplanmamış KE ile matris malzemeleri arasındaki yapışma işi değeri diğer yapışma işi değerlerinden fazla olacak ve ön kaplama işleminin etkinliği azalacaktır. Ön kaplanmamış elyaf-ön kaplama malzemesi arasındaki yapışma işi ( $W_{12}^a$ ) değerleri ile ön kaplama malzemesi-PA 6,6/PBT matris malzemeleri arasındaki yapışma işi değerleri ( $W_{23}^a$ ) ve ön kaplanmamış KE-matris malzemeleri arasındaki yapışma işi değerleri ( $W_{13}^a$ ) Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Örneklerin yapışma işi ( $W^a$ ) değerleri

	Ön kaplanmamış KE - Ön kaplama malzemesi arasındaki yapışma işi $W_{12}^a$ (mJ.m <sup>-2</sup> )	Ön kaplama malzemesi - PA 6,6 matris arasındaki yapışma işi $W_{23}^a$ (mJ.m <sup>-2</sup> )	Ön kaplama malzemesi - PBT matris arasındaki yapışma işi $W_{23}^a$ (mJ.m <sup>-2</sup> )	Ön kaplanmamış KE - Matris malzemesi arasındaki yapışma işi $W_{13}^a$ (mJ.m <sup>-2</sup> )
<b>PU</b>	101,4	91,8	98	-
<b>EP/P</b>	92,8	84	89,6	-
<b>PI</b>	92,4	83,6	88,2	-
<b>P</b>	88,6	79,9	88,1	-
<b>PA</b>	81,9	74,1	81,4	-
<b>PA 6,6</b>	-	-	-	80,1
<b>PBT</b>	-	-	-	85,6

Tablo 3.7’de verilen yapışma işi değerleri incelendiğinde, tüm  $W_{12}^a$  değerlerinin  $W_{23}^a$  değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Buradan tüm ön kaplama malzemelerinin, ön kaplanmamış elyaf yüzeyi ile aralarındaki yapışma dayanımlarının matris malzemeleri ile aralarındaki yapışma dayanımlarından daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir. Böylece ön kaplama malzemesinin, karma üretimi sürecinde elyaf kırılmasını önleyerek elyafın etkinliğinin arttırdığı söylenebilir. Bu sonuç elyaf uzunluğu dağılımı ve çekme testi sonuçları ile de karşılaştırılarak tekrar değerlendirilecektir.

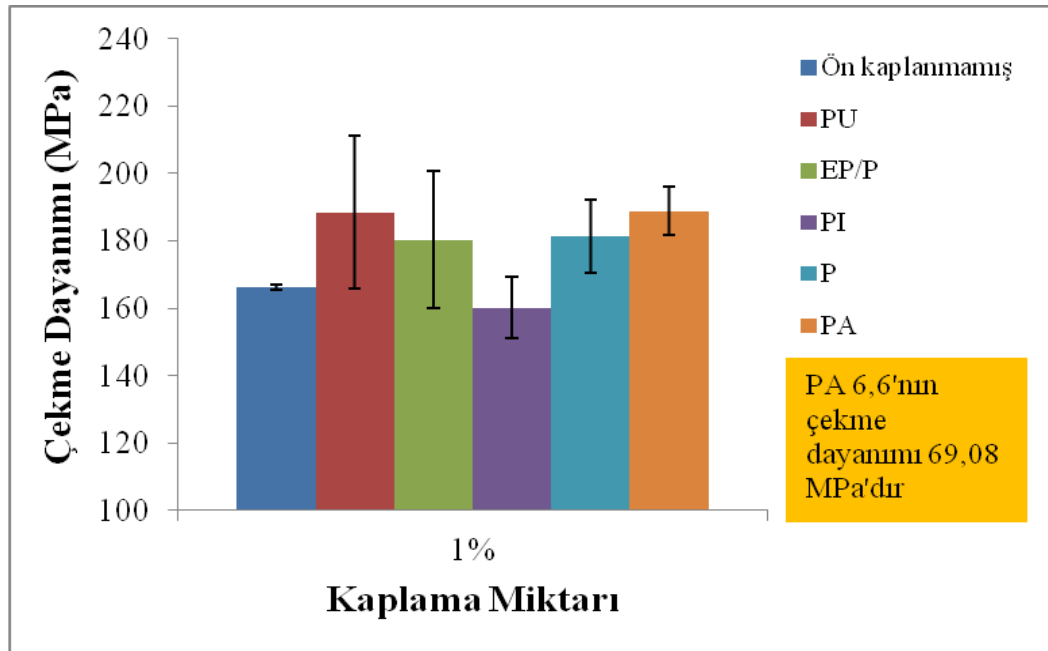
Ayrıca Tablo 3.7’den görülmektedir ki tüm  $W_{12}^a$  değerleri, ön kaplanmamış KE ile PA 6,6 matris arasındaki yapışma işi değerinden ( $W_{13}^a$ ) fazladır. Buradan, ön kaplanmamış karbon elyafın ön kaplama malzemeleri ile etkileşiminin, PA 6,6 matris ile oluşturacağı etkileşimden daha fazla olabileceği ve dolayısıyla ön kaplama işleminin işlevsel olabileceği sonucuna varılabilir. Diğer taraftan ön kaplanmamış KE ile PA ön kaplama malzemesi arasındaki yapışma işinin, ön kaplanmamış KE ile PBT matris arasındaki yapışma işinden düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç, PBT matrisli karmalarda ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların PA ön kaplanmamış KE takviyeli karmalardan daha yüksek çekme dayanımı değerleri vermesi beklentisini yaratmaktadır. PBT matrisli karmalara uygulanan çekme testi sonuçları değerlendirilirken bu durum tekrar göz önünde bulundurulacaktır.

Ayrıca Tablo 3.7 göstermektedir ki her iki durumda da en yüksek yapışma işi değerleri ( $W_{12}^a$  ve  $W_{23}^a$ ) PU ön kaplama malzemesi ile elde edilmektedir. Bu sonuç PU ön kaplama malzemesinin yüzey enerjisinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır ve yüzey enerjisi yüksek olan PU'nun hem ön kaplanmamış KE ile hem de PA6,6 ve PBT matris ile daha iyi arayüzey yapışması değerleri vereceğini göstermektedir.

### 3.2. PA 6,6 Matrisli Karmaların Karakterizasyon Sonuçları

#### 3.2.1. Çekme testi

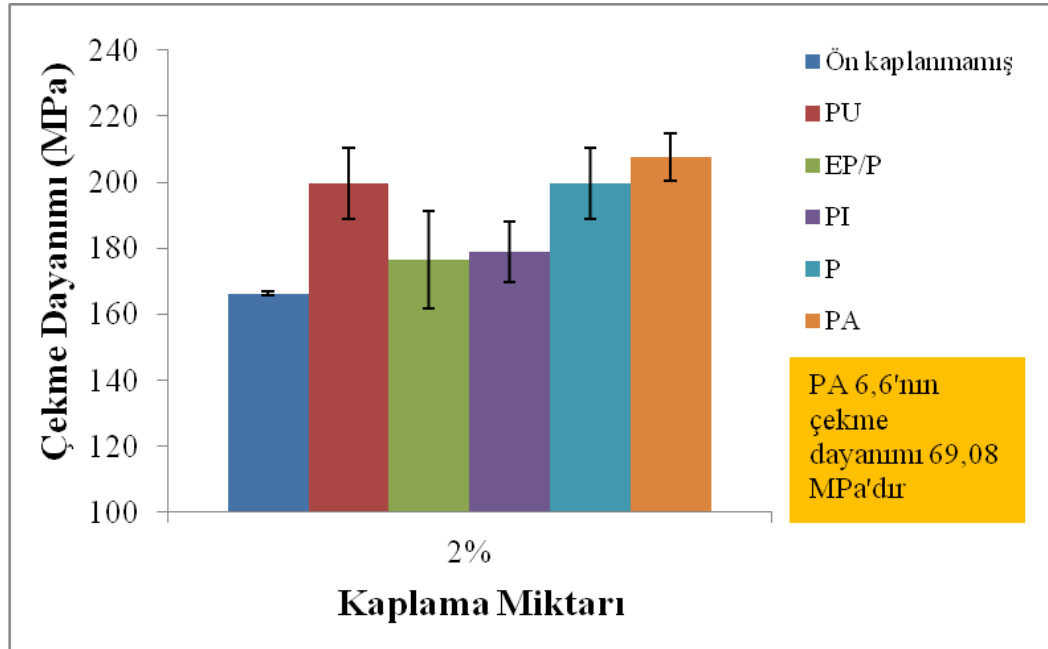
Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların çekme dayanımı özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla çekme testleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.14-3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.14. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.14'te, % 1 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Buna göre, PA ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PA 6,6'ya göre % 173 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 172 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, P ön kaplama malzemesi % 162 artış, EP/P ön kaplama malzemesi ise % 161 artış

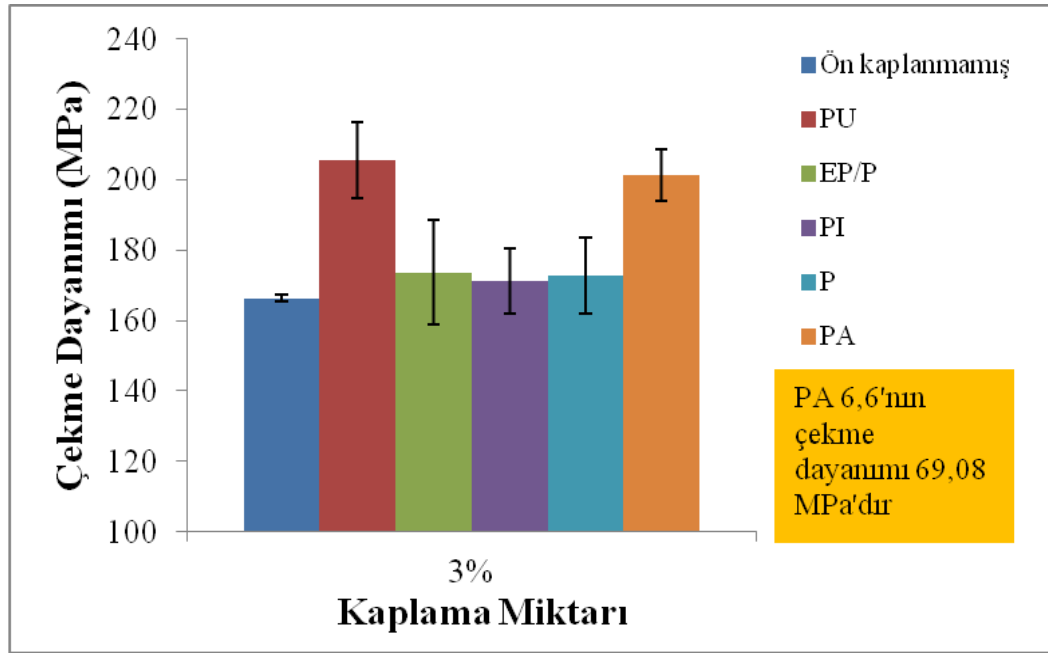
sağlamaktadır. Ön kaplanmamış KE ise saf PA 6,6'ya göre % 140 artış sağlarken PI ön kaplama malzemesi % 131 artış sağlayarak diğer elyaf takviyeli karmalar içinde en düşük değeri vermiştir. Bunun yanı sıra ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. PA ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 35 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 34 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, P ön kaplama malzemesi % 29 artış, EP/P ön kaplama malzemesi % 28 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 14 artış sağlamaktadır.



Şekil 3.15. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.15'te % 2 kaplama miktarında ön kaplanmamış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Buna göre Şekil 3.15'te verilen çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, PA ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PA 6,6'ya göre % 200 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 189 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, P ön kaplama malzemesi % 188 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 158 artış sağlamaktadır. EP/P ön kaplama malzemesi ile kaplanmamış KE ise saf PA 6,6'ya göre % 155 artış sağlarken en düşük çekme dayanımı değerini ön kaplanmamış KE ile takviye edilmiş karmalar vermiştir.

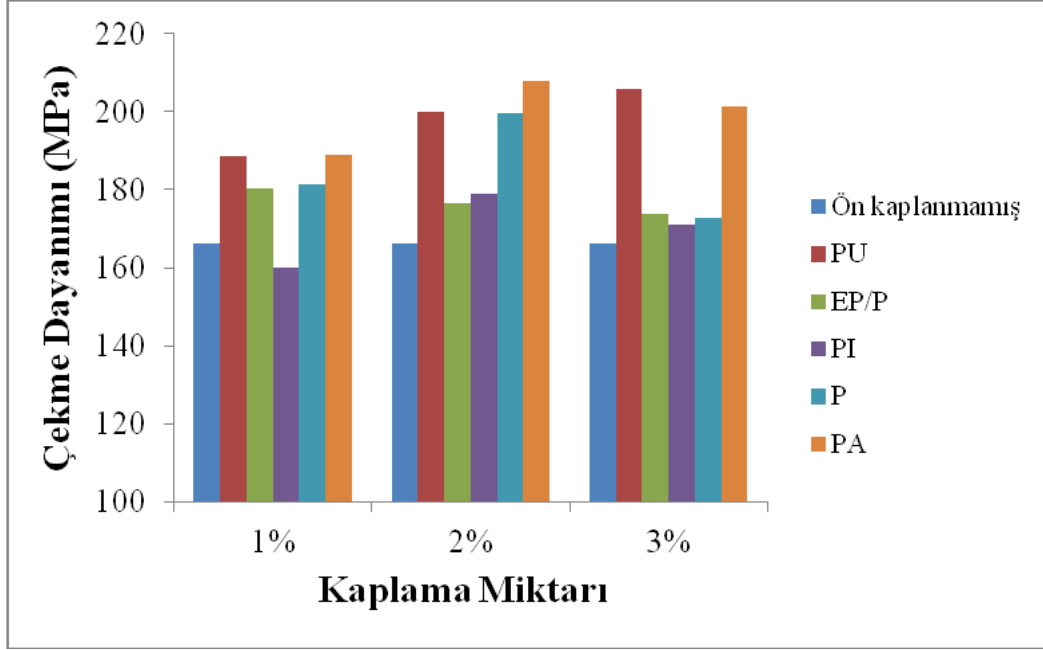
Bunun yanı sıra ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. PA ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 48 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 42 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, P ön kaplama malzemesi % 41 artış, EP/P ön kaplama malzemesi % 26 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 27 artış sağlamaktadır.



Şekil 3.16. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.16'da % 3 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Buna göre Şekil 3.16'da verilen çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PA 6,6'ya göre % 197 arttığı görülmektedir. Bunu % 191 artışla PA ön kaplama malzemesi izlerken, EP/P ön kaplama malzemesi % 151 artış, P ön kaplama malzemesi ise % 150 artış sağlamaktadır. PI ön kaplama malzemesi ile kaplanmış KE ise saf PA 6,6'ya göre % 147 artış sağlarken en düşük çekme dayanımı değerini ön kaplanmamış KE ile takviye edilmiş karmalar vermiştir. Bunun yanı sıra ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı

durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 46 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 43 artışla PA ön kaplama malzemesi izlerken, P ve EP/P ön kaplama malzemeleri % 23 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 21 artış sağlamaktadır.



Şekil 3.17. Ön kaplama türü ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması

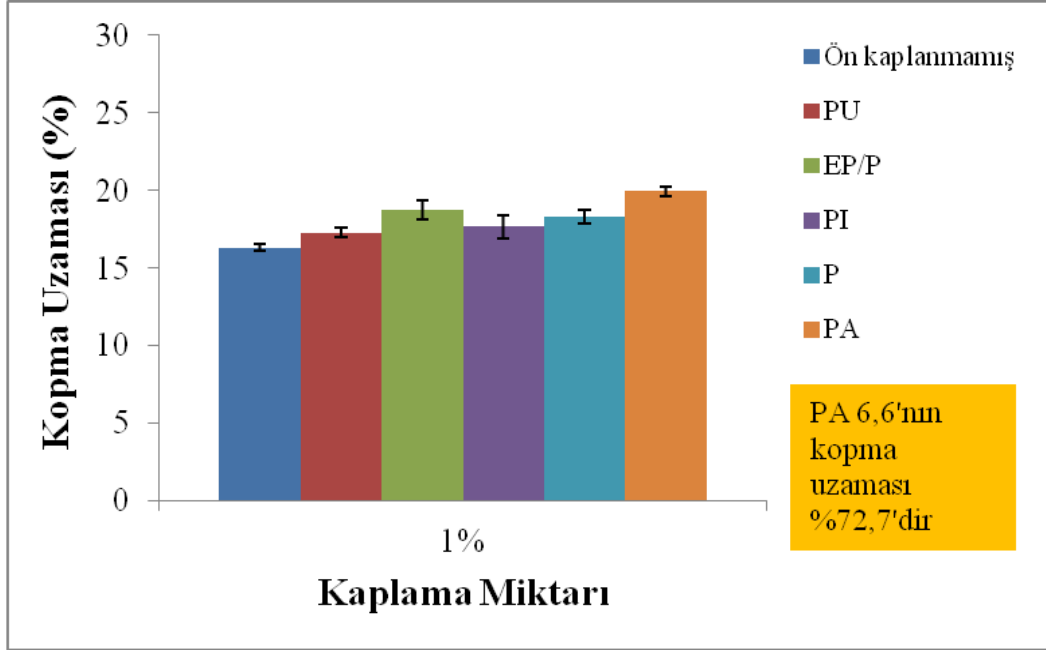
Şekil 3.17’de ise ön kaplama türü ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3.17 yardımıyla kaplama miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde, PA, P ve PI ön kaplama malzemeleri için en yüksek kopma dayanımının % 2 kaplama miktarında ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda kaplama miktarı arttıkça çekme dayanımı değerleri artarken, EP/P kullanıldığı durumda ise kaplama miktarı arttıkça kopma dayanımı değerlerinin azaldığı varılan bir diğer sonuçtur. Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde denilebilir ki, kaplama miktarının çekme dayanımı üzerindeki etkisi kullanılan ön kaplama malzemesinin türüne bağlıdır ve kullanılan ön kaplama malzemesi değiştikçe karmaların en yüksek çekme dayanımı değerini verdikleri kaplama miktarı da değişmektedir.



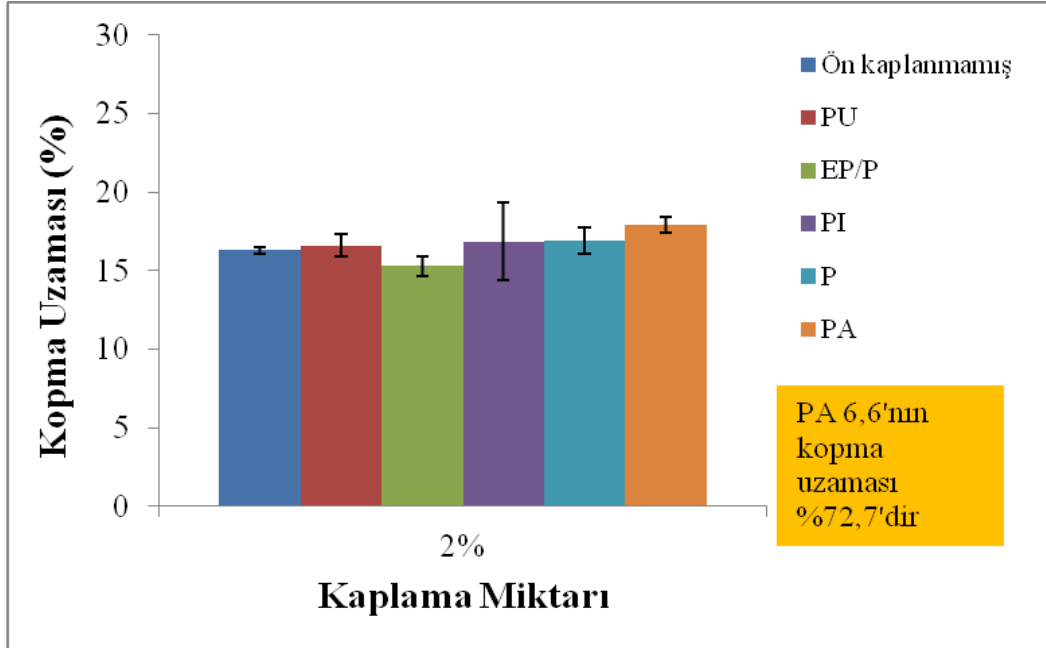
Şekil 3.17 yardımıyla kaplama türünün çekme dayanımı üzerine olan etkisi incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı değerlerinin sırasıyla PA ve PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir. Dolayısıyla PA ve PU ön kaplama malzemeleri ile PA 6,6 matris arasında iyi bir yapışma olduğu sonucuna varılabilir. Çünkü elyaf-matris arasındaki yapışmanın iyi olması, çekme sırasında uygulanan yükün matristen elyafa etkin bir şekilde aktarılmasını ve elyafın daha fazla yük taşıyabilmesini sağlayan bir durumdur (Threepopnatkul ve diğ., 2009), (Farahani ve diğ., 2012).

Ön kaplama türünün, karmanın mekanik özellikleri üzerine etkisini daha iyi anlayabilmek için çekme dayanımı sonuçları ile XPS analizi sonuçlarının karşılaştırılması gerekmektedir. XPS analizi sonucunda elyaf-matris arasındaki yapışmayı arttıracak fonksiyonel grup sayısı ön kaplanmamış karbon elyafında en yüksek değeri verirken ön kaplanmış elyaf türleri içinde ise en yüksek değerin PU ön kaplama kullanıldığı durumda elde edildiği görülmüştür. PA ön kaplama malzemesinin ise az sayıda fonksiyonel grup içerdiği görülen bir başka sonuçtur. Dolayısıyla XPS sonuçlarına göre en yüksek çekme dayanımını sırasıyla ön kaplanmamış KE ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların vermesi gerekmektedir sonuç böyle olmamıştır. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi elyaf-matris ara yüzey yapışmasında elyaf yüzeyinde fonksiyonel grupların bulunması önemli bir parametreyken, kullanılan ön kaplama malzemesinin matris malzemesiyle olan uyumu da önemli bir parametredir (Dilsiz ve Wightman, 2000). PA 6,6 matris ile en uyumlu ön kaplama malzemesinin PA olduğu göz önünde bulundurulursa çekme dayanımı sonuçları daha net anlaşılabilir. Bununla birlikte PU ön kaplama malzemesinin PA 6,6 matris ile uyumu ön kaplanmamış karbon elyafa göre daha iyi olduğu için PU yüksek çekme dayanımı değerini veren ikinci ön kaplama malzemesi olmuştur.

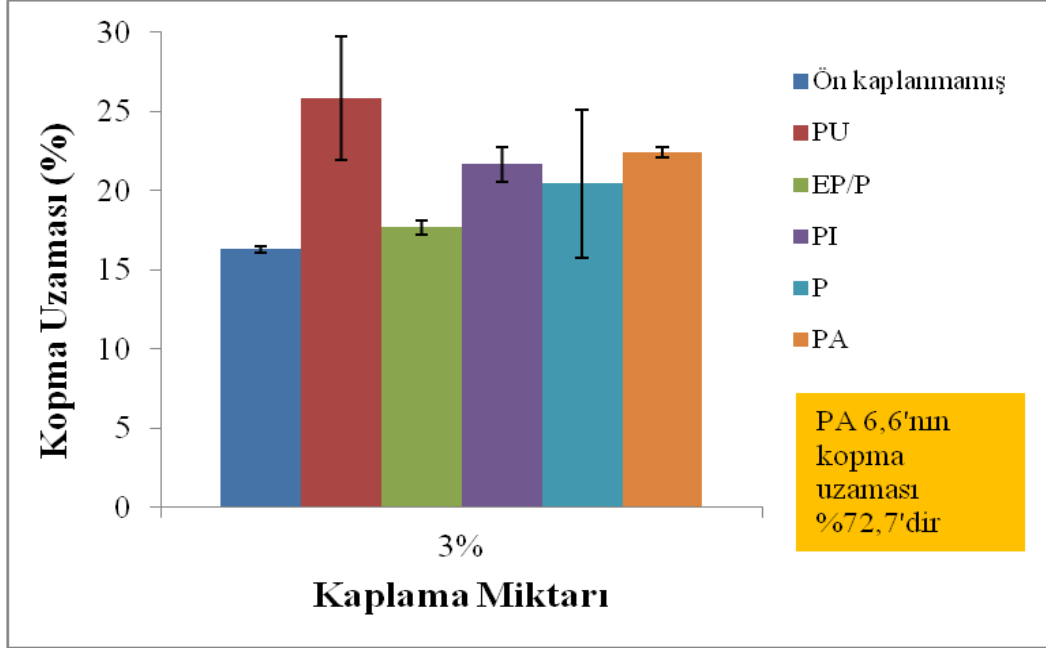
Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların kopma uzaması özellikleri üzerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.18-3.21’de verilmiştir.



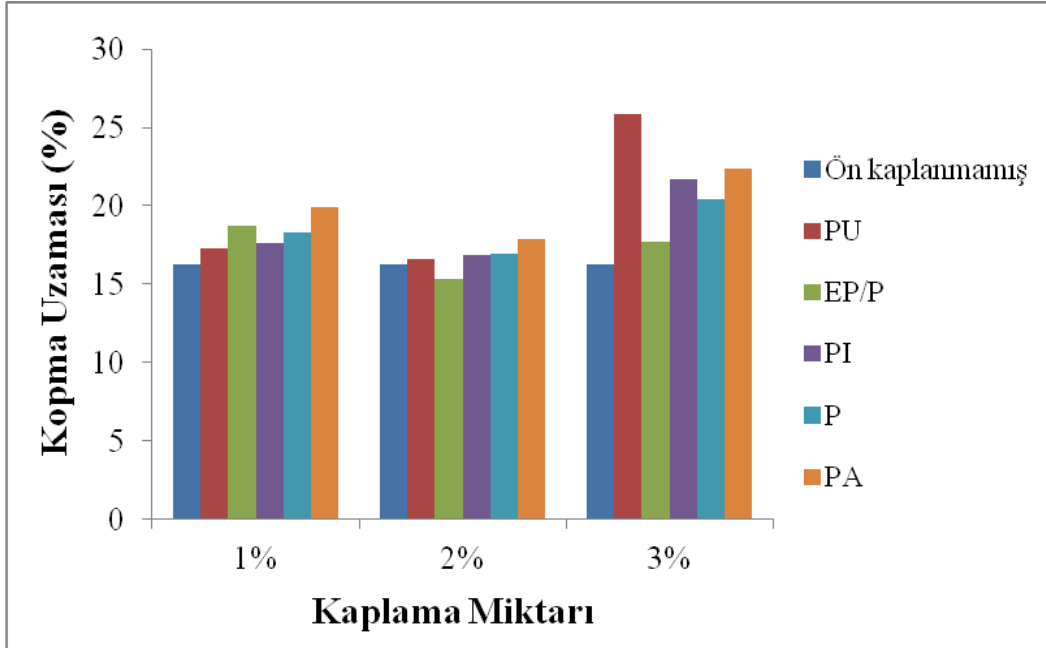
Şekil 3.18. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri



Şekil 3.19. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri



Şekil 3.20. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait kopma uzaması değerleri



Şekil 3.21. Ön kaplama türü ve miktarının kopma uzaması üzerine etkisinin karşılaştırılması

Şekil 3.18-3.21 incelendiğinde, KE takviyesinin karmaların çekme dayanımını artırırken, kopma uzamasını azaltan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi karmaların kopma uzaması değerleri saf PA 6,6'nın kopma uzaması değerine göre oldukça düşüktür. Elyaf takviyesi sonucunda kopma

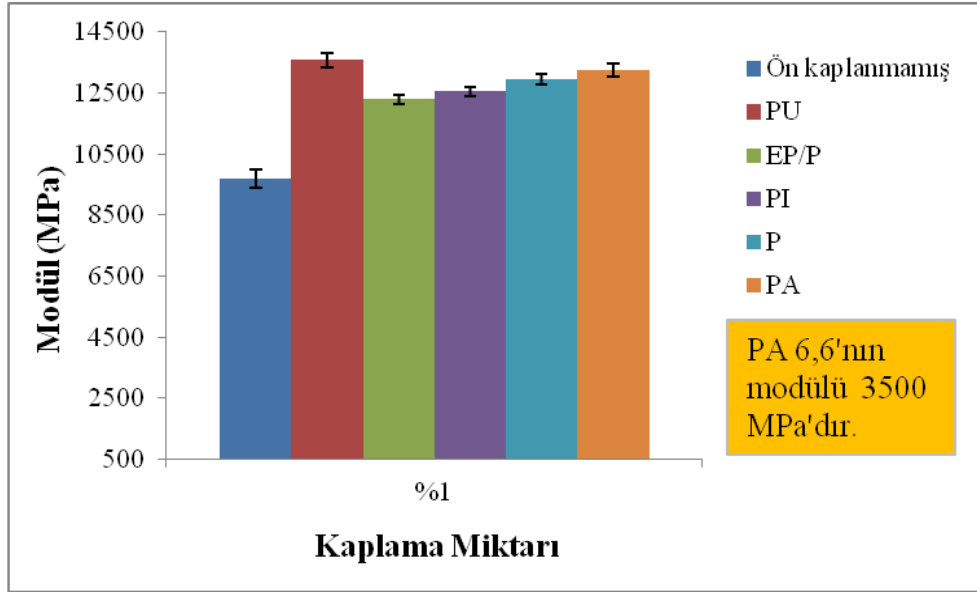
uzamasında meydana gelen düşüş bilinen bir durumdur. Bu durum literatürde kopma mekanizması olarak açıklanmaktadır. Bu mekanizmaya göre, elyaf sonlarındaki gerilimin yüksek olması sebebiyle karmalara çekme gerilimi uygulandığında ilk çatlaklar bu bölgelerde oluşmaya başlar. Artan gerilimle birlikte bu çatlaklar elyaf-matris ara yüzeyine ya da matrise aktarılır. Bu aşamadan sonra çatlaklar büyüyerek kritik seviyeye ulaşır ve elyafın çevresini sararak matrisin artan yükü taşıyamamasına bu nedenle de en zayıf noktada kopmasına neden olur. Dolayısıyla kopmadaki uzama değeri elyaf sonu sayısı ve buna bağlı olarak elyaf derişimi ile doğru orantılıdır (Li ve Zhang, 2009b), (Fu ve diğ., 2001), (Ozkoc ve diğ., 2005), (Fu ve diğ., 2000), (Li ve Cai, 2011).

Ancak bununla birlikte PA 6,6'ya elyaf ilavesiyle uzama değerlerinin azalmasına rağmen ön kaplama malzemesinin türü de kopma uzaması değerlerini etkilemektedir. Şekil 3.18-3.21'den de görüldüğü gibi % 1 ve % 2 kaplama miktarları için en yüksek kopma uzaması değeri PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalar için elde edilirken % 3 kaplama miktarı için ise en yüksek kopma uzaması değeri PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalar için elde edilmektedir. PA ve PU ön kaplanmış elyaf türleri ile diğer elyaf türleri arasında oluşan farkın, bu ön kaplama malzemeleri ile PA 6,6 matris malzemesi arasındaki uyumun ve dolayısıyla yapışmanın iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü zayıf bir yapışma olduğu durumda lifler kolayca yerlerinden çıkarlar ve en zayıf noktada kopma gerçekleşir. Ancak elyaf-matris arasındaki yapışma iyiye uygulanan gerilim matristen elyafa kolayca dağıtılır ve iletilir. Böylece deformasyon tek noktada başlamak yerine tüm yapıya yayılır ve uzama miktarı artar (Liu, 2009).

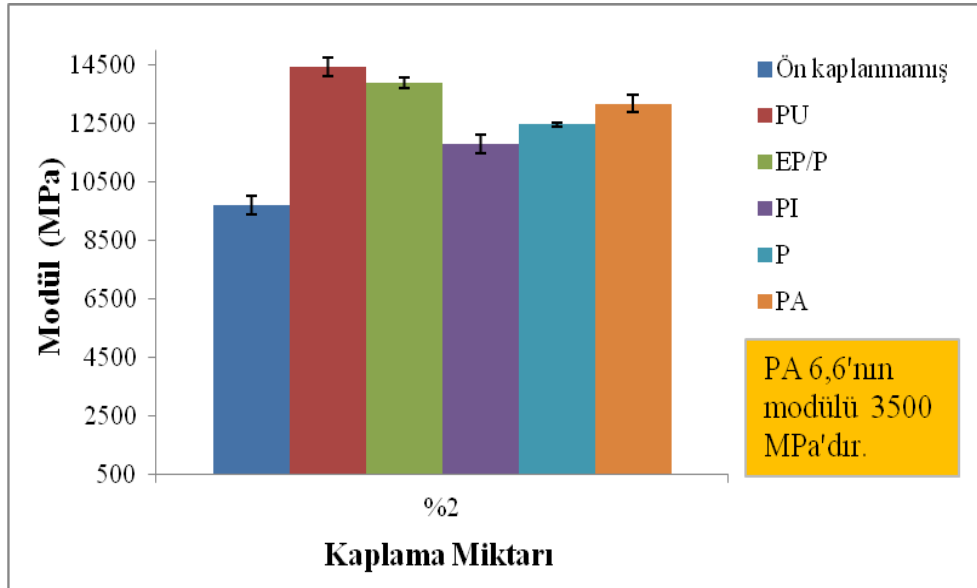
% 3 kaplama miktarında PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların, diğer elyaf türleriyle karşılaştırıldıklarında en yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerini verdikleri görülmüştür. Bu durumun sebebi izotermal termogravimetrik analiz sonuçlarıyla açıklanabilir. İzotermal TGA'da elde edilen sonuçlara göre PU ön kaplama malzemesinin karma üretim süreci boyunca kütlelerini bir miktar kaybettiği görülmüştür. Kütlede meydana gelen bu azalmanın kaplama malzemesinin bozunmasından kaynaklandığı göz önünde bulundurulursa artan kaplama miktarı ile

ön kaplama malzemesinin elyaf-matris ara yüzündeki işlevini daha iyi yapacağı sonucu çıkarılabilir. Aynı durumun PA ön kaplama malzemesi için söz konusu olmamasından, PA ön kaplama malzemesinde meydana gelen bozunmanın karma özelliklerini önemli ölçüde etkilemediği sonucu çıkarılabilir.

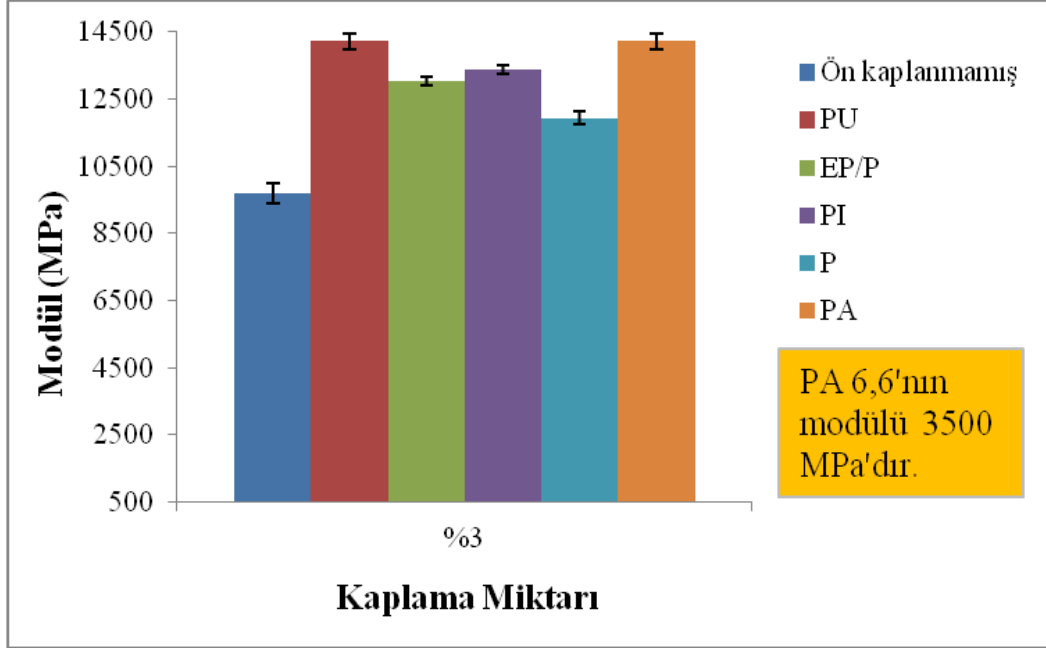
Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların modül değerleri üzerine etkisini gösteren grafikler Şekil 3.22-3.25'te verilmiştir.



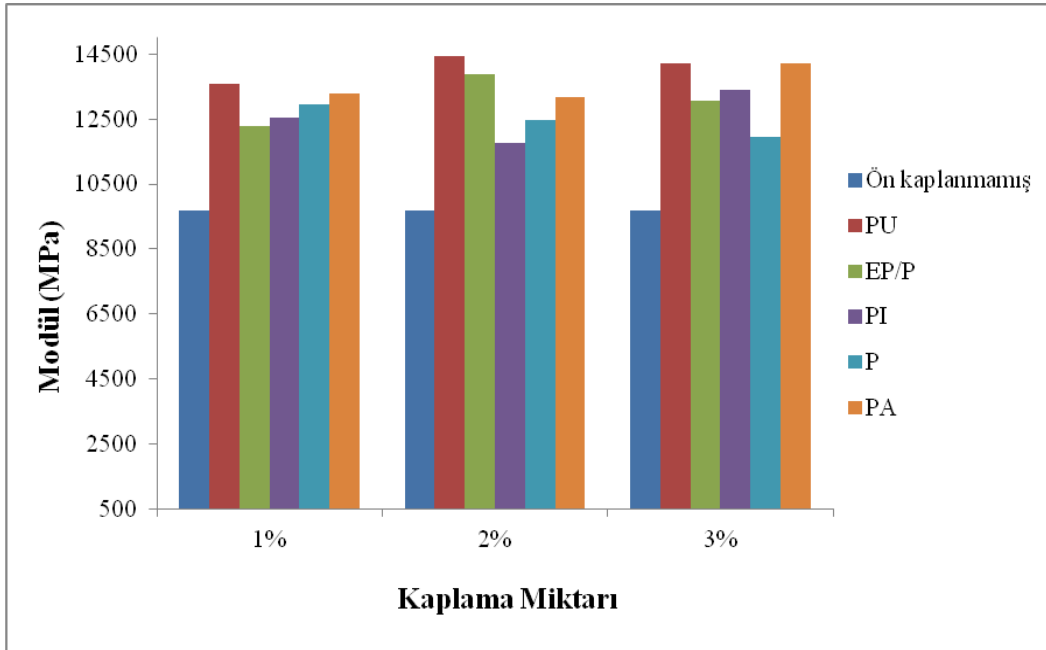
Şekil 3.22. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.23. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.24. % 3 Kaplama miktarı kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.25. Ön kaplama türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması

Grafikler incelendiğinde, saf PA 6,6'nın modül değerinin KE eklenmesi ile arttığı görülmektedir. Bu artış beklenen bir durumdur ve "karışımlar kuralı" teorisiyle açıklanabilir. Bu teoriye göre bir karmanın modülü aşağıdaki denklikle hesaplanabilir (Houshyar ve diğ., 2005):

$$E_c = \eta_1 \eta_0 V_f E + V_m E_m \quad (3.10)$$

Bu denklikte,  $\eta_1$  karmanın pekliğine tam anlamıyla katkıda bulunmayan elyaf uzunlukları için kullanılan düzeltme faktörünü ifade ederken  $\eta_0$  elyaf yönlenme faktörünü,  $E$  modülü,  $V$  ise hacim fraksiyonunu ifade eder.  $c$ ,  $f$  ve  $m$  alt indisleri ise sırasıyla karma, elyaf ve matrisi ifade eder (Fu ve Lauke, 1996), (Karsli ve diğ., 2012). Bu tez çalışmasında, enjeksiyonla kalıplanma sırasında liflerin akış yönünde yönlendikleri kabulü yapılarak elyaf yönlenme faktörü olan  $\eta_0$  1 olarak alınmıştır. Bunun yanısıra  $E_m$ ,  $V_m$ ,  $E_f$  and  $V_f$  değerleri tüm karmalar için sabittir. Böylece karmaların modül değerlerinin büyük ölçüde elyaf uzunluk düzeltme faktörü  $\eta_1$ 'e bağlı olduğu söylenebilir. Şekil 3.22-3.25 incelendiğinde görülmektedir ki her üç kaplama miktarında da en yüksek modül değeri PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edilmektedir. Buradan, PU ön kaplama malzemesinin karma üretimi sırasında elyaf kırılmasını diğer ön kaplama malzemelerinden daha etkin şekilde engellediği sonucuna varılabilir. Bu sonucu desteklemek için PA 6,6 matrisli karmalara elyaf uzunluk dağılımı analizi yapılmıştır.

### 3.2.2. Elyaf uzunluk dağılımı analizi

Bilindiği gibi ekstrüzyon ile karma üretimi ve enjeksiyon ile kalıplama süreçlerinde, elyaf-elyaf ve elyaf-cihaz etkileşimlerinin olması sebebiyle karma içindeki lifler bir miktar kırılırlar ve karmadaki son elyaf uzunluk dağılımı değişir (Fu ve Lauke, 1996), (Weiss, 1981). Karma üretiminde kullanılan elyafın, bir ön kaplama malzemesi ile kaplanması durumunda bu ön kaplama malzemesi, elyafın işleme sırasında kırılmasını belirli ölçüde önleyerek elyafın etkinliğinin artmasını sağlar. Diğer taraftan elyaf ile matris malzemesi arasındaki ara yüzey etkileşimi de elyaf uzunluk dağılımını etkileyen önemli bir faktördür. Elyaf-matris arasındaki etkileşimin zayıf olması durumunda, matristen kolayca ayrılan lifler öbikleşirler ve bu durum elyaf-elyaf etkileşimini arttıracak için liflerin daha fazla kırılmasına sebep olur (Kim ve diğ., 2009).

Bu sebeple, elyaf ön kaplamasının ve kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün, karmalardaki elyaf uzunluk dağılımı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla yüzeyi ön kaplanmamış ve ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımları incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. PA 6,6 matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımı

Aralık (µm)	% Sayı/Kümülatif toplam					
	Ön Kaplanmamış	PU	EP/P	PI	P	PA
<b>20-40</b>	5/-	1/-	0/-	1/-	1/-	1/-
<b>40-60</b>	17/22	8/9	5/5	6/7	9/10	9/10
<b>60-80</b>	20/42	13/22	14/19	14/21	20/30	18/28
<b>80-100</b>	<b>25/67</b>	23/45	22/41	24/45	18/48	22/50
<b>100-120</b>	16/83	25/70	<b>34/75</b>	<b>29/74</b>	<b>31/79</b>	<b>26/76</b>
<b>120-140</b>	17/100	<b>30/100</b>	25/100	26/100	21/100	24/100

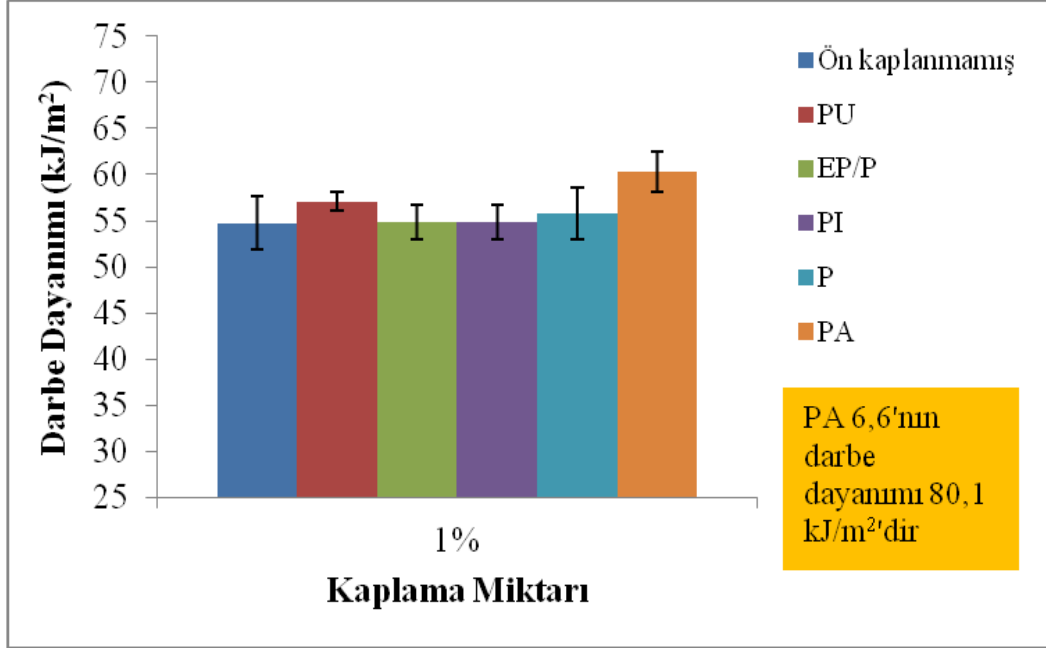
Tablo 3.8 incelendiğinde, ön kaplanmamış KE takviyeli karmalarda en yüksek miktarda lif yüzdesinin (% 25) 80-100 µm aralığında olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, EP/P, PI, P ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda en yüksek lif yüzdesi 100-120 µm aralığında elde edilirken PU ön kaplanmış elyaf takviyeli

karmalarda ise 120-140 µm aralığında elde edilmiştir. Dolayısıyla buradan PU ön kaplanmış elyafın, karma üretimi süreci sonunda diğer elyaf türleri ile karşılaştırıldığında daha az kırıldığı ve bu sayede karmaların modül değerine daha fazla katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır.

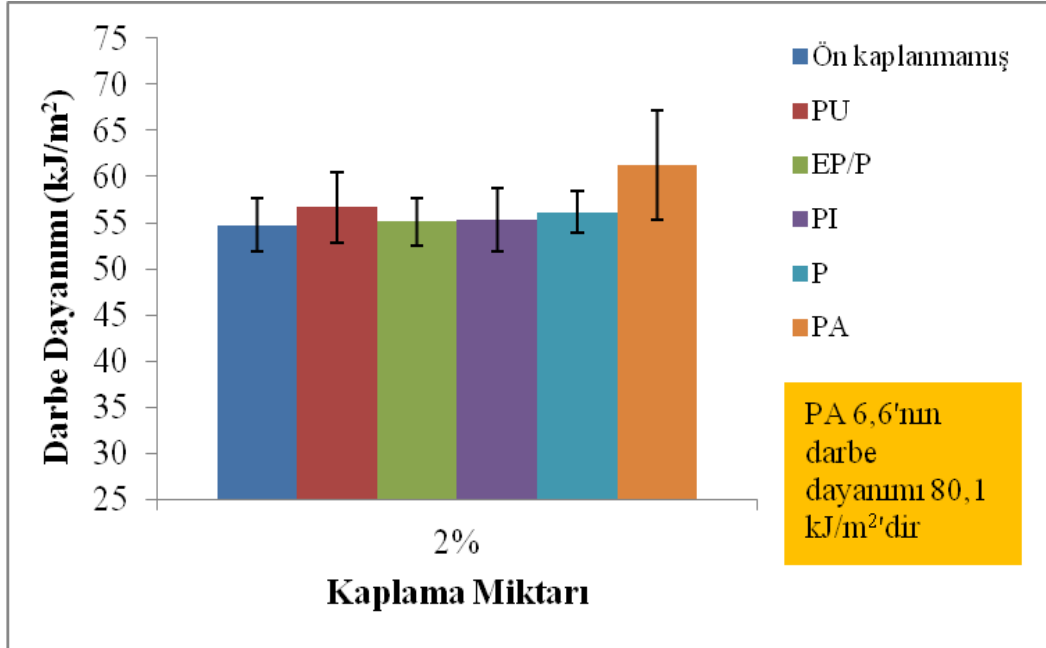
### 3.2.3. Darbe testi

Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların darbe dayanımı özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla darbe testleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.26-3.29’da verilmiştir.

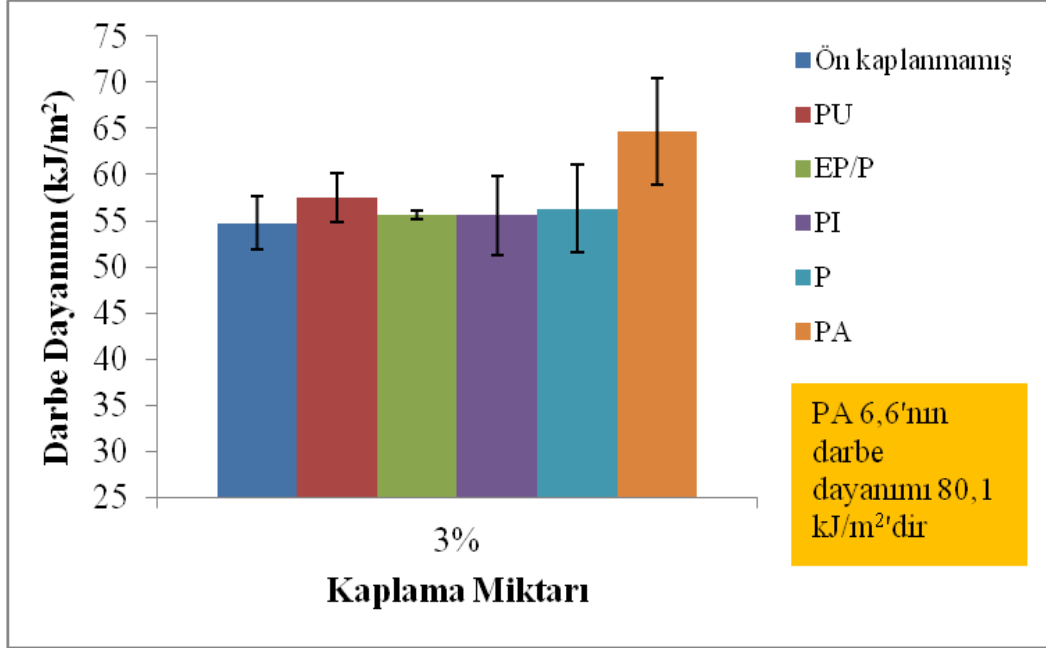




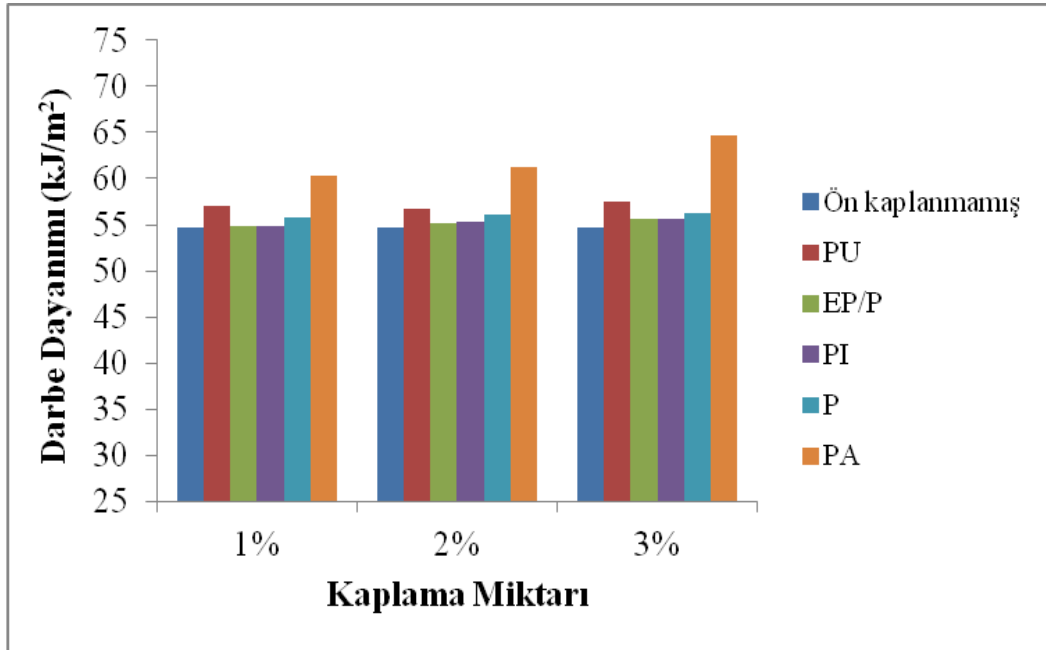
Şekil 3.26. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.27. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.28. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PA 6,6 karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.29. Ön kaplama türü ve miktarının darbe dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması

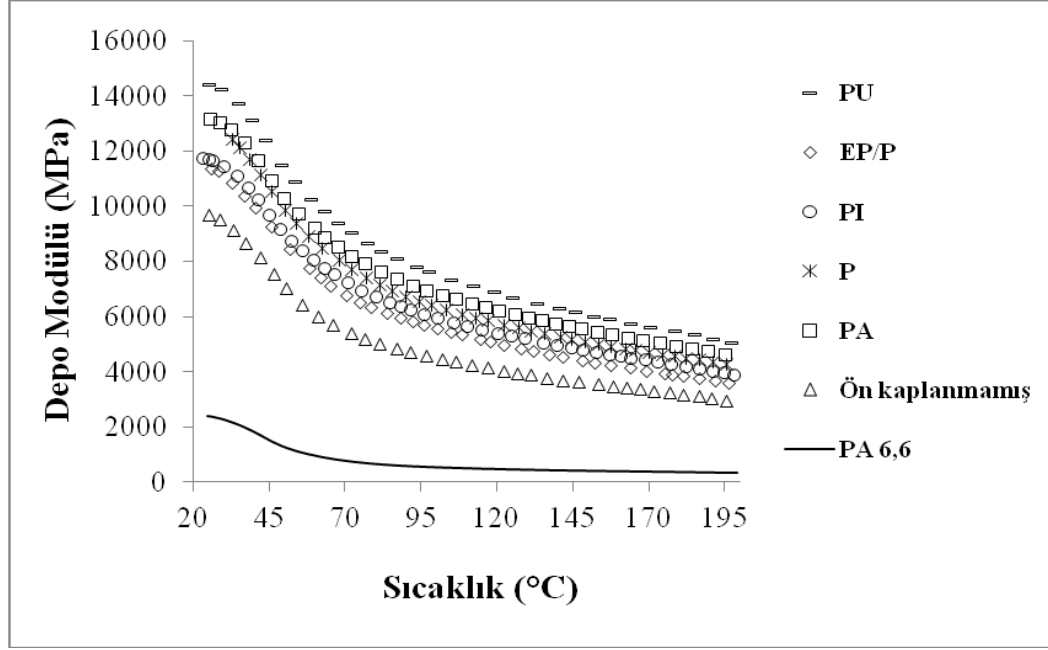
Bir malzemenin darbe enerjisi, malzemenin kırılmaya başladığı ve çatlağın ilerlediği süre boyunca absorbladığı enerjidir. PA 6,6 ise sünek ve darbe enerjisi yüksek bir polimerdir. Ancak Şekil 3.26-3.29'da da görüldüğü gibi PA 6,6 matrise KE eklenmesiyle karmaların darbe dayanımı değerlerinde ani bir düşme meydana

gelmektedir. Buradan, polimer matrise elyaf eklenmesinin polimeri daha kırılğan bir hale getirdiği ve darbe dayanımını azalttığı sonucuna varılabilir. Bunun sebebi polimere elyaf ilavesiyle, gerilimin yüksek olduğu elyaf sonlarında çatlak oluşumunun meydana gelmesidir (Joshi ve diğ., 1994), (Crosby ve Drye, 1987).

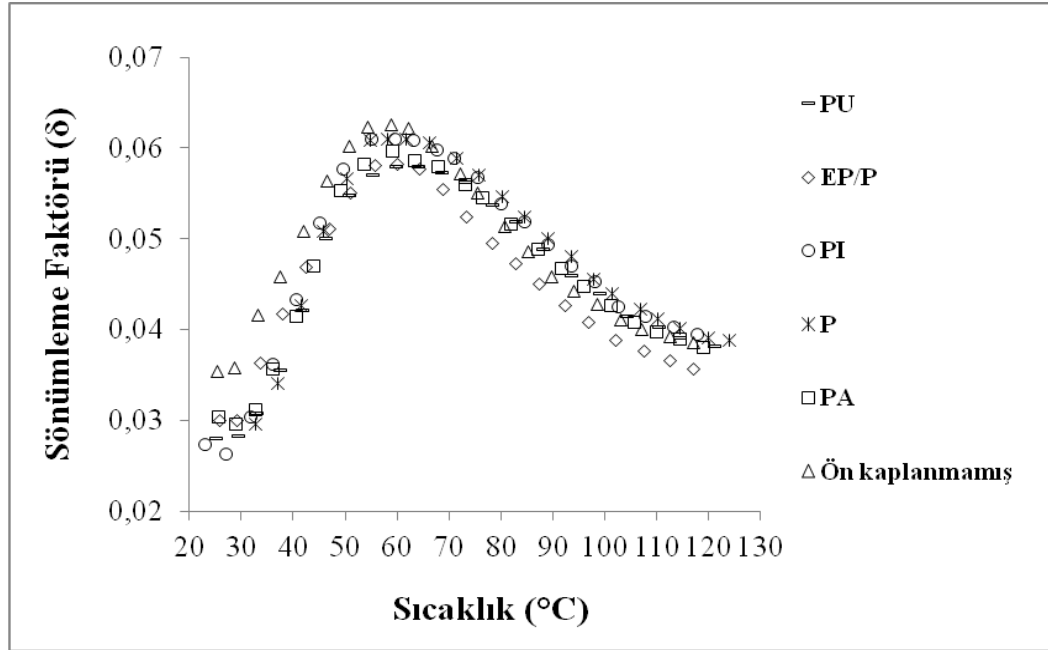
Şekil 3.26-3.29 incelendiğinde, kaplama miktarının darbe dayanımı değerlerini önemli ölçüde etkilemediği, her üç ön kaplama miktarında da, PA ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların en yüksek darbe dayanımı değerini verdiği görölmektedir. Bu sonucu PU ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmalar izlemektedir. En düşük darbe dayanımı ise ön kaplanmamış KE takviyeli karmalarda elde edilmiştir. PA ve PU ön kaplama malzemelerinin kullanılmaları durumunda yüksek darbe dayanımı değerleri elde edilmesinin, bu ön kaplama malzemeleri ile PA 6,6 matris arasındaki yapışmanın iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü elyaf-matris arasındaki ara yüzey yapışması zayıfken elyaf sonlarından başlayan çatlak zayıf ara yüzeyden ilerlemeye devam ederek gerilim konsantrasyonu yüksek alanlar oluşturur ve kırılma gerçekleşir. Ancak elyaf-matris ara yüzey yapışması arttıkça elyaf sonlarında başlayan çatlağın ilerlemesi daha yavaş olacağından kırılma gerçekleşene kadar absorblanan enerji de daha fazla olur (Fu ve Lauke, 1998).

#### **3.2.4. Dinamik mekanik analiz**

Ön kaplanmamış ve farklı malzemelerle ön kaplanmış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların, dinamik şartlar altında ara yüzey etkileşimlerini değerlendirmek için karmalara dinamik mekanik analiz yapılmıştır. Buna göre ön kaplama türünün depo modülü ve sönümlleme faktörü üzerindeki etkisi sıcaklığa bağlı olarak incelenmiş ve Şekil 3.30-3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.30. Ön kaplama türünün depo modülü üzerine etkisi



Şekil 3.31. Ön kaplama türünün sönümlenme faktörü üzerine etkisi

Şekil 3.30 incelendiğinde saf PA 6,6'ya KE eklenmesinin depo modülü değerlerini belirgin bir şekilde arttırdığı görülmektedir. Bu artışın sebebi KE eklenmesiyle karmanın bükülmezliğinin artmasıdır. Ayrıca Şekil 3.30'dan ön kaplama malzemesinin türünün de depo modülü değerleri üzerinde etkili olduğu ve en yüksek depo modülü değerlerinin sırasıyla PU ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. En düşük depo modülü değerlerini ise ön kaplanmamış

elyaf takviyeli karmalar vermektedir. Elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyi olduğu durumda matristen elyafa etkin bir gerilim transferi gerçekleştiği göz önünde bulundurulursa PU ve PA ön kaplanmış elyaf ile PA 6,6 matris arasında iyi bir yapışma olduğu sonucuna varılabilir (Mohanty ve diğ., 2006), (Huda ve diğ., 2007).

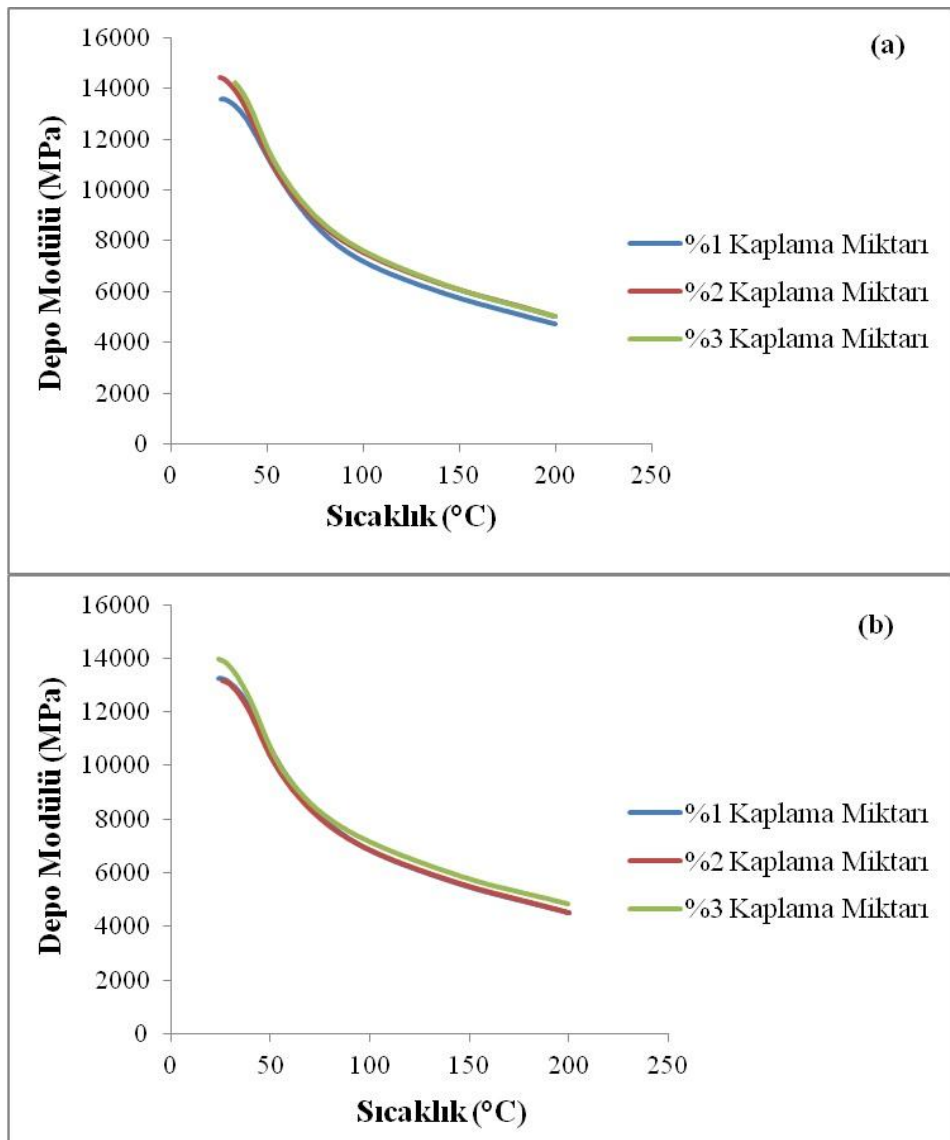
Dinamik mekanik analiz, elyaf takviyeli polimer matrisli karmalarda ara yüzey yapışmasını değerlendirmek için de kullanılan bir yöntemdir. DMA cihazı, bir malzemenin düşük uzamada uğradığı periyodik deformasyona verdiği iki tip yanıtı ölçer. Bunlar elastik (bükülmezlik) ve sönümlenme (enerji kaybı) terimleridir. Sönümlenme faktörü, bir malzeme içinde gerçekleşen tüm moleküler hareketler için duyarlı bir göstergedir. Elyaf takviyeli polimerik bir karma malzemede ise elyaf-matris arasındaki ara yüzeyde meydana gelen moleküler hareketler, malzemenin sönümlenme özelliğine, diğer bileşenlerden ayrı olarak bir katkı sağlar. Dolayısıyla ara yüzeydeki sönümlenme olayının miktarının belirlenmesi ara yüzey yapışmasının niteliğini değerlendirmekte yardımcı olur (Dong ve Gauvin, 1993). Başka bir deyişle elastik özellikteki elyaf, viskoelastik özellikteki polimerik matris ve elyaf-matris ara yüzeyinden oluşan bir karma sisteminde, deformasyon enerjisi matris malzemesinde ve ara yüzeyde kayba uğrar. Eğer matris malzemesi, elyaf yükleme miktarı ve elyaf yönlenmesi gibi parametreler sabit tutulursa, sönümlenme faktörü elyaf-matris arasındaki arayüzeyi değerlendirmekte kullanılabilir (Li ve diğ., 2005).

Sönümlenme faktörü, kayıp modülün depo modülüne oranı olarak hesaplanır ve sönümlenme faktörü eğrisinin altında kalan alan, malzemenin düşük uzamada uğradığı periyodik deformasyon sırasında absorbladığı enerjinin bir göstergesidir. Eğer elyaf-matris arasında kuvvetli bir ara yüzey etkileşimi varsa hareketsiz bir ara faz oluşur ve burada moleküler hareketlilik az olduğu için daha az enerji kaybı meydana gelir. Dolayısıyla sönümlenme pikinin şiddeti kuvvetli ara yüzey etkileşimi olduğu durumda daha düşük olur (Mohanty ve diğ., 2006), (Guo ve diğ., 2012), (Ashida ve Noguchi, 1985), (Paul ve diğ., 2010), (Felix ve Gatenholm, 1991), (Ashida ve Noguchi, 1984).

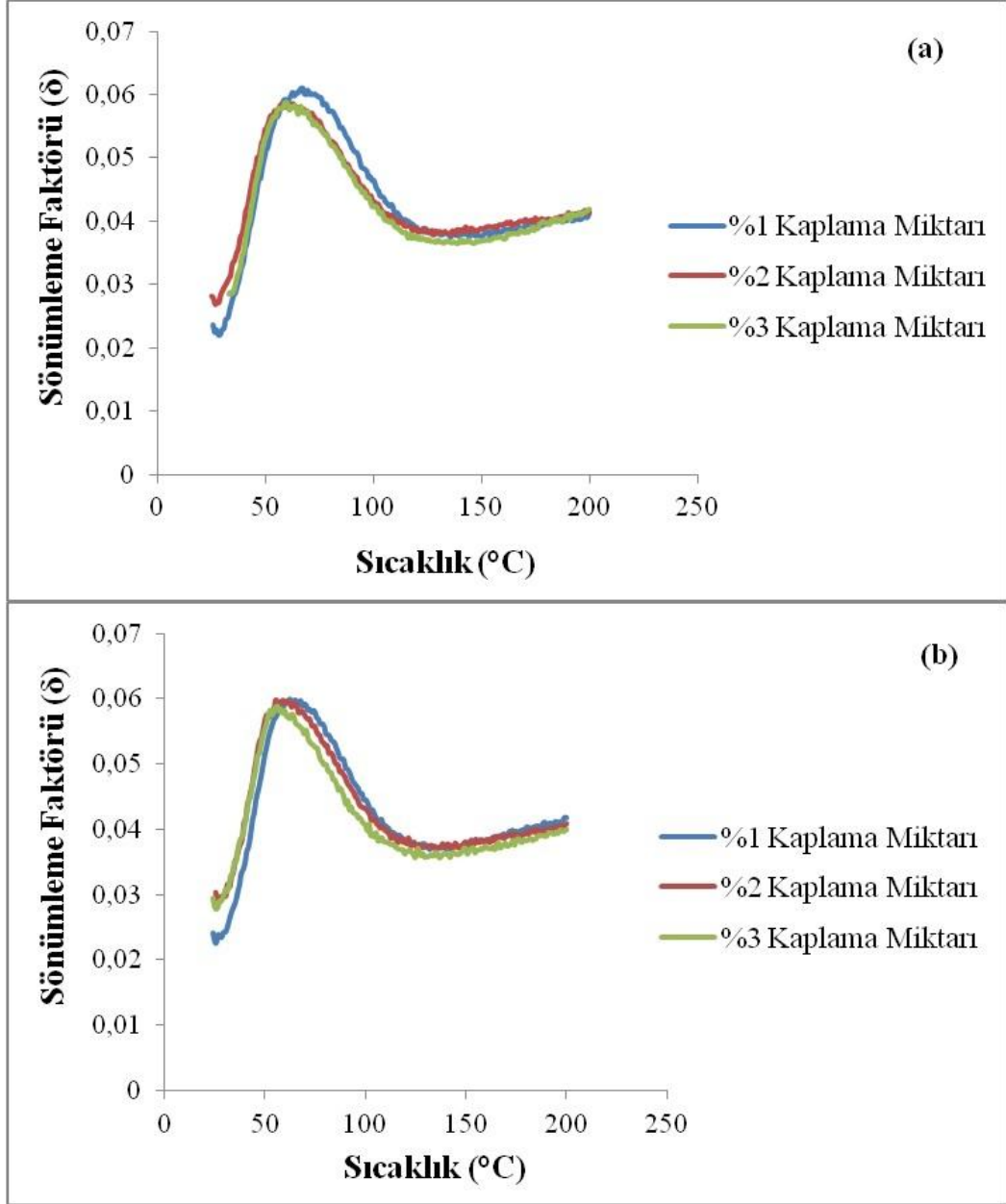
Bu tez çalışmasında, ön kaplama türünün sönümlenme faktörü üzerindeki etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.31’de verilmiştir. Şekil 3.31 incelendiğinde en düşük pik şiddetini, PU ve PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaların verdiği

görülmektedir. Buradan en iyi yapışmanın PU ve PA ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edildiği sonucuna varılabilir.

Ön kaplama türünün etkisi incelendiğinde en iyi değeri veren PU ve PA ön kaplama malzemelerinin miktarlarının depo modülü ve sönümlenme faktörü üzerindeki etkisi de incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.32 (a-b) ve 3.33 (a-b)'de verilmiştir. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33 incelendiğinde kaplama miktarının depo modülü ve sönümlenme faktörü değerlerini etkilemediği, her üç kaplama miktarında da yaklaşık aynı değerlerin elde edildiği görülmektedir.



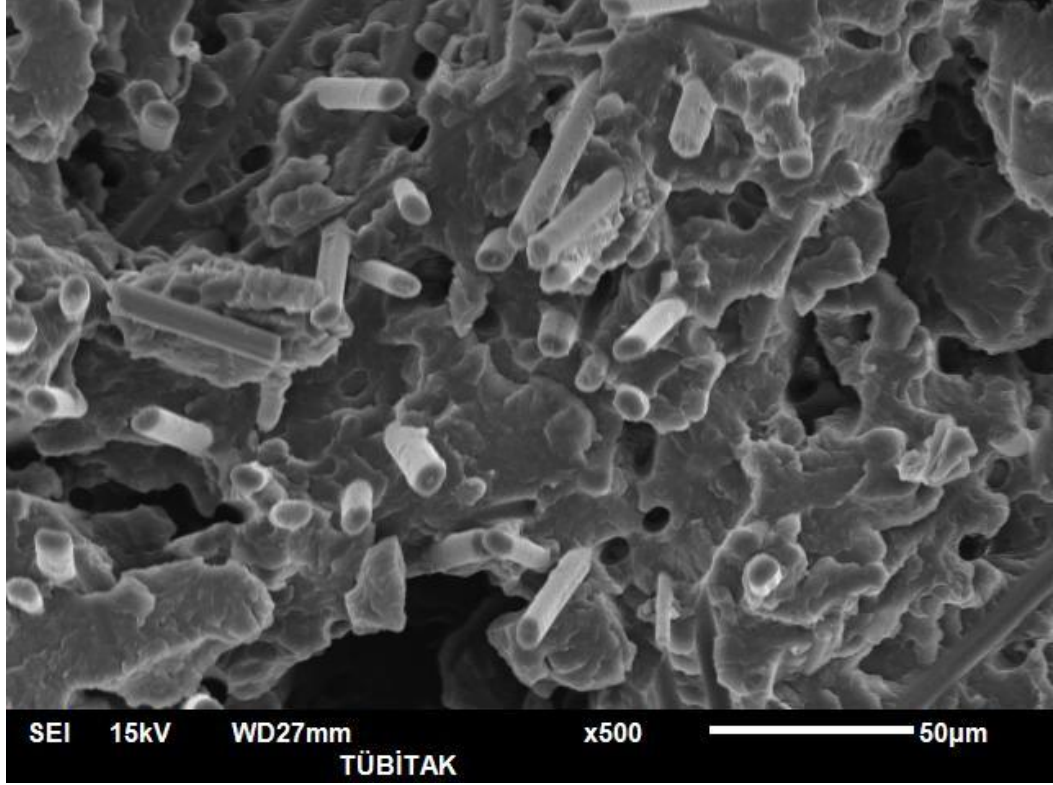
Şekil 3.32. Kaplama miktarının depo modülü üzerindeki etkisi (a) PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar, (b) PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar



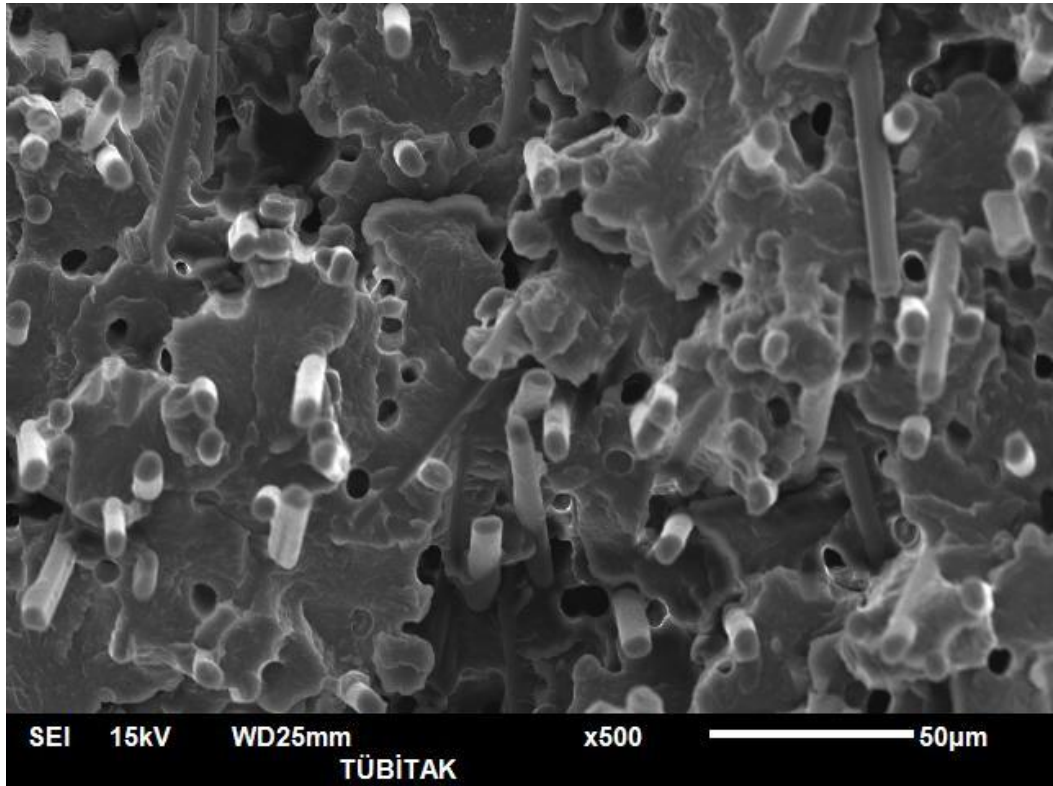
Şekil 3.33. Kaplama miktarının sönümleme faktörü üzerindeki etkisi (a) PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar, (b) PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmalar

### 3.2.5. SEM analizi

Ön kaplanmamış ve ön kaplanmış KE takviyeli karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.34-3.39'da verilmiştir.

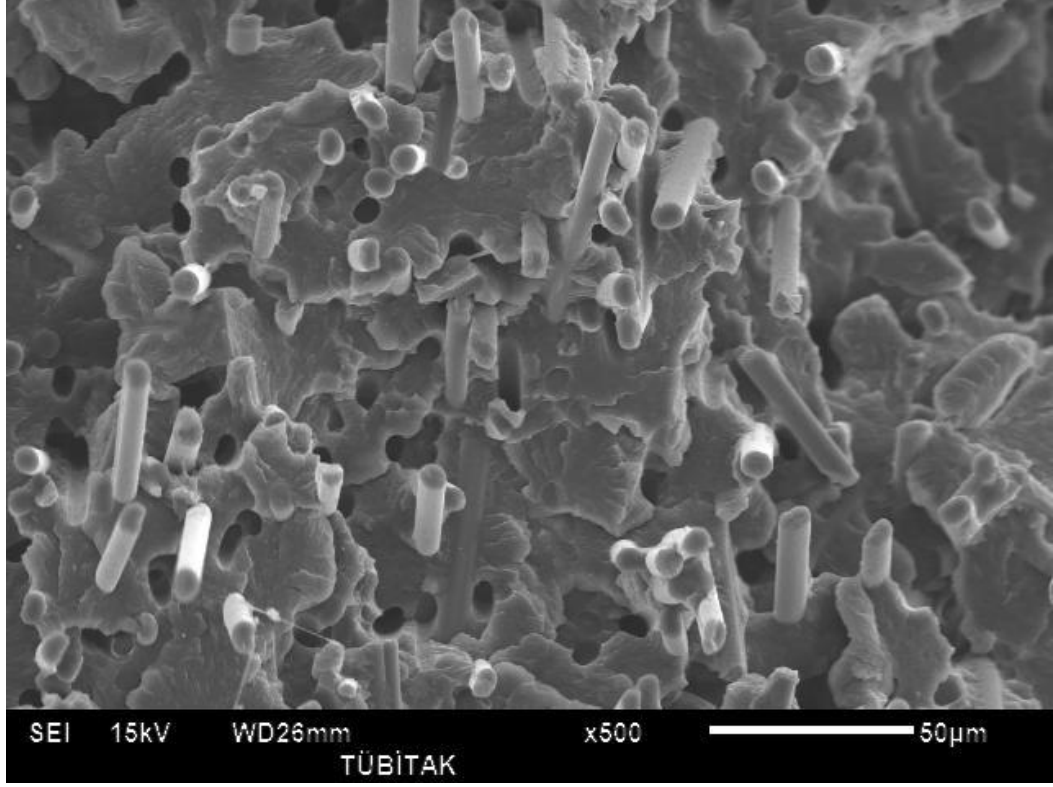


Şekil 3.34. Ön kaplanmamış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi

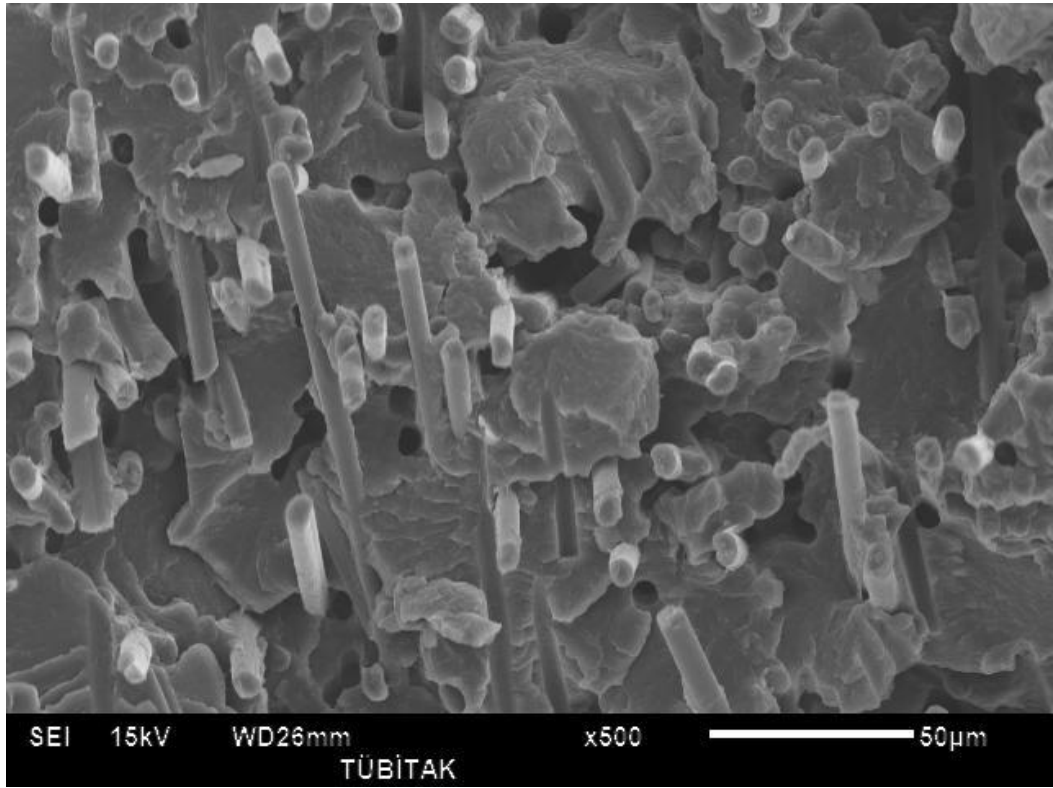


Şekil 3.35. EP/P ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi

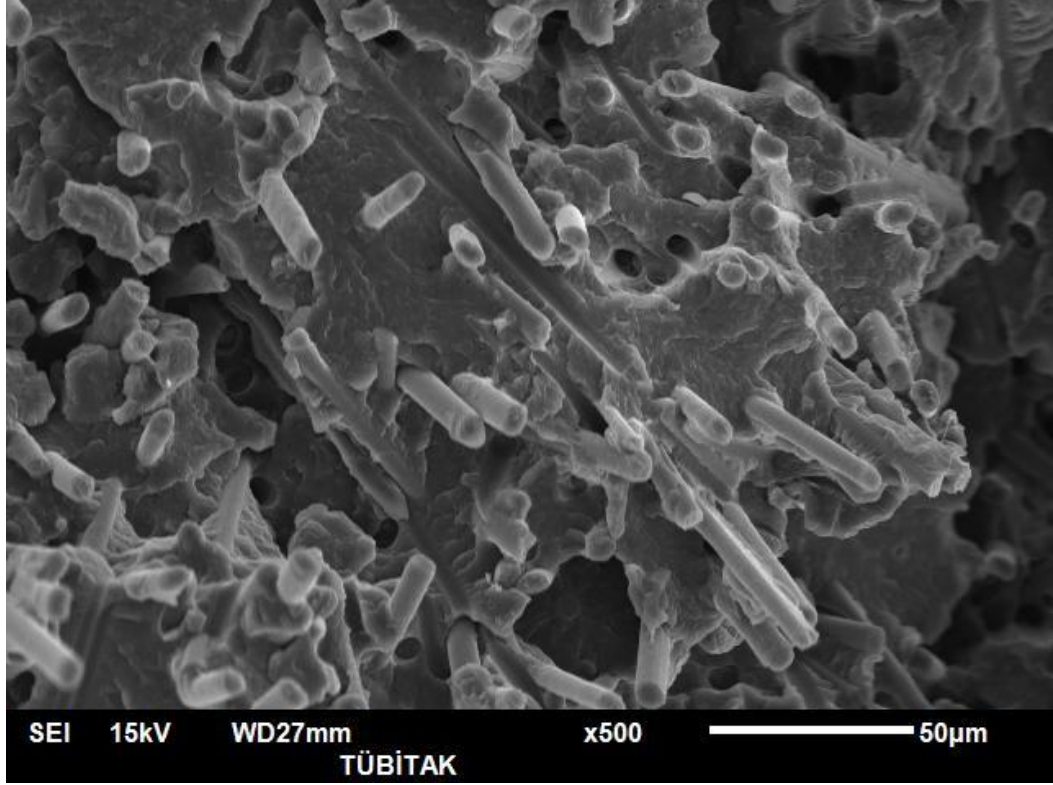




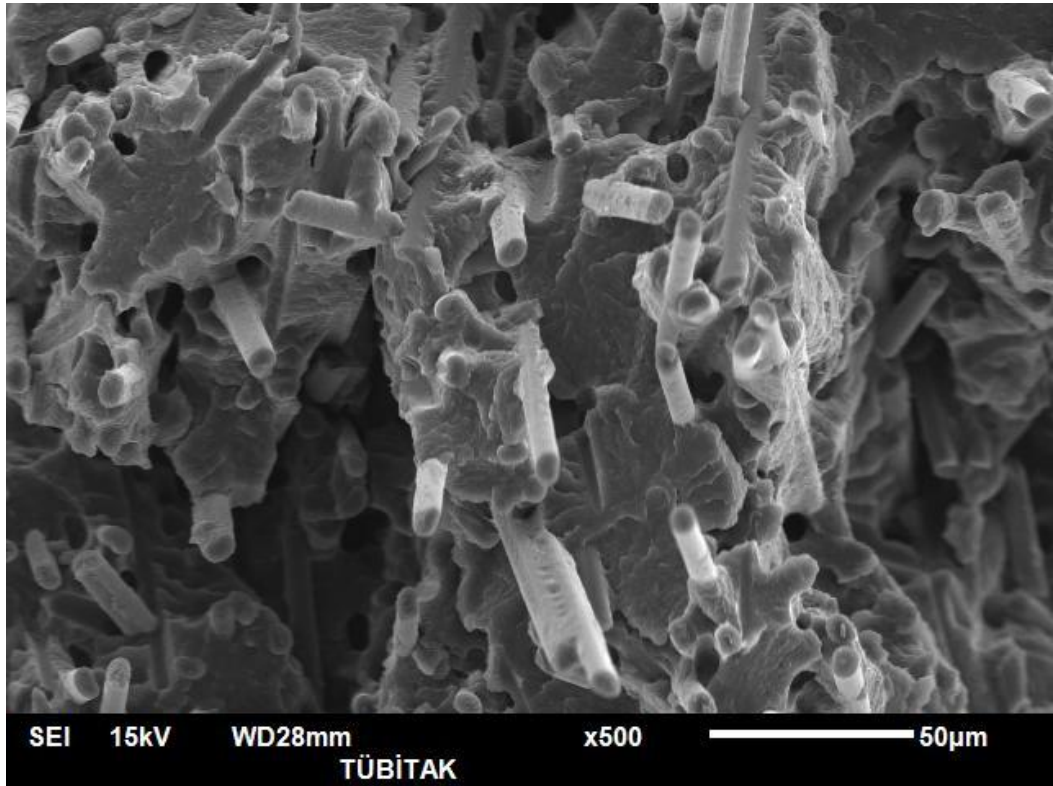
Şekil 3.36. PI ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi



Şekil 3.37. P ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi



Şekil 3.38. PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi



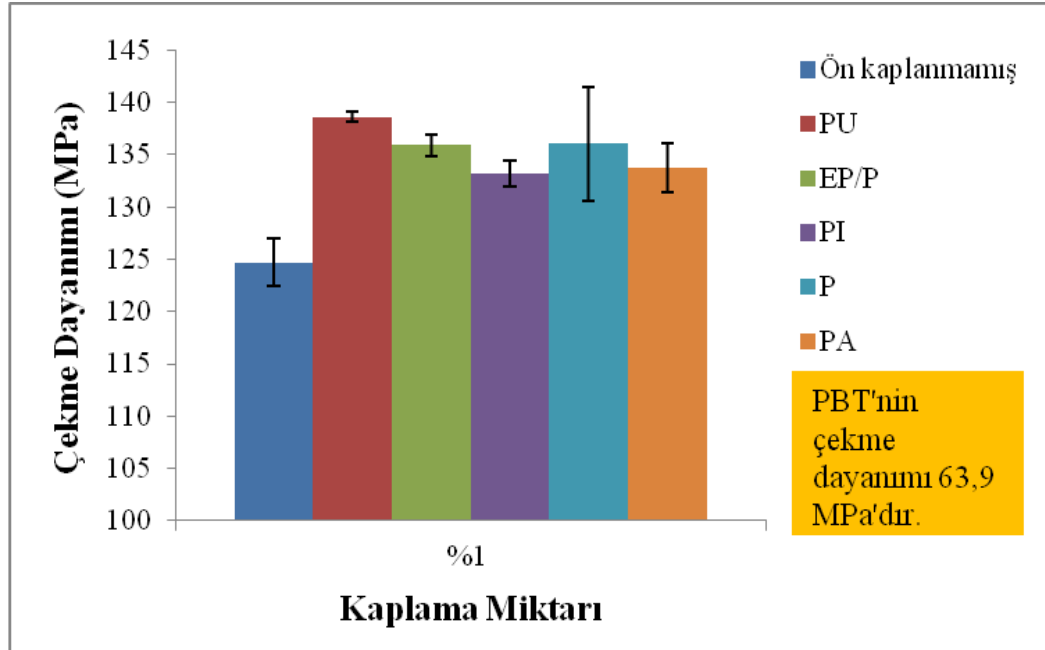
Şekil 3.39. PA ön kaplanmış KE takviyeli karmaya ait SEM mikrografi

Şekil 3.34-3.37 incelendiğinde, ön kaplanmamış, EP/P, PI ve P ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elyaf yüzeylerinin temiz olduğu ayrıca matristen çıkan liflerin bıraktıkları boşluklar olduğu görülmektedir. Buradan, bu ön kaplama malzemeleri ile PA 6,6 matris arasında zayıf bir yapışma olduğu sonucu çıkarılabilir. Diğer taraftan Şekil 3.38 ve 3.39 incelendiğinde elyaf yüzeylerinin polimer tabakası ile kaplı olduğu görülmektedir. Bu durum, PU ve PA ön kaplanmış elyaf ile matris arasındaki yapışmanın iyi olmasının bir sonucudur (Shokoohi ve Azar, 2009), (Zhao ve diğ., 2011b). Bu sonuç mekanik ve termomekanik test sonuçları ile de örtüşmektedir.

### 3.3. PBT Matrisli Karmaların Karakterizasyon Sonuçları

#### 3.3.1. Çekme testi

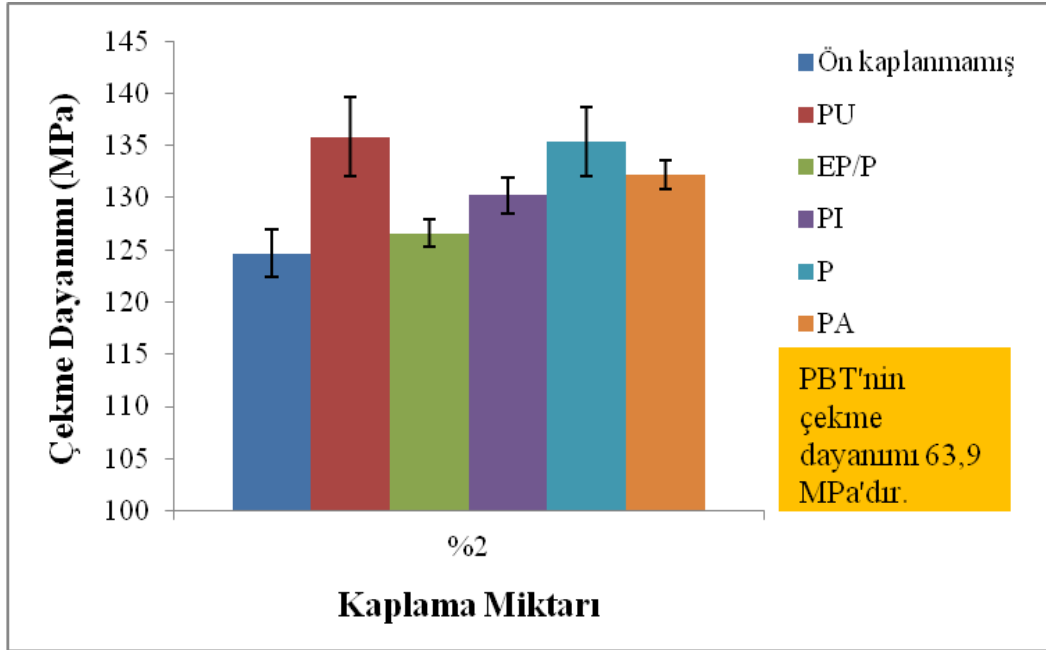
Kullanılan ön kaplama malzemesi türünün ve miktarının, hazırlanan PBT matrisli karmaların mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla çekme testleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.40-3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.40. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.40’da, % 1 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği görülmektedir. Buna göre çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda çekme

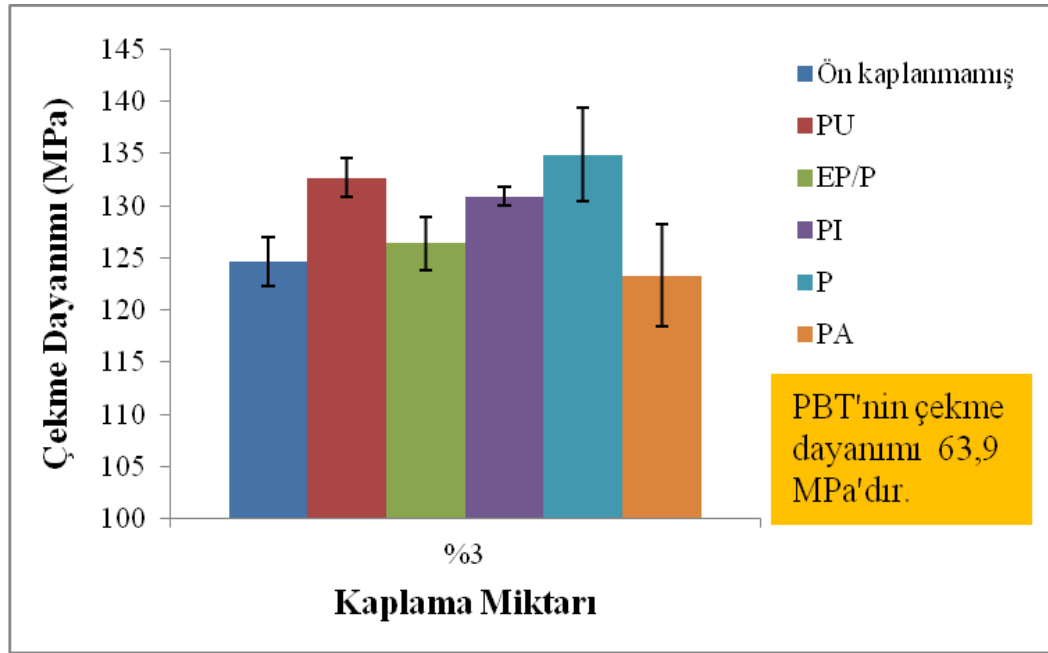
dayanımının saf PBT'ye göre % 117 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 113 ve 112 artışla P ve EP/P ön kaplama malzemeleri izlerken, PA % 109 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 108 artış sağlamaktadır. Ön kaplanmamış KE ise saf PBT'ye göre % 95 artış sağlayarak tüm karmalar içinde en düşük değeri vermiştir. Buna ek olarak, ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 10 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 9 artışla EP/P ve P ön kaplama malzemeleri izlerken, PA ön kaplama malzemesi % 7 artış, PI ön kaplama malzemesi ise % 6 artış sağlamaktadır.



Şekil 3.41. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.41'de % 2 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde, PU ve P ön kaplama malzemeleri kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PBT'ye göre % 112 arttığı bu şekilde görülmektedir. Bunu % 106 artışla PA ön kaplama malzemesi izlerken, PI ön kaplama malzemesi % 103 artış, EP/P ön kaplama malzemesi ise % 98 artış sağlamaktadır. Yine en düşük çekme dayanımı değeri ön kaplanmamış KE ile takviye edilmiş karmada elde edilmiştir.

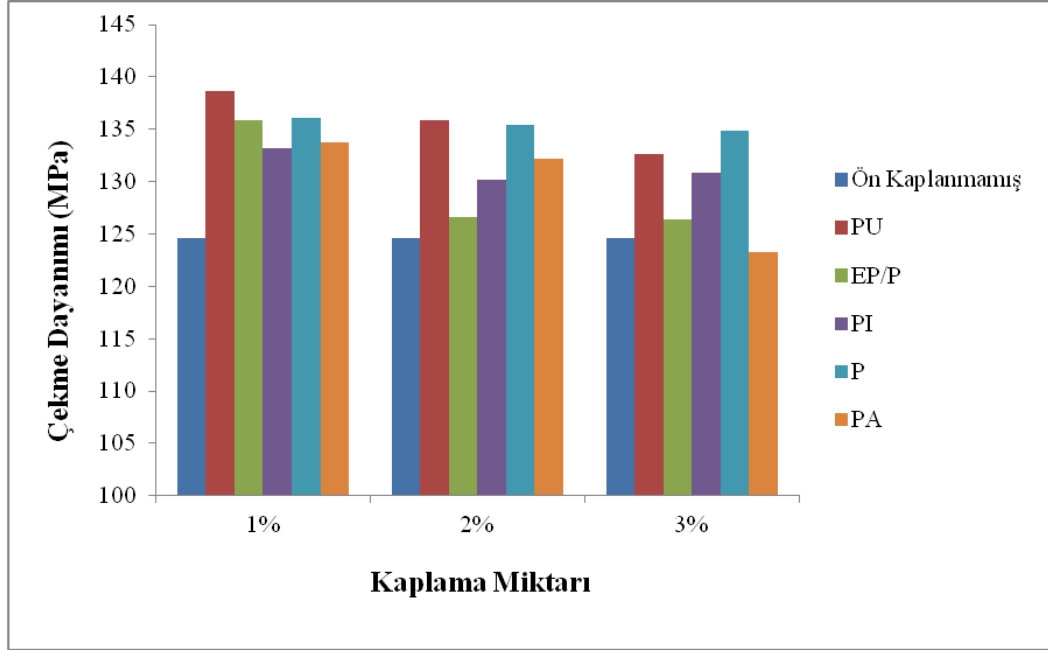
Bunun yanında, ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 9 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 8 artışla P ön kaplama malzemesi izlerken, PA ön kaplama malzemesi % 6 artış, PI ön kaplama malzemesi % 4 artış, EP/P ön kaplama malzemesi ise % 1 artış sağlamaktadır.



Şekil 3.42. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait çekme dayanımı değerleri

Şekil 3.42’de % 3 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmalara ait çekme dayanımı grafiği görülmektedir. Buna göre, çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde P ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PBT’ye göre % 111 arttığı görülmektedir. Bunu % 107 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, PI ön kaplama malzemesi %104 artış, EP/P ön kaplama malzemesi ise % 97 artış sağlamaktadır. Ön kaplanmamış KE ile takviye edilmiş karma ise saf PBT’ye göre % 95 artış sağlarken en düşük çekme dayanımı değerini ise % 92 artış ile PA ön kaplama malzemesi ile ön kaplanmış KE ile takviye edilmiş karma vermiştir. Bunun yanı sıra ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerinde meydana gelen artış, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında meydana gelen artışla karşılaştırılmıştır. P ön kaplama

malzemesi kullanıldığı durumda elde edilen çekme dayanımının, ön kaplanmamış KE takviyeli karmanın çekme dayanımına göre % 8 arttığı görülmektedir. Bu değeri % 6 artışla PU ön kaplama malzemesi izlerken, PI ön kaplama malzemesi % 5 artış, EP/P ön kaplama malzemesi % 1 artış sağlamaktadır. PA ön kaplama malzemesi ise % 1 azalmaya neden olmuştur.



Şekil 3.43. Ön kaplama türü ve miktarının karmaların çekme dayanımı üzerine etkisinin karşılaştırılması

Şekil 3.43'te ise ön kaplama türü ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3.43 yardımıyla kaplama miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde, tüm kaplama türlerinin en yüksek çekme dayanımı verdikleri kaplama miktarının % 1 olduğu görülmektedir. Ayrıca her üç kaplama miktarında da PU ve P ön kaplanmış KE takviyeli karmalar en yüksek çekme dayanımı değerlerini vermektedirler. Elyaf ile matris arasındaki yapışmanın iyi olması durumunda, çekme sırasında uygulanan yükün matristen elyafa etkin bir şekilde aktarıldığı ve elyafın daha fazla yük taşıyabildiği göz önünde bulundurulursa, PU ve P ön kaplama malzemeleri ile PBT matris arasında iyi bir yapışma olduğu sonucuna varılabilir (Threepopnatkul ve diğ., 2009), (Farahani ve diğ., 2012).

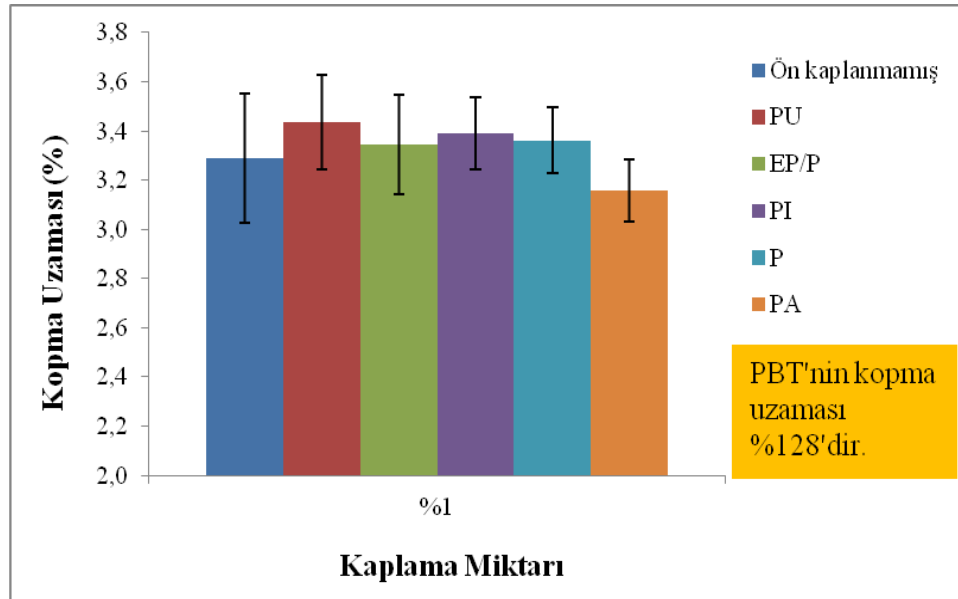
Ön kaplama türünün, karmanın mekanik özellikleri üzerine etkisini daha iyi anlayabilmek için çekme dayanımı sonuçları ile XPS analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre, elyaf-matris arasındaki yapışmayı arttıracak hidroksil ve karbonil gibi fonksiyonel grup yüzdelерinin, ön kaplama yapılmamış KE yüzeylerinde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ön kaplanmış elyaf türleri içinde ise en yüksek değer PU ön kaplama kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Dolayısıyla XPS sonuçlarına göre en yüksek çekme dayanımını sırasıyla ön kaplanmamış KE ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların vermesi gerekmektedir sonuç böyle olmuştur.

Daha önce de belirtildiği gibi elyaf-matris ara yüzey yapışmasında elyaf yüzeyinde fonksiyonel grupların bulunması önemli bir parametredir. Ancak bunun yanı sıra ön kaplama malzemesinin elyafı karma üretimi sürecinde koruyarak elyaf kırılmasını önleyerek elyaf etkinliğini arttırması ve ayrıca kullanılan ön kaplama malzemesinin matris malzemesiyle olan uyumu da önemli birer parametredir (Dilsiz ve Wightman, 2000), (Kim ve diğ., 2009). Bu nedenle ön kaplanmamış KE, işlemede daha düşük uzunluklara kırıldığı için matrisle yapışmayı sağlayacak fonksiyonel gruplara sahip olmasına rağmen daha az dayanım değerleri vermektedir. En yüksek çekme dayanımı sonucunu veren ön kaplama malzemelerinden biri olan P'nin PBT ile uyumu incelendiğinde, P'nin yapısındaki hidroksil grupların proton verici olmaları ve PBT'nin yapısındaki karbonil grupların ise proton alıcı olmaları sebebiyle, hidrojen bağı yapma yoluyla etkileştikleri ve iyi bir yapışma sağladığı düşünülmüştür (Zhang ve diğ., 1995). En yüksek çekme dayanımı sonucu veren bir diğеr kaplama malzemesi olan PU'nun PBT ile uyumu incelendiğinde ise, PU'nun yapısında bulunan amit grupları ile PBT'nin yapısındaki karboksil gruplar arasında hidrojen bağı yapma yoluyla kimyasal bir etkileşim meydana geldiği düşünülmüştür. Böylece, meydana gelen bu kimyasal etkileşim sayesinde PBT matris ve PU ön kaplama malzemesi arasında iyi bir yapışma elde edildiği sonucuna varılabilir (Archondouli ve Kalfaoglu, 2001).

Şekil 3.41-3.44 incelendiğinde, % 3 miktarında PA ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerinin, ön kaplanmamış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerinden düşük olduğu, % 1-2 miktarında PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaların çekme dayanımlarının ise ön kaplanmamış KE takviyeli

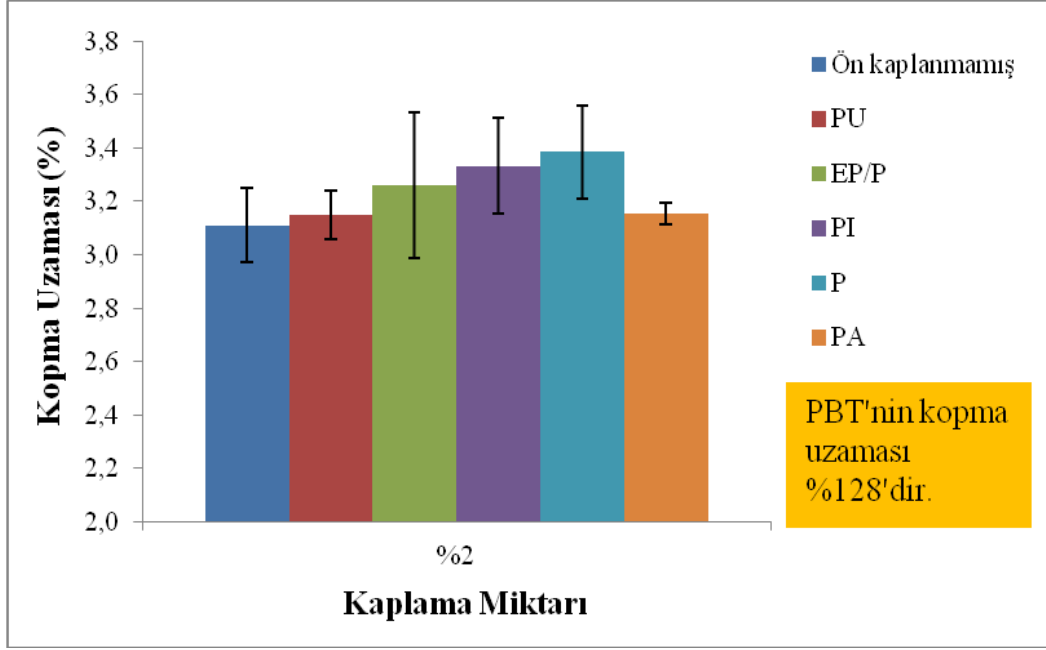
karmaların çekme dayanımı değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç yapılan temas açısı ölçümleri sonuçlarıyla birlikte değerlendirilebilir. Temas açısı ölçümleri sonucunda ön kaplanmamış KE ile PBT matris arasındaki yapışma işi değerinin ( $85,6 \text{ mJ.m}^2$ ), ön kaplanmamış KE ile PA ön kaplama malzemesi arasındaki yapışma işi değeri ile ( $81,9 \text{ mJ.m}^2$ ) PA ön kaplama malzemesi ile PBT matris arasındaki yapışma işi değerinden ( $81,4 \text{ mJ.m}^2$ ) daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 3.7). Bu durum, işleme sırasında ön kaplanmamış karbon elyafın PA ön kaplama malzemesini değil de PBT matrisi tercih edeceği şeklinde yorumlanabilir. Gerçekten de % 3 miktarında PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda ön kaplanmamış KE PBT matrisi tercih etmiş ve ön kaplama malzemesinin görevini yerine getirememesi sebebiyle çekme dayanımı değeri düşük çıkmıştır. % 1-2 miktarında PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda ise ön kaplanmamış KE, PA ön kaplama malzemesini tercih etmiştir ve bu karmaların çekme dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Çekme dayanımında görülen bu değişikliğin, yapışma işi değerlerinin birbirine yakın olmasından kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların kopma uzaması değerleri üzerine etkisini incelenmiş ve elde edilen değerler Şekil 3.44-3.47'de verilmiştir.

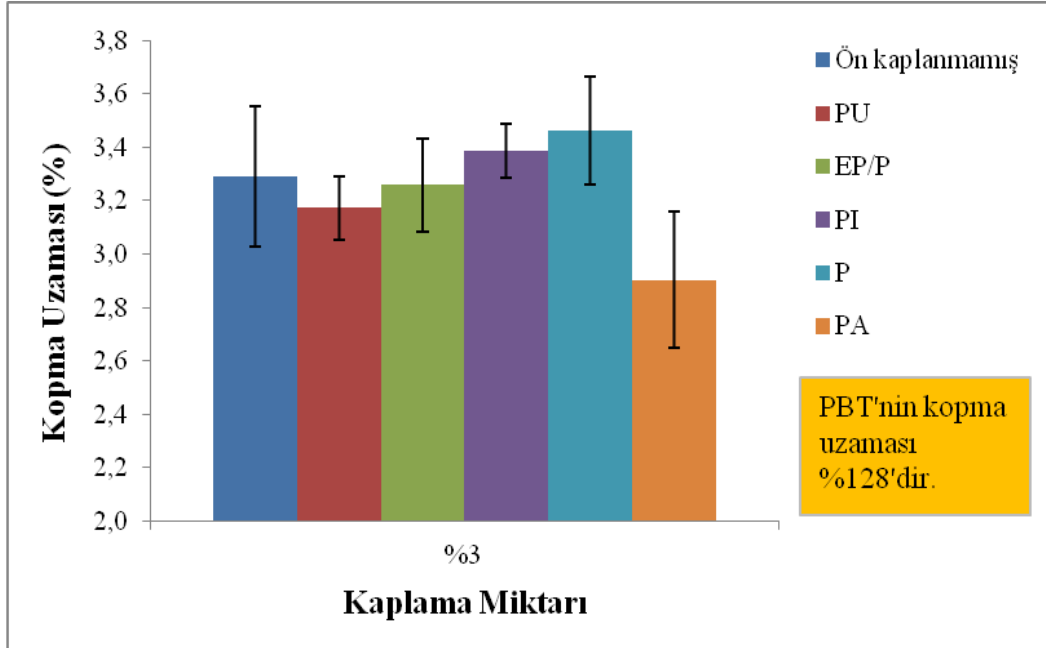


Şekil 3.44. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri

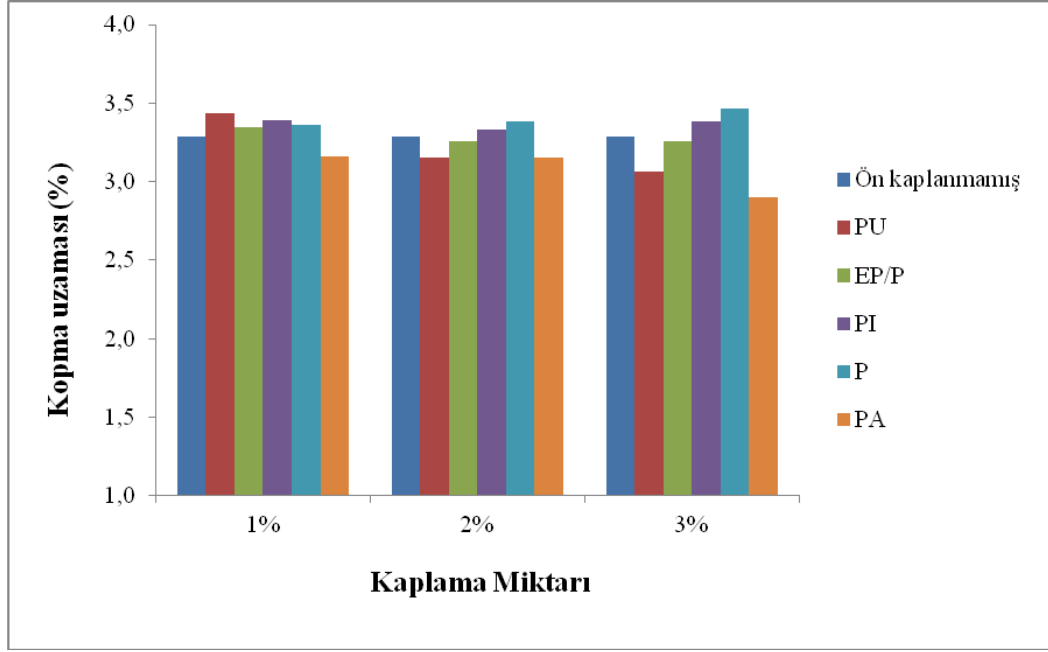




Şekil 3.45. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri



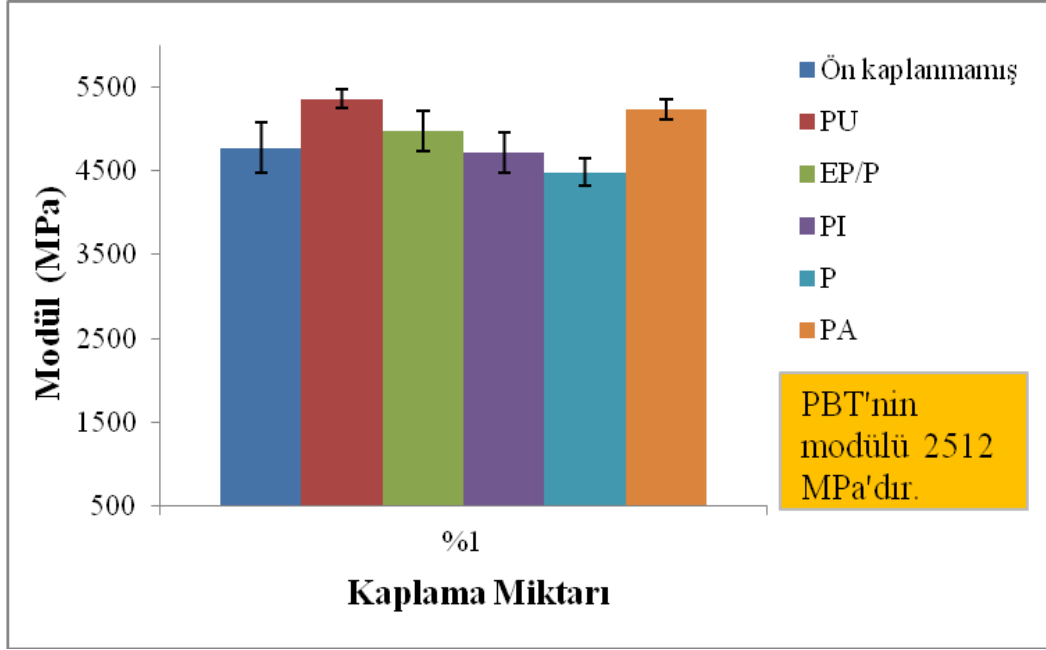
Şekil 3.46. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait kopma uzaması değerleri



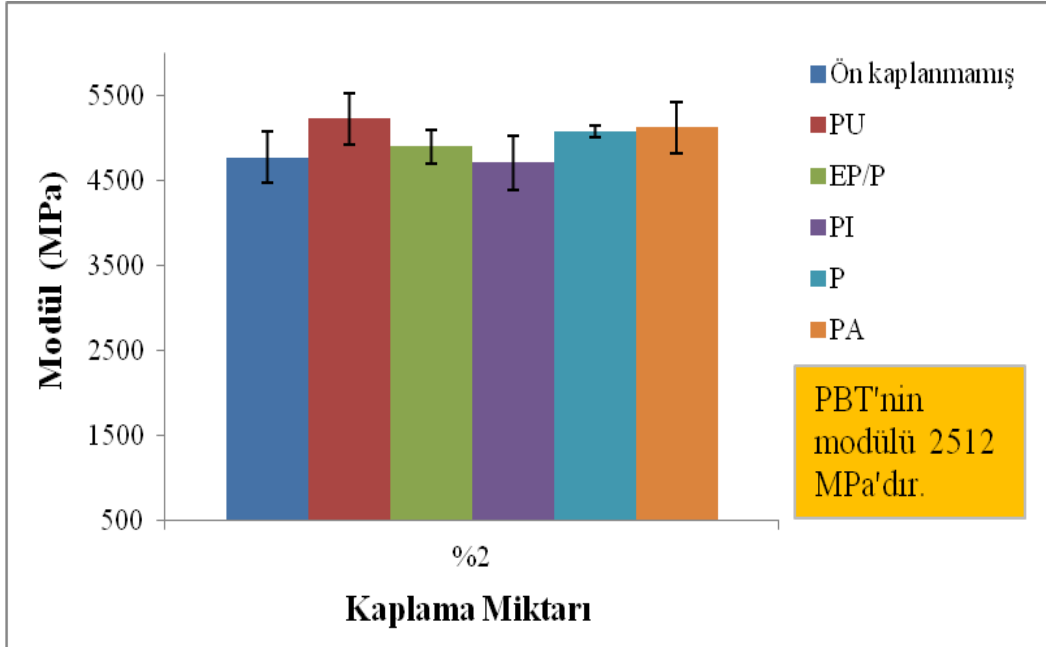
Şekil 3.47. Ön kaplama türü ve miktarının kopma uzaması değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması

Şekil 3.44-3.47 incelendiğinde KE takviyesinin karmaların çekme dayanımını artırırken, kopma uzamasını azaltan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi karmaların kopma uzaması değerleri saf PBT'nin kopma uzaması değerine göre oldukça düşüktür. Bununla birlikte, PBT'ye elyaf ilavesiyle uzama değerlerinin azalmasına rağmen ön kaplama malzemesinin türü de kopma uzaması değerlerini etkilemektedir. Şekil 3.44-3.47'den de görüldüğü gibi % 1 kaplama miktarı için en yüksek kopma uzaması değeri PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalar için elde edilirken % 2 ve % 3 kaplama miktarları için ise en yüksek kopma uzaması değeri P ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edilmektedir. PU ve P ön kaplanmış elyaf türleri ile diğer elyaf türleri arasında oluşan farkın, bu ön kaplama malzemeleri ile PBT matris malzemesi arasındaki uyumun ve dolayısıyla yapışmanın iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Daha önceki bölümde de anlatıldığı gibi, zayıf bir yapışma olduğu durumda lifler kolayca yerlerinden çıkarlar ve en zayıf noktada kopma gerçekleşir. Ancak elyaf-matris arasındaki yapışma iyiye uygulanan gerilim matrsten elyafa kolayca iletilir, böylece deformasyon tek noktada başlamak yerine tüm yapıya yayılır ve uzama miktarı artar (Liu ve diğ., 2009).

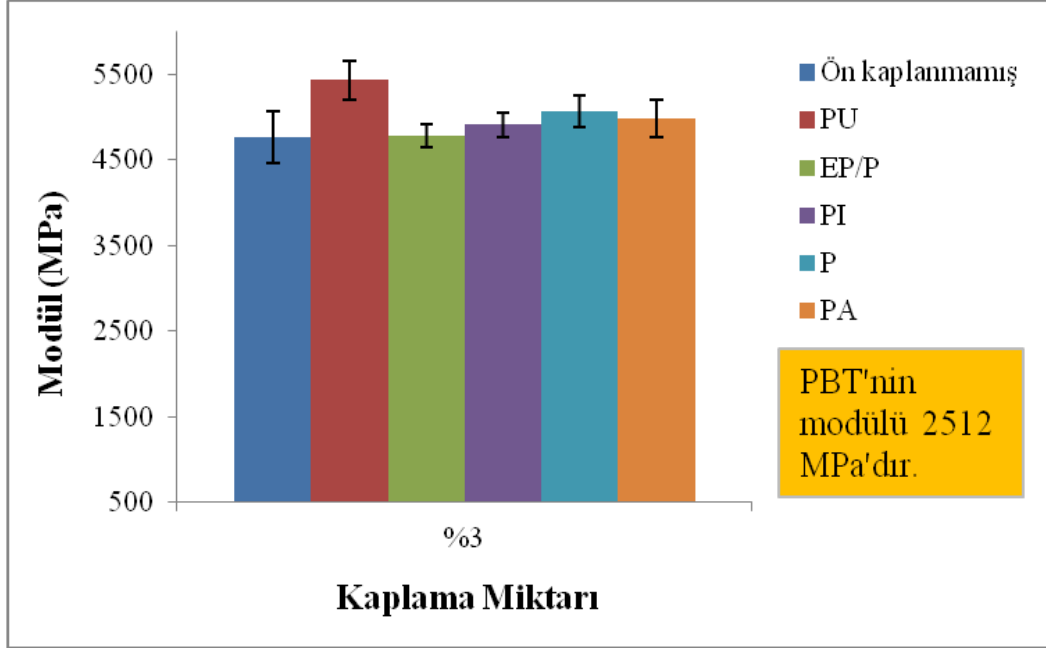
Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların modül değerleri üzerine etkisini gösteren grafikler Şekil 3.48-3.51’de verilmiştir.



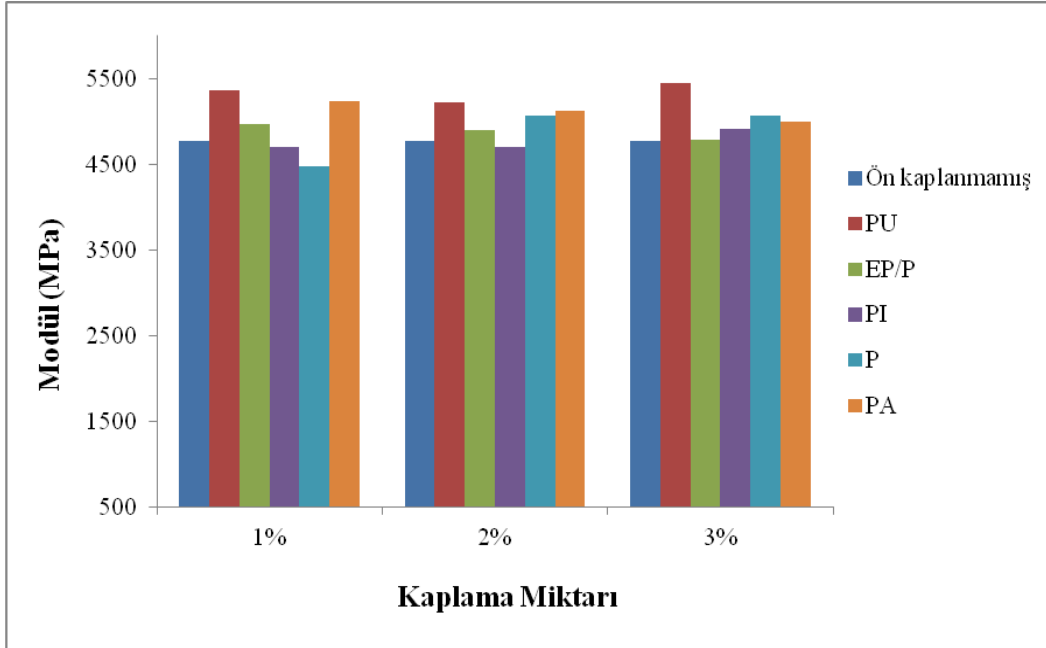
Şekil 3.48. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.49. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.50. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait modül değerleri



Şekil 3.51. Ön kaplama türü ve miktarının modül değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması

Şekil 3.48-3.51 incelendiğinde, her üç kaplama miktarında da en yüksek modül değerinin PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. Buradan, PU ön kaplama malzemesinin karma üretimi sırasında elyaf kırılmasını

diğer ön kaplama malzemelerinden daha etkin şekilde engellediği sonucuna varılabilir. Ancak bu sonucu desteklemek için PBT matrisli karmalara elyaf uzunluk dağılımı analizi yapılmıştır.

### 3.3.2. Elyaf uzunluk dağılımı analizi

Bu çalışmada, kullanılan elyaf ön kaplama malzemesinin türünün, karmalardaki elyaf uzunluk dağılımı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla yüzeyi ön kaplanmamış ve ön kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımları incelenmiş ve sonuçlar Tablo 3.9’da verilmiştir.

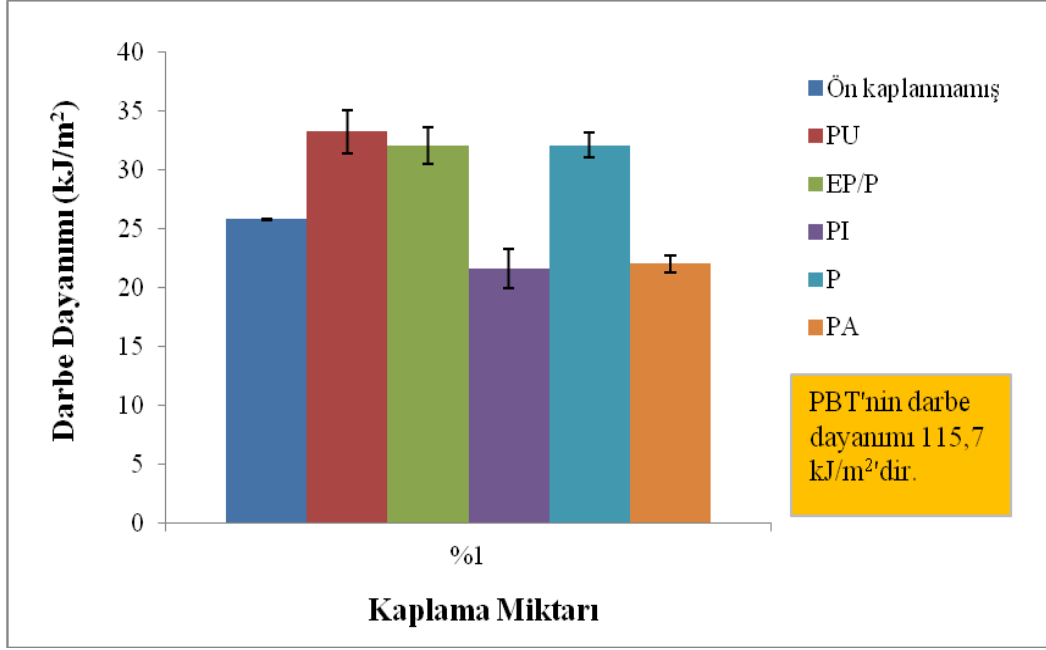
Tablo 3.9. PBT matrisli karmaların elyaf uzunluk dağılımı

Aralık (µm)	% Sayı/Kümülatif toplam					
	Ön Kaplanmamış	PU	EP/P	PI	P	PA
<b>0-20</b>	10/-	1/-	2/-	1/-	0/-	1/-
<b>20-40</b>	<b>47/57</b>	15/16	27/29	25/26	21/21	31/32
<b>40-60</b>	25/82	28/44	<b>35/64</b>	<b>38/64</b>	<b>37/58</b>	<b>35/67</b>
<b>60-80</b>	11/93	<b>31/75</b>	23/87	26/90	26/84	22/89
<b>80-100</b>	5/98	16/91	9/96	8/98	12/96	8/97
<b>100-120</b>	1/99	7/98	3/99	2/100	2/98	1/98
<b>120-140</b>	1/100	2/100	1/100	0/100	2/100	2/100

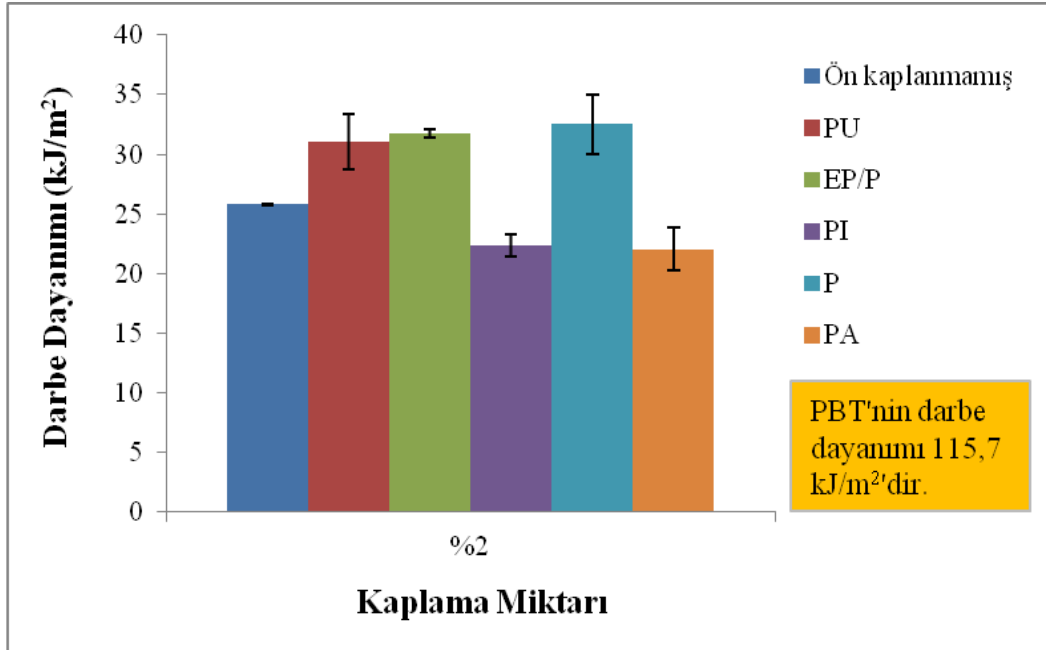
Tablo 3.9 incelendiğinde, ön kaplanmamış KE takviyeli PBT matrisli karmalarda en yüksek miktarda lif yüzdesinin (% 47) 20-40 µm aralığında olduğu görölmektedir. Bunun yanı sıra, EP/P, PI, P ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda en yüksek lif yüzdesi 40-60 µm aralığında elde edilirken, PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda ise 60-80 µm aralığında elde edilmiştir. Dolayısıyla buradan PU ön kaplanmış elyafın, karma üretimi süreci sonunda diğer elyaf türleri ile karşılaştırıldığında daha az kırıldığı ve bu sayede karmaların modül değerine daha fazla katkıda bulunduğu sonucuna varılabilir.

### 3.3.3. Darbe testi

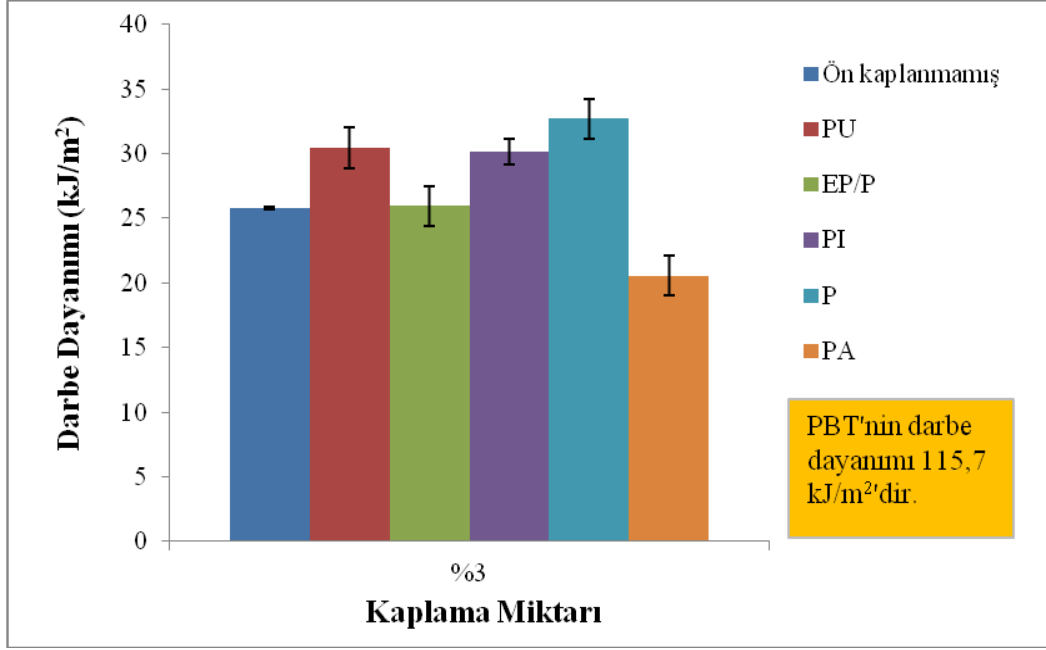
Kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, hazırlanan karmaların darbe dayanımı özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla darbe testleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.52-3.55’te verilmiştir.



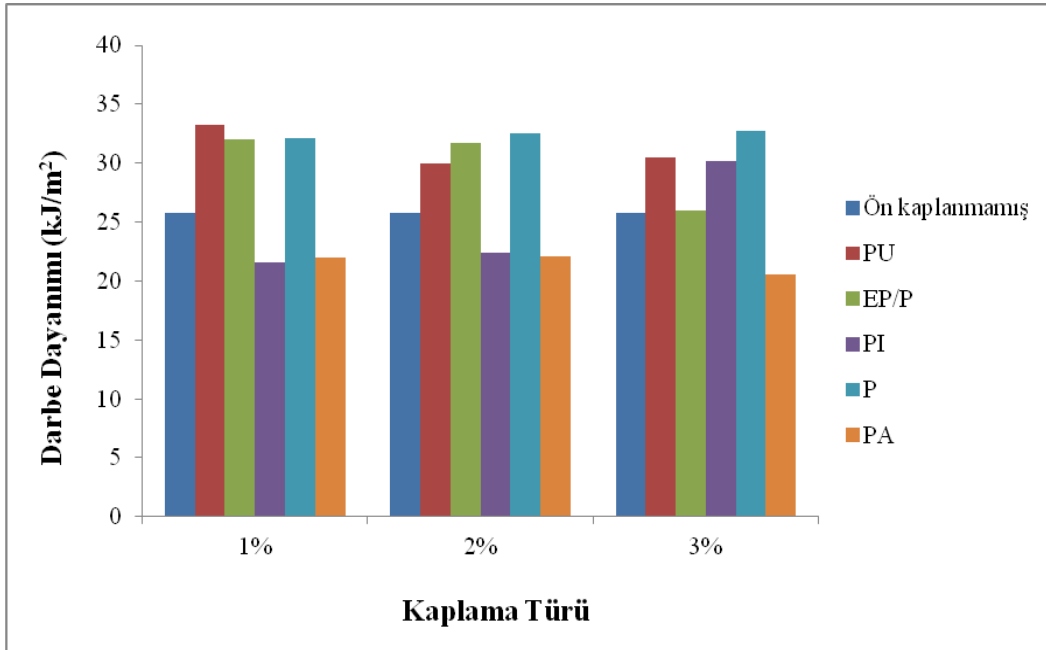
Şekil 3.52. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.53. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.54. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait darbe dayanımı değerleri



Şekil 3.55. Ön kaplama türü ve miktarının darbe dayanımı değerleri üzerine etkisinin karşılaştırılması

Şekil 3.52-3.55'te, PBT matrise KE eklenmesiyle karmaların darbe dayanımı değerlerinde ani bir düşme meydana geldiği görülmektedir. Buradan, polimer matrise

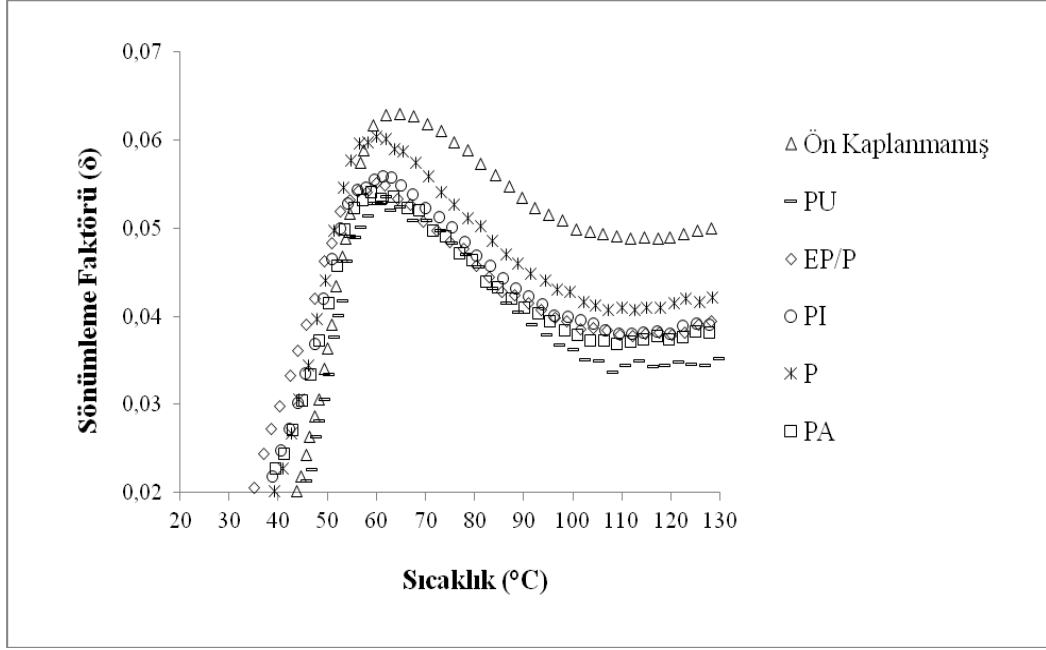
elyaf eklenmesinin, polimeri daha kırılgan bir hale getirdiği ve darbe dayanımını azalttığı sonucuna varılabilir. Bunun sebebi literatürde polimere elyaf ilavesiyle, gerilimin yüksek olduğu elyaf sonlarında çatlak başlangıcı meydana gelmesi olarak açıklanmaktadır (Joshi ve diğ., 1994), (Crosby ve Drye, 1987).

Şekil 3.52-3.55 incelendiğinde, % 1 kaplama miktarı için en yüksek darbe dayanımı değeri PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edilirken % 2 ve % 3 kaplama miktarları için ise en yüksek darbe dayanımı değerinin P ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalar ise her üç kaplama miktarında da en düşük darbe dayanımı değerini vermektedirler. Bu sonuçtan, darbe dayanımı testi sonuçlarının çekme testi sonuçlarıyla aynı eğilimde olduğu sonucuna varılmaktadır. PU ve P ön kaplama malzemelerinin kullanılmaları durumunda yüksek darbe dayanımı değerleri elde edilmesinin, yukarıda da bahsedildiği gibi bu ön kaplama malzemeleri ile PBT matris arasındaki yapışmanın iyi olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü elyaf-matris arasındaki ara yüzey yapışması zayıfken elyaf sonlarından başlayan çatlak zayıf ara yüzeyden ilerlemeye devam ederek gerilim konsantrasyonu yüksek alanlar oluşturur ve kırılma gerçekleşir. Ancak elyaf-matris ara yüzey yapışması iyileştikçe elyaf sonlarında başlayan çatlakın ilerlemesi daha yavaş ilerleyeceğinden kırılma gerçekleşene kadar absorblanan enerji de daha fazla olur (Fu ve Lauke, 1998).

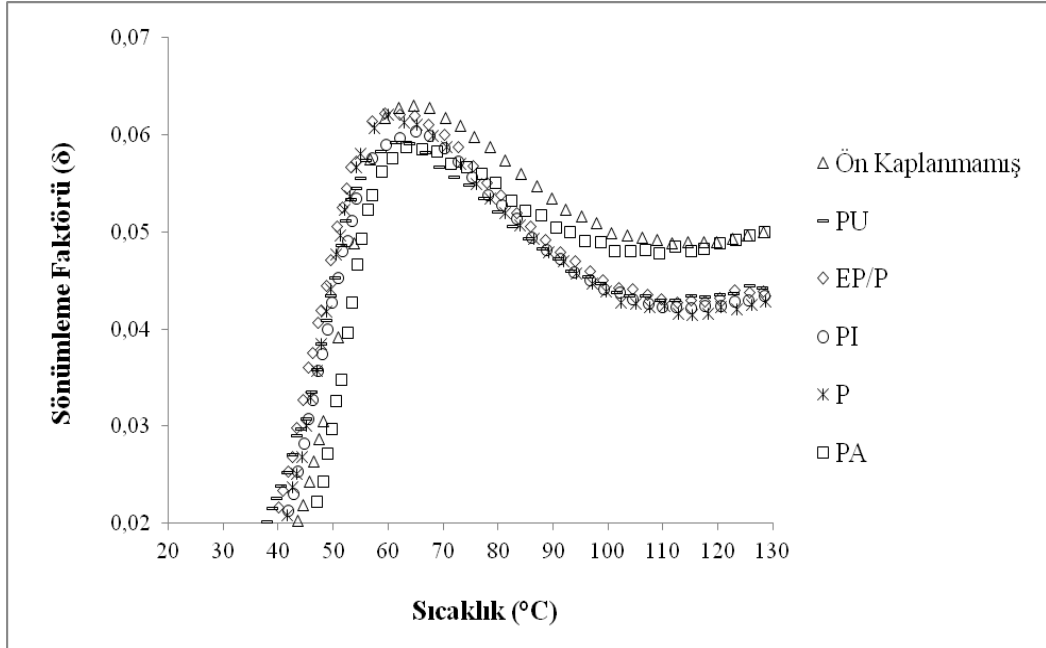
#### **3.3.4. Dinamik mekanik analiz**

Ön kaplanmamış ve kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmaların, dinamik şartlar altında ara yüzey etkileşimlerini değerlendirmek için karmalara dinamik mekanik analiz yapılmıştır. DMA sonuçlarına göre ön kaplama türünün ve miktarının sönümlenme faktörü üzerindeki etkisi sıcaklığa bağlı olarak incelenmiş ve Şekil 3.56-3.58'de verilmiştir.

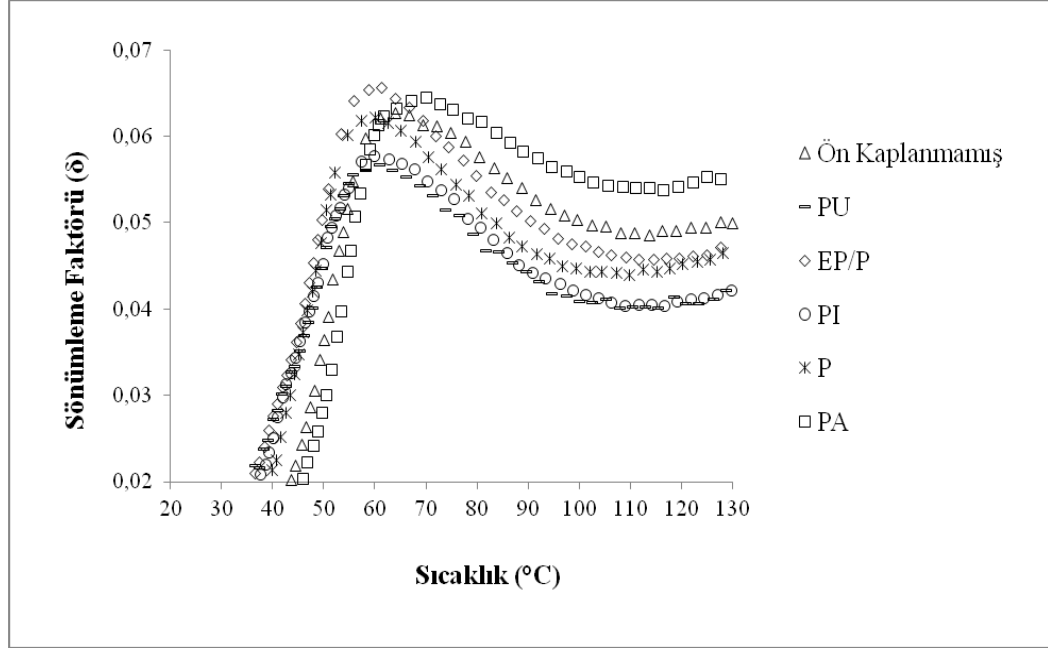




Şekil 3.56. % 1 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında PBT karmalara ait sönümlenme faktörü grafiği



Şekil 3.57. % 2 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında elyaf takviyeli PBT karmaların sönümlenme faktörü grafiği

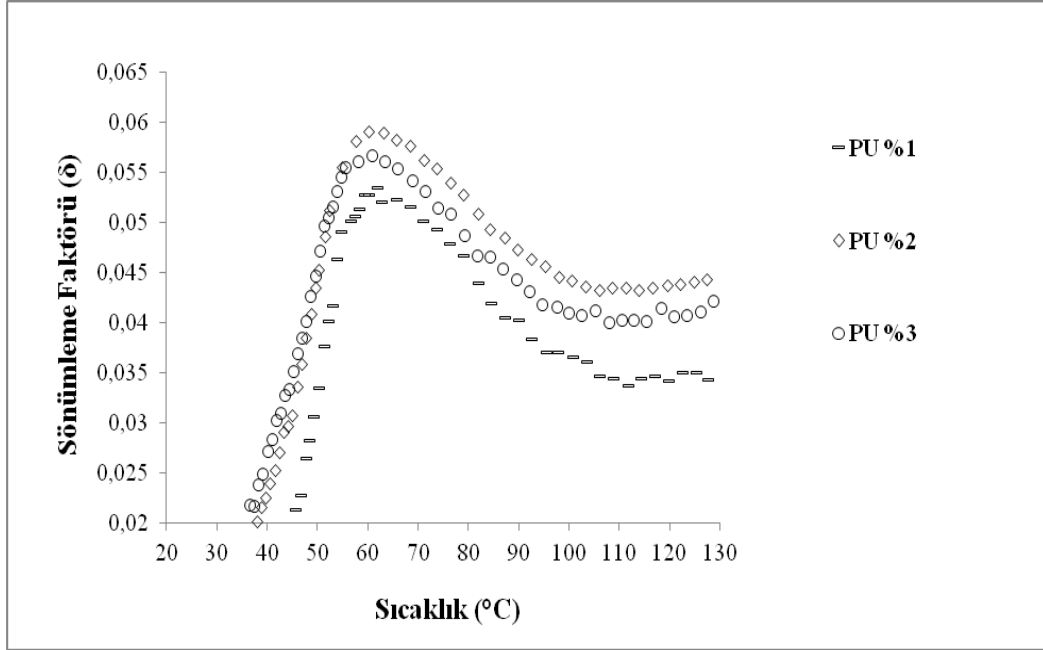


Şekil 3.58. % 3 Kaplama miktarında elyaf kullanıldığında elyaf takviyeli PBT karmaların sönümlene faktörü grafiği

Daha önceki bölümde de belirtildiği gibi sönümlene faktörü eğrisinin altında kalan alan, malzemenin düşük uzamada uğradığı periyodik deformasyon sırasında kaybettiği enerjinin bir göstergesidir. Eğer elyaf-matris arasında kuvvetli bir ara yüzey etkileşimi varsa hareketsiz bir ara faz oluşur ve burada moleküler hareketlilik az olduğu için daha az enerji kaybı meydana gelir ve dolayısıyla sönümlene pikinin şiddeti, zayıf ara yüzey etkileşimi olduğu duruma göre daha düşük olur (Mohanty ve diğ., 2006), (Guo ve diğ., 2012), (Ashida ve Noguchi, 1985), (Paul ve diğ., 2010), (Felix ve Gatenholm, 1991), (Ashida ve Noguchi, 1984).

Ön kaplama türünün ve miktarının sönümlene faktörü üzerindeki etkisini gösteren Şekil 3.56-3.58 incelendiğinde tüm kaplama miktarlarında PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda daha düşük pik şiddeti elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçtan, en iyi yapışmanın PU ön kaplama malzemesi kullanılarak üretilen PBT matrisli karmalarda elde edildiği sonucuna varılabilir.

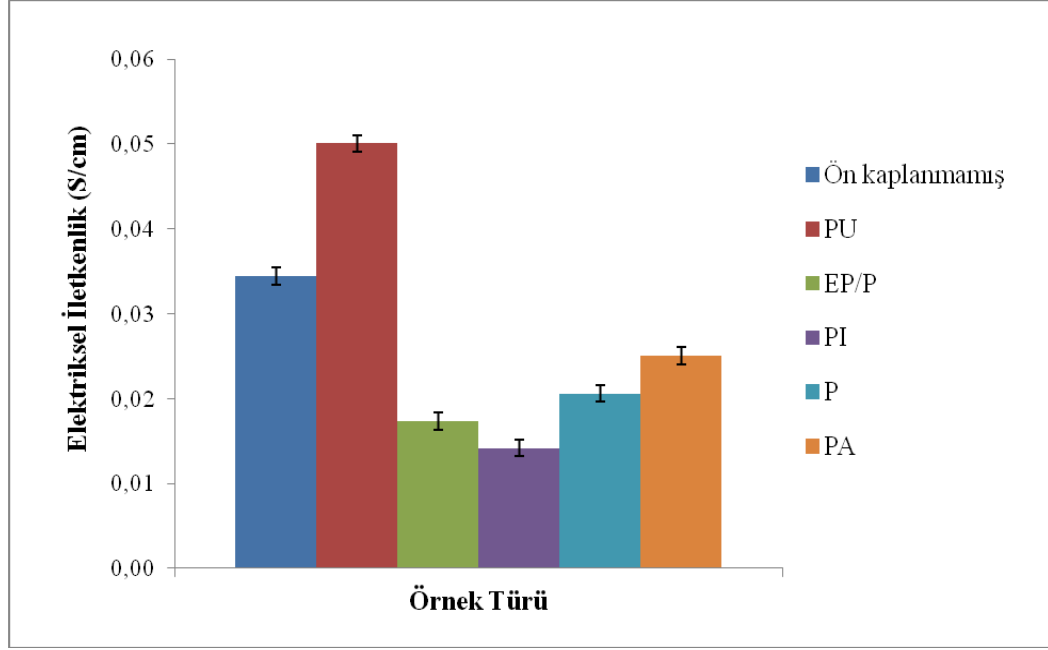
Diğer ön kaplama türleriyle karşılaştırıldığında en iyi sonucu veren PU ön kaplama malzemesi miktarının karmaların sönümlenme faktörleri üzerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.59’da verilmiştir. PU ön kaplama türü için ön kaplama miktarının sönümlenme faktörü üzerine etkisi incelendiğinde, % 1 kaplama miktarında en düşük pik şiddetinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.59. PU ön kaplama malzemesi kullanıldığı durumda kaplama miktarının PBT karmaların sönümlenme faktörü üzerine etkisi

### 3.3.5. Elektriksel iletkenlik analizi

PBT, elektriksel olarak yalıtkan bir polimerdir ( $10^{-13}$  S/m) ve bu özelliğini geniş bir sıcaklık ve nem aralığında korumaktadır (Fakirov ve Radusch 2002). Bu durum PBT'nin elektrik ve elektronik cihazların üretiminde sıkça kullanılan bir malzeme olmasını sağlamıştır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün, hazırlanan karmaların elektriksel iletkenlik değerleri üzerine etkisini incelemek amacıyla, ön kaplanmamış ve %1 kaplama miktarında ön kaplanmış KE takviyeli karmalara elektriksel direnç analizi yapılmış, elde edilen sonuçlar ve denklem 2.2 kullanılarak karmaların elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 3.60’da verilmiştir.



Şekil 3.60. Hazırlanan karmalara ait elektriksel iletkenlik sonuçları

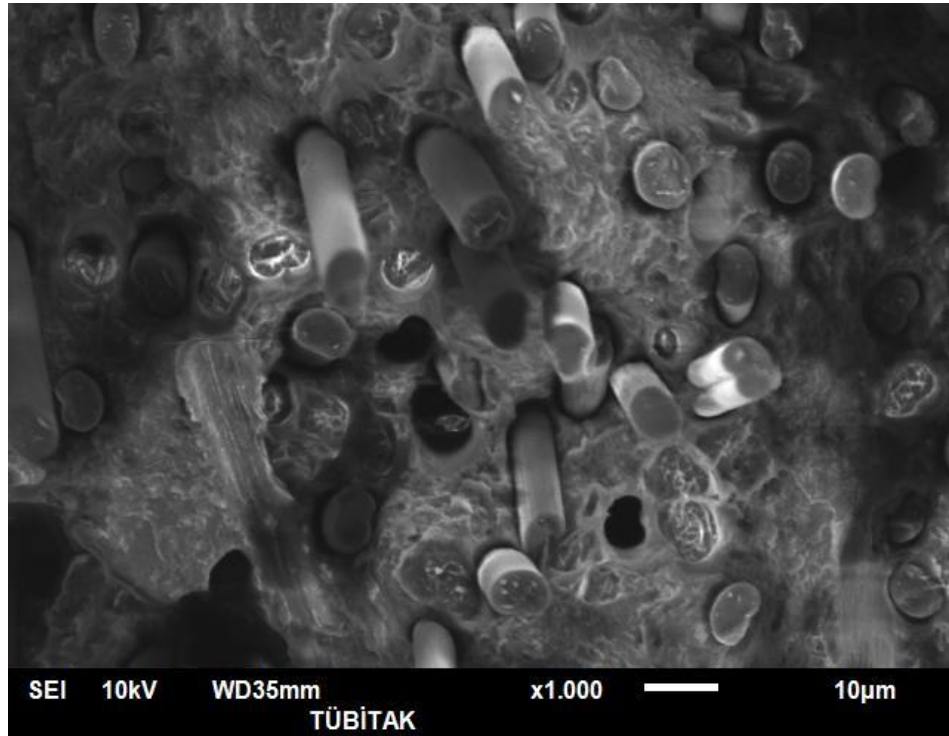
Yalıtkan polimerik bir malzemeye iletken özellikteki KE ilavesiyle, malzemenin yalıtkanlık özelliği değişir. Polimerik malzemenin yalıtkanlık özelliğini kaybederek iletken hale geçtiği en düşük KE yükleme miktarına “perkolasyon eşiği” adı verilir. Bu noktadan sonra polimer matris içinde sürekli bir KE ağı oluşur ve bu ağ sayesinde elektronlar bir karbon lifinden diğerine aktarılır. Şekil 3.60 incelendiğinde tüm karmalara ait elektriksel iletkenlik değerlerinin  $10^{-2}$  S/cm civarında olduğu görülmektedir. Malzemelerin,  $10^{-6}$ - $10^2$  S/m aralığında yarı iletken,  $10^2$ - $10^8$  aralığında ise iletken olarak değerlendirildiği göz önünde bulundurulursa bu değerlerin karmalar için oldukça yüksek bir değer olduğu ve kullanılan KE yükleme miktarının (% 30) perkolasyon eşiğinin çok üzerinde olduğuna söylenebilir (Mironov ve diğ., 2002).

Bunun yanı sıra, Şekil 3.60’den da görüldüğü gibi en yüksek elektriksel iletkenlik değeri PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edilirken bu sonucu ön kaplanmamış KE takviyeli karmalar takip etmektedir. Yüzeyi yalıtkan bir polimerik malzemeyle kaplanmış iletken bir takviye malzemesi kullanılarak hazırlanan karmalarda, karma içinde takviye malzemelerinin temas yüzeylerinde ince bir polimerik tabaka mevcuttur. Dolayısıyla bu polimerik tabaka, iletken parçalar arasında elektron iletimini zorlaştıran yalıtkan bir boşluk gibi davranır. Ancak deney sonuçları göstermiştir ki PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaların iletkenliği ön kaplanmamış elyaf takviyeli karmaların iletkenliğinden daha fazladır. Dolayısıyla

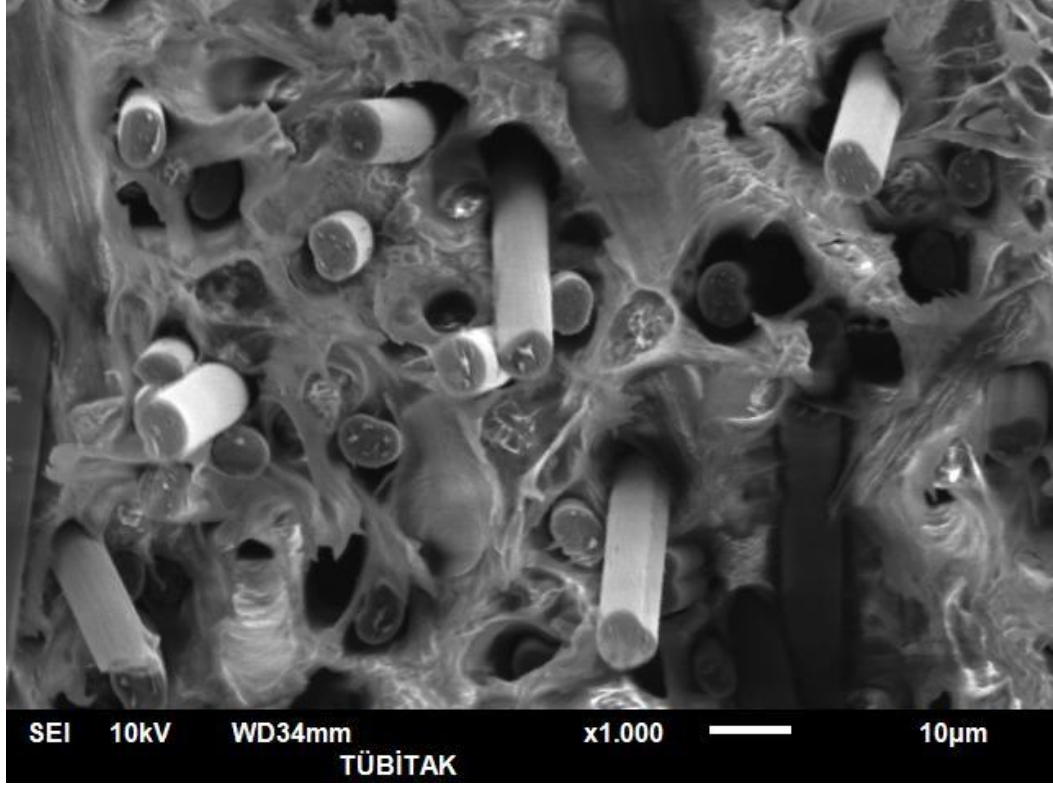
burada elyafın polimerik yapı içinde dağılımı da önemli bir faktör olarak devreye girer. Choi ve diğ. (2000) yaptıkları bir çalışmada KE takviyeli fenolik matrisli karmaların elektriksel iletkenlik değerlerinin büyük ölçüde karbon elyafın matris içinde dağılımına bağlı olduğunu bulmuşlardır. Elyaf-matris arasındaki yapışmanın iyi olmaması durumunda yapı içinde faz ayrılması ve topaklanma (aglomerasyon) meydana gelir ve bu durum elyaf aracılığıyla gerçekleşen elektron iletimini olumsuz etkiler. Buradan PU ön kaplamanın PBT matris ile yapışmasının iyi olması sebebiyle PU ön kaplanmış elyafların yapı içindeki dağılımlarının, ön kaplanmamış elyafların dağılımından daha iyi olduğu, bu sebeple de elektriksel iletkenlik değerlerinin daha yüksek çıktığı sonucuna varılabilir. Diğer ön kaplama malzemeleriyle kaplanmış elyaf takviyeli karmaların elektriksel iletkenlik sonuçlarının önemli ölçüde düşük çıkmasının ise arayüzey yapışmasının iyi olmamasından, dolayısıyla da elyafın matris içinde dağılımının çok iyi olmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

### 3.3.6. SEM analizi

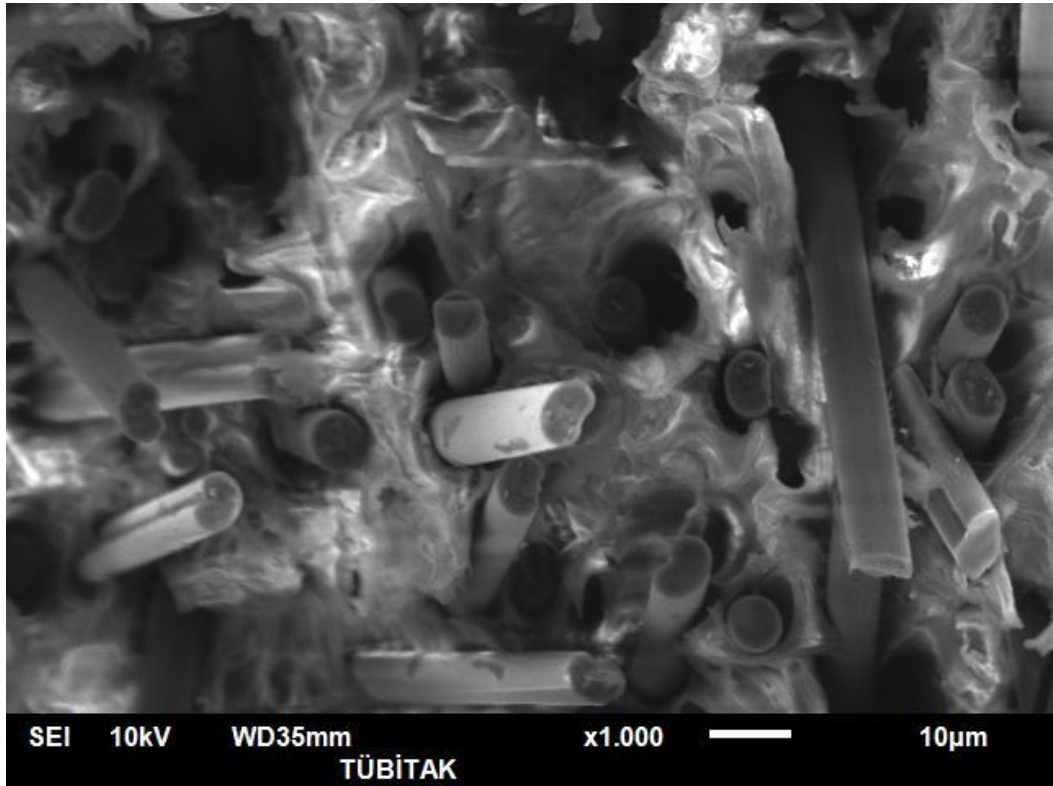
Ön kaplanmamış ve ön kaplanmış KE takviyeli karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.61-3.66'da verilmiştir.



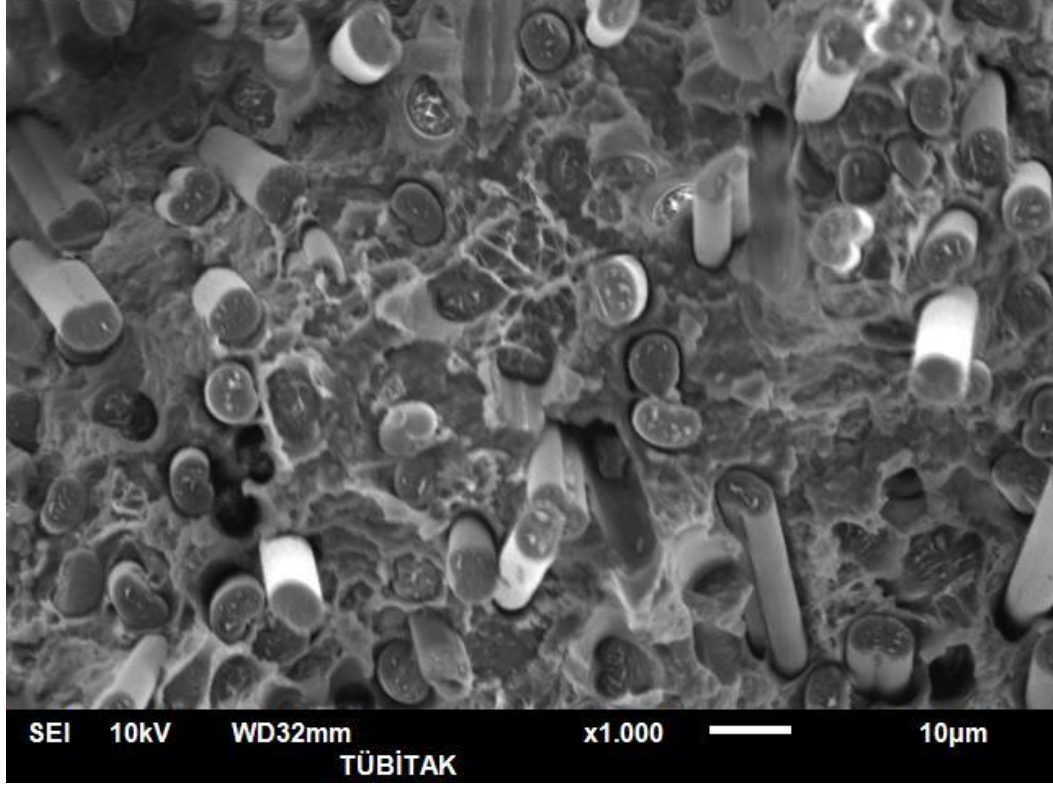
Şekil 3.61. Ön kaplanmamış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı



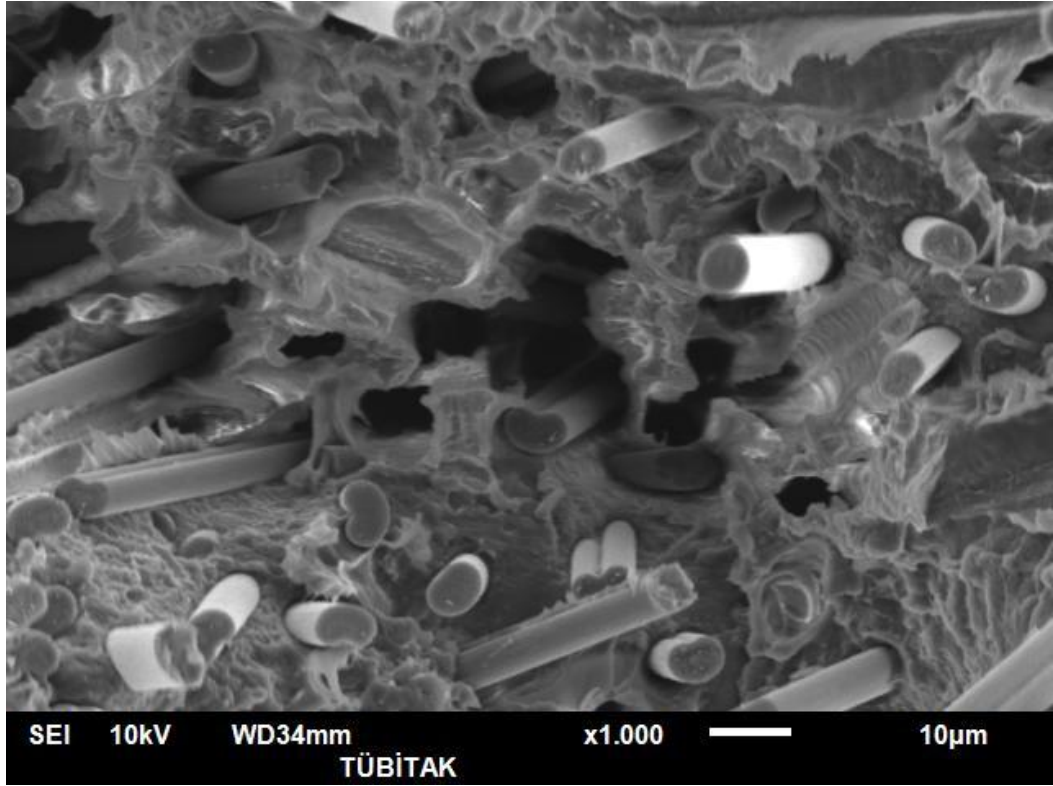
Şekil 3.62. EP/P ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı



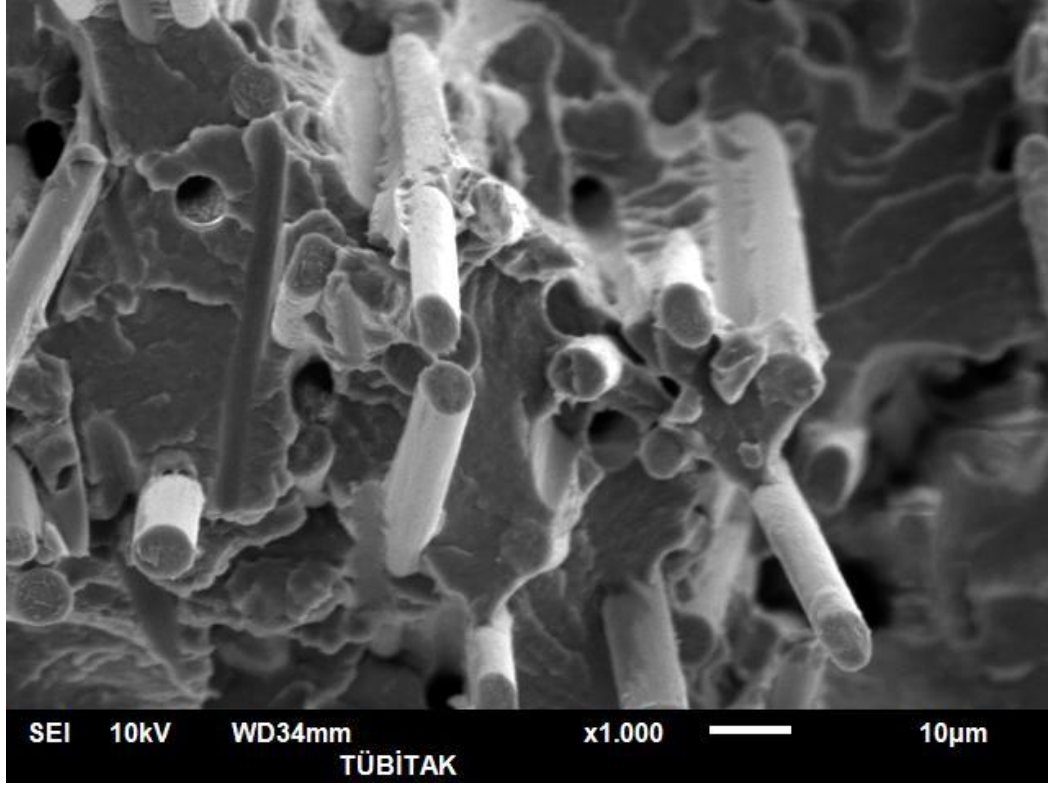
Şekil 3.63. PI ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı



Şekil 3.64. PA ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi



Şekil 3.65. P ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi



Şekil 3.66. PU ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı

Şekil 3.61-3.65 incelendiğinde, ön kaplanmamış, EP/P, PI, PA ve P ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elyaf yüzeylerinin temiz olduğu ve liflerin matristen çıkarak ayrıldığı, ayrıca matristen çıkan liflerin bıraktıkları boşluklar görülmektedir. Buradan, bu ön kaplama malzemeleri ile PBT matris arasında zayıf bir yapışma olduğu sonucu çıkarılabilir. Diğer taraftan Şekil 3.66 incelendiğinde elyaf yüzeylerinin polimer tabakası ile kaplı olduğu görülmektedir. Bu durum, PU ön kaplanmış elyaf ile matris arasındaki yapışmanın iyi olmasının bir sonucudur (Shokoohi ve Azar, 2009), (Zhao ve diğ., 2011b) ve bu sonuç mekanik ve termomekanik test sonuçları ile de örtüşmektedir.

### **3.4. Üretilen Karmaların Özelliklerinin Farklı Ticari Karbon Elyaf Türleri Kullanılarak Üretilen Karmaların Özellikleri ile Karşılaştırılması**

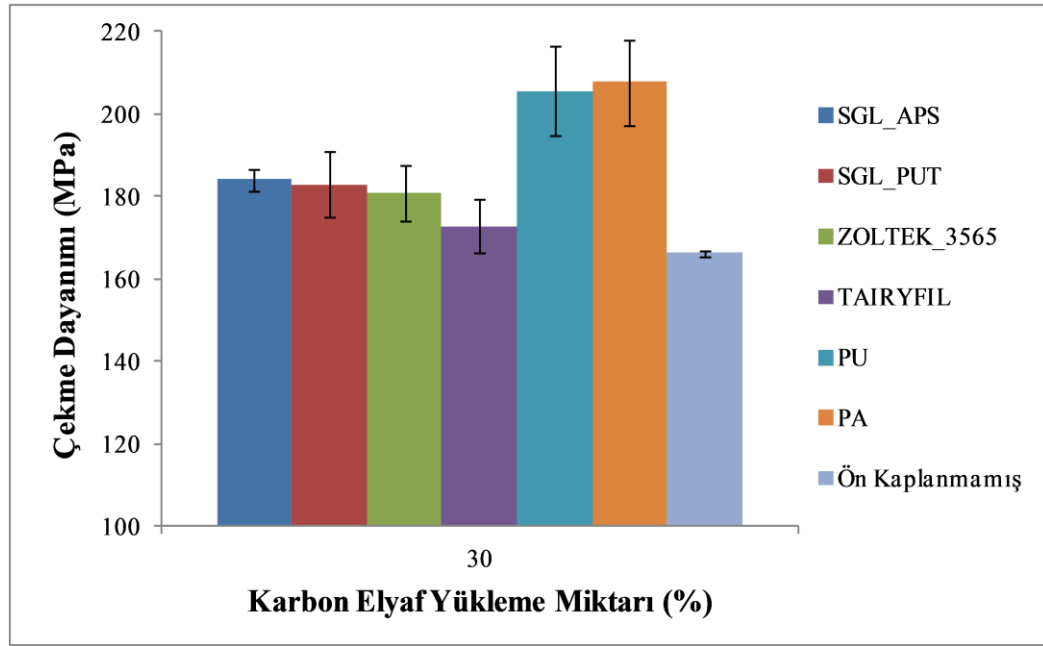
#### **3.4.1. Çekme testi**

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari KE türleri kullanılarak hazırlanan karmalara çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonucunda bu karmaların çekme dayanımı ve kopma uzaması özellikleri çalışmada en iyi sonuç



veren, ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı ve kopma uzaması özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre karşılaştırma yapmak amacıyla, PA 6,6 matris için PU ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalar seçilirken, PBT matris için ise PU ve P ön kaplanmış KE takviyeli karmalar seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmalara uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı grafikleri Şekil 3.67’de verilmiştir.



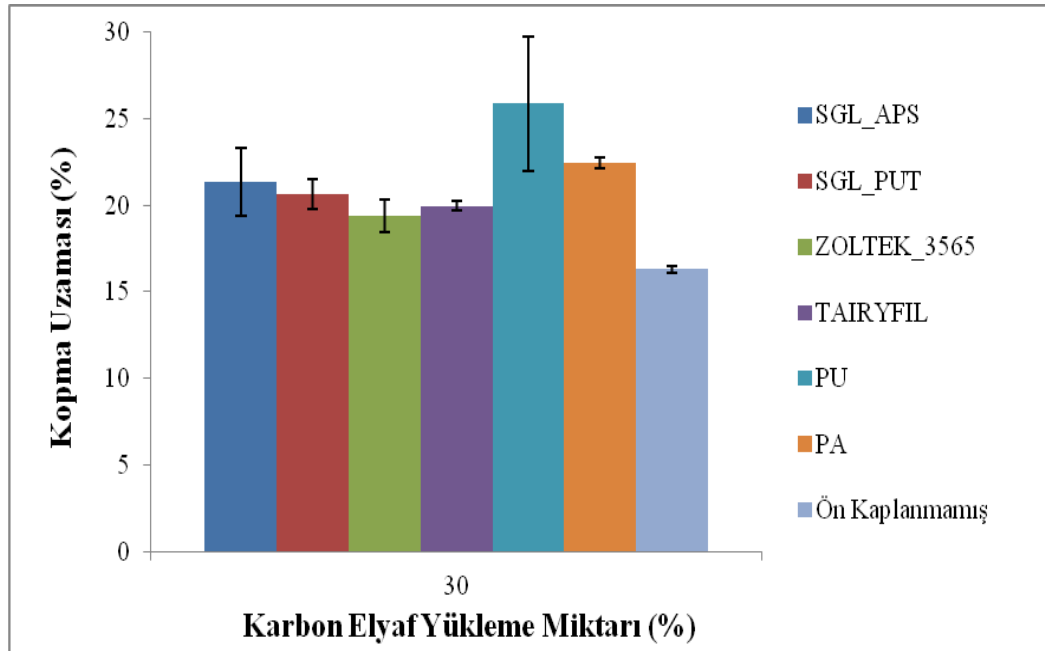
Şekil 3.67. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Karşılaştırma yapılırken PA 6,6 matris ile en iyi sonuç veren iki kaplama malzemesinin en iyi sonuç verdikleri kaplama miktarları seçilmiştir. Buna göre sonuçlar incelendiğinde, % 2 kaplama miktarında PA ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda çekme dayanımı saf PA 6,6’ya göre % 201 artarken, % 3 kaplama miktarında ön kaplanmış PU kullanıldığı durumda çekme dayanımının saf PA 6,6’ya göre % 198 arttığı görülmektedir.

Eş değer özellikteki ürünlerin çekme dayanımına katkıları incelendiğinde ise saf PA 6,6'ya göre SGL\_APS kodlu ürünün çekme dayanımını % 166 arttırdığı, SGL\_PUT kodlu ürünün çekme dayanımını % 164 arttırdığı, ZOLTEK\_3565 kodlu ürünün çekme dayanımını % 161 arttırdığı ve TAIRYFIL kodlu ürünün ise çekme dayanımını % 150 arttırdığı görülmüştür.

Karşılaştırma amacı ile kullanılan farklı ticari KE türlerinin teknik özellikleri incelendiğinde PA 6,6 matris ile uyumlu oldukları görülmüştür (URL-3), (URL-4), (URL-5). Ancak Şekil 3.67 açıkça göstermektedir ki farklı ticari ürünlerin, karmaların çekme dayanımına katkıları, PU ve PA ön kaplanmış yerli KE türlerinden önemli miktarda düşüktür.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmalara uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması grafikleri Şekil 3.68'de verilmiştir.

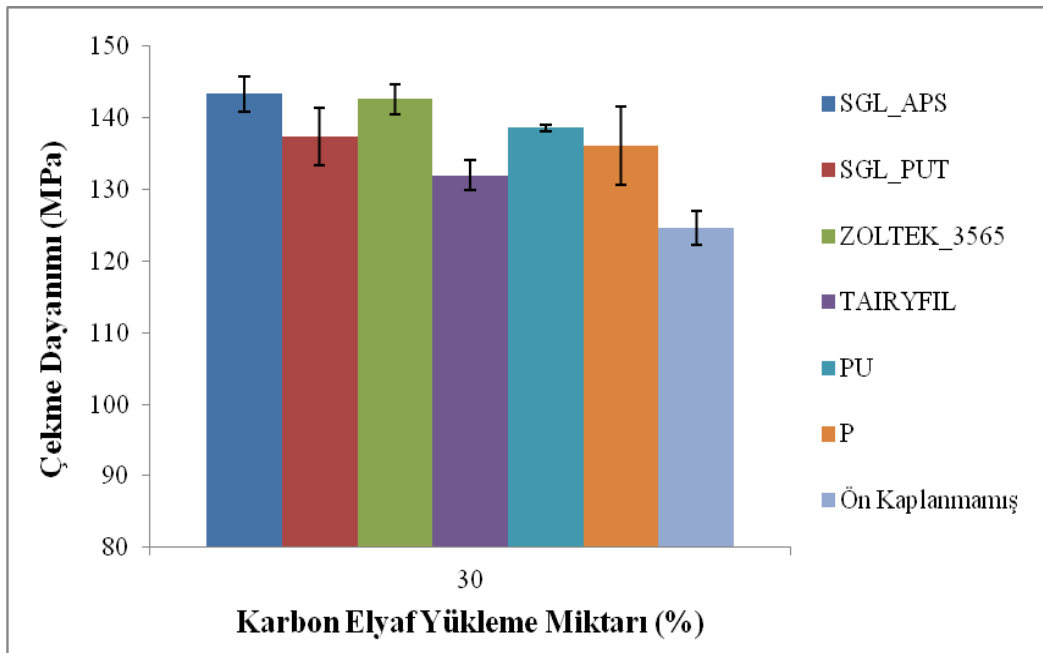


Şekil 3.68. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.68 incelendiğinde, en yüksek kopma uzaması değerlerinin PU ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. Bu değerleri sırasıyla SGL\_APS, SGL\_PUT, TAIRYFIL, ZOLTEK\_3565 kodlu KE türleri ile takviye edilmiş karmalar izlemektedir. Bilindiği gibi, elyaf-matris arasında zayıf bir

yapışma olduğu durumda lifler kolayca yerlerinden çıkarlar ve en zayıf noktada kopma gerçekleşir. Ancak elyaf-matris arasındaki yapışma iyiye uygulanan gerilim matristen elyafa kolayca dağıtılır ve iletilir böylece uzama miktarı artar (Liu ve diğ., 2009). Bu durum göz önünde bulundurulduğunda PU ve PA ön kaplanmış elyaf türlerinin PA 6,6 matrisle daha iyi bir yapışma sergiledikleri sonucuna varılabilir.

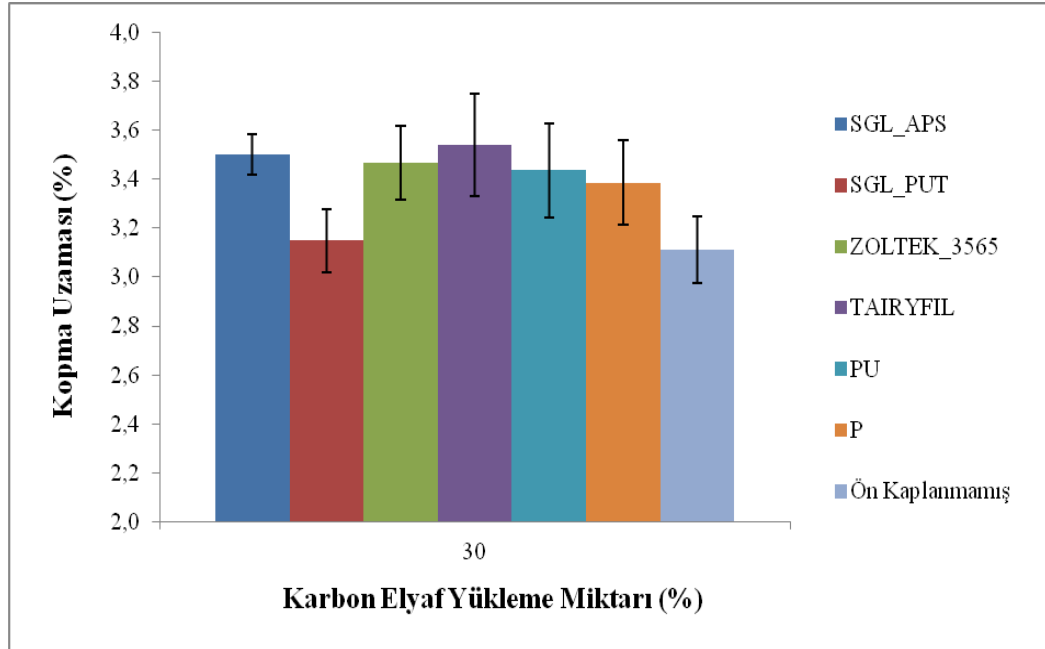
Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmalara uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı grafikleri Şekil 3.69’da verilmiştir.



Şekil 3.69. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Karşılaştırma yapılırken PBT matris ile en iyi sonuç veren iki kaplama malzemesinin en iyi sonuç verdikleri kaplama miktarları seçilmiştir. Buna göre sonuçlar incelendiğinde SGL\_APS kodlu KE kullanıldığı durumda çekme dayanımı saf PBT’ye göre % 124 artarken, ZOLTEK\_3565 kodlu KE kullanıldığı durumda ise çekme dayanımının % 123 arttığı bulunmuştur. Bununla birlikte PU ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda çekme dayanımı saf PBT’ye göre % 116 artarken, P ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda ise % 112 arttığı görülmüştür. Buradan, eş değer özellikteki ticari ürünlerden SGL\_APS ve ZOLTEK\_3565 kodlu ürünlerin, PBT matris ile daha iyi bir etkileşim sergiledikleri sonucuna varılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmalara uygulanan çekme testi sonucunda elde edilen kopma uzaması grafiği Şekil 3.70’de verilmiştir.



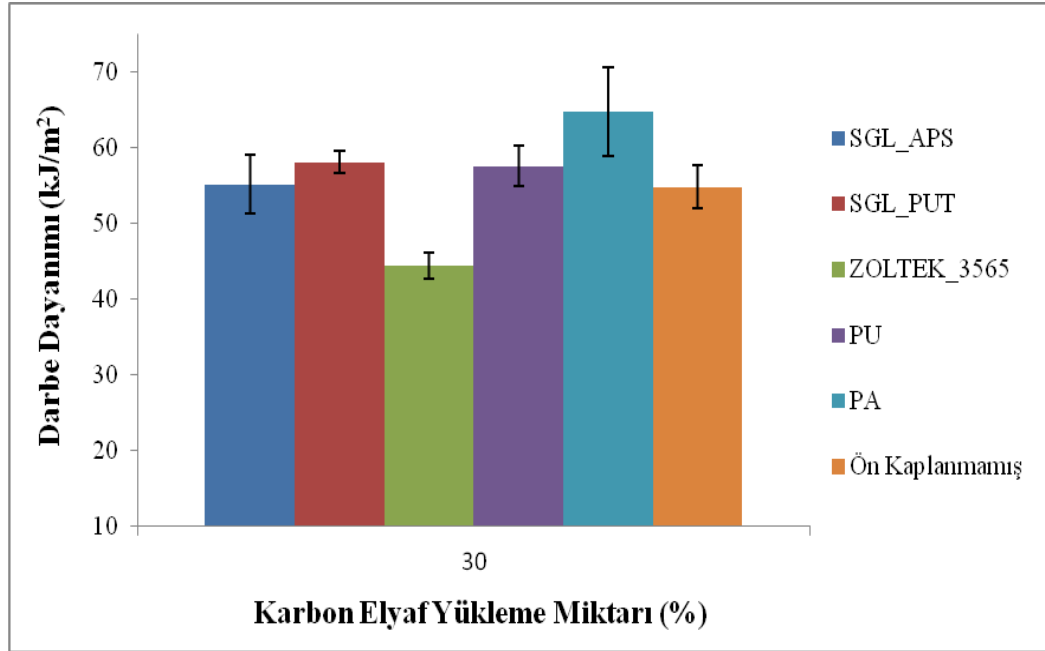
Şekil 3.70. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların kopma uzaması değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.70 incelendiğinde, en yüksek kopma uzaması değerlerinin TAIRYFIL ve SGL\_APS kodlu KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. Elyaf-matris arasındaki yapışma iyi olduğu uzama miktarının daha yüksek olduğu göz önünde bulundurulursa bu elyaf türlerinin PBT matrisle daha iyi bir yapışma sergiledikleri söylenebilir.

### 3.4.2. Darbe testi

Farklı ticari KE türleri kullanılarak hazırlanan karmalara darbe testi uygulanmıştır. Darbe testi sonucunda bu karmaların darbe dayanımı değerleri çalışmada en iyi sonuç veren ön kaplanmış KE takviyeli karmaların darbe dayanımı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre karşılaştırma yapmak amacıyla, PA 6,6 matris için PU ve PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalar seçilirken, PBT matris için ise PU ve P ön kaplanmış KE takviyeli karmalar seçilmiştir.

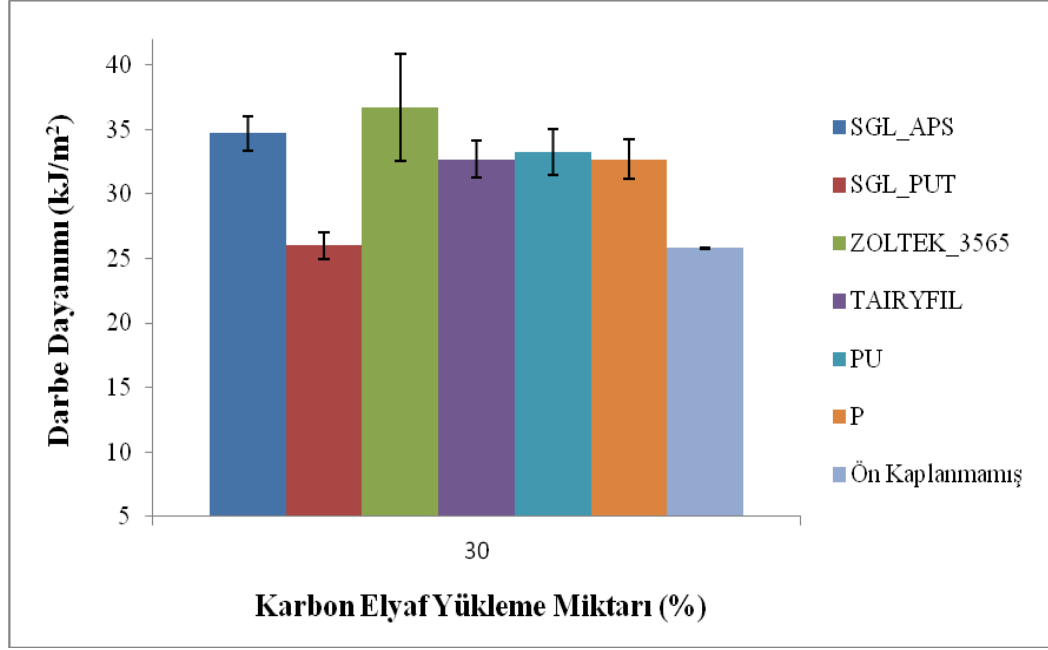
Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmalara uygulanan darbe testi sonucunda elde edilen darbe dayanımı grafikleri Şekil 3.71’de verilmiştir.



Şekil 3.71. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PA 6,6 matrisli karmaların darbe dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3.71 incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı değerinin PA ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir. Bu sonucu sırasıyla SGL\_PUT kodlu ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalar izlemektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmalara uygulanan darbe testi sonucunda elde edilen darbe dayanımı grafikleri ise Şekil 3.72’de verilmiştir. Şekil 3.72 incelendiğinde, en yüksek darbe dayanımı değerlerinin ZOLTEK\_3565 ve SGL\_APS kodlu KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmektedir.



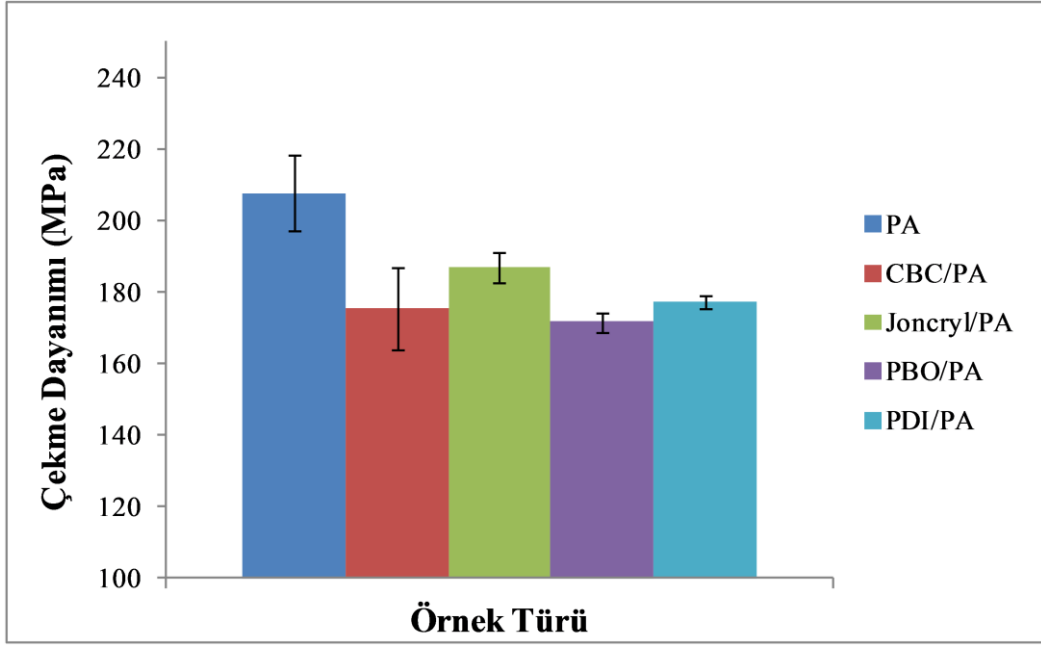
Şekil 3.72. Farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların darbe dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

### 3.5. Farklı Bağlanma Ajanlarının PA 6,6 Matrisli Karmaların Özellikleri Üzerine Etkisi

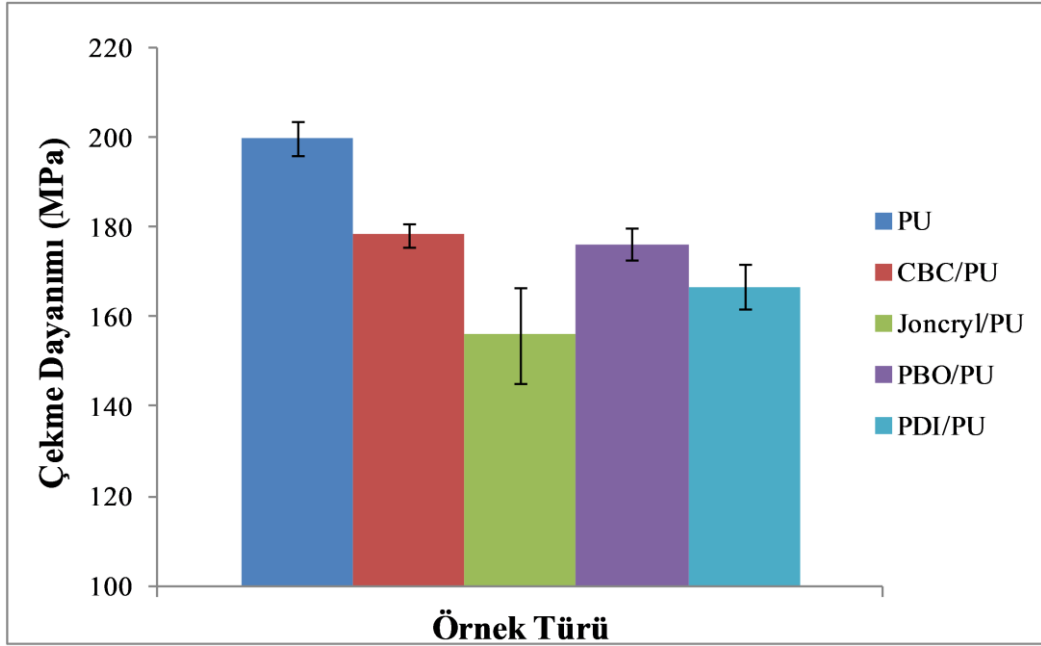
#### 3.5.1. Çekme testi

PA 6,6 matris için en iyi sonucu veren, % 2 kaplama miktarında PU ve PA ön kaplanmış karbon elyafın ve ayrıca ön kaplanmamış karbon elyafın PA 6,6 matris ile yapışmasının daha da iyileştirilmesi amacıyla matris modifikasyonu yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla PBO, PDI, CBC ve Joncryl olmak üzere 4 farklı bağlanma ajanı kullanılarak ön kaplanmamış ve kaplanmış KE takviyeli karmalar hazırlanmıştır.

% 0,3 bağlanma ajanı eklenmiş PA 6,6 matrisli karmaların çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı grafikleri Şekil 3.73-3.75'te verilmiştir.



Şekil 3.73. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği



Şekil 3.74. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.73-3.74 incelendiğinde, PA ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda, karmaların çekme dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu azalma, PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda CBC için %15, Joncryl için % 10, PBO için % 17 ve PDI için % 14 olarak belirlenirken, PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda ise CBC için % 10, Joncryl için % 21, PBO için % 11 ve PDI için % 16 olarak belirlenmiştir.

PBO, polikondenzasyon ile üretilen polimerlerde zincir uzatıcılık görevini, karboksil uç gruplarını bağlayarak yerine getirirken CBC aynı görevi hidroksil ve amin uç grupları ile tepkimeye girerek yerine getirir (Scheirs ve Long, 2003), (Bucella ve diğ., 2013). Joncryl ve PDI ise hem hidroksil hem de karboksil gruplar ile tepkimeye girerek zincir uzatıcılık görevini yerine getiren kimyasallardır (Aksoy, 2008), (Chaloupi, 2011).

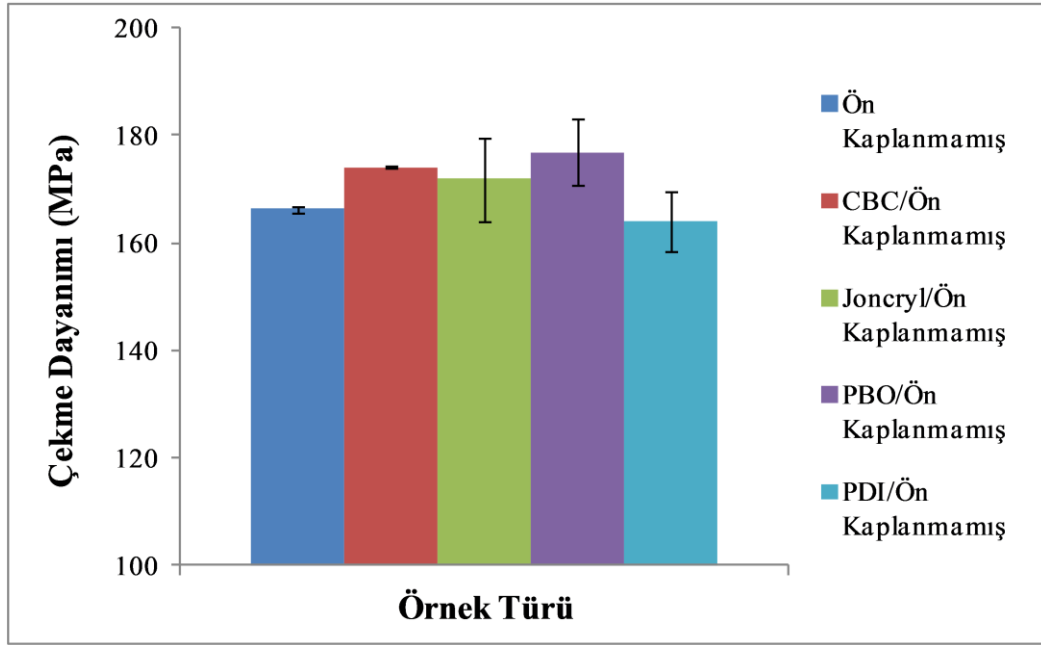
Elyaf yüzeylerine uygulanan XPS analizinde ön kaplanmamış, PU ve PA ile ön kaplanmış KE yüzeylerinin karboksil ve hidroksil içeren fonksiyonel grup miktarları Tablo 3.1’de verilmişti. Tablo 3.1 tekrar değerlendirildiğinde, PA ön kaplanmış elyaf yüzeyinde karboksil içeren fonksiyonel grup bulunmadığı ancak PU ön kaplanmış ve ön kaplanmamış elyaf yüzeyinde karboksil içeren fonksiyonel gruplar bulunduğu görülmektedir. Dolayısıyla PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda bağlanma ajanlarının ilavesinin çekme dayanımına katkı sağlamamalarının, PA ön kaplamadaki karboksilik grup yokluğundan kaynaklandığı yorumu yapılabilir.

Yine Tablo 3.1 göstermektedir ki, PU ön kaplanmış KE, karboksilik gruplar içermektedir. Ancak yine de dört bağlanma ajanı kullanıldığı durumda da PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımında bir artış meydana gelmemiştir. Bu durumu açıklamak için ise, PA 6,6’nın işleme koşullarına maruz bırakıldıktan sonra yüzeyleri XPS analizi ile incelenen PU ve PA ön kaplanmış elyaf türlerinin Tablo 3.2’de verilen XPS analizi sonuçları kullanılabilir. Tablo 3.2 tekrar değerlendirildiğinde, PU ön kaplanmış KE yüzeyindeki karboksil grupların işleme sırasında kaybolduğu görülmektedir. Dolayısıyla PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda kullanılan bağlanma ajanlarının çekme dayanımına katkı sağlamamalarının, PU ön kaplamadaki karboksilik grup yokluğundan kaynaklandığı yorumu yapılabilir. Yine Tablo 3.2 göstermektedir ki işleme sıcaklığında ve



süresinde karboksil grupları yok olmakta ve C-OH/C-OR ya da C-NH<sub>2</sub> grupları oluşmaktadır. Ancak elde edilen sonuçlar, oluşan bu yeni grupların ara yüzeyi iyileştirmek ve çekme dayanımını arttırmaya fayda sağlayacak türde gruplar olmadığını ya da bu grupların tepkimeye girerek etkileşim sağlamak için yeterli zamanları olmadığını göstermektedir.

PU ve PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda, bağlanma ajanı ilavesiyle çekme dayanımında artış meydana gelmemesinin yanı sıra bu karmaların çekme dayanımlarının azalması da elde edilen bir diğer sonuçtur. Bu sonuç elyaf-matris ara yüzeyinde bulunan ve yapışmaya katkıda bulunmayan bağlanma ajanı moleküllerinin zayıf van der Waals bağları kurarak bu iki yüzey arasındaki etkileşimi ve yapışmayı azaltmasından kaynaklandığı söylenebilir (Nie ve diğ., 2010a).

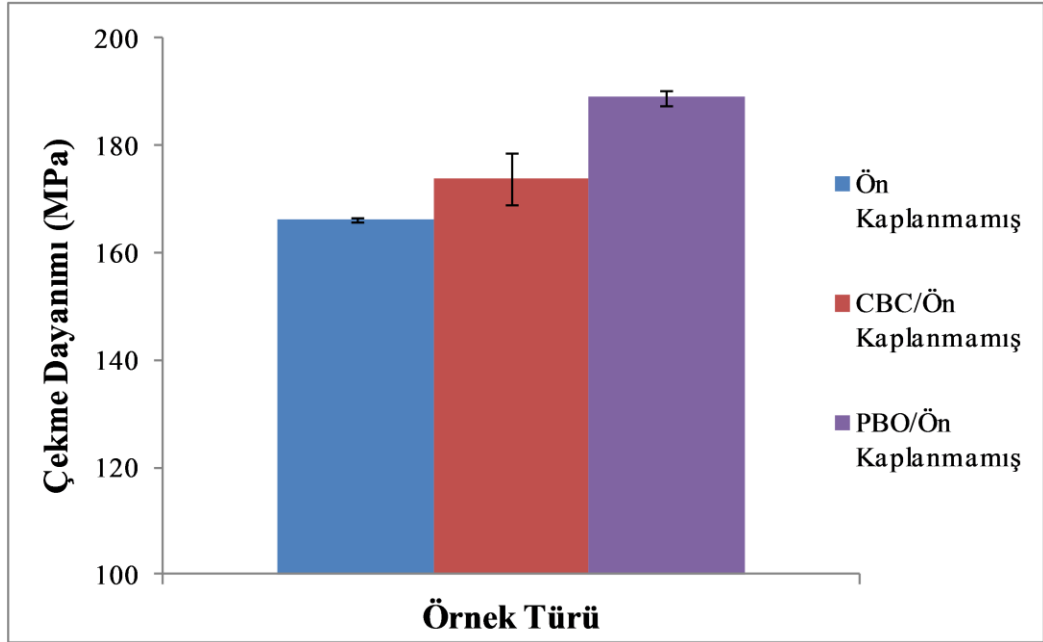


Şekil 3.75. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.75 incelendiğinde ise ön kaplanmamış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında CBC, Joncryl ve PBO bağlanma ajanları eklendiği durumda çekme dayanımı değerlerinin sırasıyla % 4, 3 ve 6 oranında arttığı ancak PDI eklenmesiyle % 1 oranında azaldığı görülmektedir.

Ön kaplanmamış KE kullanıldığı durumda elde edilen artış, XPS sonuçlarının verildiği Tablo 3.1'den de görüldüğü gibi bu elyaf türünün yüzeyinde bulunan karboksilik gruplardan kaynaklanmaktadır.

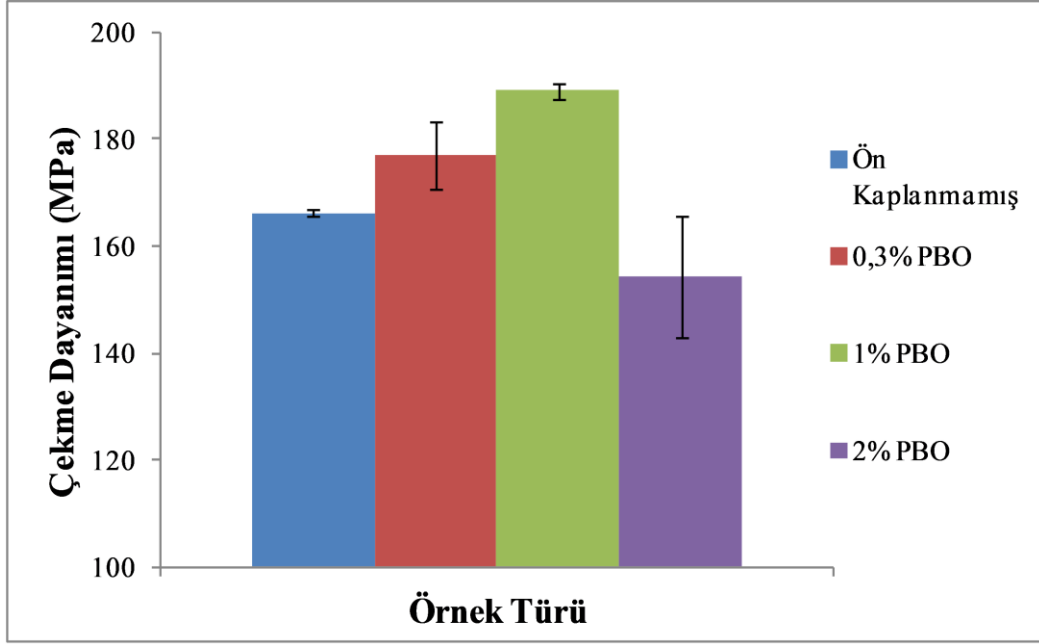
Ön kaplanmamış elyaf takviyeli karmaların çekme dayanımı sonuçları, en yüksek çekme dayanımının PBO ve CBC bağlanma ajanları kullanıldığı durumda elde edildiğini göstermektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak, kullanılan bağlanma ajanı miktarı % 1'e çıkarılarak bağlanma ajanı miktarının karma özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir ve % 1 PBO ve CBC içeren karmaların çekme dayanımı grafiği Şekil 3.76'da verilmiştir.



Şekil 3.76. % 1 oranında CBC ve PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.76 incelendiğinde CBC bağlanma ajanı kullanıldığında çekme dayanımı % 4 artarken PBO kullanıldığında çekme dayanımının % 14 arttığı görülmektedir. Bu artış yaklaşık 23 MPa değerinde bir artış olup ön kaplanmamış elyaf takviyesinin niceliğini ön kaplanmış elyaf takviyesinin niceliğine yaklaştırmıştır. Buradan PBO bağlanma ajanının elyaf yüzeyi ve PA 6,6 matris arasında bir köprü görevi gördüğü ve bu sayede elyaf-matris arasında etkin bir gerilim transferi sağlayarak karmanın mekanik özelliklerine katkıda bulunduğu sonucuna varılabilir.

PBO ilavesiyle çekme dayanımında elde edilen bu artışın, PBO miktarındaki artışla değişiminin incelenmesi amacıyla, % 2 PBO içeren ön kaplanmamış elyaf takviyeli karmalar hazırlanmıştır. Bu karmaların çekme dayanımı sonuçları Şekil 3.77’de verilmiştir.

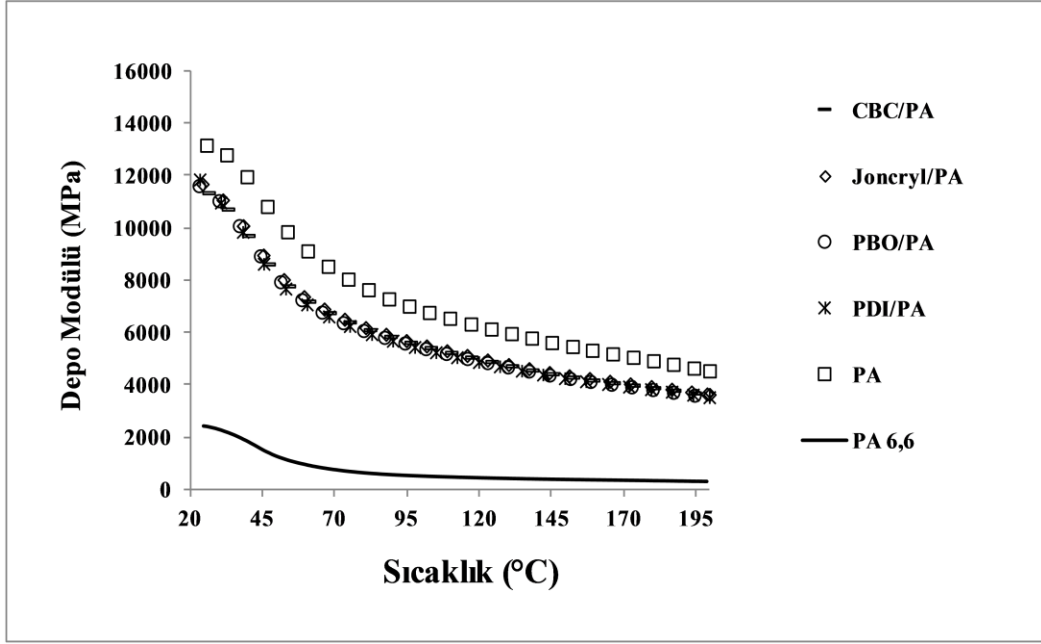


Şekil 3.77. PBO bağlanma ajanı miktarının ön kaplanmamış KE takviyeli PA 6,6 karmaların çekme dayanımı üzerine etkisi

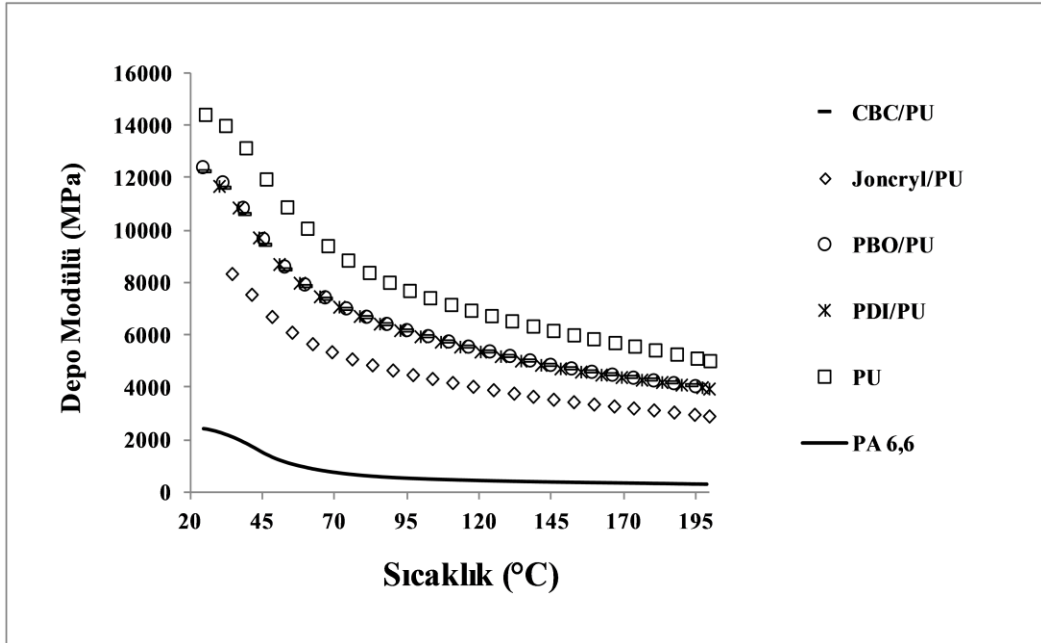
Şekil 3.77 incelendiğinde ise % 2 PBO ilavesiyle çekme dayanımında % 7’lik bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Buradan, en uygun bir PBO yükleme miktarından sonra artan PBO miktarıyla karmaların çekme dayanımlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, aşırı miktarda bağlanma ajanı kullanılması durumunda elyaf-matris ara yüzeyinde fazladan kimyasal yapılar oluşması ve oluşan kimyasal yapıların mevcut elyaf-matris yapışmasını bozması şeklinde açıklanabilir (Nie ve diğ., 2010a).

### 3.5.2. Dinamik mekanik analiz

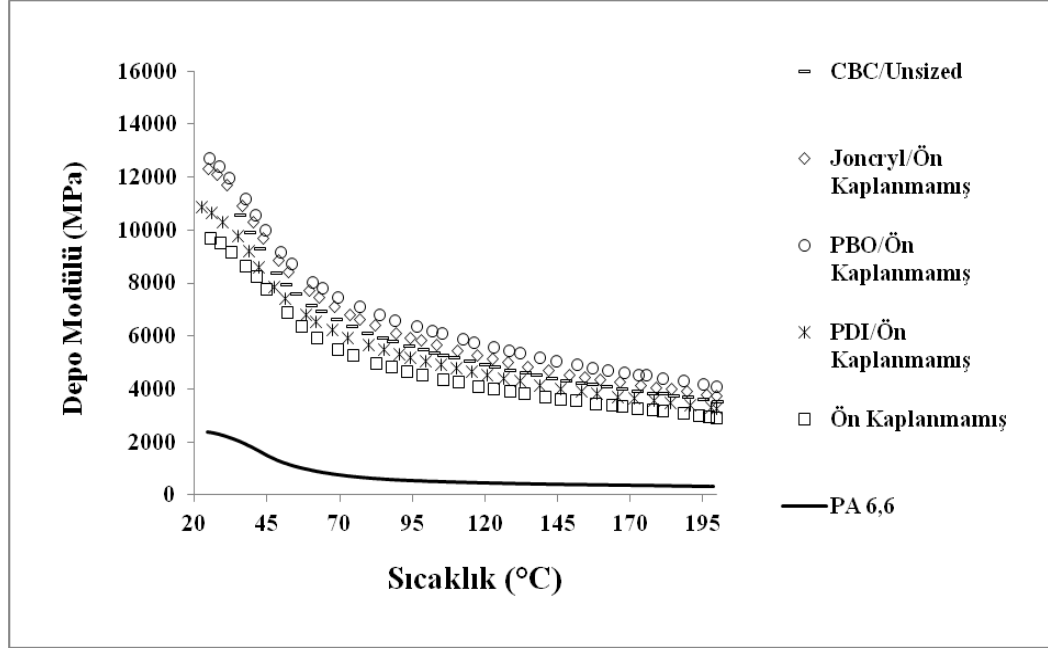
Saf PA 6,6’nın ve % 0,3 bağlanma ajanı eklenmiş PA 6,6 matrisli karmaların sıcaklığa bağlı depo modülü değerleri incelenmiş ve Şekil 3.78-3.80’de verilmiştir.



Şekil 3.78. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PA ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği



Şekil 3.79. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği

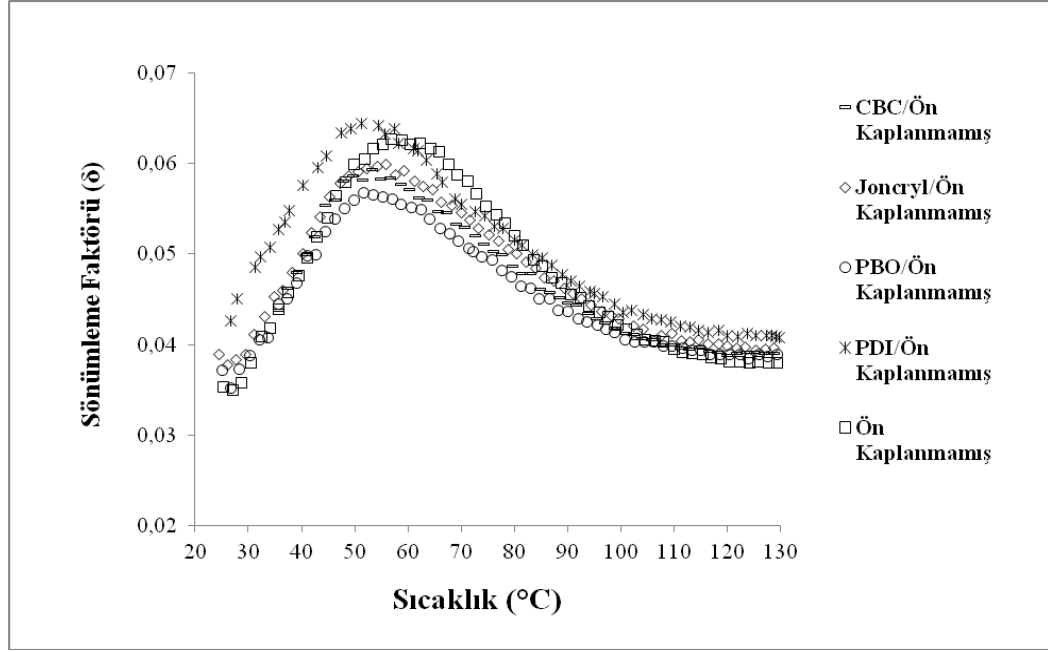


Şekil 3.80. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların depo modülü grafiği

Şekil 3.78-3.79 incelendiğinde, PA ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda, karmaların depo modülü değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 3.80 incelendiğinde ise ön kaplanmamış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda depo modülü değerlerinin arttığı, en yüksek artışın ise PBO bağlanma ajanı kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir. Elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyi olduğu durumda matristen elyafa etkin bir gerilim transferi gerçekleştiği ve yüksek depo modülü değerleri elde edildiği göz önünde bulundurulursa, ön kaplanmamış KE kullanıldığı durumda PBO başta olmak üzere kullanılan bütün bağlanma ajanlarının elyaf-matris yapışmasına katkıda bulunduğu söylenebilir (Mohanty ve diğ., 2006), (Huda ve diğ., 2007).

% 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış KE takviyeli PA 6,6 matrisli karmaların dinamik şartlar altında ara yüzey etkileşimlerini değerlendirmek için dinamik mekanik analiz sonucunda elde edilen sönümleme faktörü değerleri incelenmiştir. Buna göre kullanılan bağlanma ajanı türünün sönümleme faktörü üzerindeki etkisinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 3.81'de verilmiştir.



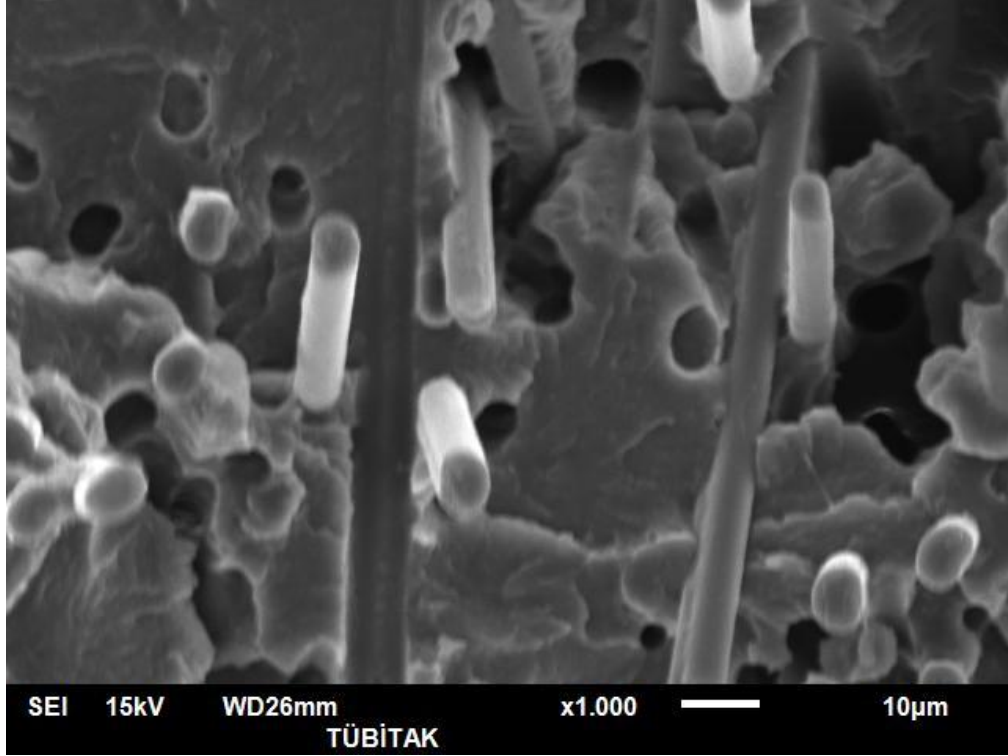
Şekil 3.81. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaların sönümlenme faktörü grafiği

Daha önce de bahsedildiği gibi, sönümlenme faktörü, kayıp modülün depo modülüne oranı olarak hesaplanır ve sönümlenme faktörü eğrisinin altında kalan alan, malzemenin düşük uzamada uğradığı periyodik deformasyon sırasında kaybettiği enerjinin bir göstergesidir. Elyaf-matris arasında kuvvetli bir ara yüzey etkileşimi olduğu durumda moleküler hareketliliğin az olduğu bir ara faz oluşur ve bu sebeple bu ara fazda daha az enerji kaybı meydana gelir. Dolayısıyla sönümlenme pikinin şiddeti düşük olur.

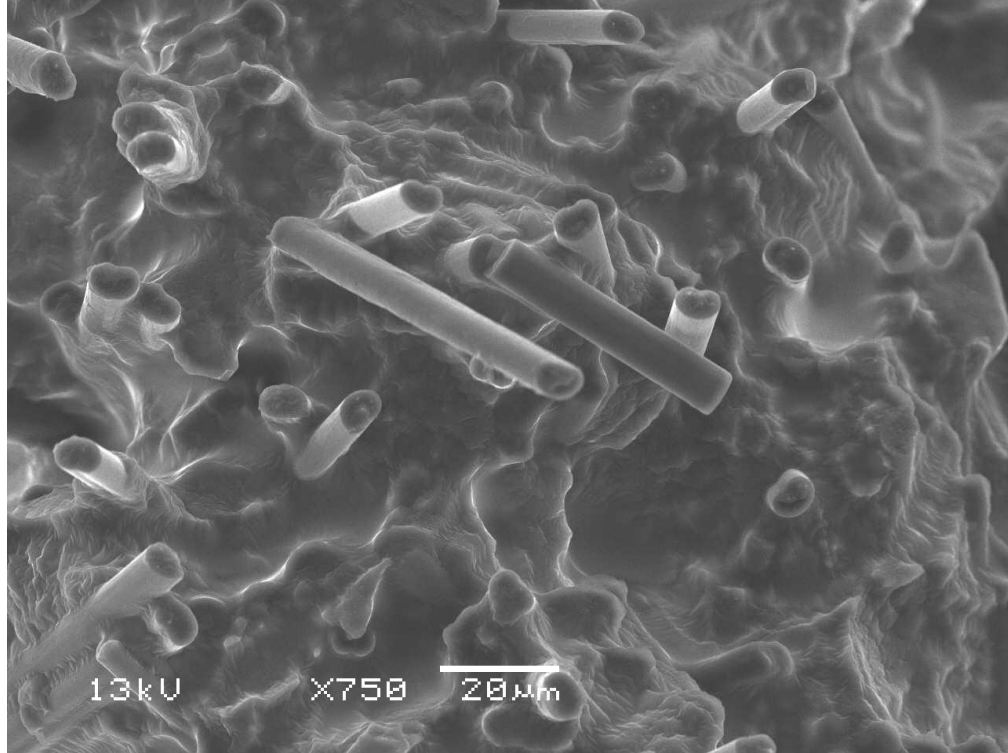
Kullanılan bağlanma ajanı türünün sönümlenme faktörü üzerindeki etkisini gösteren Şekil 3.81 incelendiğinde % 0,3 PBO içeren ön kaplanmamış elyaf takviyeli karmalarda daha düşük pik şiddeti elde edildiği görülmektedir. Buradan en iyi yapışmanın, PBO bağlanma ajanı kullanıldığı durumda elde edildiği sonucuna varılabilir ve bu sonuç diğer test sonuçları ile de uyumludur.

### 3.5.3 SEM analizi

Ön kaplanmamış KE takviyeli, % 1 CBC içeren ve içermeyen karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.82-3.84'te verilmiştir.



Şekil 3.82. Ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografı (x1000)



Şekil 3.83. % 1 oranında CBC bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografı (x750)

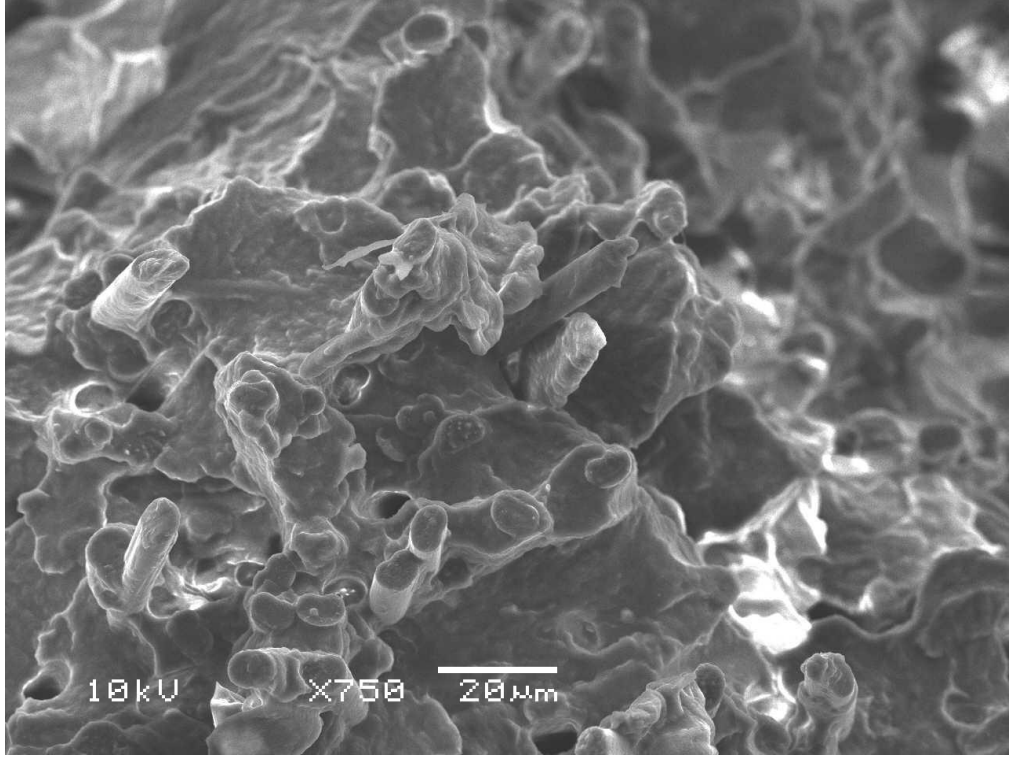


Şekil 3.84. % 1 oranında CBC bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografı (x1200)

Şekil 3.82 incelendiğinde, bağlanma ajanı eklenmemiş karmalarda, çekme testi sırasında matristen ayrılan liflerin bıraktıkları boşluklar, matristen ayrılmayan liflerin ise yüzeylerinin temiz olduğu ve polimer tabakası ile kaplanmadığı açıkça görülmektedir. CBC bağlanma ajanı eklendiği durumda ise elyaf-matris arasındaki boşlukların kapandığı ve ön kaplanmamış elyafın PA 6,6 matris içine gömüldüğü Şekil 3.83 ve 3.84'te görülmektedir.

Ön kaplanmamış KE takviyeli, % 1 PBO içeren karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.85-3.86'da verilmiştir.





Şekil 3.85. % 1 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografı (x750)



Şekil 3.86. % 1 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PA 6,6 karmaya ait SEM mikrografı (x1200)

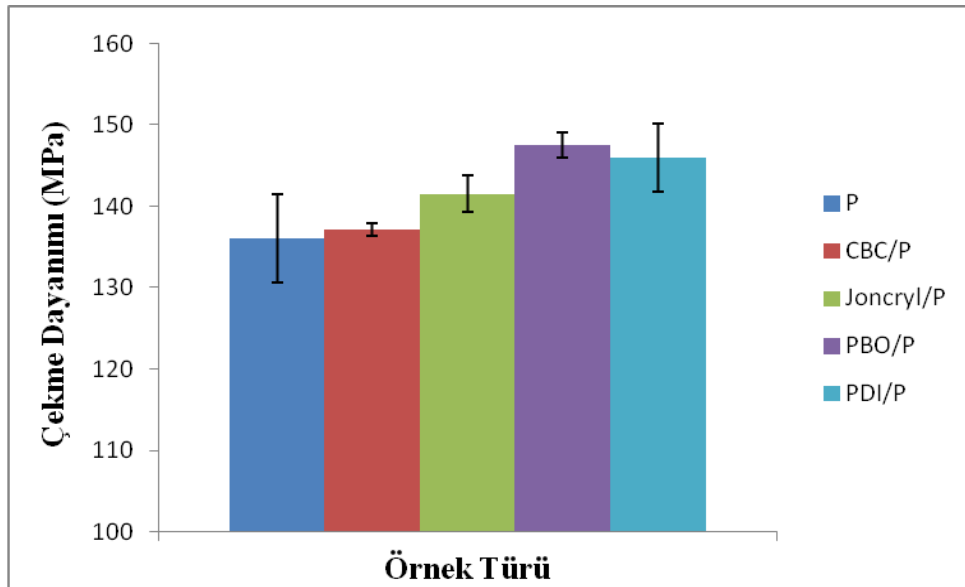
Şekil 3.86 ve 3.87 incelendiğinde, % 1 oranında PBO kullanıldığı durumda, elyaf-matris arasında boşluk olmadığı bunun yanı sıra liflerin yüzeylerinin tamamen polimer tabakası ile kaplandığı görülmektedir. Özellikle bağlanma ajanı eklenmemiş karmalarla karşılaştırıldığında (Şekil 3.83) elyaf-matris arasındaki yapışmada meydana gelen iyileşme açıkça görülmektedir. Bu sonuç diğer test sonuçlarıyla da örtüşmekte ve PA 6,6 matris için PBO bağlanma ajanının diğer bağlanma ajanlarından daha etkin olduğu sonucunu kanıtlamaktadır.

### 3.6. Farklı Bağlanma Ajanlarının PBT Matrisli Karmaların Özellikleri Üzerine Etkisi

#### 3.6.1. Çekme testi

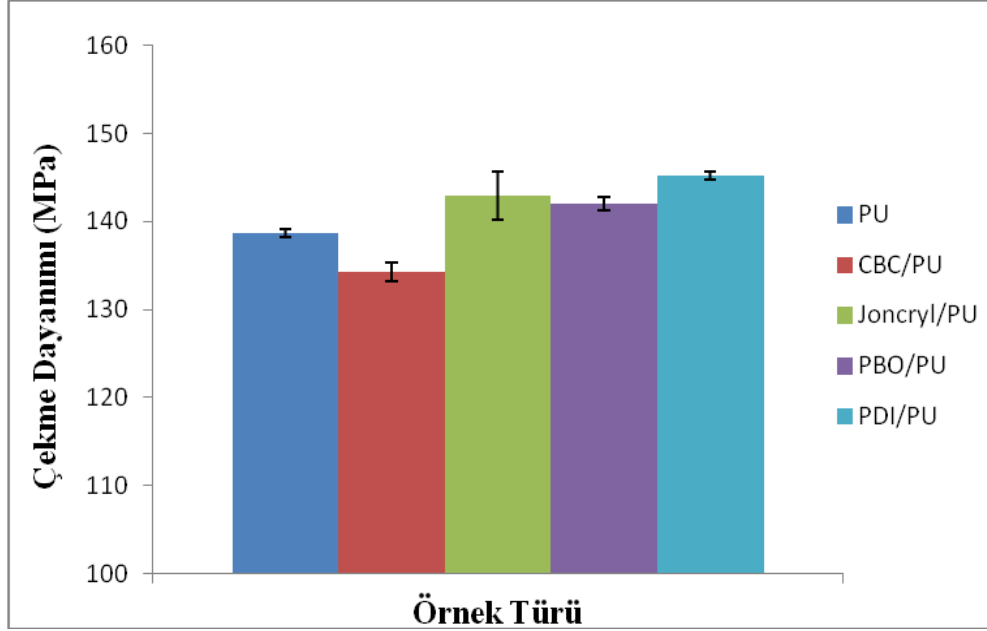
PBT matris için en iyi sonucu veren, % 1 kaplama miktarında PU ve P ön kaplanmış karbon elyafın ve ayrıca ön kaplanmamış karbon elyafın PBT matris ile yapışmasının daha da iyileştirilmesi amacıyla matris modifikasyonu yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla PBO, PDI, CBC ve Joncryl olmak üzere 4 farklı bağlanma ajanı kullanılarak ön kaplanmamış ve kaplanmış KE takviyeli karmalar hazırlanmıştır.

% 0,3 bağlanma ajanı eklenmiş PBT matrisli karmaların çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı grafikleri Şekil 3.87-3.89'da verilmiştir.

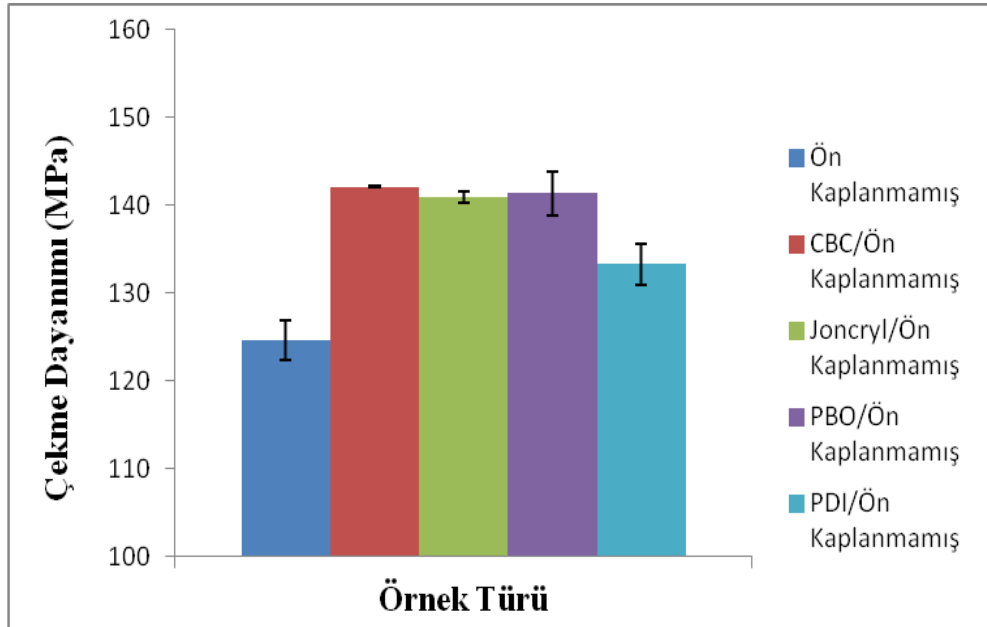


Şekil 3.87. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.87 incelendiğinde P ön kaplanmış KE kullanıldığında ve % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiğinde, karmaların çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış CBC için % 0,77, Joncryl için % 4, PBO için % 8 ve PDI için % 7 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.88. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği

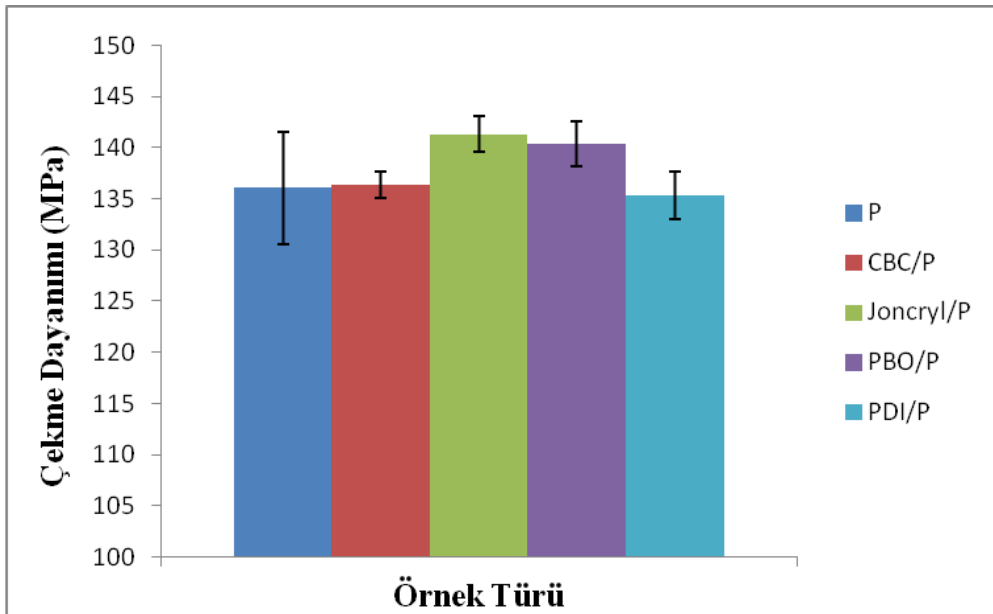


Şekil 3.89. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.88 incelendiğinde PU ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiğinde, CBC bağlanma ajanının çekme dayanımını % 3 oranında azalttığı diğer bağlanma ajanlarının ise arttırdığı görülmektedir. Bu artış Joncryl için % 3, PBO için % 2 ve PDI için % 5 olarak belirlenmiştir.

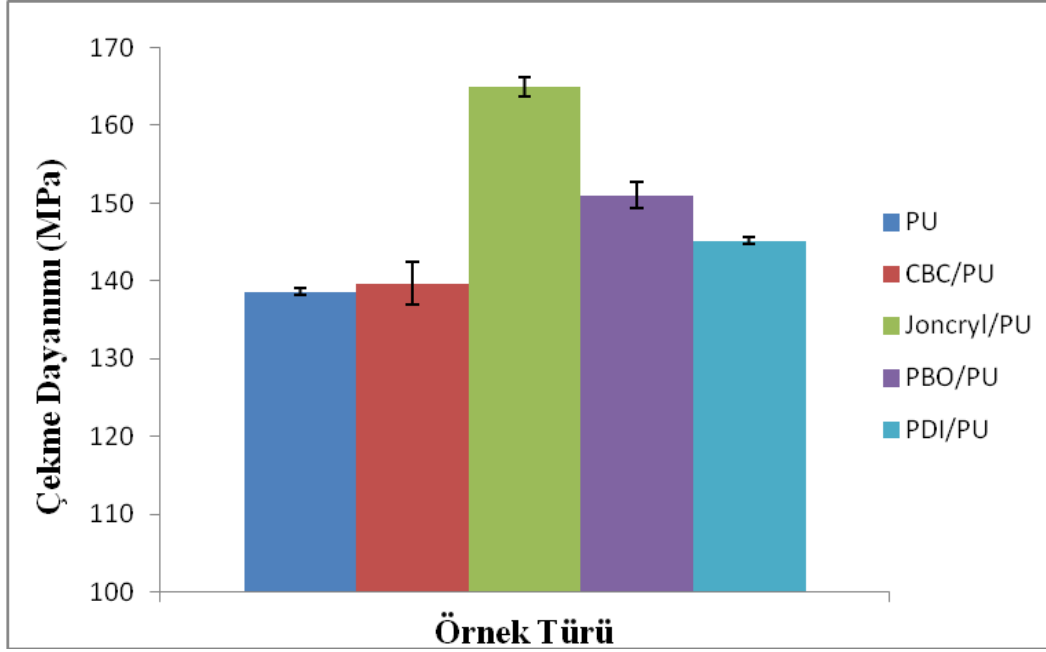
Şekil 3.89 incelendiğinde ise ön kaplanmamış KE kullanıldığı durumda % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiğinde, karmaların çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış CBC için % 14, Joncryl için % 13, PBO için % 13 ve PDI için % 7 olarak belirlenmiştir.

Tüm çekme dayanımı sonuçları göz önünde bulundurulduğunda, PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 0,3 oranında CBC eklendiği durum hariç, her üç elyaf türünde de, tüm bağlanma ajanlarının karmaların çekme dayanımını artırıcı yönde etki ettikleri görülmüştür. En yüksek yüzde artış ön kaplanmamış KE takviyeli karmalarda elde edilmiş olsa da en yüksek çekme dayanımı değerlerinin P ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda elde edildiği görülmüştür. Bu sebeple, kullanılan bağlanma ajanı miktarı % 1'e çıkarılarak bağlanma ajanı miktarının P ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı grafikleri Şekil 3.90-3.91'de verilmiştir.



Şekil 3.90. % 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği

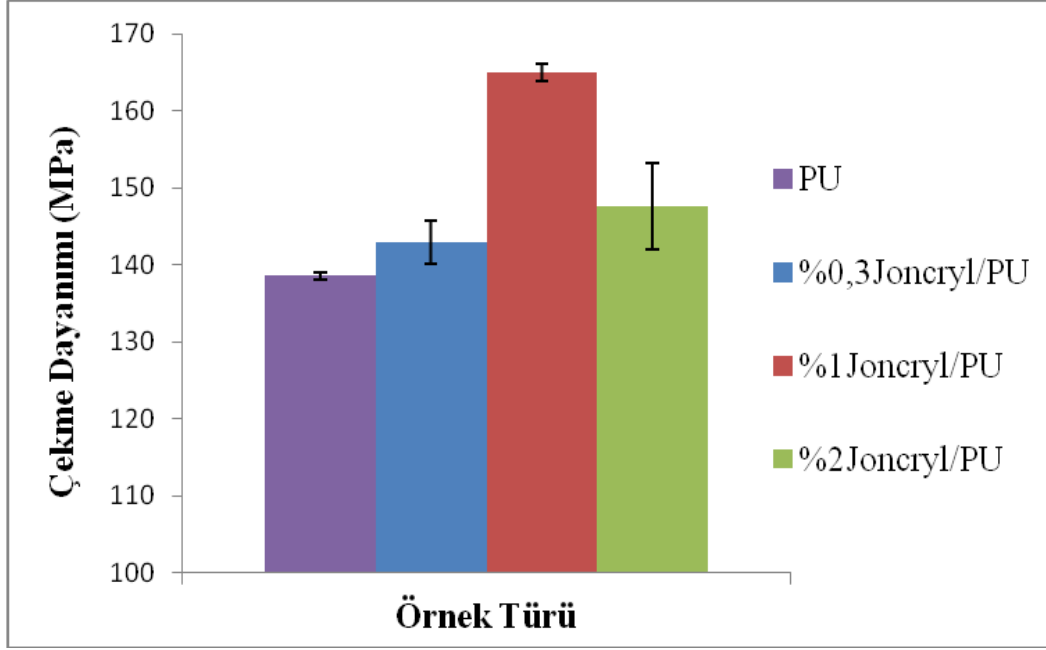
Şekil 3.90 incelendiğinde P ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda % 1 yükleme miktarında CBC, Joncryl ve PBO bağlanma ajanları eklendiğinde, karmaların çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış CBC için % 0,2, Joncryl için % 4, PBO için % 3 belirlenmiştir. Ancak % 1 yükleme miktarında PDI eklendiğinde çekme dayanımı değerinin % 0,5 azaldığı görülmüştür.



Şekil 3.91. % 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı grafiği

Şekil 3.91 incelendiğinde ise PU ön kaplanmış KE kullanıldığı durumda % 1 yükleme miktarında bağlanma ajanları eklendiğinde, karmaların çekme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış CBC için % 0,8, Joncryl için % 19, PBO için % 9 ve PDI için % 5 olarak belirlenmiştir.

Joncryl ilavesiyle çekme dayanımında elde edilen bu artışın Joncryl miktarındaki artışla değişiminin incelenmesi amacıyla, % 2 Joncryl içeren PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalar hazırlanmıştır. Bu karmaların çekme dayanımı sonuçları Şekil 3.92'de verilmiştir.

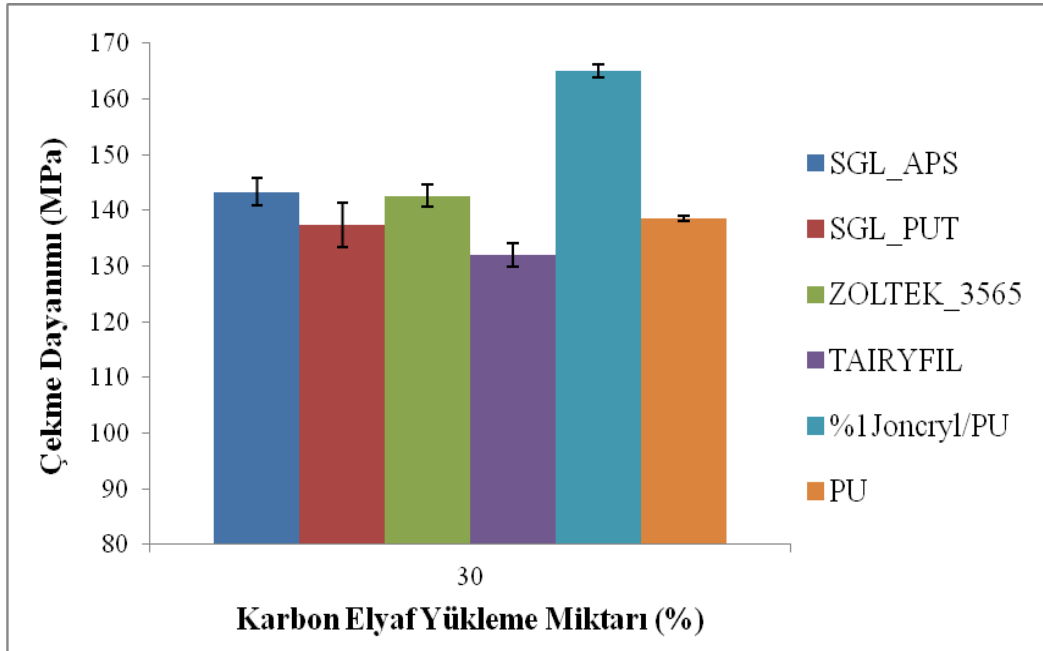


Şekil 3.92. Joncryl bağlanma ajanı miktarının PU ön kaplanmış KE takviyeli PBT karmaların çekme dayanımı üzerine etkisi

Şekil 3.92 incelendiğinde % 1 Joncryl ilavesiyle çekme dayanımında % 19'luk bir artış meydana gelirken % 2 Joncryl ilavesiyle bu artışın % 7'ye düştüğü görülmektedir. Buradan, en uygun Joncryl yükleme miktarının % 1 olduğu, bu noktadan sonra artan Joncryl miktarıyla çekme dayanımında daha fazla artış elde edilemeyeceği sonucuna varılabilir.

Tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde bağlanma ajanı kullanımının tüm karmaların çekme dayanımında bir miktar artış sağladığı görülmüştür. Ancak her bağlanma ajanı için en yüksek artışın sağlandığı yükleme miktarının farklı olduğu elde edilen bir diğer sonuçtur. Örneğin P ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda bağlanma ajanı miktarı % 0,3 iken, en yüksek çekme dayanımı değerleri elde edilirken PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalarda bağlanma ajanı % 1 iken en yüksek çekme dayanımı elde edilmiştir. Elde edilen bir diğer önemli sonuç ise en yüksek çekme dayanımı değerine, PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 1 oranında Joncryl eklenmesiyle ulaşılabildiği olmuştur. Bu sayede çekme dayanımında yaklaşık 26 MPa değerinde bir artış sağlanmış ve rakip firmaların ürünleri ile karşılaştırıldığında düşük çekme dayanımına sahip olduğu görülen karmaların bu özellikleri iyileştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan karbon elyafa eşdeğer özellikte, farklı ticari ürünler kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların çekme dayanımı değerleri, % 1 Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş, PU ön kaplanmış elyaf takviyeli, PBT matrisli karmaların çekme dayanımı değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 3.93'te verilmiştir.



Şekil 3.93. Bağlanma ajanı içeren karmaların çekme dayanımının rakip ürünler kullanılarak hazırlanan PBT karmaların çekme dayanımları ile karşılaştırılması

Şekil 3.93 göstermektedir ki bağlanma ajanı eklenmeden önce, yerli KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerleri rakip ürünler kullanılarak hazırlanan karmaların çekme dayanımı değerlerinden düşük iken, % 1 oranında Joncryl ilavesiyle karmaların çekme dayanımında büyük oranda artış meydana gelmiştir. Bu artış sonucunda PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalar en yüksek çekme dayanımı değerini vermiştir.

PBO, polikondenzasyon ile üretilen polimerlerde zincir uzatıcılık görevini, karboksilik asit uç gruplarını bağlayarak yerine getirirken, CBC ise hidroksil ve amin uç grupları ile tepkimeye girerek zincir uzatıcılık görevini yerine getirir (Scheirs ve Long, 2003), (Buccella ve diğ., 2013). Joncryl ve PDI ise bu görevi hem hidroksil hem de karboksil gruplar ile tepkimeye girerek gerçekleştirebilir (Aksoy, 2008), (Chaloupi, 2011).

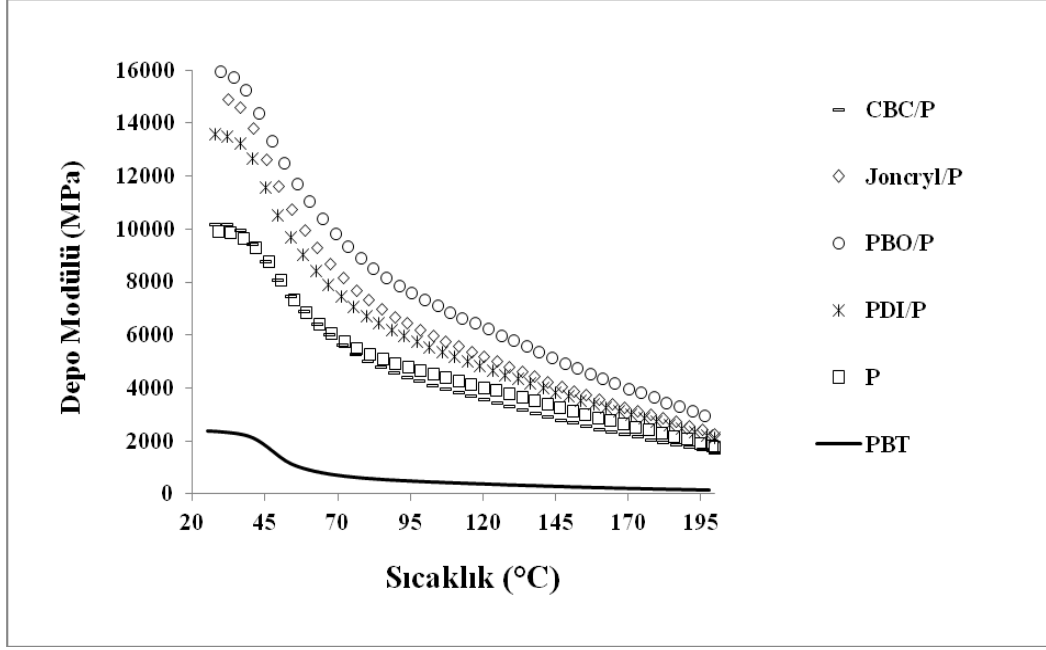
Elyaf yüzeylerine uygulanan XPS analizinde tüm KE türlerinin yüzeylerindeki karboksil ve hidroksil içeren fonksiyonel grup miktarları Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1 tekrar değerlendirildiğinde, ön kaplanmamış ve PU ön kaplanmış KE yüzeylerindeki hidroksil ve karboksil gibi fonksiyonel grup yüzdelerinin diğer tüm ön kaplanmış elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grup yüzdelerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yapısında yüksek miktarda epoksi grupları içeren Joncryl bağlanma ajanının (Tang ve diğ., 2013), hem hidroksil hem de karboksil gruplarla tepkimeye girerek PU ön kaplanmış KE ve PBT matris arasında bağlanma görevi görmesi ve bu sayede çekme dayanımına katkıda bulunması beklenen bir sonuçtur.

Diğer taraftan çekme dayanımında meydana gelen yüzde artış en fazla ön kaplanmamış KE takviyeli karmalarda elde edilmiş olsa da bu karmaların çekme dayanımı değerleri, ön kaplanmış KE takviyeli karmaların çekme dayanımı değerlerine ulaşamamıştır. Çünkü elyaf-matris ara yüzey yapışmasında elyaf yüzeyinde fonksiyonel grupların bulunması önemli bir etkidir. Ancak bunun yanı sıra ön kaplama malzemesinin elyafı karma üretimi sürecinde koruyarak elyaf kırılmasını önleyerek elyaf etkinliğini arttırması da önemli bir parametredir (Dilsiz ve Wightman, 2000), (Kim ve diğ., 2009). Bu nedenle ön kaplanmamış KE, işlemede daha düşük uzunluklara kırıldığı için matrisle yapışmayı sağlayacak fonksiyonel gruplara sahip olmasına rağmen ön kaplanmamış KE takviyeli karmalar daha düşük çekme dayanımı değerleri vermektedirler.

### **3.6.2. Dinamik mekanik analiz**

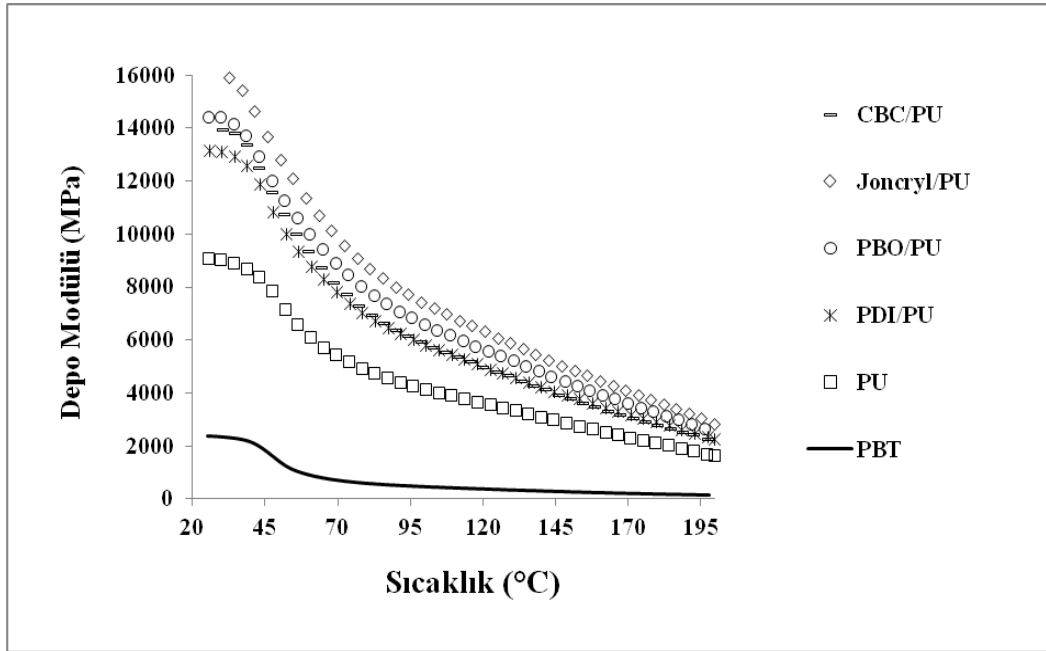
Saf PBT’nin ve % 0,3 bağlanma ajanı eklenmiş PBT matrisli karmaların sıcaklığa bağlı depo modülü değerleri incelenmiş ve Şekil 3.94-3.96’da verilmiştir.





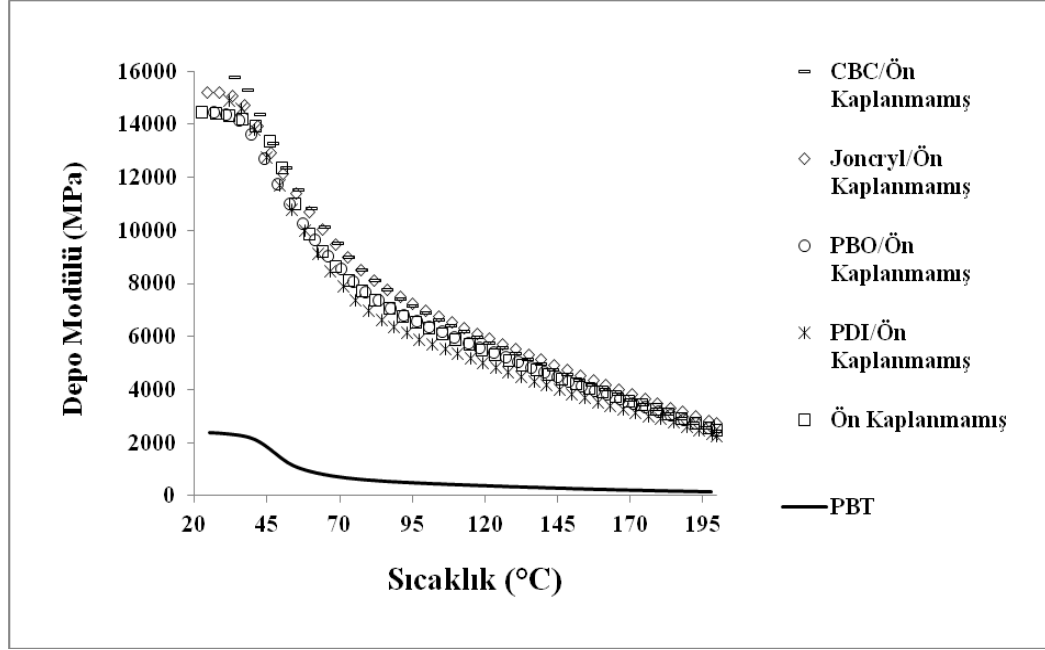
Şekil 3.94. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği

Şekil 3.94 incelendiğinde, P ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda, karmaların depo modülü değerlerinin arttığı, en yüksek depo modülü değerinin ise PBO bağlanma ajanı kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.95. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği

Şekil 3.95 incelendiğinde, PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda, karmaların depo modülü değerlerinin arttığı, en yüksek depo modülü değerlerinin ise Joncryl bağlanma ajanları kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir.



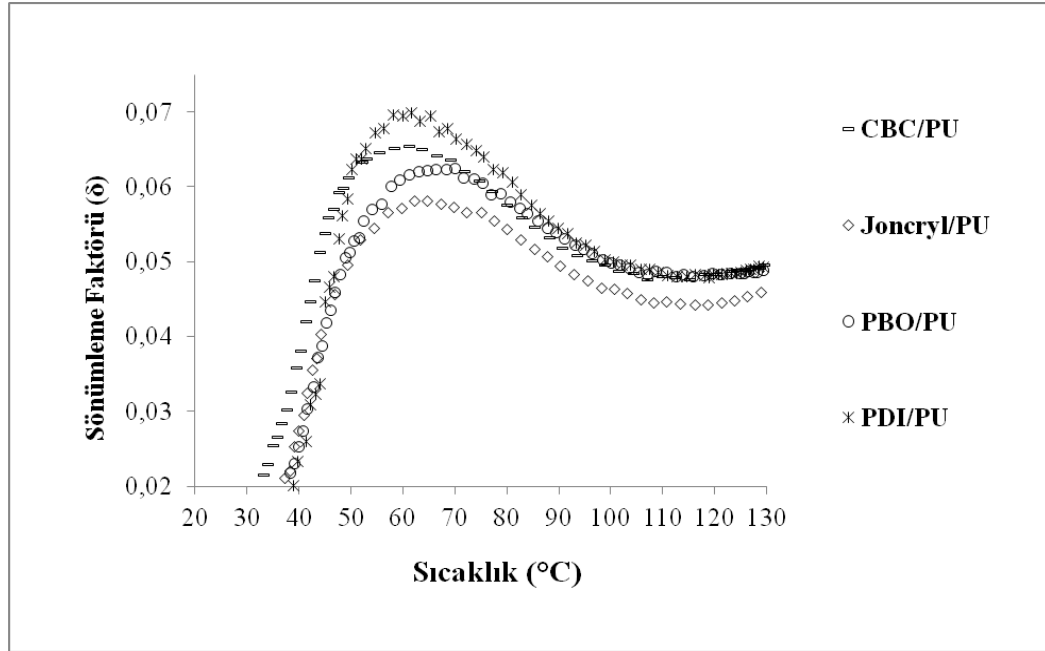
Şekil 3.96. % 0,3 oranında bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların depo modülü grafiği

Şekil 3.96 incelendiğinde, ön kaplanmamış KE takviyeli karmalara % 0,3 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklendiği durumda depo modülü değerlerinde önemli bir artış meydana gelmediği ancak bununla birlikte en yüksek depo modülü değerlerinin CBC ve Joncryl bağlanma ajanları kullanıldığı durumda elde edildiği görülmektedir.

Elyaf-matris ara yüzey yapışmasının iyi olduğu durumda matristen elyafa etkin bir gerilim transferi gerçekleştiği ve yüksek depo modülü değerleri elde edildiği göz önünde bulundurulursa, her üç KE türü kullanıldığı durumda da kullanılan bütün bağlanma ajanlarının elyaf-matris yapışmasına katkıda bulunduğu söylenebilir (Mohanty ve diğ., 2006), (Huda ve diğ., 2007).

% 1 yükleme miktarında bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış KE takviyeli PBT matrisli karmaların dinamik şartlar altında ara yüzey etkileşimlerini değerlendirmek için dinamik mekanik analiz sonucunda elde edilen sönümlenme

faktörü değerleri incelenmiştir. Buna göre kullanılan bağlanma ajanı türünün sönümleme faktörü üzerindeki etkisinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 3.97'de verilmiştir.



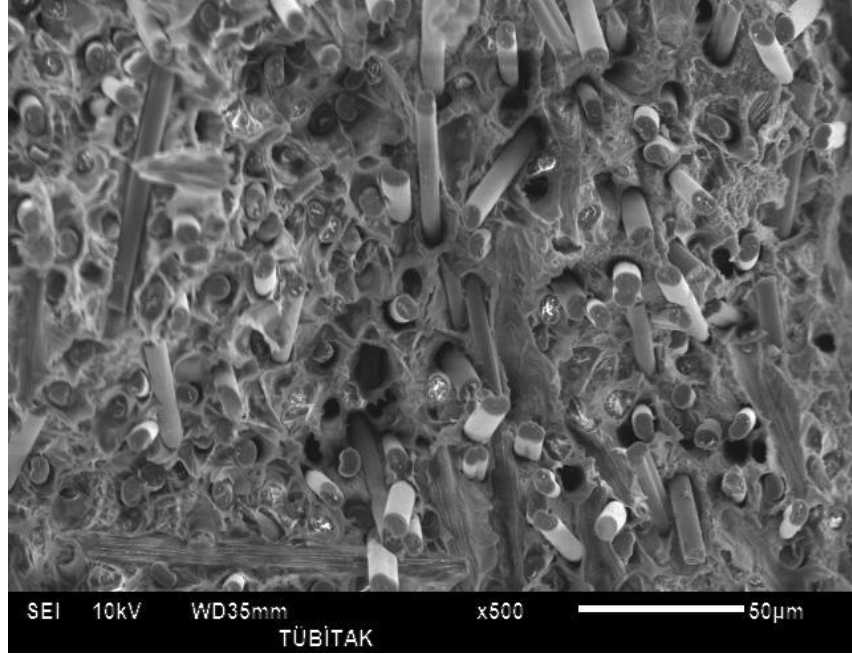
Şekil 3.97. % 1 oranında bağlanma ajanı eklenmiş n kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaların sönümleme faktörü grafiği

Bilindiği gibi, sönümleme faktörü eğrisinin altında kalan alan, malzemenin düşük uzamada uğradığı periyodik deformasyon sırasında kaybettiği enerjinin bir göstergesidir. Eğer elyaf-matris arasında kuvvetli bir ara yüzey etkileşimi sönümleme pikinin Şiddeti, zayıf ara yüzey etkileşimi olduğu duruma göre daha düşük olur.

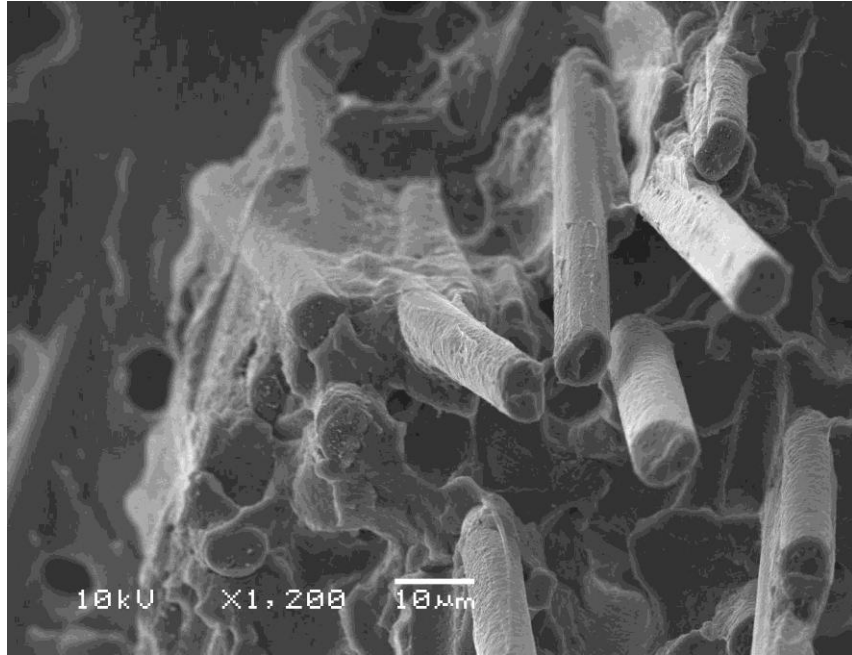
Kullanılan bağlanma ajanı türünün sönümleme faktörü üzerindeki etkisini gösteren Şekil 3.97 incelendiğinde % 1 Joncryl içeren n kaplanmamış elyaf takviyeli karmalarda daha düşük pik Şiddeti elde edildiği görülmektedir. Buradan en iyi yapışmanın Joncryl bağlanma ajanı kullanıldığı durumda elde edildiği sonucuna varılmıştır ve bu sonuç diğer test sonuçları ile de uyumludur.

### 3.6.3. SEM analizi

Ön kaplanmamış KE takviyeli, % 0,3 Joncryl içeren ve içermeyen karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.98-3.99'da verilmiştir.



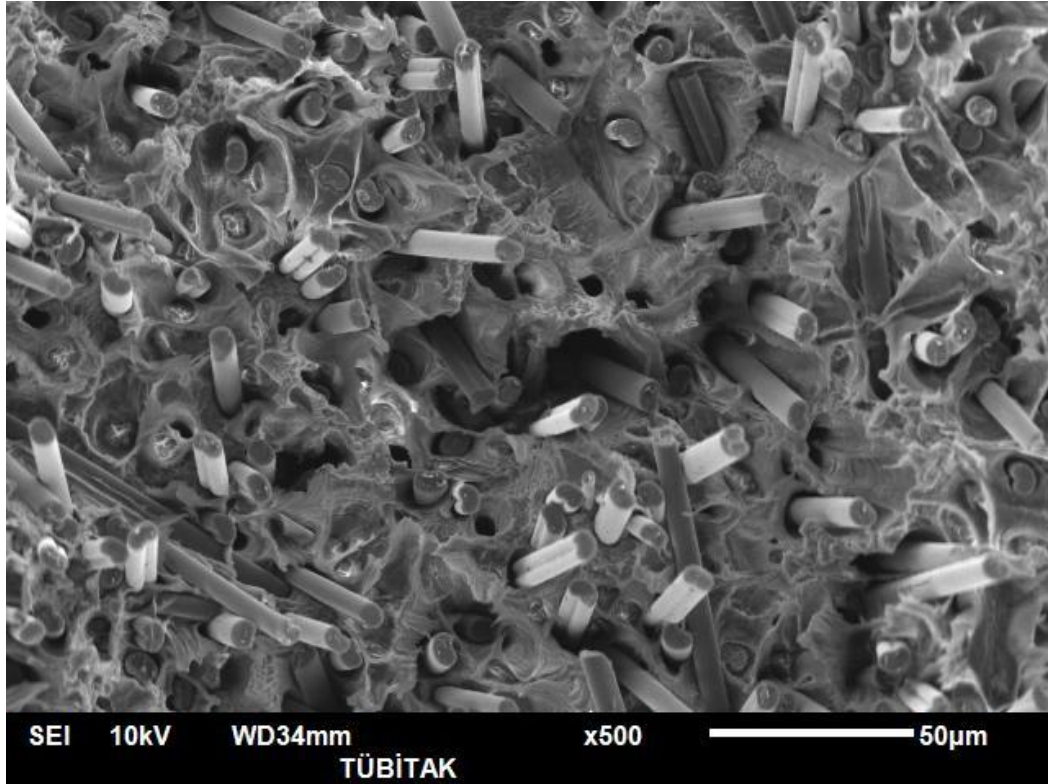
Şekil 3.98. Ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi (x500)



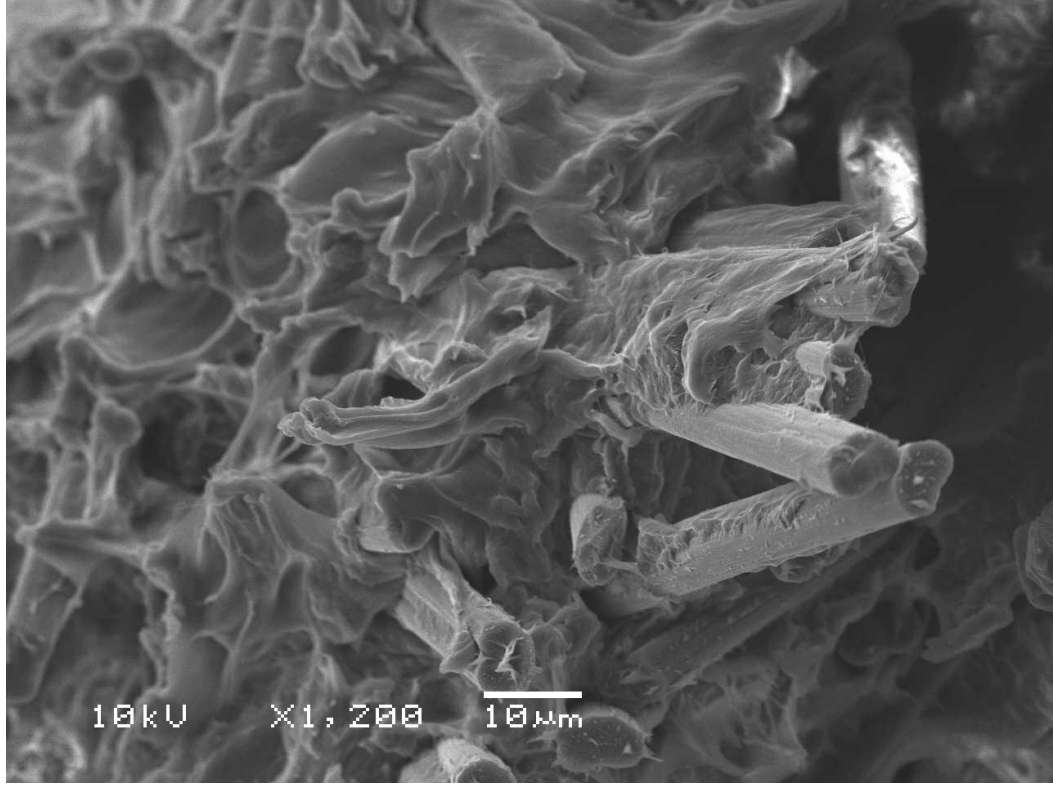
Şekil 3.99. % 0,3 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş ön kaplanmamış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi (x1200)

SEM analizi uygulanan örneklerin seçiminde, çekme dayanımında en yüksek artışı sağlayan bağlanma ajanı türü ve miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.98 incelendiğinde, Joncryl bağlanma ajanı eklenmemiş karmada çekme testi sırasında matristen ayrılan liflerin bıraktıkları boşluklar, matristen ayrılmayan liflerin ise yüzeylerinin temiz olduğu ve polimer tabakası ile kaplanmadığı açıkça görülmektedir. Joncryl bağlanma ajanı eklendiği durumda ise elyaf-matris arasındaki boşlukların kapandığı Şekil 3.99’da görülmektedir.

P ön kaplanmış KE takviyeli, % 0,3 PBO içeren ve içermeyen karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.100-3.101’de verilmiştir.



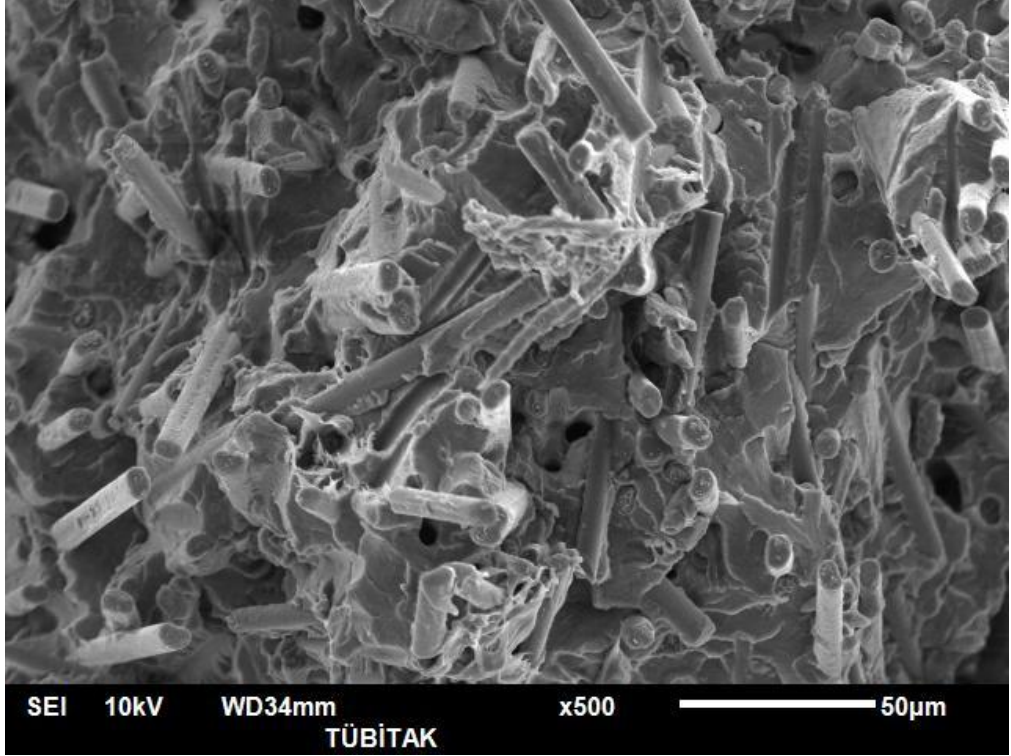
Şekil 3.100. P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x500)



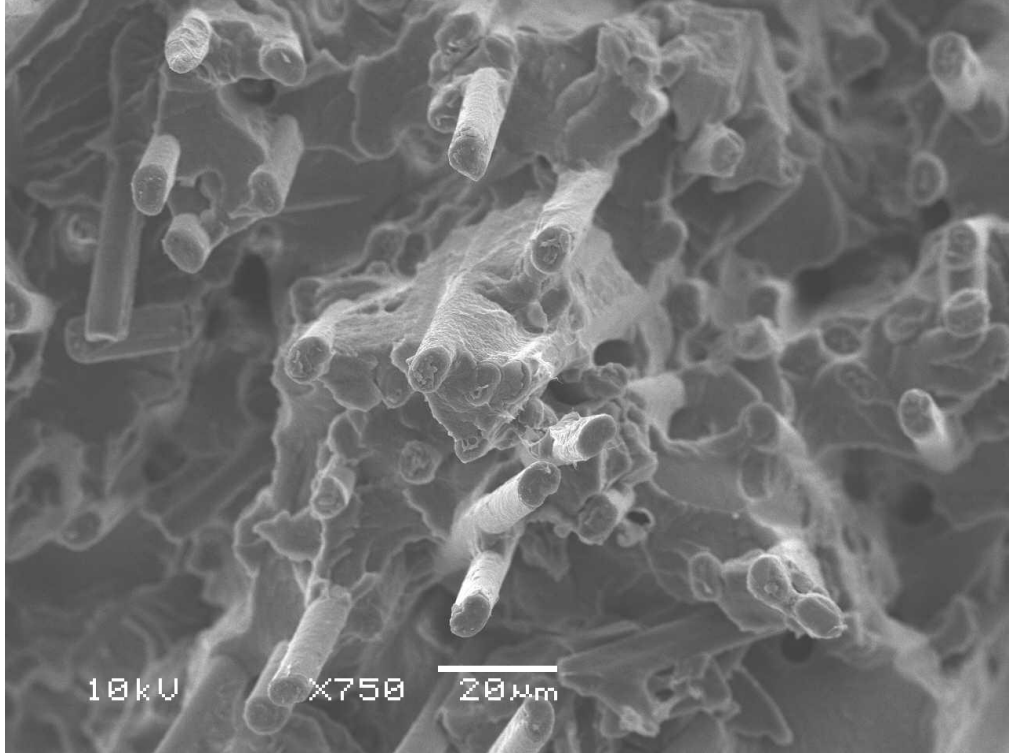
Şekil 3.101. % 0,3 oranında PBO bağlanma ajanı eklenmiş, P ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x1200)

Şekil 3.100 incelendiğinde, PBO bağlanma ajanı eklenmemiş karmada çekme testi sırasında matrinden ayrılan liflerin bıraktıkları boşluklar, matrinden ayrılmayan liflerin ise yüzeylerinin temiz olduğu ve polimer tabakası ile kaplanmadığı görülürken, Şekil 3.101’de ise PBO bağlanma ajanı eklendiği durumda elyaf-matris arasındaki boşlukların kapandığı görülmektedir.

PU ön kaplanmış KE takviyeli, % 1 Joncryl içeren ve içermeyen karmaların kırılma yüzeylerine ait SEM mikrografları Şekil 3.102-3.104’te verilmiştir.



Şekil 3.102. PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi (x500)



Şekil 3.103. % 1 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografi (x750)



Şekil 3.104. % 1 oranında Joncryl bağlanma ajanı eklenmiş PU ön kaplanmış elyaf takviyeli PBT karmaya ait SEM mikrografı (x1200)

PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaya ait SEM mikrografı incelendiğinde (Şekil 3.102), bağlanma ajanı eklenmediği durumda dahi elyaf-matris arasında boşluk olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, PU ön kaplama malzemesi ile PBT matris arasındaki yapışmanın iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bununla birlikte, Joncryl bağlanma ajanı eklendiği durumda (Şekil 3.103 ve Şekil 3.104), elyaf-matris arasında boşluklara rastlanmamasının yanı sıra elyaf yüzeylerinin polimerik matris tabakasıyla kaplandığı görülmektedir. Bu durum, % 1 Joncryl bağlanma ajanı eklendiği durumda elyaf-matris arasındaki yapışmanın daha da iyileşmesinden meydana gelmekte ve diğer test sonuçları ile de örtüşmektedir.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Poliamit 6,6 (PA 6,6) ve Poli(bütülen tereftalat) (PBT) matrisli karmalar hazırlanmıştır. Takviye malzemesi olarak ise ön kaplanmamış ve beş farklı ön kaplama malzemesiyle kaplanmış KE türü kullanılmıştır. Kaplama malzemeleri ise, poliüretan (PU), fenoksi (PHE), poliimid (PI), epoksi+fenoksi (EPO\_PHE) ve poliamit (PA) olarak seçilirken KE kaplama miktarları ise kaplama çözeltilisinin değişen derişimine bağılı olarak % 1, 2 ve 3 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak her ön kaplama türünün ve miktarının hazırlanan karmaların mekanik, termomekanik ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Her iki matris malzemesi kullanıldığı durumda da en iyi sonuç veren ön kaplanmış KE takviyeli matris türü için, matris modifikasyonu yöntemi kullanılarak elyaf-matris arasındaki yapışmanın daha da iyileştirilmesine çalışılmıştır. Ayrıca, piyasada bulunan ve çalışmada kullanılan yerli karbon elyafa eşdeğer özellikteki ticari KE türleri kullanılarak PA 6,6 ve PBT matrisli karmalar hazırlanmış ve yerli karbon elyafın takviye özelliğinin diğer firmaların elyafları ile karşılaştırılabilir düzeyde olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Çalışmada öncelikle ön kaplanmamış ve kaplanmış KE yüzeylerinin ayrıntılı karakterizasyonu amaçlanmıştır. Bunun için elyaf yüzeylerine öncelikle XPS analizi yapılmıştır. XPS analizi sonucunda ön kaplama yapılmamış KE yüzeylerindeki fonksiyonel grup yüzdesinin, ön kaplanmış elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grup yüzdesinden daha fazla olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra ön kaplanmış elyaf türleri karşılaştırıldığında ise fonksiyonel grup yüzdesi en yüksek çıkan elyaf türü PU ön kaplanmış elyaf olmuştur. Ardından, işleme sırasında, elyaf yüzeylerindeki fonksiyonel grupların miktarlarında değişiklik olup olmadığının incelenmesi amacıyla işleme sıcaklığına işleme süresi boyunca maruz bırakılan PA, PU ve PI ön kaplanmış elyaf türlerine XPS analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, elyaf yüzeylerindeki hidroksil grup yüzdesinin arttığını, karbonil içeren grupların ise kaybolduğunu göstermiştir.

Ön kaplanmamış ve kaplanmış elyaf türlerindeki ön kaplama malzemesinin ısıl kararlılıklarının incelenmesi amacıyla TGA yapılmıştır. TGA sonucunda, EP/P, PI ve P ön kaplama malzemelerinin karma üretim sıcaklığı olan 285 °C’de ısıl olarak kararlı oldukları ve bozunmaya 300 °C’de başladıkları görülmüştür. Ancak PU ve PA ön kaplanmış elyaf türlerinin ısıl bozunmalarının sırasıyla 270 ve 280 °C’de başladığı ve bu sıcaklıkların PA 6,6 matrisli karma üretim sıcaklığının altında olduğu görülmüştür. Buradan, bu iki kaplama malzemesinin karma üretimi süresince bir miktar bozundukları sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, bu iki ön kaplama malzemesinin karma üretimi süresince meydana gelen bozunma miktarları, izotermal TGA ile incelenmiştir. Sonuçlar, PU kaplama malzemesinin üretim sürecinde kütesinin % 0,48’ini, PA kaplama malzemesinin ise kütesinin % 0,30’unu kaybettiğini göstermiştir. Ayrıca izotermal TGA sonuçlarına göre, ön kaplama malzemesinin ısıl bozunması, sıcaklığa olduğu kadar bu sıcaklığa maruz kaldığı süreye de bağlıdır.

Ön kaplama malzemelerinin ve matris malzemesinin yüzey serbest enerjileri ve yapışma işi değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek yüzey enerjisi ve yapışma işi değerlerinin PU ön kaplama malzemesine ait olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla, PU ön kaplama malzemesinin diğer ön kaplama malzemeleri ile karşılaştırıldığında PA 6,6 ve PBT matrisler ile daha iyi ıslanabildiği sonucuna varılmıştır.

PA 6,6 matrisli karmaların karakterizasyonu için çekme, elyaf uzunluk dağılımı analizi, darbe testi, dinamik mekanik analiz ve SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Karmalara uygulanan çekme testi sonucunda, ön kaplama türünün ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde, PA ve PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaların en yüksek çekme dayanımı değerlerini verdikleri görülmüştür. Ayrıca kaplama miktarının çekme dayanımı üzerindeki etkisinin kullanılan ön kaplama malzemesinin türüne bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Kullanılan kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, karmaların kopma uzaması değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, ön kaplanmış elyaf türleri içinde en yüksek kopma uzaması değerinin PA ve PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edildiği görülmüştür.

Kullanılan kaplama malzemesinin türünün ve miktarının, karmaların modül değerleri üzerine etkisi incelendiğinde, her üç kaplama miktarı kullanıldığı durumda da en yüksek modül değerinin PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edildiği görülmüştür. Ayrıca PU ön kaplanmış KE türünün karma üretimi sürecinde en az kırılmaya uğrayan elyaf türü olduğu sonucu, elyaf uzunluk dağılımı analizi ile belirlenmiştir.

Karmaların darbe dayanımı değerleri üzerine kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının etkisi incelendiğinde, kaplama miktarının darbe dayanımı değerlerini önemli ölçüde etkilemediği ve her üç kaplama miktarında da PA ve PU ön kaplanmış KE takviyeli karmaların en yüksek darbe dayanımı değerlerini verdiği görülmüştür.

Karmalara uygulanan DMA sonuçları değerlendirildiğinde, PA 6,6 matrise elyaf ilavesi, matrisin depo modülü değerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca en yüksek depo modülü değeri PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda elde edilmiştir. Elyaf-matrisin ara yüzey yapışmasının niteliğini değerlendirmede etkili bir yöntem olan sönümleme faktörü değerleri incelendiğinde en iyi yapışmanın PU ve PA ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda olduğu ancak kaplama miktarının bu sonucu etkilemediği görülmüştür.

SEM analizi sonuçları ise diğer analiz sonuçlarını destekler nitelikte olup en iyi ara yüzey yapışmasının PA ve PU ön kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumda elde edildiğini göstermiştir.

PA 6,6 matrisli karmalar için tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde ise, ön kaplanmamış ve kaplanmış elyaf türleri içinde, PA ve PU ön kaplanmış elyaf türlerinin PA 6,6 matris ile kullanıldıkları durumda en yüksek mekanik ve termomekanik sonuçların elde edildiği bulunmuştur. Kullanılan kaplama miktarının karmaların özellikleri üzerine etkisi incelendiğinde, ön kaplama malzemesi değiştikçe karmaların en yüksek çekme dayanımı değerini verdikleri kaplama miktarının da değiştiği, ancak kullanılan kaplama miktarının, karmaların darbe dayanımı ve depo modülü üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür.

PBT matrisli karmaların karakterizasyonu için çekme testi, elyaf uzunluk dağılımı analizi, darbe testi, elektriksel iletkenlik ve taramalı elektron mikroskopu analizleri ile dinamik mekanik analiz yapılarak, kaplama malzemesinin türünün ve miktarının karmaların mekanik, termo-mekanik, elektriksel ve morfolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Karmalara uygulanan çekme testi sonucunda, ön kaplama türünün ve miktarının çekme dayanımı üzerine etkisi incelendiğinde her üç kaplama miktarında da PU ve P ön kaplanmış elyaf takviyeli karmaların en yüksek çekme dayanımı, modül ve kopma uzaması değerlerini verdikleri, bununla birlikte kaplama miktarının çekme dayanımı, modül ve kopma uzaması üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür. Ayrıca PU ön kaplanmış KE türünün karma üretimi sürecinde en az kırılmaya uğrayan elyaf türü olduğu sonucu, elyaf uzunluk dağılımı analizi ile belirlenmiştir.

Karmaların darbe dayanımı değerleri üzerine kullanılan ön kaplama malzemesinin türünün ve miktarının etkisi incelendiğinde, kaplama miktarının darbe dayanımı değerlerini önemli ölçüde etkilemediği ve her üç kaplama miktarında da PU ve P ön kaplanmış KE takviyeli karmaların en yüksek darbe dayanımı değerlerini verdiği görülmüştür.

Karmalara uygulanan dinamik mekanik analiz sonucunda, elyaf-matrisin ara yüzey yapışması sönümlenme faktörü değerleri ile değerlendirildiğinde, en iyi yapışmanın PU ön kaplanmış elyaf takviyeli karmalarda olduğu görülmüştür. Ayrıca PU ön kaplama türü için kaplama miktarları incelendiğinde ise en iyi sonuç % 1 kaplama miktarında elde edilmiştir.

SEM analizi sonuçları ise diğer analiz sonuçlarını destekler nitelikte olup en iyi ara yüzey yapışmasının PU ön kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumda elde edildiğini göstermiştir.

PBT matrisli karmalar için tüm sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde, ön kaplanmamış ve kaplanmış elyaf türleri içinde, P ve özellikle PU ön kaplanmış elyaf türlerinin PBT matris ile kullanıldıkları durumda en yüksek mekanik ve termomekanik sonuçları verdiği bulunmuştur. Kullanılan kaplama miktarının

karmaların özellikleri üzerine etkisi incelendiğinde ise, tüm kaplama türlerinin % 1 kaplama miktarında en yüksek çekme dayanımı değerini verdikleri, ancak kullanılan kaplama miktarının karmaların darbe dayanımı değerini önemli derecede etkilemediği görülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan KE türleri, KE üretimi yapan yerli bir firmadan temin edilmiştir. Bu sebeple, piyasada ticari olarak satılan ve çalışmada kullanılan karbon elyafa eş değer özellikteki KE türleri kullanılarak PA 6,6 ve PBT matrisli karmalar hazırlanmış ve bu karmaların özellikleri yerli KE kullanılarak hazırlanan karmaların özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan ön kaplanmış KE türleri, PA 6,6 matrisle kullanıldıkları durumda diğer ticari ürünlere göre daha iyi çekme dayanımı, kopma uzaması ve darbe dayanımı sonuçları verirken, PBT matrisle kullanıldıklarında aynı başarıyı sağlayamamışlardır.

PA 6,6 matris için en iyi sonucu veren PU ve PA kaplama türleri ile ön kaplanmamış karbon elyafın, PA 6,6 matris ile yapışmasının iyileştirilmesi amacıyla matris modifikasyonu yöntemi kullanılarak karmanın özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Üretilen karmalara çekme testi, DMA ve SEM analizleri yapılarak kullanılan bağlanma ajanı türünün ve miktarının karmaların mekanik ve termomekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, PA ve PU ön kaplanmış elyaf ile takviye edilmiş karmaların bağlanma ajanı ile kullanıldıkları durumda çekme dayanımı ve depo modülü değerlerinin azalmaktadır. Ancak bununla birlikte, ön kaplanmamış elyaf takviyeli karmalarda PBO, CBC ve Joncryl bağlanma ajanlarının karmanın çekme dayanımını arttırdığı, en yüksek çekme dayanımı değerinin ise PBO bağlanma ajanının % 1 yükleme miktarında kullanılmasıyla elde edildiği bulunmuştur. Elde edilen dinamik mekanik analiz sonuçlarının da çekme testi sonuçlarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Ön kaplanmamış KE takviyeli karmalara % 1 yükleme miktarında PBO bağlanma ajanı ilavesiyle mekanik özelliklerde elde edilen bu artış birçok olumlu sonucu beraberinde getirmektedir. Bu sonuçlardan en önemlisi, ön kaplama yapılmaksızın sadece bağlanma ajanı ilavesiyle, karmanın mekanik özelliklerinin ön kaplanmış elyaf takviyeli karmanın mekanik özelliklerine yaklaşmasının, ön kaplama işleminin zaman, maliyet ve benzeri açılardan değerlendirilmesini gerekli hale getirmiş

olmasıdır. Başka bir deyişle, ön kaplama işlemi karmanın mekanik özelliklerine katkı sağlarken diğer yandan da maliyet gerektiren bir işlemdir. Ön kaplama yapılmaksızın sadece bağlanma ajanı kullanılarak da karmanın mekanik özelliklerinde elde edilebilecek bu iyileşme ön kaplama işleminin gerekliliğinin ve yeterliliğinin sorgulanmasına sebep olabilecek başarıda olmuştur.

PBT matris için en iyi sonucu veren PU ve P kaplama türleri ile ön kaplanmamış karbon elyafın, PBT matris ile yapışmasının iyileştirilmesi amacıyla matris modifikasyonu yöntemi kullanılarak karmanın özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Üretilen karmalara çekme testi, DMA ve SEM analizleri yapılarak kullanılan bağlanma ajanı türünün ve miktarının karmaların mekanik ve termomekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ön kaplanmamış, P ve PU ön kaplanmış KE ile takviye edilmiş karmaların bağlanma ajanı ile kullanıldıkları durumda çekme dayanımı ve depo modülü değerlerinin artmıştır. Bununla birlikte, en yüksek çekme dayanımı değeri ise PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 1 yükleme miktarında, Joncryl bağlanma ajanının ilavesiyle elde edilmiştir. Elde edilen DMA sonuçlarının da çekme testi sonuçlarını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında, piyasada bulunan bazı ticari KE türleri kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların özellikleri, yerli KE kullanılarak hazırlanan karmaların özellikleri ile karşılaştırıldığında diğer ticari elyaf türlerinin daha yüksek mekanik özellikler sergilediği bulunmuştur. Dolayısıyla yerli KE kullanılarak hazırlanan PBT matrisli karmaların özelliklerinin iyileştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu sebeple PU ön kaplanmış KE takviyeli karmalara % 1 yükleme miktarında Joncryl bağlanma ajanı ilavesiyle özellikle çekme dayanımında meydana gelen yaklaşık 26 MPa'lık artış dikkate alınması gereken bir sonuçtur. Bu sayede düşük miktarda bağlanma ajanı kullanımıyla karmanın çekme dayanımında yüksek miktarda bir artış elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Ahmadnia A., Energy absorption of macrocomposite laminates, Ph.D. Thesis, Queen Mary and Westfield College University of London, Institute of Applied Science, London, 2000.

Aksoy E. A., Synthesis and surface modification studies of biomedical polyurethanes to improve long term biocompatibility, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2008, 176715.

Archondouli P. S., Kalfoglou N. K., Compatibilization and properties of PBT/PU polymeric alloys, *Polymer*, 2001, **42**, 3489-3502.

Ashida M., Noguchi T., Effect of matrix's type on the dynamic properties for short fiber-elastomer composite, *J. Appl. Polym. Sci.*, 1985, **30**, 1011-1021.

Ashida M., Noguchi T., Moduli for short fiber-CR composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 1984, **29**, 661-670.

Aurrekoetxea J., Zurbitu J., Ortiz de Mendibil I., Agirregomezkorta A., Sánchez-Soto M., Sarrionandia M., Effect of superelastic shape memory alloy wires on the impact behavior of carbon fiber reinforced in situ polymerized poly(butylene terephthalate) composites, *Materials Letters*, 2011, **65**, 863-865.

Baird D. G., Polymer processing, Editor: Meyers R. A., *Encyclopedia of physical science and technology-polymers*, 3th ed., Elsevier, New York, 611-643, 2001.

Baker A. M. M., Mead J., Thermoplastics, Editor: Harper C. A., *Modern plastics handbook*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, 18-23, 2000.

Bindell J. B., Scanning electron microscopy, Editors: Brundle C. R., Evans C. A., Wilson S., *Encyclopedia of materials characterization*, 1st ed., Butterworth-Heinemann, Greenwich, 70-84, 1992.

Bismarck A., Richter D., Wuertz C., Springer C., Basic and acidic surface oxides on carbon fiber and their influence on the expected adhesion to polyamide, *Colloid. Surface. A*, 1999, **159**, 341-350.

Botelho E. C., Figiel Ł., Rezende M., Lauke C. B., Mechanical behavior of carbon fiber reinforced polyamide composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2003, **63**, 1843-1855.

Botelho E. C., Rezende M. C., Monitoring of carbon fiber/polyamide composites processing by rheological and thermal analyses, *Polym-Plast. Technol.*, 2006, **45**, 61-69.

Botelho E. C., Nogueira C. L., Rezende M. C., Monitoring of nylon 6,6/carbon fiber composites processing by X-ray diffraction and thermal analysis, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2002, **86**, 3114-3119.

Bourgeois P., Davidson T., Plasma modifications to the interface in carbon fiber reinforced thermoplastic matrices, *J. Adhesion.*, 1994, **45**, 73-88.

Böhme F., Jakisch L., Komber H., Wursche R., Multifunctional coupling agents. Part 4: Block copolymers based on amino terminated polyamide-12 and carboxy terminated poly(butylene terephthalate), *Polym. Degrad. Stabil.*, 2007, **92**, 2270-2277.

Brooks R. A., Jones E., Storer A., Rushton N., Biological evaluation of carbon-fibre-reinforced polybutyleneterephthalate (CFRPBT) employed in a novel acetabular cup, *Biomaterials*, 2004, **25**, 3429-3438.

Buccella M., Dorigato A., Caldara M., Pasqualini E., Thermo-mechanical behaviour of Polyamide 6 chain extended with 1,1'-Carbonyl-Bis-Caprolactam and 1,3-Phenylene-Bis-2-Oxazoline, *J. Polym. Res.*, 2013, **20**, 225-234.

Cailloux J., Santana O. O., Franco-Urquiza E., Bou J. J., Carrasco F., Gámez-Pérez J., MasPOCH M. L., Sheets of branched poly(lactic acid) obtained by one step reactive extrusion calendaring process: melt rheology analysis, *Express Polym. Lett.*, 2013, **7**, 304-318.

Campbell F. C., *Manufacturing processes for advanced composites*, 1st ed., Elsevier, Oxford, 2004.

Cao X., Antifouling properties of smooth and structured polyelectrolyte thin films, Ph.D. Thesis, Ruprecht-Karls University of Heidelberg, Combined Faculties for the Natural Sciences and for Mathematics, Heidelberg, 2008.

Chaloupi N. N., Development of polylactide-clay nanocomposites for food packaging applications, Master of Science Thesis, Université De Montréal, Institute of Applied Science, Montreal, 2011.

Chen W., Yu Y., Li P., Wang C., Zhou T., Yang X., Effect of new epoxy matrix for T800 carbon fiber/epoxy filament wound composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2007a, **67**, 2261-2270.

Chen Z., Liu X., Lü R., Li T., Friction and wear mechanisms of PA66/PPS blend reinforced with carbon fiber, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007b, **105**, 602-608.

Chen Y., Wang X., Wu D., Recycled carbon fiber reinforced poly(butylene terephthalate) thermoplastic composites: fabrication, crystallization behaviors and performance evaluation, *Polym. Adv. Technol.*, 2013, **24**, 364-375.

Choi M. H., Jeon B. H., Chung I. J., The effect of coupling agent on electrical and mechanical properties of carbon fiber/phenolic resin composites, *Polymer*, 2000, **41**, 3243-3252.



Chung D. D. L., *Carbon fiber composites*, 1st ed., Butterworth-Heinemann, Washington, 1994.

Crosby J. M., Drye T. R., Fracture studies of discontinuous fiber reinforced thermoplastic composites, *J. Reinf. Plast. Comp.*, 1987, **6**, 162-177.

Dai K., Shi F., Zhang B., Li M., Zhang Z., Effect of sizing on carbon fiber surface properties and fibers/epoxy interfacial adhesion, *Appl. Surf. Sci.*, 2011, **257**, 6980-6985.

Dai Z., Zhang B., Shi F., Li M., Zhang Z., Gu Y., Chemical interaction between carbon fibers and surface sizing, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2012, **124**, 2127-2132.

Dányádi L., Gulyás J., Pukánszky B., Coupling of carbon fibers to polycarbonate: surface chemistry and adhesion, *Compos. Interface.*, 2003, **10**, 61-76.

Dilsiz N., Wightman J. P., Surface analysis of unsized and sized carbon fibers, *Carbon*, 1999, **37**, 1105-1114.

Dilsiz N., Wightman J. P., Effect of acid–base properties of unsized and sized carbon fibers on fiber:epoxy matrix adhesion, *Colloid. Surface. A*, 2000, **164**, 325-336.

Doganci M. D., Cansoy C. E., Ucar I. O., Erbil H. Y., Mielczarski E., Mielczarski J. A., Combined XPS and contact angle studies of flat and rough ethylene-vinyl acetate copolymer films, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2012, **124**, 2100-2109.

Dong S., Gauvin R., Application of dynamic mechanical analysis for the study of the interfacial region in carbon fiber/ epoxy composite materials, *Polym. Composite.*, 1993, **14**, 414-420.

Ebewele R. O., *Polymer science and technology*, 1st ed., CRC Press LLC, Florida, 2000.

Erbil H. Y., *Surface chemistry of solid and liquid interfaces*, 1st ed., Blackwell Publishing, London, 2006.

Erden S., Ho K. K. C., Lamoriniere S., Lee A. F., Yildiz H., Bismarck A., Continuous atmospheric plasma oxidation of carbon fibres: influence on the fibre surface and bulk properties and adhesion to polyamide 12, *Plasma Chem. Plasma P.*, 2010, **30**, 471-487.

Fakirov S., Radusch I. H. J., Poly(butylene terephthalate), Editor: Fakirov S., *Handbook of thermoplastic polyesters: homopolymers, copolymers, blends, and composites*, 1st ed., Wiley, Weinheim, 389-419, 2002.

Farahani G. N., Ahmad I., Mosadeghzad Z., Effect of fiber content, fiber length and alkali treatment on properties of kenaf fiber/UPR composites based on recycled PET wastes, *Polym-Plast. Technol.*, 2012, **51**, 634-639.

Felix J. M., Gatenholm P., The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene, *J. Appl. Polym. Sci.*, 1991, **42**, 609-620.

Fowkes F. M., Role of acid-base interfacial bonding in adhesion, *J. Adhes. Sci. Technol.*, 1987, **1**, 7 – 27.

Fu S. Y., Lauke B., Mader E., Yue C. Y., Hu X., Mai Y. W., Hybrid effects on tensile properties of hybrid short glass fiber and short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *J. Mater. Sci.*, 2001, **36**, 1243-1251.

Fu S. Y., Lauke B., Mader E., Yue C. Y., Hu X., Tensile properties of short glass fiber and short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Compos. Part A-Appl. S.*, 2000, **31**, 1117-1125.

Fu S. Y., Lauke B., Effects of fiber length and fiber orientation distributions on the tensile strength of short-fiber-reinforced polymers, *Compos. Sci. Technol.*, 1996, **56**, 1179-1190.

Fu S. Y., Lauke B., Fracture resistance of unfilled and calcite particle-filled ABS composites reinforced by short glass fibers (SGF) under impact load, *Compos. Part A-Appl. S.*, 1998, **29**, 631-641.

Guo C., Li L., Wang Q., Investigation on the compatibilizing effect of m-isopropenyl-a,a-dimethylbenzyl isocyanate grafted polypropylene on polypropylene and wood flour composites, *Wood Sci. Technol.*, 2012, **46**, 257-270.

Hassan A., Hornsby P. R., Folkes M. J., Structure–property relationship of injection-molded carbon fibre-reinforced polyamide 6,6 composites: the effect of compounding routes, *Polym. Test.*, 2003, **22**, 185-189.

Houshyar S., Shanks R. A., Hodzic A., The effect of fiber concentration on mechanical and thermal properties of fiber-reinforced polypropylene composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2005, **96**, 2260-2272.

Huda M. S., Drzal L. T., Mohanty A. K., Misra M., The effect of silane treated-and untreated-talc on the mechanical and physico-mechanical properties of poly(lactic acid)/newspaper fibers/talc hybrid composites, *Compos. Part B-Eng.*, 2007, **38**, 367-379.

Iroh J. O., Yuan W., Surface properties of carbon fibres modified by electrodeposition of polyamic acid, *Polymer*, 1996, **37**, 4197-4203.

İsbir A. A., Bazı dibenzo-bis-imino podandların camsı karbon ve modifiye camsı karbon elektrotta elektrokimyasal davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 213809.

Jang K., Cho W. J., Ha C. S., Influence of processing method on the fracture toughness of thermoplastic-modified, carbon-fiber-reinforced epoxy composites, *Compos. Sci. Technol.*, 1999, **59**, 995-1001.

- Joshi M., Maiti S. N., Misra A., Influence of fiber length, fiber orientation, and interfacial adhesion on poly (butylene terephthalate)/polyethylene alloys reinforced with short glass fibers, *Polym. Composite.*, 1994, **15**, 349-358.
- Karsli N. G., Aytac A., Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Mater. Design.*, 2011, **32**, 4069-4073.
- Karsli N. G., Aytac A., Akbulut M., Deniz V., Güven O., Effects of irradiated polypropylene compatibilizer on the properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Radiat. Phys. Chem.*, 2013, **84**, 74-78.
- Karsli N. G., Aytac A., Deniz V., Effects of initial fiber length and fiber length distribution on the properties of carbon-fiber-reinforced-polypropylene composites, *J. Reinf. Plast. Comp.*, 2012, **31**, 1053-1060.
- 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, *Compos. Interface.*, 2009, **16**, 477-491.
- King J. A., Miskioglu I., Wright-Charlesworth D. D., Van Karsen C. D., Nanoscratch testing to assess the fiber adhesion of short-carbon-fiber composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, **103**, 328-335.
- Kleimenov E., High-pressure X-ray photoelectron spectroscopy applied to vanadium phosphorus oxide catalysts under reaction conditions, Ph.D. Thesis, Mathematik und Naturwissenschaften der Technischen Universität Berlin, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin, 2005.
- Korinek Z., Steidl J., Impact properties of short carbon fiber reinforced polyamide after different treatments, *J. Mater. Sci. Lett.*, 2000, **19**, 729-731.
- Lee S. M., *Handbook of Composite Reinforcements*, 1st ed., Wiley, California, 1992.
- Li J., Interfacial studies on the O<sub>3</sub> modified carbon fiber-reinforced polyamide 6 composites, *Appl. Surf. Sci.*, 2008, **255**, 2822-2824.
- Li J., Xia Y. C., Evaluation of tribological properties of carbon fiber-reinforced PA6 composites, *Polym. Composite.*, 2010, **31**, 536-542.
- Li J., Liang Z. N., Sliding wear performance of TiO<sub>2</sub>/short carbon fiber/polyamide 66 hybrid composites, *Polym-Plast. Technol.*, 2010, **49**, 848-852.
- Li J., Zhang Y. F., Tensile strength of ABS/PA6 composites reinforced with HNO<sub>3</sub>-treated carbon fibers, *Mech. Compos. Mater.*, 2009a, **45**, 773-782.
- Li J., Zhang Y. F., The tensile properties of HNO<sub>3</sub>-treated carbon fiber reinforced ABS/PA6 composites, *Surf. Interface Anal.*, 2009b, **41**, 610-614.
- Li J., Cai C. L., The carbon fiber surface treatment and addition of PA6 on tensile properties of ABS composites, *Curr. Appl. Phys.*, 2011, **11**, 50-54.

Li Y., Mai Y. W., Ye L., Effects of fibre surface treatment on fracture-mechanical properties of sisal-fibre composites, *Compos. Interface.*, 2005, **12**, 141–163.

Licea-Claverie A., Valdez J. O., Garcia-Hernandez E., Zizumbo A., Álvarez-Castillo A., Castano V. M., Reprocessing effects on the properties of a hybrid nylon 6,6-composite reinforced with short glass and carbon fibers, *J. Reinf. Plast. Comp.*, 2002, **21**, 847-856.

Linares A., Canalda J. C., Cagiao M. E., Ezquerra T. A., Conducting nanocomposites based on polyamide 6,6 and carbon nanofibers prepared by cryogenic grinding, *Compos. Sci. Technol.*, 2011, **71**, 1348-1352.

Liu L., Yu J., Cheng L., Qu W., Mechanical properties of poly(butylene succinate) (PBS) biocomposites reinforced with surface modified jute fibre, *Compos. Part A-Appl. S.*, 2009, **40**, 669–674.

Luner P. E., Oh E., Characterization of the surface free energy of cellulose ether films, *Colloid. Surface. A.*, 2001, **181**, 31-48.

Luo Y., Zhao Y., Duan Y., Du S., Surface and wettability property analysis of CCF300 carbon fibers with different sizing or without sizing, *Mater. Design.*, 2011, **32**, 941-946.

Mäder E., Study of fibre surface treatments for control of interphase properties in composites, *Compos. Sci. Technol.*, 1997, **57**, 1077-1088.

Mago G., Kalyon D. M., Fisher F. T., Polymer crystallization and precipitation-induced wrapping of carbon nanofibers with PBT, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2009, **114**, 1312-1319.

Mark H. F., *Encyclopedia of polymer science and technology*, 4th ed., Wiley, California, 2004.

Mazumdar S. K., *Composites manufacturing - materials, product, and process engineering*, 1st ed., CRC Press, London, 2002.

McMahon P. E., Ying L., Effects of fiber/matrix interactions on the properties of graphite/epoxy composites, NASA contractor report 3607, New Jersey, 1982.

Mei Z., Chung D. L., Glass transition and melting behavior of carbon fiber reinforced thermoplastic composite, studied by electrical resistance measurement, *Polym. Composite.*, 2000, **21**, 711-715.

Melton G. H., Peters E. N., Arisman R. K., Engineering thermoplastics, Editors: Kutz M., *Applied plastics engineering handbook: processing and materials*, 1st ed., Elsevier, New York, 2011.

Menard K. P., *Dynamic mechanical analysis a practical introduction*, 1st ed., CRC Press LLC, New York, 1999.

Miracle D. B., Donaldson S. L., Composites, Editors: Miracle D. B., Donaldson S. L., *ASM handbook*, 1st ed., ASM International, New York, 340-360, 2001.

Mironov V. S., Park M., Choe C., Kim J., Lim S., Ko H., Influence of carbon fiber surface treatments on the structure and properties of conductive carbon fiber/polyethylene films, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2002, **84**, 2040-2048.

Mohanty S., Verma S. K., Nayak S. K., Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites, *Compos. Sci. Technol.*, 2006, **66**, 538-547.

Molnár S., Rosenberger S., Gulyás J., Pukánszky B., Structure and impact resistance of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, *J. Macromol. Sci. B*, 1999, **38**, 721-735.

Nardin M., Ward I. M., Influence of surface treatment on adhesion of polyethylene fibres, *J. Mater. Sci. Technol.*, 1987, **3**, 814-826.

Ng H. Y., Lu X., Lau S. K., Thermal conductivity, electrical resistivity, mechanical and rheological properties of thermoplastic composites filled with boron nitride and carbon fiber, *Polym. Composite.*, 2005, **26**, 66-73.

Nie W. Z., Li J., Xia Y. C., Thermal expansion behaviour of coupling reagent treated carbon fibre reinforced polyamide composite, *Plast. Rubber. Compos.*, 2010a, **39**, 21-24.

Nie W. Z., Li J., Effect of carbon fibre content on friction and wear properties of carbon fibre reinforced PA6 composites, *Plast. Rubber. Compos.*, 2010, **39**, 10-15.

Nie W. Z., Li J., Zhang Y. F., Tensile properties of surface treated carbon fibre reinforced ABS/PA6 composites, *Plast. Rubber. Compos.*, 2010b, **39**, 16-20.

Nielsen L. E., Landel R. F., *Mechanical properties of polymers and composites*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, 1994.

Özkan C., Farklı ön kaplama malzemeleri ile kaplanmış karbon elyaf ile desteklenmiş polikarbonat bazlı kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013.

Ozkan C., Karsli N. G., Aytac A., Deniz V., Short carbon fiber reinforced polycarbonate composites: Effects of different sizing materials, *Compos. Part B-Eng.*, 2014, **62**, 230-235.

Ozkoc G., Bayram G., Bayramli E., Short glass fiber reinforced ABS and ABS/PA6 composites: processing and characterization, *Polym. Composite.*, 2005, **26**, 745-755.

Paul S. A., Sinturel C., Joseph K., Mathew G. D. G., Pothan L. A., Thomas S., Dynamic mechanical analysis of novel composites from commingled polypropylene fiber and banana fiber, *Polym. Eng. Sci.*, 2010, **50**, 384-395.

Piggoit M. R., The interface in carbon fibre composites, *Carbon*, 1989, **27**, 657-662.

Pracella M., Chionna D., Anguillesi I., Kulinski Z., Piorowska E., Functionalization, compatibilization and properties of polypropylene composites with hemp fibres, *Compos. Sci. Technol.*, 2006, **66**, 2218-2230.

Premphet K., Structure-property characterization of ternary phase polypropylene composites, Ph.D. Thesis, Brunel University, Department of Materials Technology, Uxbridge, 1995.

Qian X., Chen L., Huang J., Wang W., Guan J., Effect of carbon fiber surface chemistry on the interfacial properties of carbon fibers/epoxy resin composites, *J. Reinf. Plast. Comp.* 2013, **32**, 393-401.

Ramanathan T., Bismarck A., Schulz E., Subramanian K., The use of a single-fibre pull-out test to investigate the influence of acidic and basic surface groups on carbon fibres on the adhesion to poly(phenylene sulfide) and matrix-morphology-dependent fracture behaviour, *Compos. Sci. Technol.*, 2001, **61**, 1703-1710.

Rashkovan I. A., Korabelnikov Y. G., Critical length and distribution of fibrous fillers and composites, *Mech. Compos. Mater.*, 1997, **33**, 98-103.

Rauwendaal C., *Polymer extrusion*, 4th ed., Hanser Gardner Publications Inc., Munich, 2001.

Saheb D. N., Jog J. P., Natural fiber polymer composites: a review, *Adv. Polym. Technol.*, 1999, **18**, 351-363.

Scheirs J., Long T. E., Additives for the modification of poly(ethylene terephthalate) to produce engineering-grade polymers, Editor: Scheirs J., *Modern polyesters: chemistry and technology of polyesters and copolyesters*, 3th ed., Wiley, England, 494-537, 2003.

Shokoohi S., Azar A. A., Effect of coupling agents on polymer-filler surface interactions, morphology and properties of fiber-reinforced thermoplastics, *J. Reinf. Plast. Comp.*, 2009, **28**, 2131-2142.

Shokoohi S., Arefazar A., Khosrokhavar R., Silane coupling agents in polymer-based reinforced composites: a review, *J. Reinf. Plast. Comp.*, 2008, **27**, 473-485.

Skoog D. A., Holler F. J., Crouch S. R., *Principles of instrumental analysis*, 6th ed., Thomson Brooks/Cole, USA, 894-897, 2007.

Tang W., Wang H., Tang J., Yuan H., Polyoxymethylene/thermoplastic polyurethane blends compatibilized with multifunctional chain extender, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, **127**, 3033-3039.

Thomas S., Visakh, P. M., *Handbook of engineering and specialty thermoplastics*, 1st ed., Wiley, Canada, 2011.

Threepopnatkul P., Kaerkitcha N., Athipongarporn N., Effect of surface treatment on performance of pineapple leaf fiber–polycarbonate composites, *Compos. Part B-Eng.*, 2009, **40**, 628-632.

Tsutsumi K., Ishidal S., Shibata K., Determination of the surface free energy of modified carbon fibers and its relation to the work of adhesion, *Colloid. Polym. Sci.*, 1990, **268**, 31-37.

URL - 1: [http://www2.basf.us/additives/pdfs/4300\\_TDS.pdf](http://www2.basf.us/additives/pdfs/4300_TDS.pdf), (Ziyaret Tarihi: 31 Ekim 2013).

URL - 2: [http://www.masontechnology.ie/x/Usercom\\_13.pdf](http://www.masontechnology.ie/x/Usercom_13.pdf), (Ziyaret Tarihi: 21 Haziran 2013).

URL - 3: [http://www.sglgroup.com/cms/\\_common/downloads/products/product-groups/cf/short-carbon-fibers/SIGRAFIL\\_C\\_Chopped\\_Carbon\\_Fiber\\_e.pdf](http://www.sglgroup.com/cms/_common/downloads/products/product-groups/cf/short-carbon-fibers/SIGRAFIL_C_Chopped_Carbon_Fiber_e.pdf), (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

URL - 4: <http://www.zoltek.com/wp-content/uploads/2012/05/Datasheet-PX35-CF-65.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 30 Ekim 2013).

URL - 5: [http://www.awint.com/TxtFiles/Carbon+Fiber+Reinforcements+\\_1.pdf](http://www.awint.com/TxtFiles/Carbon+Fiber+Reinforcements+_1.pdf), (Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2012).

Vegt A. K., *From polymers to plastics*, 1st ed., Delft University Press, Netherlands, 2002.

Wazir A. H., Kakakhel L., Preparation and characterization of pitch-based carbon fibers, *New Carbon Mater.*, 2009, **24**, 83-88.

Weiss R. A., Mechanical properties of polypropylene reinforced with short graphite fibers, *Polym. Compos.*, 1981, **2**, 95-101.

Wiedmer S., Gellner D., Friedrich K., Effect of electron-beam radiation on thermoplastic composites, *Plast. Rubber. Compos.*, 2005, **34**, 76-84.

Xanthos M., *Functional fillers for plastics*, 2nd ed., Wiley, Weinheim, 2010.

Xu B., Wang X., Lu Y., Surface modification of polyacrylonitrile-based carbon fiber and its interaction with imide, *Appl. Surf. Sci.*, 2006, **253**, 2695-2701.

Yang J., Xiao J., Zeng J., Bian L., Peng C., Yang F., Matrix modification with silane coupling agent for carbon fiber reinforced epoxy composites, *Fiber. Polym.*, 2013, **14**, 759-766.

Yao L., Li M., Wu Q., Dai Z., Gu Y., Li Y., Zhang Z., Comparison of sizing effect of T700 grade carbon fiber on interfacial properties of fiber/BMI and fiber/epoxy, *Appl. Surf. Sci.*, 2012, **263**, 326-333.

Yorulmaz E., Schiff bazlarının termal yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, Ankara, 170090.

Zhang R., Luo X., Ma D., Miscibility of polyhydroxy ether of bisphenol-A with ethylene terephthalate-caprolactone copolyesters, *Eur. Polym. J.*, 1995, **31**, 1011-1014.

Zhang R. L., Huang Y. D., Liu L., Tang Y. R., Su D., Xu L. W., Effect of the molecular weight of sizing agent on the surface of carbon fibres and interface of its composites, *Appl. Surf. Sci.*, 2011a, **257**, 1840-1844.

Zhang R. L., Huang Y. D., Liu L., Tang Y. R., Su D., Xu L. W., Effect of emulsifier content of sizing agent on the surface of carbon fibres and interface of its composites, *Appl. Surf. Sci.*, 2011b, **257**, 3519-3523.

Zhang R. L., Huang Y. D., Li N., Liu L., Su D., Effect of the concentration of the sizing agent on the carbon fibers surface and interface properties of its composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2012, **125**, 425-432.

Zhao F., Huang Y., Grafting of polyhedral oligomeric silsesquioxanes on a carbon fiber surface: novel coupling agents for fiber/polymer matrix composites, *J. Mater. Chem.*, 2011a, **21**, 3695-3703.

Zhao F., Huang Y., Preparation and properties of polyhedral oligomeric silsesquioxane and carbon nanotube grafted carbon fiber hierarchical reinforcing structure, *J. Mater. Chem.*, 2011b, **21**, 2867-2870.

Zhao F., Huang Y., Liu L., Bai Y., Xu L., Formation of a carbon fiber/polyhedral oligomeric silsesquioxane/carbon nanotube hybrid reinforcement and its effect on the interfacial properties of carbon fiber/epoxy composites, *Carbon*, 2011a, **49**, 2624-2632.

Zhao Y., Qiu J., Feng H., Zhang M., Lei L., Wu X., Improvement of tensile and thermal properties of poly(lactic acid) composites with admicellar-treated rice straw fiber, *Chem. Eng. J.*, 2011b, **173**, 659-666.

Zhou H., Qian Z., Meng X., Ding Y., Zhang S., Yang M., Fiber breakage and dispersion in carbon-fiber-reinforced nylon 6/clay nanocomposites, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, **106**, 1751-1756.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Karsli G.**, Aytac A., A Study on Compatibility of SEBS/EVA blends prepared by different techniques, *KGK-Kaut. Gummi Kunst.*, 2011, **64**, 15-18.
- [2] **Karsli N. G.**, Aytac A., Effects of maleated polypropylene on the morphology, thermal and mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Mater. Design*, 2011, **32**, 4069-4073.
- [3] **Karsli N. G.**, Aytac A., Deniz V., Effects of initial fiber length and fiber length distribution on the properties of carbon-fiber-reinforced-polypropylene composites, *J. Reinf Plast. Comp.*, 2012, **31**, 1053-1060.
- [4] **Karsli N. G.**, Yilmaz T., Aytac A., Ozkoc G., Investigation of erosive wear behavior and physical properties of SGF and/or calcite reinforced ABS/PA6 composites, *Compos. Part B-Eng.*, 2013, **44**, 385-393.
- [5] **Karsli N. G.**, Aytac A., Akbulut M., Deniz V., Guven O., Effects of irradiated polypropylene compatibilizer on the properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Radiat. Phys. Chem.*, 2013, **84**, 74-78.
- [6] **Karsli N. G.**, Yesil S., Aytac A., Effect of short fiber reinforcement on the properties of recycled poly(ethylene terephthalate)/poly(ethylene naphthalate) blends, *Mater. Design*, 2013, **46**, 867-872.
- [7] **Karsli N. G.**, Aytac A., Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, *Compos. Part B-Eng.*, 2013, **51**, 270-275.
- [8] **Karsli N. G.**, Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Effects of sizing materials on the properties of carbon fiber-reinforced polyamide 6,6 composites, *Polym. Composite.*, 2013, **34**, 1583-1590.
- [9] Ozkan C., **Karsli N. G.**, Aytac A., Deniz V., Short carbon fiber reinforced polycarbonate composites: effects of different sizing materials, *Compos. Part B-Eng.*, 2014, **62**, 230-235.
- [10] **Karsli N. G.**, Yesil S., Aytac A., Effect of hybrid carbon nanotube/short glass fiber reinforcement on the properties of polypropylene composites, *Composites Part B: Engineering*, DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.04.006.
- [11] **Karsli N. G.**, Aytac A., Deniz V., Karbon elyafla güçlendirilmiş polimerik karma malzemeler, *PAGEV*, 2009, **105**, 176-181.

- [12] **Karşlı N. G.**, Özocak M., Topal B. C., Aytac A., Yesil S., Farklı termoplastik elastomerler (TPE) kullanılarak geri kazanılmış poli(etilen tereftalat)/poli(etilen naftalat) (PET/PEN) karışımlarının uyumluluklarının artırılması, *PAGEV*, 2012, **122**, 152-162.
- [13] **Karşlı N. G.**, Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Investigation of polyamide 6,6 composites reinforced with sized carbon fibers, *Plastics Research Online*, DOI: 10.2417/spepro.005023.
- [14] **Karşlı G.**, Aytaç A., Deniz V., Kimya Mühendisliği eğitiminden paydaşların beklentileri, *Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 20-22 Haziran 2007.
- [15] Deniz V., **Karşlı G.**, Aytac A., Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde Kalite İşlevi Yayılımı Uygulaması, *II. Ulusal Kalite Fonksiyonu Göçerimi Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 19-21 Mart 2008.
- [16] **Karşlı N. G.**, Aytaç A., Çiçek R., Deniz V., Elyaf boyunun kısa karbon elyaf takviyeli polipropilen karmaların özelliklerine etkileri, *II. Uluslararası Katılımlı Polimerik Kompozitler Sempozyum-Sergi ve Proje Pazarı*, İzmir, Türkiye, 26-28 Kasım 2010.
- [17] **Karşlı N. G.**, Aytac A., Cicek R., Deniz V., Effect of PP-g-MAH compatibilizer on the properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Polymer Processing Society 26 th Regional Meeting*, İstanbul, Türkiye, 20-23 Ekim 2010.
- [18] **Karşlı N. G.**, Kemaloğlu Ş., Aytac A., Özkoç G., Farklı yöntemlerle hazırlanan SEBS/EVA harmanlarının karışabilirliklerinin incelenmesi, *3.Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 12-14 Mayıs 2010.
- [19] **Karşlı N. G.**, Yılmaz T., Aytaç A., Özkoç G., Investigation of erosive wear behavior of ABS/PA6 polymer composites reinforced with different fillers, *III. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu, Sergisi Ve Çalıştayı Programı*, İzmir, Türkiye, 9-11 Kasım 2012.
- [20] **Karşlı N. G.**, Aytaç A., Deniz V., Karbon elyaf takviyeli poliamit 6 karmaların ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *10. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 3-6 Eylül 2012.
- [21] **Karşlı N. G.**, Özkan C., Aytaç A., Deniz V., Karbon elyaf ön kaplama türünün poliamit 6,6 karmaların özelliklerine etkileri, *4. Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi*, Çanakkale, Türkiye, 5-8 Eylül 2012.
- [22] **Karşlı N. G.**, Özocak M., Topal B. C., Aytaç A., Yeşil S., Farklı termoplastik elastomerler (TPE) kullanılarak geri kazanılmış poli(etilen tereftalat)/poli(etilen naftalat) (PET/PEN) karışımlarının uyumluluklarının artırılması, *4. Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi*, Çanakkale, Türkiye, 5-8 Eylül 2012.

- [23] **Karsli N. G.**, Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Properties of sized carbon fiber reinforced poly(butylene terephthalate) composites, *Advanced Materials World Congress*, İzmir, Türkiye, 16-19 Eylül 2013.
- [24] **Karsli N. G.**, Ozkan C., Aytac A., Deniz V., Evaluating the effect of sizing agent types on the properties of carbon fiber/polyamide 6,6 composites, *29th International Conference of The Polymer Processing Society (PPS-29)*, Nuremberg, Almanya, 15-19 Temmuz 2013.
- [25] Özkan C., **Karslı N. G.**, Aytac A., Deniz V., Ön kaplanmış karbon elyaf destekli polikarbonat karmaların özelliklerinin incelenmesi, *1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, Ankara, Türkiye, 29-31 Mayıs 2013.
- [26] **Karsli N. G.**, Aytac A., Deniz V., Guven O., Effects of irradiated polypropylene compatibilizer on the properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *9th International Symposium on Ionizing Radiation and Polymers*, Maryland, USA, 25-29 Ekim 2010.
- [27] Kaner P., Çavuşoğlu Y., Kemaloğlu Ş., **Karslı N. G.**, Aytac A., Özkoç G., Termomekanik etki şiddeti ve süresinin plastikleştirilmiş ve plastikleştirilmemiş poli(laktik asit)'in özellikleri üzerine etkileri, *3.Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 12-14 Mayıs 2010.
- [28] Kemaloglu S., **Karsli N. G.**, Aytac A., Ozkoc G., Boron nitride filled SEBS/EVA blends: processing and properties, *10th European Symposium on Polymer Blends*, Dresden, Almanya, 7-10 Mart 2010.
- [29] Ozkan C., **Karsli N. G.**, Aytac A., Deniz V., Effect of sizing type and the amount of sizing materials on carbon fiber reinforced polyamide 6,6 (PA6,6) composites, *The 28th International Conference of The Polymer Processing Society*, Pattaya, Tayland, 11-15 Aralık 2012.
- [30] **Karslı N. G.**, Çabuk V., Yeşil S., Aytac A., Investigation of the properties of short fiber reinforced recycled poly(ethylene terephthalate)/poly(ethylene naphthalate) (R-Pet/Pen) polymer blends, *III. Uluslararası Polimerik Kompozitler Sempozyumu, Sergi ve Çalıştayı*, İzmir, Türkiye, 9-11 Kasım 2012.
- [31] **Karslı N. G.**, Aytac A., Deniz V., Karbon elyafı güçlendirilmiş poli(fenilen sülfid) karmaların hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi, *4.Ulusal Polimer Bilimi ve Teknolojisi Kongresi*, Çanakkale, Türkiye, 5-8 Eylül 2012.
- [32] **Karslı N. G.**, Aytac A., Karbon Elyaf Takviyeli Termoplastik Karmaların Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, *UTİB Türkiye Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe V. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı*, Bursa, Türkiye, 4-5 Nisan 2013.

- [33] Can S., **Karsli N. G.**, Yeşil S., Aytac A., PBO (1,4 fenilen bis oksazolin) zincir uzatıcısının geri kazanılmış PET/PEN karışımlarının özelliklerine etkisinin incelenmesi, *1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, Ankara, Türkiye, 29-31 Mayıs 2013.
- [34] **Karsli N. G.**, Yesil S., Aytac A., Investigation the properties of surface modified carbon nanotube reinforced polypropylene composites, *4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition*, Muğla, Türkiye, 24-27 Nisan 2014.
- [35] **Karsli N. G.**, Aytac A., Effects of alkali treatment on the properties of short flax fiber reinforced PLA/PC composites, *4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition*, Muğla, Türkiye, 24-27 Nisan 2014.
- [36] Can S., **Karsli N. G.**, Yesil S., Aytac A., Studying effects of different chain extenders on recycled PET/PEN blends, *4th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition*, Muğla, Türkiye, 24-27 Nisan 2014.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nevin Gamze Karalı Yılmaz, 1985 yılında Kadıköy'de doğdu. Orta öğrenimini Kadıköy İkbaliye İlköğretim Okulu'nda, Lise öğrenimini ise Kabataş Erkek Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun oldu. 2008-2011 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2009 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.