

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PA 6 KOMPOZİTLERİNİN TERMAL, MEKANİK VE
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğr. Tacettin SAYLAN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL

Ekim 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

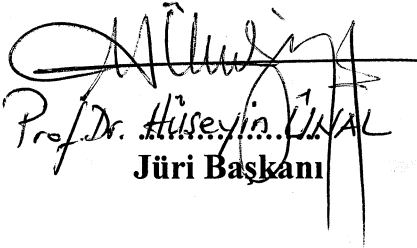
PA 6 KOMPOZİTLERİNİN TERMAL, MEKANİK VE
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

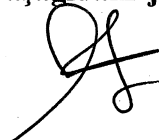
YÜKSEK LİSANS TEZİ

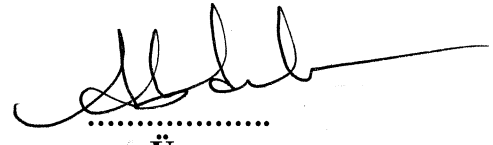
Tacettin SAYLAN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez .. / .. /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Fehim FİNDİK
Üye


Üye
Prof. Dr. Abdulkadir
Mimaroglu

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yardım ve desteğini esirgemeyen, her türlü bilgi ve birikiminden faydalandığım, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL' a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarda yardımını ve zamanını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Salih Hakan YETGİN ve Sn. Arş. Gör. Murat ÇOLAK' a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmalarım süresince yardımcı olan Sn. Prof. Dr. Fatih ÜSTEL' e, Yılmaz PVC ve Alüminyum Profil İşleme Makineleri Genel Müdürü Sn. Abdullah YILMAZ' a, Akplast Plastik Ambalaj San. Tic. Ltd. Şti. İşletme Müdürü Sn. Şevket ÇALIŞKAN' a, Evaplast Plastik Metal Kapı ve Pencere Aksesuarları Ltd. Şti. İşletme Müdürleri Sn. Erdal AKBULUT ve Vedat AKBULUT' a, TETRA Teknolojik Sistemlerden. Hilal KARLI Hanım'a, Eurotec Mühendislik Plastikleri Ltd. Şti. Sn. Murat TOPSAKAL' a, Yıldız Teknik Üniversitesi'nden Sn. Prof. Dr. Ahmet KOYUN' a teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmemde bana daima destek olan ve haklarımı hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ekim 2010

Tacettin SAYLAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xviii
SUMMARY.....	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ÇEŞİTLERİ.....	13
2.1. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	14
2.1.1. Doğada bulunup bulunmamasına göre.....	14
2.1.2. Zincirlerin kimyasal ve fiziksel yapısına göre.....	16
2.1.3. Zincir yapısına göre.....	17
2.1.4. İç yapılarına göre.....	17
2.1.4.1. Termosetler.....	17
2.1.4.2. Elastomerler.....	18
2.1.4.3. Termoplastikler.....	19
2.2. Plastiklerin Çeşitleri.....	21
2.2.1. Genel amaçlı ticari termoplastikler.....	21
2.2.1.1. Polipropilen (PP)	21

2.2.1.2. Polietilen (PE)	22
2.2.1.3. Polistiren (PS)	23
2.2.1.4. Polivinilklorür (PVC)	24
2.2.2. Genel amaçlı mühendislik termoplastikleri.....	25
2.2.2.1. Polikarbonat (PC)	25
2.2.2.2. Poliasetal (POM)	26
2.2.2.3. Polietereterketon (PEEK)	26
2.2.2.4. Poliamid (PA)	27

BÖLÜM 3.

DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN TANIMI, ÖZELLİKLERİ

VE ENJEKSİYON PROSESİ.....	30
3.1. Malzemelerin Tanım ve Özellikleri.....	30
3.1.1. Poliamid 6.....	30
3.1.1.1. Poliamid 6'nın yapısı.....	31
3.1.1.2. Poliamid 6'nın elde edilişi.....	31
3.1.1.3. Poliamid 6'nın genel özellikleri.....	32
3.1.2. Cam elyaf.....	34
3.1.3. Mika.....	36
3.2. Poliamid 6 ve Katkı Malzemelerinin Enjeksiyonlanması.....	38
3.2.1. Malzemenin depolanması.....	38
3.2.2. Yolluk ve yolluk girişiyle ilgili hususlar.....	39
3.2.3. Yolluk uzunluğunun duvar kalınlığına oranı ile ilgili hususlar...	39
3.2.4. Erime sıcaklığı.....	39
3.2.5. Enjeksiyon sıcaklık ayarları.....	40
3.2.6. Vida ile ilgili hususlar.....	40
3.2.7. Poliamid 6'nın ocakta kalma süresi.....	41
3.2.8. Enjeksiyon hızı.....	41
3.2.9. Enjeksiyon basıncı.....	41
3.2.10. Vida dönme hızı.....	41
3.2.11. Makine arka basıncı.....	41
3.2.12. Makineyi kapatma.....	42
3.2.13. Geri dönüşümlü plastiğin kullanılması.....	42

3.2.14. Poliamid'6'nın kalıpta çekme miktarı.....	42
BÖLÜM 4.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	43
4.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	46
4.1.1. Takviye malzemesine göre sınıflandırma.....	47
4.1.1.1. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler.....	48
4.1.1.2. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler.....	50
4.1.1.3. Tabakalı kompozitler.....	52
4.1.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma.....	54
4.1.2.1. Metal matrisli kompozitler (MMK)	54
4.1.2.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK)	55
4.1.2.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK)	55
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER.....	57
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	57
5.1.1. Polimer matris.....	57
5.1.1.1. Poliamid 6.....	57
5.1.2. Katkı malzemeleri.....	57
5.1.2.1. Kısa cam elyaf.....	57
5.1.2.2. Mika.....	58
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	59
5.3. Deneysel Yöntem.....	60
5.4. Kullanılan Test Cihazları ve Numuneleri.....	64
5.4.1. Vicat yumuşama sıcaklığı.....	64
5.4.2. Yük altında eğilme sıcaklığı testi (HDT)	65
5.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	66
5.4.4. Dinamik mekanik analiz (DMA)	69
5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	70
5.4.6. Aşınma analizi.....	71

BÖLÜM 6.	
DENEYSEL BULGULAR.....	76
6.1. Yapılan Çalışmaların Test Sonuçları ve Tartışma.....	76
6.1.1. Termal özellikler.....	76
6.1.1.1. Vicat yumuşama sıcaklığı.....	76
6.1.1.2. Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT)	82
6.1.1.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	88
6.1.2. Mekanik deneyler.....	92
6.1.2.1. Dinamik mekanik analiz (DMA)	92
6.1.2.2. Taramalı elektron mikroskop (SEM)	98
6.1.3. Tribolojik özellikler.....	100
6.1.3.1. Aşınma analizi.....	100
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	145
7.1. Sonuçlar.....	145
7.2. Öneriler.....	148
KAYNAKLAR.....	149
EKLER.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	159

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
CE	: Cam Elyaf
Dev/dk	: Devir/dakika
DIN	: Alman Kalite Normu
h	: Saat
İSO	: Uluslararası Kalite Standartları
J	: Joule
m	: Metre
Mohs	: Mineral Sertlik Birimi
N	: Newton
Pa	: Pascal
sn	: Saniye
Tan Δ	: Tanjant Delta
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UV	: Ultraviyole Işın
μm	: Mikrometre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Polietilen monomeri.....	13
Şekil 2.2.	Doğal polimer örneği ve kauçuk doğal polimerinin kimyasal yapısı.....	14
Şekil 2.3.	Günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı polimerlerin monomer yapıları.....	15
Şekil 2.4.	Polietilen zincir yapısı.....	16
Şekil 2.5.	Doğrusal, dallanmış, çapraz bağlanmış bağ yapısı.....	16
Şekil 2.6.	Homopolimer ve kopolimer modelleri.....	17
Şekil 2.7.	Termosetlerin içyapı modeli	18
Şekil 2.8.	Gerilme etkisi altındaki elastomer zincirlerinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.9.	Polipropilenin monomerinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.10.	Polietilenin ve etilen monomeri şematik gösterilişi.....	22
Şekil 2.11.	Polistiren polimerinin şematik gösterimi ve stiren monomeri.....	23
Şekil 2.12.	Polivinilchlorür monomeri.....	24
Şekil 2.13.	Polikarbonat zincir yapısının şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.14.	Poliasetal zincir yapısının şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.15.	Polietereterketon polimerizasyonu ve zincir yapısının şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.1.	Poliamid 6 polimerinin kimyasal zincir yapısı.....	30
Şekil 3.2.	Cam elyaf üretim aşamaları.....	36
Şekil 4.1.	Matris ve elyafın mekanik dayanım farkı.....	45
Şekil 4.2.	Kompozitlerde kullanılan farklı matris malzemelerin sıcaklık-yoğunluk özellikleri.....	47
Şekil 4.3.	(1) Parçacık takviyeli, (2) elyaf takviyeli, (3) tabakalı kompozit malzemeler.....	48

Şekil 4.4.	(1) Parçacık takviyeli ve (2) dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitlerin yapısı.....	49
Şekil 4.5.	Elyaf ve reçine kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi.....	50
Şekil 4.6.	Elyaf ve dokuma takviyeli kompozitlerde liflerin kompozit içerisine yerleşim biçimine örnekler.....	51
Şekil 4.7.	Genel tabakalandırma görünüşü.....	53
Şekil 4.8.	Dokuma ve tek yönlü elyaflar için farklı yönlerde özelliklerin gösterimi, a)eşit özellikler, b)eşit olmayan özellikler.....	53
Şekil 5.1.	Malzeme deney ve analiz prosesi.....	60
Şekil 5.2.	Granül üretim makinesi (Kompound, Ekstrüzyon) şematik gösterimi.....	61
Şekil 5.3.	Kompound prosesinde kalıp su banyosu ve pellezitör resmi.....	62
Şekil 5.4.	Enjeksiyon prosesinde kullanılan ERAT marka enjeksiyon makinesi.....	63
Şekil 5.5.	Enjeksiyonda üretilen test numune kalıp resmi.....	63
Şekil 5.6.	Vicat yumuşama sıcaklığı tayini.....	65
Şekil 5.7.	Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) cihazı.....	65
Şekil 5.8.	HDT test numunesi ve uygulama şematik gösterimi.....	66
Şekil 5.9.	Deneylerde kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı.....	67
Şekil 5.10.	DSC hücre kesiti.....	68
Şekil 5.11.	Dinamik Mekanik Analiz (DMA) numunesinin şematik gösterimi.....	69
Şekil 5.12.	Taramalı Elektron Mikroskobu	70
Şekil 5.13.	Çekme numunesi boyutları.....	71
Şekil 5.14.	Aşınma deneyin de excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri ve grafiği gösterilmiştir.....	73
Şekil 5.15.	Aşınma test düzeneği.....	75
Şekil 6.1.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 test malzemelerinin Vicat karşılaştırmaları.....	77
Şekil 6.2.	Katkısız PA 6 ve mika katkılı kompozit malzemelerin Vicat karşılaştırmaları	78

Şekil 6.3.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklık değişimleri.....	79
Şekil 6.4.	Test malzemelerinin Vicat yumuşama sıcaklığı karşılaştırmaları..	80
Şekil 6.5.	Katkısız PA 6' ya göre Vicat yumuşama sıcaklıklarının cam elyaf ve mika katkılı malzemelerin katkı oranına göre değişim karşılaştırmaları.....	81
Şekil 6.6.	Katkısız PA6 ve %30 oranlı katkıların grafiği.....	82
Şekil 6.7.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf takviyeli PA6 kompozitlerinin HDT analizleri.....	83
Şekil 6.8.	Katkısız PA 6 ve Mika katkılı PA 6 kompozitlerin HDT Karşılaştırmaları.....	84
Şekil 6.9.	PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozitlerin HDT karşılaştırmaları.....	85
Şekil 6.10.	Tüm test numunelerin HDT analizlerinin karşılaştırmaları.....	86
Şekil 6.11.	Cam elyaf ve mika katkı oranı-HDT ilişkisi.....	87
Şekil 6.12.	Katkısız PA6 ve %30 oranlı katkıların grafiği.....	88
Şekil 6.13.	Katkısız PA6 ve cam elyaf katkılı PA6 kompozitlerinin DSC eğrileri.....	90
Şekil 6.14.	Katkısız PA 6 ve Mika katkılı PA6 kompozitlerinin DSC eğrileri.....	90
Şekil 6.15.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerin DSC eğrileri.....	91
Şekil 6.16.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf ve mika katkılı PA6 kompozitlerin DSC eğrileri.....	91
Şekil 6.17.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf ve mika katkılı PA6 kompozitlerin DSC eğrileri.....	92
Şekil 6.18.	Cam elyaf katkılı kompozitlerle katkısız PA 6'nın depolama modülü (E') karşılaştırmaları.....	93
Şekil 6.19.	Katkısız PA 6 ile cam elyaf katkılı kompozitlerinin kayıp modülü (E'') karşılaştırmaları.....	93
Şekil 6.20.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı.....	94

Şekil 6.21.	Mika katkılı kompozitlerle katkısız PA 6'nın depolama modülü (E') ilişkisi.....	94
Şekil 6.22.	Katkısız PA6 ve mika katkılı kompozitlerin kayıp modül (E'') ilişkisi.....	95
Şekil 6.23.	Katkısız PA 6 ve mika katkılı kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı.....	95
Şekil 6.24.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf -mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin depolama modülü (E') ilişkisi.....	96
Şekil 6.25.	Cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozitlerin katkısız PA 6 ile kayıp modül (E'') ilişkisi.....	96
Şekil 6.26.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı	97
Şekil 6.27.	Katkısız PA 6'nın SEM mikroyapı fotoğrafı.....	98
Şekil 6.28.	a)PA6+%20CE, b) PA6+%20Mika, c) PA6+%10CE+%20Mika katkılı PA 6 kompozitlerin SEM görüntüleri.....	99
Şekil 6.29.	%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesi ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	100
Şekil 6.30.	%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	101
Şekil 6.31.	%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit disk malzemesi ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	102
Şekil 6.32.	PA 6+ %30 cam elyaf takviyeli disk malzeme ile çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin katkısız PA 6 ile sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi.....	103
Şekil 6.33.	%30 cam elyaf katkılı PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	104
Şekil 6.34.	%30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	105

Şekil 6.35.	%30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin katkısız PA 6 ile sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi.....	106
Şekil 6.36.	PA6+%30 cam elyaf disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	107
Şekil 6.37.	PA6+%30 cam elyaf disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	108
Şekil 6.38.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	109
Şekil 6.39.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	110
Şekil 6.40.	Mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	111
Şekil 6.41.	Mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	112
Şekil 6.42.	Cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	113
Şekil 6.43.	Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	114
Şekil 6.44.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	115

Şekil 6.45.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	116
Şekil 6.46.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	117
Şekil 6.47.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	118
Şekil 6.48.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	119
Şekil 6.49.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	120
Şekil 6.50.	%30 mika takviyeli disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	121
Şekil 6.51.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	122
Şekil 6.52.	%30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	123
Şekil 6.53.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan katkısız ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerin pim aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s.....	124
Şekil 6.54.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan katkısız ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	125

Şekil6.55.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozitlerin pim aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	126
Şekil 6.56.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	127
Şekil 6.57.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	128
Şekil 6.58.	%30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	129
Şekil 6.59.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	130
Şekil 6.60.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	131
Şekil 6.61.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	132
Şekil 6.62.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	133
Şekil 6.63.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	134
Şekil 6.64.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	135

Şekil 6.65.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi.....	136
Şekil 6.66.	PA6+%6Vaks disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi.....	137
Şekil 6.67.	%6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi.....	138
Şekil 6.68.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı aşınma ile oluşan mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	139
Şekil 6.69.	Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin çalıştığı %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemedede oluşan yüzey mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	140
Şekil 6.70.	%6 vaks takviyeli PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	141
Şekil 6.71.	%6 vaks takviyeli PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	142
Şekil 6.72.	Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	143
Şekil 6.73.	Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s).....	144

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Plastikleri meydana getirmek için kullanılan elementler.....	1
Tablo 1.2.	Toplam tüketim içindeki % payları ile yaygın olarak kullanılan dolgu maddeleri.....	3
Tablo 3.1	Bazı poliamid 6 üretici ve isimleri.....	30
Tablo 3.2.	Katkısız poliamid 6'nın genel özellikleri.....	33
Tablo 3.3.	Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal bileşimleri.....	35
Tablo 3.4.	Kuru ve yaş öğütülmüş toz mikanın genel olarak kullanıldığı alanlar.....	37
Tablo 4.1.	Takviye amacıyla kullanılan bazı elyaf ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri.....	45
Tablo 5.1.	Kırpılmış cam elyafın (PA2) bazı özellikleri.....	58
Tablo 5.2.	Mika tozunun özellikleri.....	58
Tablo 5.3.	Numune formülasyon detayı.....	59
Tablo 5.4.	Kompond üretim şartları tablosu.....	62
Tablo 5.5.	TS 1398-2 EN ISO 527-2'e göre çekme numunesi boyutları...	71
Tablo 6.1.	Test malzemelerinin Vicat yumuşama sıcaklıkları.....	77
Tablo 6.2.	Numunelerin yük altında eğilme sıcaklıkları (HDT).....	83
Tablo 6.3.	Numunelerin Tg, Tm ve entalpi değişimleri tablosu.....	89
Tablo 6.4.	Kompozitlerin Tan delta-sıcaklık datalarından hesaplanan Tg (Camsı geçiş sıcaklığı) değerleri.....	97
Tablo EK A.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yüke göre değişimi.....	153
Tablo EK B.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yüke göre değişimi.....	154

Tablo EK C.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yükü göre değişimi.....	155
Tablo EK D.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin %30 cam elyaf katkı PA 6 malzemeye karşı aşınma oranları.....	156
Tablo EK E.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin %30 mika katkı PA 6 diske karşı aşınma oranları.....	157
Tablo EK F.	Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin % 6 vaks katkı PA 6 diske karşı aşınma oranları.....	158

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Poliamid 6, Termoplastik, Kompozit, Mekanik Özellikler, Termal Özellikler, Aşınma, Sürtünme

Poliamid 6 malzemesine ağırlıkça %30'a kadar kısa cam elyaf ve mika dolguları katılarak ekstrüzyon ve enjeksiyon makinelerinde üretilmiştir. Kısa cam elyaf ve mika dolgular, ağırlıkça %10'dan başlayıp %30'a kadar değişik kombinasyonlarda malzeme ile referans olarak katkısız poliamid 6 malzemesi üretildi. Cam elyaf ve mika dolgu ilavesinin poliamid 6 malzemeye aşınma deneyleri, mekanik, tribolojik ve termal etkisini araştırmak için Dinamik mekanik analiz, diferansiyel taramalı kalorimetre, Vicat yumuşama sıcaklığı, yük altında eğilme sıcaklığı ve aşınma testleri uygulandı. Bu testlerde katkısız poliamid ve kompozitlerinin ergime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, Vicat ve HDT değerleri, kayıp modülü, kayıp modülü, tan deltası, sürtünme katsayısı ve aşınma oranları değerleri elde edildi. Sonuç olarak erime ve camsı geçiş sıcaklığının cam elyaf ve mika ile arttığını, Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri mika dolgu oranı arttıkça azalırken cam elyaf katkı oranı arttıkça artmaktadır. Depolama modülü ve kayıp modülü katkısız poliamid malzeme ile kıyaslandığında cam elyaf ve mika dolgularıyla artmıştır. Aşınma testleri pim disk aşınma cihazında yapıldı. Malzemeler %30 cam elyaf, %30 mika ve %6 vaks katkılı disk malzemelerine 20N, 30N ve 40N yük ile 0,5m/sn kayma hızında 1500 metre kayma yolunda yapıldı. Tüm malzeme kombinasyonları için yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısı arttığı görülmüştür. Malzemelerin farklı sürtünme katsayıları ve özgül aşınma oranları elde edildi ve aşınma yüzeyleri optik mikroskop ile incelenmiştir.

THE INVESTIGATION OF MECHANICAL, THERMAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE 6 COMPOSITE MATERIALS

SUMMARY

Keywords: Polyamide 6, Thermoplastic, Composite, Mechanical Properties, Thermal Properties, Wear, Friction,

Polyamide 6 fillers with up to 30 wt% short glass fiber and mica, were prepared by extrusion and injection molding machine. Short glass fiber and mica fillers, with weight percentages varying between 10 and 30 wt% as single and as mixed, were added to Polyamide 6 thermoplastic matrix. In this study, dynamic mechanical analysis test, thermal properties such as differential scanning calorimeter test, vicat softening temperature, heat deflection temperature and tribological tests were used to examine the effect of short glass fiber and mica fillers addition on the mechanical behavior of polyamide 6 thermoplastic material. Storage modulus, loss modulus and tan deltha, melting temperature, glass transition temperature, vicat and HDT values, friction coefficient and wear rate values of unfilled polyamide and its composites were obtained. The results showed that the melting and glass transition temperature values increased with increment of glass fiber and mica. Vicat softening temperature values increased with the addition of glass fiber while Vicat softening temperature values decreased with the increase in mica filler. Storage modulus and loss modulus increased with the increment of glass fiber and mica filler while storage modulus and loss modulus decreased with the increase in glass fiber and mica filler. In addition, in this thesis, dry sliding wear characteristics of polyamide and its composites were investigated using a pin-on-disc wear test machine. Three different polymer composite disc materials are used for wear test. Discs are; 30%wt. glass fiber reinforced polyamide 6 composite, 30%wt. mica filled polyamide 6 composite and 6% wax filled polyamide 6 composite. Wear tests were carried out at the sliding speeds of 0.5 m/s and applied loads of 20N, 30N and 40N and under atmospheric conditions of temperature and humidity. Friction coefficient and specific wear rate values for different combinations of the materials were obtained and compared. For all material combinations, it was observed that, the coefficient of friction increases linearly with the increase in applied load values. Furthermore, their specific wear rate slightly increases with the increase in applied loads and sliding speed values. Moreover, wear surface investigations of all polymer composites used were done by using optical microscope.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Plastikler (polimerler) monomer denilen kimyasal parçacıklardan meydana gelen yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklindeki yapıya sahip malzemelerdir. Bir monomer, polimerizasyon ile başka monomer parçacıklarla birleşerek tekrarlanan ünitelerle zincir oluşturarak makro molekül meydana getirir. Böylece çeşitli monomer parçacıkları kullanarak değişik yapılara sahip plastikler elde edilebilir. Monomer parçacıklarını oluşturmak için bilinen yüzden fazla atomdan sadece Tablo 1.1’ de verilen elementler kullanılır.

Tablo 1.1. Plastikleri meydana getirmek için kullanılan elementler

	Element	Sembol	Atom Ağırlığı	Atom No.	Enerji Bağları
1	Hidrojen	H	1	1	1
2	Karbon	C	12	6	4
3	Azot	N	14	7	3
4	Oksijen	O	16	8	2
5	Flor	F	19	9	1
6	Silisyum	Si	28	14	4
7	Kükürt	S	32	16	2
8	Klor	Cl	35	17	1

Polimerler içyapılarındaki zincirlerin oluşturduğu düzene göre makro molekülleri sadece Van der Wals bağı ile oluşuyorsa termoplastik malzeme, makro molekülleri sadece kovalent bağdan oluşuyorsa termoset malzeme olarak adlandırılır. Eğer makro molekülleri termoset malzemeler gibi kovalent bağdan oluşuyor ve ağ gözenekleri büyük ve seyrek ise elastomer malzeme olarak adlandırılır.

1930’lu yıllardan beri ticari polimerler olarak adlandırılan polietilen, polistiren, polipropilen, polivinilklorür gibi malzemelerin yanı sıra mühendislik plastikleri

olarak tanımlanan poliasetal, polikarbonat, polietereterketon ve poliamid gibi malzemeler geniş kullanım alanına sahiptir. Hafif, kolay işlenebilir, sert veya yumuşak, rijit veya esnek, kağıucuğumsu veya camsı, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı, iyi yüzey görünüşü gibi özelliklere sahip olan plastik ürünler farklı üretim teknikleri ile üretilebilirler. Bunlar; enjeksiyon ile kalıplama, ekstrüzyon, döküm, basınçla kalıplama, haddeleme, elle yatırma ve polimer yönlendirmedir.

Günümüz teknolojisinde geleneksel malzemeler artık tüm gereksinimleri karşılayamamaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve buna paralel malzeme teknolojisindeki gelişmeler üreticileri ve araştırmacıları yeni malzemeler araştırmaya veya mevcut malzemeleri geliştirmeye yöneltmiştir. Uygulamalarda malzemelerden istenilen en önemli özellikler; mukavemet, tokluk, hafiflik ve düşük maliyettir. Özellikle geleneksel malzemelerde aşınma ve mukavemet, kırılma tokluğu ve hafiflik gibi özellikler ihtiyaçlara cevap verememektedir. Bu amaçla iki veya daha fazla malzemenin istenilen özelliklerin tek bir malzeme elde edilmesi veya yeni bir özellik elde edilmesi ile yeni bir malzeme oluşumu, bugün araştırma konularının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İstenilen özelliklerin pek çoğunu bünyesinde taşıyan bu tür malzemeler kompozit malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Kompozit malzemeler genellikle matris adı verilen seramik, metal veya polimer malzeme ile dolgu malzemelerinin istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler.

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile plastiklerden farklı yapıda olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katılardır. Plastiklerde kullanılan dolgu maddeleri, plastiklerin içinde çözünmeyen partiküllerden oluşan, uçucu olmayan ve plastiğin işleme derecesinde etkileşime girmeyen malzemelerdir. Bu malzemeler genellikle inorganik maddelerdir. Bu katkılar inert ve reaktif (etkin) olmak üzere ikiye ayrılırlar. İntert dolgu maddeleri plastiklere genellikle fiyatını düşürmek ve miktarını arttırmak amacıyla katılır. Reaktif dolgu maddeleri ise plastiğe katıldığında bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini ve gelişmelerini sağlarlar. Bu nedenle reaktif dolgu maddelerine takviye edici katılarda da denilmektedir.

Dolgu maddelerinin seçiminde dikkat edilecek hususlar maliyet, yoğunluk, matrisin dolgu maddesi tarafından absorpsiyonu, dolgu maddesi miktarı, partikül çapı ve geometrik şeklidir. Dolgu maddesi seçiminde maliyet çok önemlidir. Maliyeti yükselten bir dolgu maddesi, ancak zorunlu hallerde, genellikle plastiğin başka hiçbir biçimde takviye edilemediği durumlarda kullanılabilir. Dolgu maddesi çapları 5 µm' den 90 µm' a kadar değişmektedir. Endüstride yaygın olarak kullanılan bazı inert ve reaktif dolgu maddelerinin toplam tüketim içindeki yüzdeleri Tablo 1.2' de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Yaygın olarak kullanılan dolgu maddeleri toplam tüketim içindeki % payları

Dolgu maddesi (inert- reaktif)	Tüketim yüzde payı (%)
Karbonatlar (genellikle CaCO ₃)	50-55
Silikatlar	
- Talk	5,0-6,0
- Asbest	5,0-6,0
- Kaolin	2,0-3,0
- Mika	0,05-0,1
- Diğer Silikatlar	0,4-0,5
Silisyum dioksit	2,5-3,5
Çeşitli mineraller	0,2-0,4
Organik dolgu maddeleri (odun talaşı, öğütülmüş fıstık kabuğu vb.)	3,0-5,0
Alüminyum trihidrat	6,0-7,0
Karbon siyahı	0,6-0,8
Cam kürecikler (içi dolu veya boş)	0,5-0,7
Karbon elyaf, aramid elyaf, bor elyaf	0,01-0,02
Cam elyaf	20,0-25,0

Yumuşak veya sünek matris içerisine, sert, dayanıklı, elastikliği yüksek elyaflar ilave edildiğinde mekanik, termal, tribolojik ve fiziksel özellikleri iyileşmektedir. Matris malzemesi kuvvetleri elyaflara transfer ederek yumuşaklık ve tokluk özelliği sağlarken elyaf uygulanan yükün çoğunu taşımaktadır.

Silikat malzemeler, polimer matrisin maliyetini düşürür, viskozitesini arttırır, mükemmel dielektrik ve ses yalıtımı, düşük ısı iletimi ve iyi bükülme özelliği sağlar. Aynı zamanda plastiklerde boyutsal kararlılığı sağlar.

Polimer kompozit malzemeler yoğunluğunun az olması önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple, ağırlığın kritik olduğu bütün sektörlerde, örneğin uzay ve otomotiv sanayilerinde polimer kompozit malzemeler vazgeçilmez bir tercih olarak kullanılmaktadır. Polimer kompozit malzemelerin çeliğin yerini almasıyla %60-80, ve alüminyumun yerini almasıyla %20-50 oranlarında ağırlıktan kazanma imkanı sağlamaktadır. Ağırlık azalmasının yakıt tasarrufu için önemli bir etken olduğu düşünülen otomotiv sektöründe, 1970'li yıllarda 900 kg olan ortalama otomotiv ağırlığı günümüzde 700 kg' a kadar düşürülmüştür.

Kompozit malzeme üretilmesinde geliştirilmesi amaçlanan hedefler;

1. Aşınma dayanımı
2. Yorulma dayanımı
3. Kırılma tokluğu
4. Yüksek mukavemet
5. Korozyon dayanımı
6. Termal ve elektriksel özellikler
7. Maliyet
8. Zaman
9. Estetik görünüm'dür

Cam elyaf ve mika katkılı polimer malzemelerle ilgili birçok bilim adamı tarafından çalışma yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmaların bazıları şunlardır;

Abdül Rashid ve arkadaşları [1]; epoksi bazlı polimer kompozit üretmek için alümina ve mika katkısı kullanmışlardır. Ürettikleri kompozitlerin mekanik, termal ve mikroyapısal özelliklerini incelemişlerdir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda katkı malzemelerinin yapıdaki dağılımını araştırmışlardır. Mika katkısını hacimsel olarak

%5 ile %25 oranında katariken, alümina katkıyı ise %10'dan başlayıp %50'ye kadar değişen oranlarda katmışlardır. Alümina katkının kompozitin eğilme mukavemetine etkisinin olmadığı ancak artan mika katkısı ile azaldığını tespit etmişlerdir. TGA sonuçlarında ise mika ve alüminanın yüksek ergime sıcaklıkları nedeniyle deney yapılan sıcaklık aralıklarında epoksi polimerinin bozulduğunu tespit etmişlerdir.

Firoozian ve arkadaşları [2]; hacimsel olarak %5-30 oranında mika katkılı epoksi kompozit malzemelerini üretmişlerdir. Çekme mukavemetini mika katkısına göre modellemişlerdir. Deney sonuçlarında, artan mika katkısı ile çekmedeki elastik modülü değerlerinin arttığını ancak çekme mukavemeti ve kopmadaki % uzama değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Tomar ve arkadaşları [3]; polibutilen teraftalat / poliakrilonitril-bütül-akrilat-stiren (PBT/ABAS) karışımına hacimsel olarak %0 ile %14 arasında değişen oranlarda mika katarak ürettikleri kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında aynı zamanda modelleme de yapmışlardır. Artan mika katkısı ile çekme mukavemetinin ve elastiklik modülünün arttığını ancak darbe mukavemetinin azaldığını tespit etmişlerdir. DSC sonuçlarına göre mika katkılı kompozitlerin ergime sıcaklıklarında değişiklik gözlenmemiştir. Ancak katkı oranının artması ile polimer zincirlerinin hareketinin zorlaştığını ifade etmişlerdir.

Madani ve arkadaşları [4]; yüksek yoğunluklu polietilene ağırlıkça %0 ile %30 arasında değişen oranlarda mika katkısı katmışlardır. Elde ettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda mika katkısının artması ile çekme mukavemeti, elastik modülü ve çapraz bağlanma yoğunluğunun arttığını ancak kopmadaki % uzama değerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Nurdina ve arkadaşları [5]; PP polimerine ağırlıkça %10 ile %40 arasında değişen oranlarda CaCO₃, silika ve mika katkıları katarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Ayrıca bu katkıları değişik oranlarda karıştırarak (örn. %10Mika+%30Silika+PP, %20Mika+%20Silika+PP, %30Mika+%10Silika+PP gibi) hibrit (üçlü) bir karışım oluşturmuşlardır. Yapılan deneyler sonucunda PP'nin çekme mukavemeti, elastiklik

modülü ve kopmadaki % uzama değerleri kompozit malzemelerinden daha düşük değerlerde kaldığını tespit etmişlerdir. Hibrit kompozit malzemenin çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerlerinin ise mika ve silika katkılı kompozit malzemelerin arasında olduğunu tespit etmişlerdir.

Samal ve arkadaşları [6]; polipropilen hammaddesine ağırlıkça %2 oranında maleik antihidritli polipropilen arafazı ile ağırlıkça % 0-40 arasında değişen oranlarda muz lifi ve ağırlıkça % 0-40 oranlarında cam elyaf + muz lifi katkıları ile kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde ettikleri kompozit malzemelerin depolama modülü (E') ve ergime sıcaklığını incelemişlerdir. Yaptıkları analiz sonucunda cam elyaf katkılı kompozitlerinin ergime sıcaklığının değişmediğini, depolama modülünün ise yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Hashemi ve arkadaşları [7]; akrilonitril bütadien stiren (ABS) hammaddesine hacimce %10 ile %30 oranlarında cam elyaf, %10 ile %20 oranlarında cam elyaf + cam küre karışımları katarak kompozit malzeme hazırlamışlardır. Hazırladıkları kompozitlere 3 nokta eğme testi ile bükme modülü incelemeleri yapmışlardır. Yaptıkları incelemeler sonuçlarında cam elyaf katkılı kompozitlerin cam küre katkılı kompozitlere oranla bükme modülünün daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Czigany ve arkadaşları [8]; polipropilen hammaddesine ağırlıkça %30 oranında bazalt elyaf ve cam elyaf katarak kompozit malzemeler elde etmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlere uyguladıkları testlerde elastik modülünü ve bükme modülünü incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler neticesinde bazalt fiberlerinin polipropilen malzemede elastik modülü ve bükme modülünü fazla etkilemediğini, fakat cam elyaf kompozitlerde ise 3 ila 5 kat yükselttiğini tespit etmişlerdir.

SadAbadi ve arkadaşları [9]; polistren polimer malzemesine ağırlıkça %0'dan %50'ye kadar kısa cam elyaf takviyesi ile kompozit malzemeler üretip mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda cam elyaf oranının artmasıyla çekme mukavemeti ve elastik modülünün arttığını tespit etmişlerdir.

Bose ve arkadaşları [10]; poliamid 6 malzemeye %5 ile %40 arasında mika katarak ürettikleri kompozitin çekme mukavemeti, elastite modülü, % uzama ve dielektrik özellikleri üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Araştırmaları sonucunda mika oranı arttıkça çekme mukavemeti, elastite modülü ve dielektrik özelliklerin yükseldiğini, % uzamanın ise düştüğünü tespit etmişlerdir.

Alsawilem ve arkadaşları [11]; ağırlıkça %14 ile %24 arasında cam elyaf, %5 ile %20 oranında kauçuk katkılı poliamid 6.6 (PA66) kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen malzemelerin depolama modülü (E') analizlerini yapmışlardır. Analizler sonucunda cam elyaf katkılı PA 66 malzemesinde sıcaklığın artmasıyla depolama modülünün düştüğünü tespit etmişlerdir.

Pisharat ve arkadaşları [12]; poliamid 6.6 malzemesine % 20 oranında cam elyaf ve sıvı kristalin polimer ile karışımlar hazırlamışlardır. Elde ettikleri kompozitlerin dinamik mekanik analizi ile camsı geçiş sıcaklığını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde kompozitlerin camsı geçiş sıcaklıklarında değişme olmadığını, karışımların ise homojen bir biçimde hazırlandığını tespit etmişlerdir.

Li ve arkadaşları [13]; poliamid 6/poliüretan (PA6/PU) karışımına hacimce %0 ile %5 arasında kısa cam elyaf takviye edip kompozit malzeme üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerin SEM ile karışımın homojenliğini, ayrıca çekme mukavemeti ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. PA6/PU malzemenin homojen olarak karışımın hazırlandığını ve cam elyaf oranı arttıkça çekme mukavemetinin arttığı, aşınma oranının düştüğünü ve sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir.

Malchew ve arkadaşları [14]; polietilen/poliamid6/cam elyaf (PE/PA6/CE) kompozit malzemeleri üretmek için PE içerisine hacimsel olarak %0 ila %35 arasında PA6/CE ilave ederek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Kompozitlerin homojenliğini inceleyip E-modülü ve çekme mukavemetini analiz etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda PE matrisine PA6 ve cam elyafın homojen bir şekilde dağıldığını, cam elyaf ve PA 6 oranının artmasıyla E-modülü ve çekme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir.

Li ve arkadaşları [16]; poliarileneternitral (PEN) hammaddesine ağırlıkça %0'dan başlayıp %40'a kadar cam elyaf katkı ilave edip kompozit malzeme üretmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlerin izod darbe mukavemeti, çekme mukavemeti, yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) ve % uzama analizlerini yapmışlardır. Analizler sonucunda ise cam elyaf oranı arttıkça çekme mukavemeti, yük altında eğilme sıcaklığı artarken, % uzama oranı azalma eğilimi gösterdiği ve izod darbe mukavemeti %0'dan başlayıp %25'e kadar cam elyaf katkılı kompozitlerde artarken %25'den sonra azalmaya başladığını tespit etmişlerdir.

Thomason ve arkadaşları [16]; polipropilen (PP) malzemeye ağırlıkça %0'dan başlayarak %73 oranına kadar cam elyaf takviye etmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlerin çekme mukavemeti, elastite yüzdesi, çentikli charpy darbe mukavemeti ve yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) analizleri yapmışlardır. Yaptıkları bu analizlerde cam elyaf oranı arttıkça elastite yüzdesi ve HDT'nin azaldığını ve %0'dan %40'a kadar cam elyaf takviyeli kompozitlerin darbe mukavemetinin arttığını, %40'dan sonra ise düştüğünü tespit etmişlerdir.

Ünal ve arkadaşları [17]; politetrafloretillen(PTFE) malzemeye 3 değişik malzeme katarak kompozit granül üretmiştir. Bunlar ağırlıkça %25 bronz katkılı, %17 cam elyaf ve %35 grafit katkılı PTFE kompozit malzemelerdir. Üretilen bu granülleri Ø6mm ve 50mm uzunluğunda pim disk aşınma testine uygun olacak şekilde enjeksiyon prosesi ile üretmişlerdir. Aşınma testleri 4-10N yük altında, 1m/sn hızında ve 400-1200 numara zımpara diske karşı yapılmıştır. İncelemeler neticesinde yük oranı arttıkça aşınma oranının arttığını ve en fazla aşınmanın katkısız PTFE malzemede en az aşınmanın ise PTFE+%17 cam elyaf takviyeli kompozit malzemede olduğunu tespit etmişlerdir.

Mimaroglu ve arkadaşları [18]; PTFE, PEEK ve polifenilensülfid (PPS) malzemeye ağırlıkça %0'dan %30'a kadar oranlarda cam elyaf ve bronz katkılı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde ettikleri bu kompozit malzemelerle katkısız polimer olan PEEK, alifatik poliketon (APK) ve karşı aşındırıcı olarak %15 cam elyaf takviyeli poliester (BMC) kullanmışlardır. Aşınma testlerini 20-60N yük ve 0,5m/sn

kayma hızı altında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda ise yük miktarı arttıkça, en düşük sürtünme katsayısına sahip olan malzemenin PTFE+%17camelyaf katkılı kompozit malzemesinde en düşük APK malzemedede olduğu ve yük arttıkça, aşınma oranı olarak, PEEK, PEEK+%20 cam elyaf ve PTFE+%17 cam elyaf malzemelerde düştüğü diğer malzemelerde ise arttığını tespit etmişlerdir.

Ünal ve arkadaşları [19]; poliamid 46, poliamid 66 ve PPS malzemesine ağırlıkça %30 oranında cam elyaf katkı malzemesi katarak kompozit malzeme ile üretmişlerdir. Ürettikleri bu kompozitlere ağırlıkça %15 cam elyaf katkılı doymamış polyester (BMC) disk malzemesi ile 20N'dan 60N'a kadar yük kullanarak 0,5m/sn kayma hızında aşınma testi uygulamışlardır. Çalışmalar sonucunda yük oranı arttıkça sürtünme katsayısı ve aşınma oranının arttığını tespit etmişlerdir.

Ünal ve arkadaşları [20]; %30 cam elyaf katkılı PPS, alifatik poliketon, poliamid 66, poliasetal, çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (ÇYMAPE) malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri bu malzemelere, 0,35Mpa' dan 1,05Mpa' a kadar yük altında, 0,5m/sn' den 2m/sn hıza kadar 50m' den 200m' ye kadar kayma mesafesi üzerinde, aşındırıcı malzeme olarak 150' den başlayıp 1200 numara zımpara ile aşınma testi yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısı ve aşınma oranının düştüğünü ve hız arttıkça sürtünme katsayısı ile aşınma oranının yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Başka bir makalede ise Ünal ve arkadaşları [21]; katkısız poliamid 6, poliasetal ve ÇYMAPE aşınma test malzemelerini enjeksiyonla üretmişlerdir. Ürettikleri malzemelere, 20N yükten başlayıp 40N yüke kadar 0,88m/sn ve 1,76m/sn kayma hızı kullanarak çelik disk üzerinde aşınma testlerini yapmışlardır. Sonuç olarak yük ve hız miktarı arttıkça sürtünme katsayısının arttığını, aşınma oranının ise poliamid 6 ve ÇYMAPE malzemedede düştüğünü tespit etmişlerdir.

Yaşar ve arkadaşları [22]; polyester malzemesine hacimsel olarak %15' den %67' ye kadar cam elyaf katarak, dik, paralel ve antiparalel yönde sıcak presleme yöntemi ile kompozit malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri 7m/sn hızında ve 0,4MPa

yük altında kır dökme demir disk kullanarak aşınma testleri yapmışlardır. Aşınma testleri sonucunda cam elyafı dik yönlü olan polyester kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranını, cam elyafı paralel ve antiparalel yönlü polyester kompozitten daha fazla olduğunu tespit edilmiştir. En az aşınan malzeme olan cam elyafı paralel yönlü polyester kompozit malzemenin cam elyaf miktarı arttıkça sürtünme katsayısının düştüğünü, aşınma oranının arttığını tespit etmiştir.

Koç ve arkadaşları [23]; katkısız poliasetal malzemeye, %20 silikon ve vaks katkısı ile %30 kısa cam elyaf katkılı olmak üzere iki farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. Poliasetal ve kompozitlerinin aşınma deneyinde üç farklı yük (60N, 80N ve 100N) ve iki farklı kayma hızı (0,5-1m/sn) kullanarak çelik disk malzemeye karşı aşınma deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda en düşük sürtünme katsayısının poliasetal + %20 silikon ve vaksli kompozitte olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük aşınma oranı ise %30cam elyaf kompozitli malzemede olduğunu belirlemişlerdir. Katkısız poliasetal ve %20 silikon ve vaks katkılı kompozitin sürtünme katsayısı uygulanan yüklerle azalırken, %30 cam elyaf katkılı kompozitin sürtünme katsayısının arttığını tespit etmişlerdir.

Literatürdeki bilim adamları poliamid 6 malzemesinin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini değişik oranlarda, mineral katkıları, bitki lifleri, elyaf çeşitlerini, polimerleri, metalleri ve seramik katkı malzemelerini katarak incelemek amacıyla kompozit malzeme üretmişlerdir.

Genel olarak poliamid 6; çok iyi yorulma mukavemeti, iyi sürtünme mukavemeti, düşük sürtünme katsayısı, iyi kimyasal direnci, artırılabilir elektriksel özellikler ve çok iyi darbe mukavemetine sahiptir. Ancak poliamidler kolay nem alan, çentiğe duyarlı ve düşük sıcaklıklarda, darbe mukavemeti, UV mukavemeti, kuvvetli asitlere mukavemet ve yapışma güçlüğü gibi dezavantajları da vardır. Kolay akan bir polimerdir.

Poliamid 6, cam elyaf ve mika' nın farklı oranlarda karışımları ile üretilen kompozitlerin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinde değişimler elde edilebilir.

Bu kompozitlerden özellikleri daha iyi olan bir malzeme elde edilirken maliyet özellikleri de değişecektir. Günümüzde bütün tüketiciler ve üreticiler tarafından istenen en önemli unsur fiyattır. Müşteri, malzemesinin uygun özellikleri taşımasının yanı sıra fiyat açısından uygun olmasını ön planda tutar. Çeşitli amaçlarla kullanılan birçok plastik çeşidi vardır. Her polimerin her özelliği karşılması mümkün değildir. Özellikle böyle durumlarda kompozit ve karışımlar ön plana çıkmaktadır. Burada yine malzemenin beklenen özellikleri karşılmasının yanı sıra malzemenin fiyat açısından da değerlendirilmesi yapılabilir. Malzemenin içerisine değişik dolgu ve takviye maddesi katılarak fiyat performansı sağlanabilirken termal mekanik ve tribolojik özelliklerinde de iyileşmeler sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada kompozit matris malzemesi olarak poliamid 6, katkı malzemesi olarak cam elyaf ve mika malzemeleri kullanılmıştır.

Poliamid 6 kompozit malzemeler farklı oranlarda teorik olarak belirlenen kombinasyonlar göz önüne alınarak kompozit makinesi ile granül halde üretilmişlerdir. Granül formda hazırlanmış olan poliamid 6 kompozitleri ile katkısız poliamid 6'nın, mekanik, termal ve tribolojik özellikleri incelemek amacıyla test standartlarına uygun olarak hazırlanan kalıpta enjeksiyon makinesi ile test malzemeleri üretilmiştir.

Test malzemelerinin termal özelliklerini incelemek amacıyla, ergime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı ve yük altında eğilme sıcaklığı testleri yapılmıştır. Mekanik özellikleri incelemek amacıyla malzemelerin visko-elastik davranışları yani depolama ve kayıp modül tepkileri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Tribolojik özellikleri incelemek amacıyla ise aşınma analizi yapılmıştır. Test malzemelerinin aşınma analizleri pim disk aşınma test düzeneği ile 0,5m/sn kayma hızı, 20, 30 ve 40N yük altında ve 1500 metre kayma mesafesi kullanılarak yapılmıştır. Karşı disk olarak ise %30 cam elyaf katkılı poliamid 6, %30 mika katkılı poliamid 6 ve %6 vaks katkılı poliamid disk malzemeleri kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda pim ve disk yüzeylerinden optik mikroskopta aşınma

yüzeylerinden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. SEM incelemeleri çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeylerden yapılmıştır.

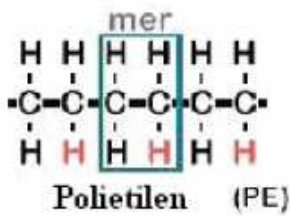
Cam elyaf ve mika katkıli poliamid 6 kompozit malzemeler ile cam elyaf-mika katkıli poliamid 6 hibrit kompozitlerinin tribolojik özelliklerinin katkısiz poliamid 6'ya oranla büyük çapta değiştigi gözlenirken, termal ve mekanik özelliklerinin de değişmesi sağlanmıştır.

Çalışmalar sonucunda piyasada genel olarak kullanılan katkısiz poliamid 6 ve cam elyaf katkıli poliamid 6 kompozitlerine alternatif olarak mika katkıli poliamid 6 kompozit veya cam elyaf-mika poliamid 6 hibrit kompozitleri servis şartları göz önünde bulundurularak kullanım amacına yönelik dikkate alınıp nihai ürünün seçilmesinde yarar sağlayacaktır.

BÖLÜM 2. PLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ÇEŞİTLERİ

Plastikler (polimerler) yapay veya doğal organik maddelerden kimyasal yollarla dönüştürülerek elde edilen, içerisinde pek çok kere tekrarlanan atom gruplarından meydana gelen, makro molekülü yapıya sahip malzemelerdir. Organik madde olan plastikler anorganik kimyanın dışında kalan ve esasını karbon teşkil eden, canlı varlıklarda bulunabildiği gibi, yapay olarak da elde edilebilmesi mümkün olan malzeme türüdür. Makro molekülü yapıya sadece plastikler sahip değildir, bu yapıda hem organik (selüloz, protein, nişasta vs.) hem de inorganik (kuvars, cam vs.) maddeler bulunmaktadır [24].

Polimerler genellikle, çok sayıda tekrarlanan mer veya monomer denilen basit birimlerden oluşur. Şekil 2.1' de polietilen (PE) polimerlerinin zincir yapısı ve mer üniteleri gösterilmiştir [24].



Şekil 2.1. Polietilen monomeri

Tek bir çeşit monomerin polimerleşmesiyle elde edilen makro molekülere homopolimer adı verilir. Kopolimer ise birden fazla çeşit monomerin polimerleşmesiyle meydana gelen makro moleküldür. Homopolimerler kopolimerlere göre daha düzenli yapıda bulunmaktadır. Yine kopolimerlere oranla daha yüksek ergime sıcaklığına, kimyasal dayanıma, eğilme dayanımına ve yüzey sertliğine sahiptir [25].

2.1. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler, 4 ana grupta sınıflandırılabilir.

1. Doğada bulunup bulunmamasına göre (doğal veya yapay),
2. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapılarına göre (düz-lineer, dallanmış, çapraz bağlı, kristal, amorf) ,
3. Zincir yapısına göre sınıflandırma (homopolimer, kopolimer),
4. İçyapılarına göre sınıflandırma (termoplastik, termoset, elastomer).

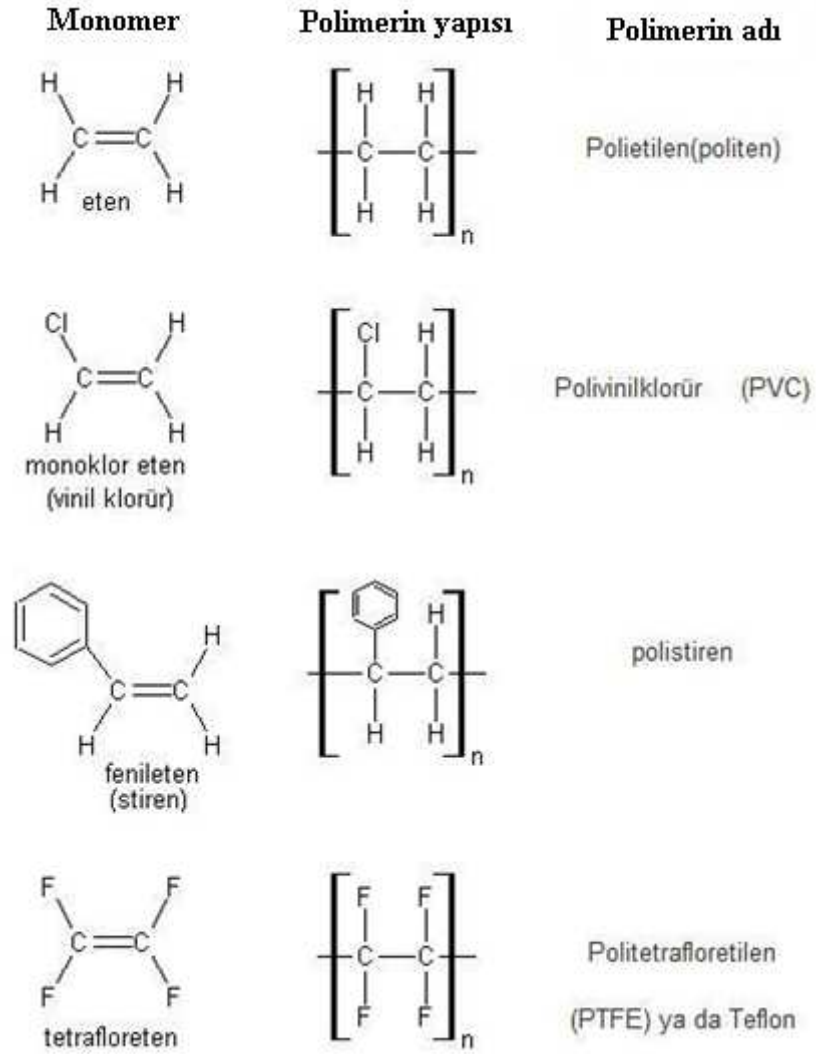
2.1.1. Doğada bulunup bulunmamasına göre

Plastikleri en genel biçimde ‘doğal’ ve ‘yapay’ olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi, doğada bulunan ve yaşamın temel maddelerinden olan selüloz, proteinler, kauçuk ve nişasta doğal plastiklere örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.2. Doğal polimer örneği ve kauçuk doğal polimerinin kimyasal yapısı

Doğal polimer olan protein ve keratinin saç-boynuz ve tırnaklarda, selülozun ise doğada ağaç ve bitkilerde bulunduğu bilinmektedir. Geçmişte doğal fiber (yün, pamuk, ipek) ve elastomerler olarak kullanılan plastikler, yapay olarak ilk kez 1860’larda selüloit eldesi ile yapılmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan polimerlerden bazıları ve monomer yapıları Şekil 2.3’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bazı polimerlerin monomer yapıları

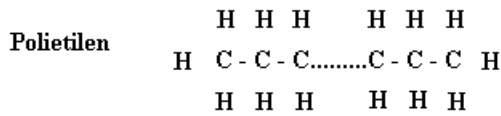
Günümüzde, polietilen (PE), polivinilklorür (PVC), polimetilmetakrilat (PMMA), poliamid (PA) ve politetrafloretan (PTFE, teflon) gibi yaygın olarak bilinen ve kullanılan yapay plastikler ise doğada bulunmazlar. Ancak laboratuvarlar veya endüstride özel koşullarda hazırlanırlar. Yapay ve doğal polimerler arasında iki önemli fark vardır. Özellikle yapay polimerlerin zincir uzunlukları birbirinden farklıdır. Oysa doğal polimerlerin, tümünde tüm zincir uzunlukları aynı boydadır. Doğanın oluşturduğu mükemmellikte (hepsi aynı uzunlukta olan) polimer zincirleri yapay olarak elde edilemezler.

2.1.2. Zincirlerin kimyasal ve fiziksel yapılarına göre sınıflandırılması

Plastikler, zincirlerin kimyasal ve fiziksel yapılarına göre 3'e ayrılarak sınıflandırılabilir.

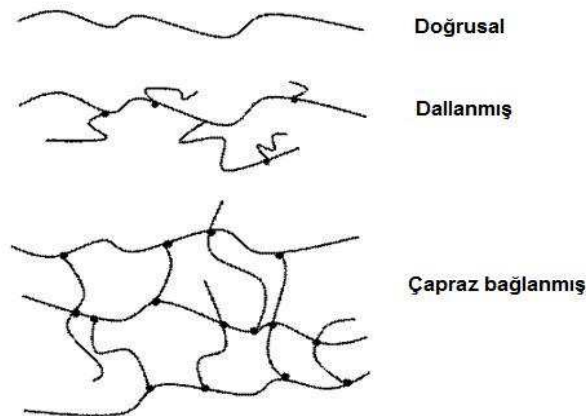
- Düz-lineer, doğrusal plastikler,
- Dallanmış plastikler (az sayıda çapraz bağlı),
- Çapraz bağlı plastikler (yüksek oranda çapraz bağlı).

Organik yapay polimerler incelendiğinde plastik ana zincirinde karbon atomu bulunur ve temel yapısı (C-C-C-C-C-C-.....) şeklindedir. Şekil 2.4' de polietilenin zincir yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4 Polietilen zincir yapısı

Lineer (düz, doğrusal) bir zincir yapısından bahsederken, zincirler gerçekte bir ip boyunca, bir çubuk şeklinde bulunmazlar. “Düz-lineer” kelimesi fiziksel bir yapıyı değil, kimyasal yapıyı tanımlamaktadır. Şekil 2.5' de doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlanmış zincir modelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Doğrusal, dallanmış, çapraz bağlanmış bağ yapısı

2.1.3. Zincir yapısına göre sınıflandırma

Polimerleri, zincir yapısına göre farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. Polimerler tek tür monomerden oluşursa 'homopolimer' ve birden fazla sayıda farklı monomerden oluşursa 'kopolimer' adını alır. Homopolimer ve kopolimer modelleri Şekil 2.6' da verilmiştir.



Şekil 2.6. Homopolimer ve kopolimer modelleri

2.1.4. İçyapılarına göre sınıflandırma

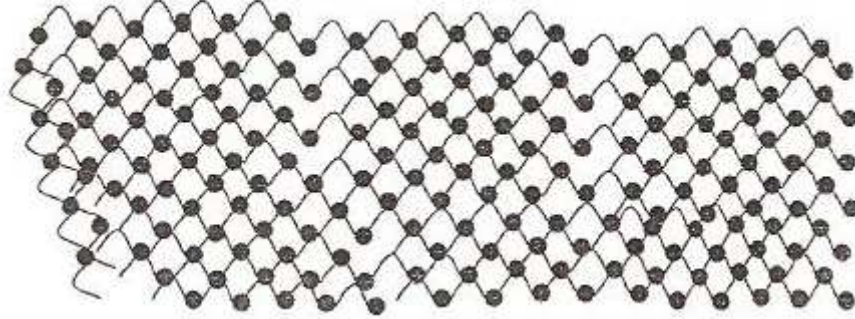
İçyapılarına göre plastikler 3 ana grupta incelenmektedir.

- Termosetler
- Elastomerler
- Termoplastlar

2.1.4.1. Termosetler

Termosetler yüksek oranda çapraz bağ yapısına sahip olan ve ısıtıldıktan sonra tekrar şekillendirilmeyen sert, kırılğan bir yapıya sahiptir. Termosetlerin polimerizasyonu, lineer zincirlerin birbirlerini ağ oluşturacak şekilde kovalent bağlar ile bağlanıp

çapraz bağ oluşturulmasıyla elde edilir. Şekil 2.7' de termosetlerin ağ yapı modeli gösterilmiştir [26].



Şekil 2.7. Termosetlerin içyapı modeli [25]

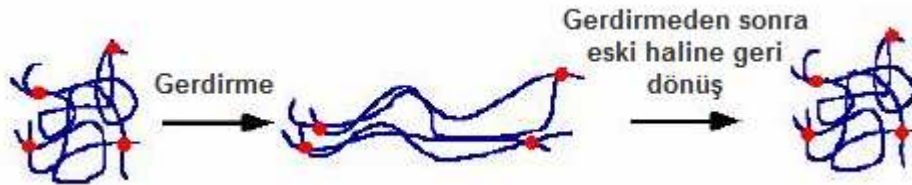
Bu gruba giren plastikler şunlardır.

- Poliester,
- Epoksiler,
- Alkilitler,
- Fenolik reçineler,
- Amino reçineler,
- Silikon'dur.

2.1.4.2. Elastomerler

Termosetler gibi çapraz bağlı bir yapıya sahip olan elastomerler uzun zincirli yapıdadırlar. Maruz kaldıkları çok küçük gerilmeler sonunda bile büyük elastik deformasyona uğrarlar. Bazı elastomerler ilk boyutlarına nazaran %500 ve üzerinde uzama gösterebilirler ve sonrasında eski boyutlarına geri dönebilirler. Yüksek elastik şekil değiştirme kabiliyetine sahip olmalarının nedeni, polimer zincirlerinin birbirine zayıf çapraz bağlarla bağlı olmasıdır. En çok bilinen elastomer kauçuk'tur. Çapraz bağların sayısının artırılması elastomerin daha dayanımlı ve rijit bir yapı kazanmasını sağlar [27].

Elastomerlerde Şekil 2.8' de görüldüğü gibi gerilme öncesinde polimer zincirleri olağan konumunda iken, gerilme sonrasında zincirler gerilme yönünde açılarak malzemenin elastik olarak deformasyona uğramasına neden olurlar. Gerilme kaldırıldığında ise polimer zincirleri eski konumlarına geri dönerler [27].



Şekil 2.8. Gerilme etkisi altındaki elastomer zincirlerinin şematik gösterimi [27]

2.1.4.3. Termoplastikler

Uzun bağımsız Van der Waals bağ zincirleri halinde bulunan, lineer veya dallanmış zincirlerden oluşan polimer sistemlerine termoplastik denir. Termoplastiklerin aralarındaki bağların Van der Waals olmasından dolayı özellikle ısıtıldıkları zaman şekillendirilmeleri kolaydır. Oda sıcaklığında katı malzeme olarak adlandırılır. Rijit bir yapıya sahip değildirler. Sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer ve yumuşar. Bu özellik termoplastiklerden yapılan ticari malzemeleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla işlenebilmesini sağlar. Termoplastikler kristal, amorf ve yarı kristal yapıda olabilirler. Moleküller büyük zincir yapılı ve oldukça düzenli şekil oluşturmuş ise kristal yapılı malzemedir. Amorf polimer ise zincir yapıları birçok noktada birbirine dolaşmış şekilde bulunurlar. Kimyasal etkilere karşı hassastırlar. Termoplastiklerin ısıtma ve soğuma prosesi defalarca tekrarlanabilir [25].

Bu gruba giren polimerler;

- Asetol reçineler,
- Akrikler (PMMA),
- Selülozik (selüloz asetat),
- Florokarbonlar (politetrafloretillen),
- İzosiyonatlar (poliüretan),

- Poliamidler,
- Poliolenler (PE, PP),
- Stiren (PS),
- Vinil (PVC, PVDC),
- Polikarbonat'tır.

Termoplastik malzemelerin termosetlere göre avantajları;

1. Defalarca işlenebilirliği,
2. Kimyasal maddelere dayanımının iyi olması,
3. Proses süresinin kısa olması,
4. Yüksek mukavemet ve tokluk dayanımı,
5. Tamir edilebilir olması,
6. Biçim ve şekil verme esnekliğidir.

Termoplastikleri 2 gruba ayırılır. Bunlar;

1) Genel amaçlı ticari termoplastikler;

- Polipropilen (PP),
- Polietilen (PE),
- Polistiren (PS),
- Polivinilklorür (PVC).

2) Genel amaçlı mühendislik termoplastikleri;

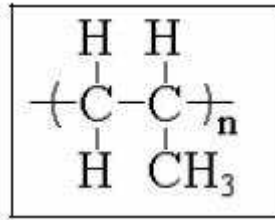
- Polikarbonat (PC),
- Poliasetal (POM),
- Polietereterketon (PEEK),
- Poliamidler (PA).

2.2. Plastiklerin Çeşitleri

2.2.1. Genel amaçlı ticari termoplastikler

2.2.1.1. Polipropilen (PP)

Polipropilen yarı kristal halde bulunan bir termoplastiktir. 121°C' ye kadar sıcaklıklarda uzun süre kullanılabilir. Birçok bükülmeden sonra dahi sertliğini korur. -9,4°C' nin altında kırılındır. Isı ve ışığın etkisiyle kolayca bozunabilir. Kolay bir şekilde renklendirilemez. Ergime noktası 175°C civarındadır. Düşük su absorpsiyonu ve su geçirgenliği vardır. 60°C' ye kadar kuvvetli asit ve bazlara dayanıklıdır. Dünyada bilinen 150' den fazla polipropilen türü vardır. Bu kadar fazla türde üretilen polipropilenin bulunması, beraberinde polipropilenin kullanım alanlarını da geliştirmiştir. Polipropilenin monomer yapısı Şekil 2.9' da gösterilmiştir [28].



Şekil 2.9. Polipropilen monomerinin şematik gösterimi

Kullanım alanı olarak polipropilen genellikle, paketlenme ambalajı, otomobil parçası, çeşitli ev aletleri, ev eşyası, tel ve kablo kaplamalarında, gıda ambalajında, kaplama ve laminasyon malzemesi olarak, halı ve yer döşemesi yapımında, halat ve çuval lifi üretiminde, akü kabı üretiminde, meşrubat şişesi kasalarında, laboratuvar donatımı yapımında, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, sentetik çim yapımında, plastik boru üretiminde, optik ve elektrik malzemelerin imalatında, profil, levha, halı, keçe, paspas ve ilaç ambalajı sanayisinde kullanılmaktadır [28].

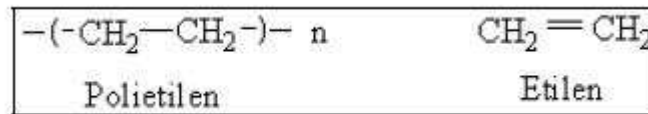
Polipropilen 1954 yılında NATTA tarafından bulunmuştur. Polipropilen, bir gaz olan propilen monomerinin katılma polimerizasyonu sonrasında elde edilmektedir. Polipropilenin yoğunluğu 0,905 gr/cm³'tür. Oldukça hafif bir polimer olan

polipropilen yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Çekme dayanımı yaklaşık 350 kg/cm²'dir. Mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklara kadar koruyabilmektedir. Darbe dayanımı yüksektir. Elektriksel özellikleri çok iyi olan polipropilenin, kimyasal maddelere karşı direnci oldukça iyidir. Polipropilen bir termoplastik ürün olarak, birçok plastik işleme yöntemi ile şekillendirilebilir. Levha, film, profil ve tel haline ürünler elde edilebilir [28].

2.2.1.2. Polietilen (PE)

Etilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında oluşan, makromoleküllü plastik polietilen olarak adlandırılır. Polietilen homopolimer bir plastiktir. Tarihte ilk üretilen polietilen, alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)' dir [27].

Polietilenin üretimi II. dünya savaşı sırasında yaygınlaşmış, elektronik, elektrik nakli, paketleme, kalıplama alanında hammadde olarak kullanılmıştır. Daha sonrasında, Ziegler-Natta adıyla anılan yeni bir katalizörün bulunmasıyla, Şekil 2.10' da gösterilen etilen monomeri daha düşük basınçta polimerizasyon işlemine tabii tutulmuş ve yapının daha düzenli olması sağlanmıştır. Böylece yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve lineer alçak yoğunluklu polietilen (LAYPE) üretimi başlamıştır [27].

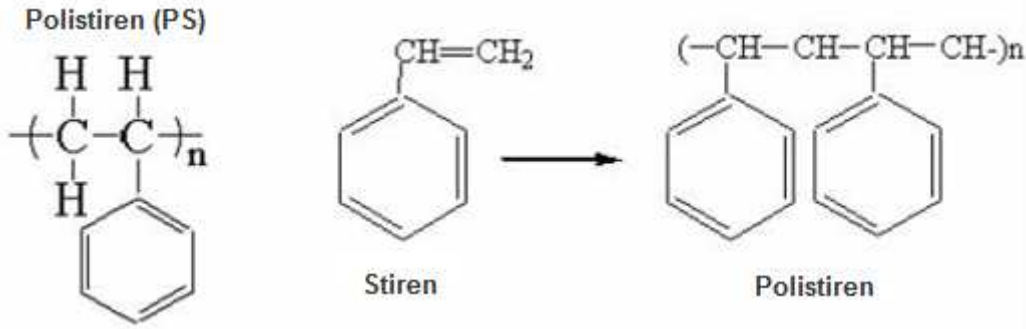


Şekil 2.10. Polietilenin ve etilen monomeri şematik gösterilişi

En fazla üretim oranına sahip olan polietilenin toplam üretimi diğer plastiklerin üretiminden %35 daha fazladır. Birçok plastik işleme yöntemiyle şekillendirilebilen polietilen, film, levha, profil v.b. ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır [27].

2.2.1.3. Polistiren (PS)

Stiren monomerlerinin polimerizasyonu ile polistiren plastiği elde edilir. Polistirenin yapısı Şekil 2.11' de gösterilmiştir [27].



Şekil 2.11. Polistiren plastiğinin şematik gösterimi ve stiren monomeri [27]

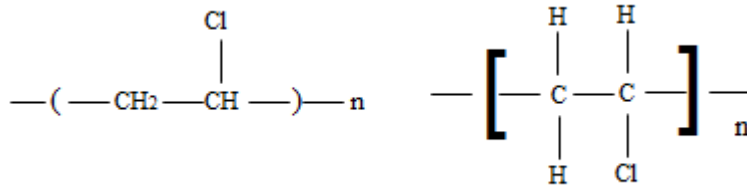
Ticari olarak ilk polistiren üretimi 1938 yılında ABD' de gerçekleşmiştir. Stiren monomerinin polimerizasyonu sonrasında elde edilen plastik, genel amaçlı polistiren olarak da adlandırılır. Monomer kömür ya da petrol endüstrisinden elde edilen benzol ve etilenden yapıldığı için oldukça ucuzdur. Polistiren plastiğinin kullanım alanları, gıda ambalajı, radyo ve televizyon kabinleri, CD kapakları, video kaseti, buzdolabı parçaları, yalıtım malzemeleri, dekoratif yapı malzemeleri, masa, sandalye, mobilya, mutfak gereçleri ve oyuncak sanayidir [27].

Polistiren 100 °C' nin altında şeffaf ve katı, üstünde ise yumuşak ve akışkan bir hal gösterir. Genel amaçlı kullanılan polistirenin yoğunluğu 1,02 gr/cm³ - 1,06 gr/cm³ arasında değişmektedir. Camsı geçiş sıcaklığı ise (T_g) 100 °C' dir. Polistirenin diğer termoplastiklere nazaran avantajlı olmasının sebebi, amorf bir yapıya sahip olmasıdır. Kristal yapıda olmadığından camsı halden ergimiş hale geçerken az enerji harcanır. Kristalleşme için gerekli bir enerjiye ihtiyaç duyulmaması, polistirenin hızlı kalıplanmasını mümkün kılar. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde, viskoelastik ergiyik şeklinde plastik enjeksiyon ve plastik ekstrüzyon kalıplama yöntemiyle az enerji sarfiyatı ile kalıplanabilir [27].

Polistiren plastiği kullanarak çeşitli ürünlerin imalatı söz konusudur. Polistiren kolaylıkla levha, film, profil ve köpük plastik haline getirilebilir. Akışkanlığının çok iyi olması ve ısısız kararlılığa sahip olması polistireni ideal bir plastik haline getirmiştir. Bu sayede polistiren çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [27].

2.2.1.4. Polivinilklorür (PVC)

Genelde plastikleştirici malzemelerle birlikte kullanılarak işlenmekte ve ürünler meydana getirilmektedir. Sert, yumuşak, opak ve saydam türleri mevcuttur. Üretim kolaylığı, maliyetin düşüklüğü, çevre koşullarına dirençli olması gibi özellikler göz önüne alındığında PVC'nin kablo ve pencere profili yapımında oldukça yaygın kullanılmasının nedeni ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte PVC, çok geniş uygulama alanına sahiptir. Yer döşeme malzemeleri, yumuşak oyuncak bebekler, su hortumları ve çeşitli plastik eşyaların yapımında kullanılmaktadır. PVC'nin yapısı Şekil 2.12' de gösterildiği gibidir [27].



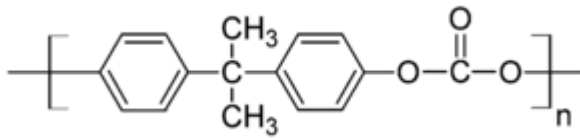
Şekil 2.12. Polivinilklorür monomeri

Polivinilklorürün özgül ağırlığı 1,4 gr/cm³'tür. PVC'nin yumuşak türleri yetersiz mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte, çekme dayanımı 120-240 kgf/cm² kadardır. Çeşitli katkı malzemelerinin ilavesiyle birlikte rijit hale getirildiğinde, çekme dayanımı 400-500 kgf/cm² değerine ulaşmaktadır. Genel anlamda fiziksel ve elektriksel yalıtımı iyidir. Nerdeyse tüm plastik işleme yöntemlerine uygundur. Levha, film, boru ve pencere profili olarak kolayca şekillendirilebilir [27].

2.2.2. Genel amaçlı mühendislik termoplastikleri

2.2.2.1. Polikarbonat (PC)

Polikarbonat ilk kez Einbain tarafından 1898 yılında üretilmiştir. Ancak, bu alifatik polikarbonatlar bağıl olarak düşük erime ve yumuşama sıcaklıkları nedeniyle mühendislik reçinesi olarak kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda Carothers ve Natta alifatik polikarbonatları içeren yüksek molekül ağırlıklı polikondansatları incelemiştir. Polikarbonatın zincir yapısı Şekil 2.13’ de görüldüğü gibidir. Polikarbonat, saflığı, ısı direnci, boyutsal kararlılığı ve son derece yüksek darbe mukavemetine sahip amorf bir mühendislik termoplastiktir [28].

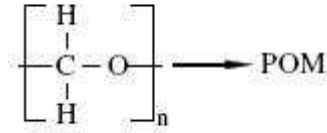


Şekil 2.13. Polikarbonat zincir yapısının şematik gösterimi

Polikarbonatlar, üstün özellikleri ve uygulama alanlarına bağlı olarak istenilen işleme tekniklerinin birçoğu ile şekillendirilebilir. Polikarbonatlar endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Elektriksel yalıtım özellikleri, yanmazlıkları, yüksek ısıl bozunma sıcaklıkları, çarpılma dirençleri, şeffaflık ve boyutsal kararlılıkları nedeniyle elektronik endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptir. Toplam polikarbonat üretiminin %11’ i otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bilgisayar iş parçaları, terminaller, hayvan kafesleri, rüzgar kesen siper, lambalar, gözlük camları, paten, ilaç şişeleri, oto lambaları, su şişeleri gibi birçok üretim alanına sahiptir. Polikarbonatların yoğunluğu 1,20 gr/cm³’tür. Camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 147°C’ dir. 220 °C’ da ise polikarbonat işlenebilir hale gelir. Bu sıcaklık polikarbonat için erime sıcaklığı olarak tanımlanır. Polikarbonatlar enjeksiyon ile kalıplama, ekstrüzyon ve enjeksiyonla şişirme gibi tekniklerle işlenebilir. Polikarbonatın en önemli karakteristik özelliği yüksek eriyik viskozitesidir [28].

2.2.2.2. Poliasetal (POM)

Poliasetal (poli-oksi-metilen), Şekil 2.14' de gösterilen monomerin formaldehit polimerizasyonu ile elde edilen bir mühendislik termoplastiğidir. Kimyasal yapısında bulunan oksijen ve metilen gruplarının sahip olduğu yüksek orandaki kristalinite, poliasetale sertlik ve sağlamlık sağlar. Yaygın olarak kullanılan organik solventlere, petrol ürünlerine ve mineral yağların çoğuna dayanıklıdır. Poliasetalin en önemli özelliği üstün dayanıklılık, elastikiyet boyutsal kararlılığı ve sertliğidir [29].

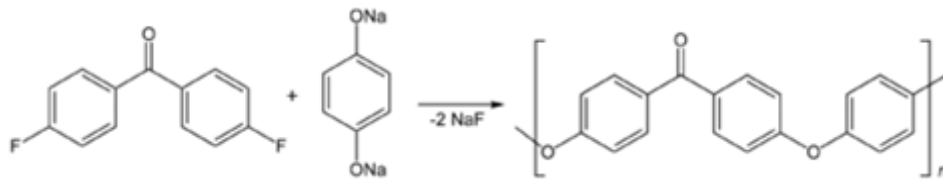


Şekil 2.14. Poliasetal zincir yapısının şematik gösterimi

Poliasetaller çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Dişli uygulamaları, konveyör, yakıt sistemleri, tokalar, fermuarlar, pim, sonsuz vida ve kış spor ekipmanları gibi sürtünme gerektiren ürünlerde kullanılmaktadır. Poliasetalin yoğunluğu 1,41-1,43 gr/cm³ arasındadır. Ergime sıcaklıkları 165 °C ile 175 °C arasında değişir. Sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeni ile birçok alanda plastik ve metallerin yerine kullanılır [29].

2.2.2.3. Polietereterketon (PEEK)

Polietereterketon, mükemmel sürtünme ve aşınma özelliklerinin yanı sıra kimyasallarla karşı mükemmel direnç gösteren polietereterketonun, polimerizasyonu Şekil 2.15' deki gibidir. PEEK polimer ve bileşikleri tipik olarak 145 °C' lik camsı geçiş ve 340 °C' lik ergime sıcaklığına sahiptir [30].



Şekil 2.15. Polietereterketon polimerizasyonu ve zincir yapısının şematik gösterimi

PEEK, yarı kristalli ve yüksek ergiyik sıcaklık derecesi ile mükemmel bir plastik olup geniş kullanım alanına sahiptir. PEEK kimyasal çevrelere karşı mükemmel direnç gösterir, hatta yüksek sıcaklıklarda dahi bu özelliği devam etmektedir. PEEK'in en önemli özelliği yüksek sıcaklıklarda sürtünme, aşınma, bükülme ve gerilmelere karşı dayanıklı olmasıdır. Kullanım alanları olarak daha çok uçak sanayinde ve elektrik endüstrisinde tercih edilmektedir. Takım aletleri, giysi parçası, ölçme pistonlarında, sürtünmeli yataklarda, yuvarlak valf contalarında, petrol kuyularında, plaka destekleri, kablo endüstrisi gibi birçok üründe kullanılmaktadır [30].

2.2.2.4. Poliamid (PA)

Tarihçesi; Wallace Carothers doğrusal kondenzasyon polimerizasyonu ile poliamidin üretimini başlatan ilk araştırmacıdır. Bu araştırmacı tarafından 1935' de sentez edilen poliamid 6.6, Dupont firması tarafından 1938' de üretim programına alınmıştır. Aynı yıllarda, Almanya' da Pslack Kaprolaktamdan halka açılmasıyla Nylon 6' yı sentez etmiş ve 1939' da I.G.Farben tarafından, Perlon ticari adıyla üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde bu yöntemle yılda 3 milyon tonun üzerinde poliamid üretilmektedir [31].

Çeşitleri; yapımında kullanılan monomerlerden dolayı polimerin cinsini belirtmek üzere poliamid adıyla birlikte numaralandırma sistemi uygulanır. Poliamid standartlarında 7 tip ve 20'nin üzerinde malzeme çeşidi tanımlanmaktadır [25, 32].

Poliamidler yoğunlaşma polimerizasyonu ile oluşturulurlar. Monomerler, amid gruplar ve yan ürün olarak su oluşturmak için birleşir.

Genel özellikleri; poliamid özelliklerinin ana belirleyicisi amid gruplardır. Poliamid monomerini oluşturan elementlerden, C-O Van der Waals bağı ve N-H Van der Waals bağlarının her ikisi de polardır ve N ve O negatif uçlardır. Bu polarite komşu poliamid molekülleri arasında ikincil bağların oluşumuna yol açar. Bu ikincil bağlar (H bağları) naylon hareketlerinin birbirine göre hareketini sınırlar ve çekme mukavemetini artırır. Ayrıca ikincil bağlar poliamid moleküllerinin yüksek kristalleşmesi sonucu oluşan sıkışmayı rahatlatır. Bu kristalleşme, yüksek mukavemet, yüksek katılık, düşük gaz ve buhar geçirgenliği, yarı saydamlık, dar bir ergime aralığı, iyi aşınma direnci, iyi yorulma ömrü ve yüksek sıcaklıkta işlenmeye olanak tanır.

Amid grubun polaritesi, su gibi polar çözücülere karşı duyarlı yapar. Poliamidin su emmesi (%2,5 ağırlık) diğer tüm mühendislik termoplastiklerden daha yüksektir. Su emme, PA özellikleri üzerinde önemli etki yapar [33].

Türleri; Laktam veya aminoasit gibi tek bir monomerden yapılan poliamid için monomerdeki karbon atomu sayısını gösteren tek bir sayı kullanılır.

Tek monomerden elde edilenler;

- Poliamid 6,
- Poliamid 7,
- Poliamid 8,
- Poliamid 11,
- Poliamid 12' dir.

Diamin ve Diasitlerin polimerleştirilmesiyle elde edilen poliamid için ise ilki diamin' in ikincisi diasit' in karbon atomu sayısını gösteren tek bir sayı kullanılır.

Diamin + Diasit' den elde edilenler;

- Poliamid 4.6,
- Poliamid 6.6,
- Poliamid 6.9,
- Poliamid 6.10' dur.

Poliamidleri kimyasal olarak 4 sınıfa ayrılması uygun olabilir.

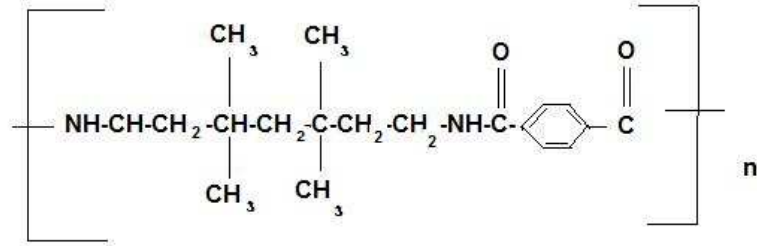
- 1) Laktamların polimerleştirilmesi ile yapılanlar,
- 2) Daiminler ile diasitlerin kondesasyonu ile yapılanlar,
- 3) Aminoasitlerin kendi arasında kondensasyonu ile yapılanlar,
- 4) Bitkisel yağ esaslı poliamidler [32].

BÖLÜM 3. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELERİN TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE ENJEKSİYON PROSESİ

3.1. Deney Malzemelerin Tanım ve Özellikleri

3.1.1. Poliamid 6

DeneySEL çalışmalarda Şekil 3.1' de kimyasal formülü verilen poliamid 6 polimeri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Poliamid 6 polimerinin kimyasal zincir yapısı

Bazı üreticiler ve poliamid 6'ya verdikleri isimler ise Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bazı poliamid 6 üretici ve isimleri

Akzo	Akulan K veya Akulan M
Basf	Ultramid
Atrochem	Orgamid
Bip	Betle Nylon 6

3.1.1.1. Poliamid 6'nın genel yapısı

Molekül ağırlığı 80000 - 100000 arasında değişen poliamid 6 yüksek kristaliniteye sahip, sert, darbelere dirençli, nem aktivitesi düşük ve sentetik bir termoplastiktir. Poliamid türleri içerisinde mekanik ve fiziksel özellikleri açısından en iyi olanıdır. Poliamid 6, poliamid 6.6 ile aynı yapıya (kimyasal, fiziksel, elektriksel) sahiptir. Poliamid 6'nın erime sıcaklığı poliamid 6.6'dan daha düşüktür. Poliamid 6'nın işleme sıcaklığı ergime sıcaklığından yaklaşık 25°C daha fazladır [34].

Poliamid 6'nın molekül ağırlığı ve yapısından dolayı darbe dayanımı yüksektir. Aşınma ve darbe dayanımının çok yüksek, nem aktivitesinin düşük olması gereken uygulamalarda tercih edilir. Poliamid 6, pirinç, bronz, çelik ve paslanmaz çelik yerine kullanılabilir. Poliamid 6'ya çeşitli katkı maddeleri ilave ederek malzeme yapısı değiştirilebilir. Düşük nemde ve sıcaklıkta makul elektriksel izolatördür [35].

3.1.1.2. Poliamid 6'nın elde edilişi

E-Kaprolaktamın hidrolitik veya anyonik polimerleşmesi ile elde edilir. Hidrolitik polimerleşme, ticari olarak en çok kullanılan yöntemdir. Anyonik polimerleşme, daha çok döküm tekniği için elverişli bir yöntemdir [31].

Poliamidin elde edilmesinde, hidrolitik polimerleşmede başlatıcı olarak su kullanılır. Ancak, kimi süreçlerde naylon 66 tuzu, E-aminokaproik asit ve başka aminoasitlerde başlatıcı olarak kullanılmaktadır. Tipik bir hidrolitik polimerleşme sürecinde, kaprolaktam, %10 su ve molekül ağırlığı denetleyicisi olarak %0,05 kadar asetik asit ile birlikte 250°C dolayında bir sıcaklıkta tutulur. Bu sıcaklık ortamda bulunan su, kaprolaktamın kısa bir kısmının hidrolizine yol açar. Hidroliz sonucu oluşan E-aminokaproik aside kaprolaktam katılması ve katılma reaksiyonunun basamaklı olarak yinelenmesi ile polimer oluşur. Bu polimerleşme bir denge reaksiyonudur. Monomer-polimer dengesi sonucu % 100 dönüşümüne ulaşılmaz. Dengeye monomer konsantrasyonu koşullara bağlı olarak %5-12 dolayındadır. Bu nedenle elde edilen

ürün %10 kadar monomer ve oligomer içerir. Polimerden beklenen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için monomer ve oligomerlerin ayrılması gerekir. Monomer ve oligomer sıcak suda çözünebilir polimer ise çözünmez. Bu çözünürlük özelliğinden hareketle, ürünün sıcak su ile yıkanması ile monomer ayrılır. Monomerin ayrılması için bir başka yöntemde vakum damıtmasıdır.

Kaprolaktam, imid veya izosiyonat bileşikleri gibi aktivatörler eşliğinde kuvvetli bazlarla anyonik olarak da polimerleştirilebilir. 150-200 °C' de çok hızlı olan anyonik polimerleşme, kalıplanması güç olan büyük parçaların döküm yöntemi ile hazırlanmasına olanak verir [31].

3.1.1.3. Poliamid 6'nın genel özellikleri

Mekanik özellikler; katkısız poliamid 6 sert, tok, sürünme ve ısıl deformasyona karşı direnç gibi özelliklere sahiptir. Piyasada mekanik özellikli poliamid 6' nın 4 çeşidi satılmaktadır. Bunlar; homopolimer, darbe dayanımlı, cam elyaf katkılı ve fiber/mineral karışımli poliamid 6'dır. Homopolimer poliamid 6 daha çok darbe dayanımlı, prosesi daha kolay olup genellikle standart ve kristal formda üretilirler. Poliamid 6'ya bazı plastikleştiriciler ilave edilerek darbe mukavemeti arttırılarak elde edilirler. %5-50 oranlarında cam elyaf katkılı poliamid 6 çeşitleri mevcuttur. Cam elyaf/mineral katkıların birlikte kullanılması durumunda toplam %20-40 oranlarında cam elyaf ve mineral ilave edilirler [35].

Poliamid 6'dan imal edilen parçalarının mekanik özelliklerine etki olarak çalışma şartları çok önemlidir. Ortam sıcaklığı ve nem oranı poliamid 6'nın mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Özellikle ortam sıcaklığı 30 °C' nin üzerinde olduğunda, elastik modülünde gözle görülür bir azalma olur. Cam elyaf katkılı poliamid 6 malzemeler 150 °C' ye kadar olan ortamlarda kullanılabilirler. Katkısız poliamid 6'nın genel özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir [35].

Tablo 3.2. Katkısız poliamid 6'nın genel özellikleri

Özellikler	Test Metodu	Birim	Değer
Yoğunluk	-	-	1,14
Basma Dayanımı	DIN 53454	Kg/cm ²	1100
Sertlik	DIN 53505	Shore	85
Darbe Dayanımı	DIN 53453	Kj/cm ²	Kırılmaz
Kopma Uzaması	DIN 53455	%	40
Ergime Noktası	DIN 53736	°C	221
Çekme Dayanımı	DIN 53455	Kg/cm ²	800
Maksimum Kullanım Sıcaklığı	Sürekli	°C	+120
	Kısa Süreli	°C	+160
Sürtünme Katsayısı	DIN 53479	μ	0,15
Asitlere Dayanımı	-	-	Zayıf
Bazlara Dayanımı	-	-	İyi

Termal özellikler; Poliamid 6 diğer polimerlere göre ergime noktası yüksek olan bir polimer çeşididir. Katkısız poliamid 6'nın ergime sıcaklığı (T_m) 220-225 °C' dir. Camsı geçiş sıcaklığı ise 57 °C' dir. Viskozite, 280°C' de, karışıma bağlı olarak (katkılı/katkısız) 45' den 300 Nsm⁻², ye değişir [31].

Elektriksel özellikler; Poliamid 6'nın düşük nemde ve sıcaklıkta elektriksel yalıtkanlık özelliği vardır. Spesifik direnci 10¹¹-10¹⁵ Ω (ohm)' dur. Yüzey direnci ise 10¹⁰-10¹³ Ω değerindedir. Dielektrik direnci ise 16-150 KV/mm'dir [35].

Çevre koşullarına direnç özelliği; Poliamid 6'nın çevre koşullarına dirençli olduğu ve olmadığı malzemeler aşağıda verilmiştir. Ayrıca her poliamid çeşidi gibi poliamid 6'nında UV ışınlarına dayanımı azdır. Uygun stabilize edici maddelerle bu özelliği iyileştirilir [35].

Çevre koşullarına dirençli olduğu maddeler: Alkol (örn: metanolo) , hidrokarbon, aromatik, esterler ve ketonlara dirençlidir. Klorlanmış hidrokarbonlara direnci orta seviyededir. Yağlara ve bazlara direnci iyidir.

Çevre koşullarına dirençli olmadığı maddeler: Asitler ve oksidasyonlu maddelerin solüsyonu, formik asit, sülfürik asit, dimetil formamid ve m-kresolsolvent'tir (bütün Poliamid 6' lar için) [25, 35, 38].

Tribolojik özellikler; Poliamid 6 polimerik malzemeler dişliler, yataklar, aşınma plakaları, birleştirme parçaları, silindirler, sonsuz vida, yatak segmanları gibi parçaların yapımına uygun olup, çelik, bronz, pirinç, paslanmaz çelik yerine gereken durumlarda tercih edilir. Düşük ve normal kayma hızlarında toz, kum ve benzeri bulunan aşındırıcı ortamlarda poliamid 6'nın çalışma ömrü, bronz, döküm, demir ve çelikten 2 ila 10 kata kadar fazladır [35].

3.1.2. Cam elyaf

Poliamid 6' ya ilave edilen katkılardan cam elyaf, en yaygın kullanılan ve en ucuz katkı türüdür. Genel olarak mekanik özellikler, tribolojik özellik, elektriksel iletkenlik, kimyasal direnç ve korozyon dayanımı gibi özellikleri geliştirmek kullanılır. Cam elyaf çeşitleri Tablo 3.3' de verilmiştir. En yaygın olarak kullanılan cam elyaf türü E-camıdır. Malzeme mukavemetini ve elektrik direncini arttırmak için kullanılır. E-camının mukavemeti, üretim sırasındaki işlemlere ve testin yapıldığı çevre koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bunların başında ortamdaki nem gelmektedir. Nem, mukavemeti düşürmektedir. Cam elyafın asitlere teması da mukavemeti düşüren diğer bir nedendir. Üretim sırasında cam elyafların birbirlerine sürtünmesi de dayanımı azaltmaktadır. Elyaf içerisinde yok edilemeyen bazı süreksizliklerin oluşması mukavemet değerlerinin her ölçümde aynı çıkmamasına neden olmaktadır [33, 36].

Cam elyafın üstünlükleri, ucuzluğu, yüksek çekme ve darbe dayanımı, yüksek kimyasal dayanımıdır. Zayıf yönleri ise, düşük elastiklik modülü, cam elyafların sürtünerek birbirini aşındırması, düşük yorulma dayanımı ve matrise tutunmanın az oluşudur. Cam elyaf yanmaz, mekanik özellikleri ise yüksek sıcaklıklarda çok fazla değişmez. Çok güçlü alkaliler ve hidroflorik asit dışında korozyon dayanımı mükemmeldir [33].

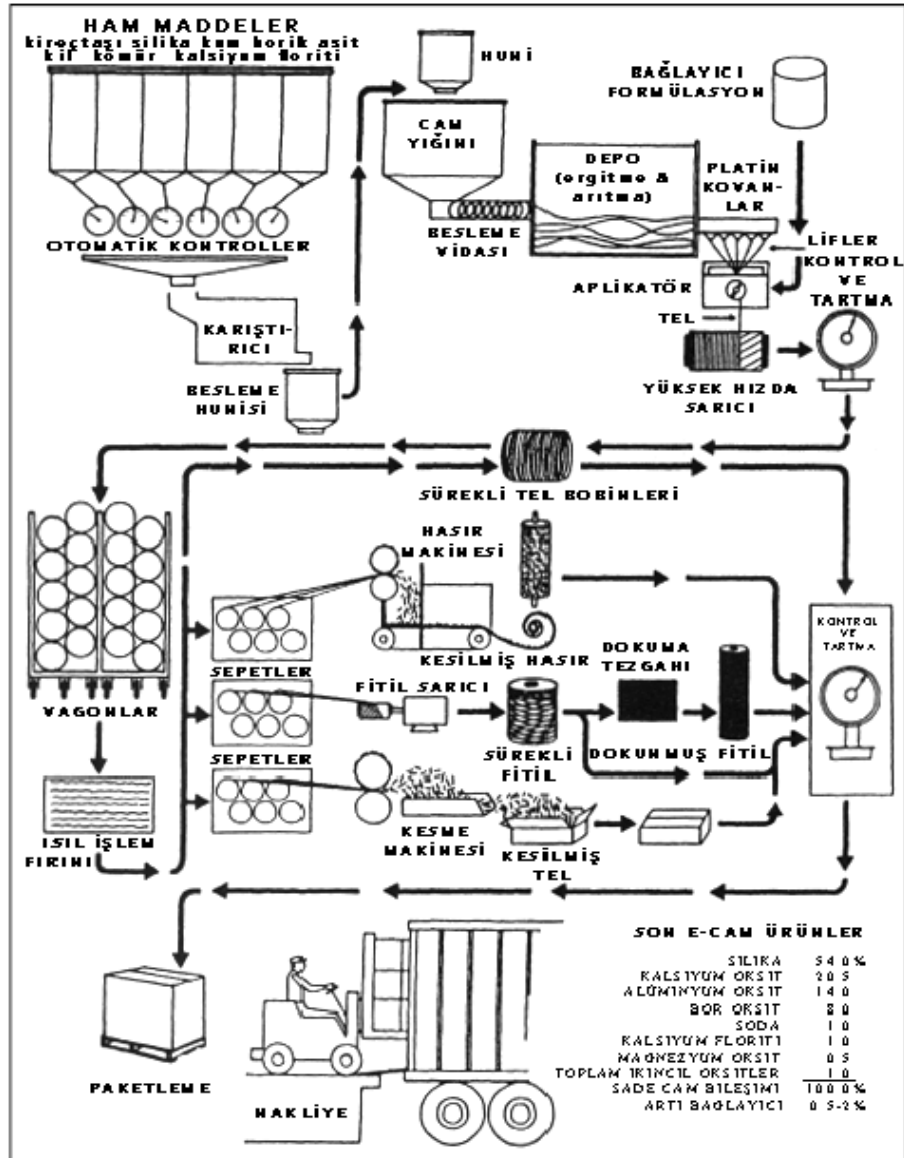
Cam elyaf sürekli ve süreksiz olarak üretilir. 1300 °C sıcaklıktaki sıvı cam, bir platin kovanın tabanındaki çok sayıda delikten aşağıya doğru demet halinde çekilir. Bir soğutma işleminden sonra, koruyucu yüzey kaplaması uygulanır. Bu tabaka,

sürtünmeyi azaltarak hem aşınmayı önler hem de üretim sırasında cam elyafların birbirine göre hareketini kolaylaştırır. Aynı zamanda matris ile ara yüzeyi de oluşturur. Elyaflar daha sonra fitil olarak adlandırılan demetler halinde toplanır. Bu üretim sırasında hız 3 km/dak' ya ulaşabilir. Bobinlere sarılan elyaf kondisyonlanır ve kurutulur. Bu sırada koruyucu tabaka içersindeki çözücü sıvı ve su giderilir. Cam elyafın üretim aşamaları Şekil 3.2' de gösterilmiştir [33].

Tablo 3.3. Kompozitlerde kullanılan cam elyaf türleri ve kimyasal birleşimleri [33]

Özellikler	Cam Tipi				
	E	S	R	C	D
Özgül ağırlık (g/cm^3)	2.54	2.49	2.49	2.49	2.16
Çekme dayanımı (20 °C) (GPa)	3.5	4.65	4.65	2.8	2.45
Elastik modülü (20 °C) (GPa)	73.5	86.5	86.5	70	52.5
Kopma uzaması (20 °C) (%)	4.5	5.3	5.3	4.0	4.5
Katkı Malzemeleri (%)					
SiO ₂	54	65	60	65	74
Al ₂ O ₃	15	25	25	4	
CaO	18		9	14	0.2
MgO	4	10	6	3	0.2
B ₂ O ₃	8			5.5	23
F	0.3				
Fe ₂ O ₃	0.3				
TiO ₂					0.1
Na ₂ O				8	1.2
K ₂ O	0.4			0.5	1.3

Camın viskozitesi, sıcaklığı ve çekme hızı değiştirilerek farklı çaplarda (ticari olarak 2,5 μm -20 μm) elyaf üretilebilir. Cam elyafın piyasaya sunuluşu; fitil (bükümsüz), yarı fitil (yarı bükülmüş), bükülmüş iplik, keçe ve dokuma şeklindedir [33].



Şekil 3.2 Cam elyaf üretim aşamaları [33]

3.1.3. Mika

Mika, doğada en bol bulunan minerallerden biri olmasına rağmen ticari kullanım imkanları kısıtlı olan bir mineraldir. Diğer endüstriyel hammaddeler ile kıyaslandığında küçük hacimli bir endüstri ve pazara sahiptir. Toz mika, Pul ve hurda mikanın toz olarak öğütülmesi ile üretilmektedir. Mikaya toz olarak 2 çeşit öğütme metodu uygulanır. Bunlar, Kuru öğütülmüş mika ve yaş öğütülmüş mikadır. Kuru öğütülmüş mika ve yaş öğütülmüş mika Tablo 3.4' de gösterildiği gibi birbirleriyle ilgili olmayan farklı endüstri kollarında kullanılmaktadır. Doğada çok az

mineral bu şekilde birbirinden çok farklı endüstri kollarında kullanım imkanları bulunmaktadır.

Tablo 3.4. Kuru ve yaş öğütülmüş toz mikanın genel olarak kullanıldığı alanlar [37]

Kuru Öğütülmüş Toz Mika	
Petrol Sondajları	Mika sondaj çamuruna karıştırılarak, kuyuda karşılaşılan çatlakları kapatmak amacıyla kullanılır.
Çatlak Çimentosu	Yüzeyde oluşabilecek çatlamalara karşı dayanım kazandırmakta ve düzgün yüzey oluşmasını sağlamaktadır.
Yüzey Kaplaması	İç ve dış cephe sıvalarında, yapı ve çatı boyalarında kullanılmaktadır.
Yalıtkan Sanayinde	Asbest'e alternatif malzeme olarak, düşük yoğunluklu ateşe dayanıklı ürünlerin kullanıldığı alanlarda yalıtkan olarak kullanılır.
Kaynak Elektrodu	Akma ve cüruf özellikleri kontrol etmek istenen belli elektrotların yapımında karışım malzemesi olarak kullanılır.
Plastik Endüstrisi	Otomobil, elektrik ve yapı endüstrilerinde kullanılan sert plastiklerin imalinde, dolgu malzemesi olarak kuvvetlendirici etki yaratmaktadır.
Diğer Alanlar	Yukarıda belirtilen alanlar haricinde, ayrıca döküm sanayinde, yangın söndürme malzemeleri imalinde, akustik ürünlerde yapıştırıcı ve yağ endüstrisi olmak üzere değişik alanlarda kullanılmaktadır.
Yaş Öğütülmüş Toz Mika	
Duvar Kağıtları	Ürünlerde parlaklık sağlamaktadır. Önemli bir pazar olmasına rağmen bu alanda ilgi giderek azalmaktadır.
Kauçuk, Lastik	Kalıp yağlandırıcısı ve tozlandırıcı olarak, daha çok otomobil endüstrisine bağlı olarak kullanılmaktadır.
Boya Endüstrisi	Çökme ve korozyona karşı kullanılan boyaların üretiminde, nispeten düşük maliyeti nedeniyle mikronize mika yerine kullanılmaktadır.
Mikronize Mika	Büyük oranda boya endüstrisinde, daha az oranda yapıştırıcı ve fenolik kalıp tozu olarak kullanılmaktadır.

Mika aşağıda belirtilen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahiptir [37].

- Üstün mekanik ısı ve elektriksel özelliklere sahip, yüksek gerilme ve bükülme dayanımı gösteren, şeffaf, elastik, esnek, sert ve nispeten ucuz doğal bir mineral olması,

- Kimyasal olarak kararlı olup, ışık, elektrik, su, yağ çözücüler, asitler (hidrofolik asit ve konsantre sülfürik asit haricinde), alkaliler ve kimyasal maddelere karşı dayanıklı olması,
- Mükemmel derecede dielektrik dayanımı ve ısı kararlılığına sahip oluşu,
- Neme, yanmaya, erimeye karşı dayanıklı olması, sıcaklık artışı ve azalmasına bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikleri göstermemesi,
- Işığı yansıtan ve geçirgen muskovit tanelerinin, dekoratif ve süsleyici bir özellik vermesi,
- Yapışmaya ve sürtünmeye karşı önemli özelliklere sahip olan mikanın, malzeme yüzeylerinin korunmasına yardımcı olması,
- Son ürünün sertleşmesine, pekleşmesine ve kuvvetlenmesine yardımcı olması, mikro ölçekte kırılmayı ve bozunmayı önlemesi, iletkenliği azaltması ve ısı yalıtımın geliştirilmesi,
- Ultraviyole ışığı geçirme özelliğine sahip olması, güneş ışığının, nemin ısı ve atmosferik gazların zararlı etkilerini azaltması, yaşam kalitesini ve yapıların dekoratif özelliklerini geliştirmesi gibi özellikler belirtilebilir.

Mika dielektrik özellikleri dikkate alındığı zaman, plastiklerde, fenol yapışkan ve fenolik kalıp yapımında geniş çapta dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır [37].

3.2. Poliamid 6 ve Katkı Malzemelerinin Enjeksiyonlanması

3.2.1. Malzemenin depolanması

Poliamid 6' nın depolandığı yer açık bırakılırsa nem alır. Eğer nem oranı %0,2' den fazla olursa erimiş plastiğin ve üretilen malzemenin kimyasal yapısı etkilenir. 80 °C' de 2 saat iyi havalandırılmış sıcak hava fırınında kurutulmalıdır. Malzeme çok nemli ise (8 saatten fazla açıkta kalmışsa) vakumlu ortamda 105 °C' de 2 saat kurutma gereklidir. Makine besleme hunisi, saklama kutuları bu yüzden kapalı tutulmalıdır. Mika ve cam elyaf katkıları kuru ortamda muhafaza edilmelidir [25, 38].

3.2.2. Yolluk ve yolluk girişiyle ilgili hususlar

Poliamid malzemenin üretilmesinde tavsiye edilen kalıp derecesi 80°C' dir. Eğer maksimum erime sıcaklığı 250°C kullanıldığında her 1 gr erimiş plastikten geri alınması gereken ısı 520 J' dür. Belirlenmiş sıcaklık derecesine göre özgül ısı yaklaşık 3060 j/kgK' dir. Sıcak yolluk, kristallenmeyi arttırmasıyla üretilen malzemenin su çekme oranını azaltır ve sürtünme direncini artırır. Viskozitesi düşük olduğu için, poliamid 6' nın cam elyafly eriyikleri daha geniş yolluğa ihtiyaç duyar. Eğer düşük kalıp sıcaklığı (20°C) kullanılırsa, ışığı geçiren bir malzeme elde edilir [25, 38].

3.2.3. Yolluk uzunluğunun duvar kalınlığına oranı ile ilgili hususlar

Plastik firmaları tarafından belirtilen bilgiye göre 1140 bar basınçta, kalıp sıcaklığı 80 °C' de ve 1 mm' lik duvar kalınlığında maksimum yolluk için duvar kalınlık oranı şunlardır,

- Poliamid 6 malzeme için (erime sıcaklığı, 230 °C) yolluk uzunluğu 235 mm,
- Katkıly poliamid 6 için (erime sıcaklığı, 248 °C) yolluk uzunluğu 340 mm olmalıdır.

3.2.4. Erime sıcaklığı

Erime sıcaklığı memeden veya dışarı atılmış plastikten ölçülür. Erime sıcaklığı Poliamid 6 için 220 –260 °C arasındadır. Tavsiye edilen (genellikle görülen) sıcaklık 230 °C' dir. Cam elyaf ve mikalı karışım için tavsiye edilen erime sıcaklığı ise 240 °C – 260 °C' dir [25] .

3.2.5. Enjeksiyon sıcaklık ayarları

Poliamid 6 malzemesi enjeksiyonla işlerken poliamide ilave edilen mika ve cam elyaf katkı malzemesi miktarına bağlı olarak sıcaklık değerleri +20°C' ye kadar değişim gösterebilmektedir.

1. Ocak arkası	205-210 °C
2. Ocak ortası	210-215 °C
3. Ocak ortası	215-220 °C
4. Ocak önü	220-230 °C
5. Meme	220-230 °C
6. Kalıp	60-90 °C

3.2.6. Vida ile ilgili hususlar

Üretimde üç bölge vidaya tercih edilir. Vida genel olarak aşağıdaki özelliklerde olmalıdır.

- L/D oranı 20/1 cm,
- Sıkıştırma oranı 2.2/1,
- Besleme, sıkıştırma, ölçme bölgelerinin uzunlukları 0,06-0,2-0,2' dir.

Vidaya kapatmalı valf ve vida ucuna (memeye) da kabartmalı alet takılmalı (iğne valf) veya açık meme dekompresyonla (geri emişle) birlikte kullanılmalıdır. Cam elyaf vidada aşınmaya (sürtünme) sebep olur. Bunun için iyonlanmış vida ve ocak kullanılmalıdır [25, 38].

3.2.7. Poliamid 6' nın ocakta kalma süresi

Poliamid 6'nın 300 °C' nin üzerinde erime sıcaklığı ve uzun süre ocakta malzeme kalmasına engel olunmalıdır (örneğin 20 dakika). Eğer engel olunamayan gecikme olursa sıcaklık derecesi 200 °C indirilmelidir [25, 38].

3.2.8. Enjeksiyon hızı

Poliamid 6 üretiminde enjeksiyon hızı mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Cam elyafı ve mikalı karışımlarda düz, mat yüzey elde etmek için yavaş enjeksiyon hızı kullanılır. Cam elyafı karışımların hızlı enjeksiyonu parlak yüzey verir fakat yüzeyde hafifçe kabarıklar oluşturur [25, 38].

3.2.9. Enjeksiyon basıncı

Makine ilk etapta enjeksiyon basıncı için 1500 bar, ikinci etapta ütüleme için 750 bar basınç verilebilecek kapasitede olmalıdır [25, 38].

3.2.10. Vida dönme hızı

Vida dönme hızı genel olarak 0,5 m/s seçilir. Fakat alevlenmeyen karışım için hız 0,2m/s olmalıdır. Fazla sürtünmeden dolayı malzemenin fazla ısınmasına ve yanmasına engel olmak için 0,2m/s hız arzu edilir [25, 38].

3.2.11. Makine arka basıncı

Arka basınç olarak 150 bar kullanılabilir. Erime durumuna göre oldukça düşük viskozite de minimum basınç kullanılır. Yüksek arka basıncı, erimiş plastiğin iyi karışmasına yardımcı olmaz ama vidanın geri dönüş zamanını uzatarak baskı süresini uzatır [25, 38].

3.2.12. Makineyi kapatma

Yolluk kendinden daha viskoz malzeme ile kolayca temizlenir. Eđer Őpheyeye dűŐlűrse PE veya PP kullanılarak temizleme yapılır [25, 38].

3.2.13. Geri dűnűŐmlű plastiđin kullanılması

%20' ye kadar geri dűnűŐmlű plastiđin orijinal plastiđe ilavesi plastiđin akıŐkanlık ve mekanik yapısını fazla deđiŐtirmez [25,38].

3.2.14. Poliamid 6'nın kalıpta çekme miktarı

Poliamid 6' nın kalıpta çekme miktarı 0,010-0,015 inç/inç' dir. Cam elyaflı karıŐım plastik akıŐ yönűnde 0,003 inç/inç, fakat akıŐ yönűne dik yönűde 0,01 inç/inç kadar çekme gösterir. Mineral katkılı karıŐımlarda çekme her yönűde eŐittir [25, 38].

BÖLÜM 4. KOMPOZİT MALZEMELER

Makroskopik boyutlarda olan iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile imal edilen malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler, istenilen amaç için kullanılmayan en az iki ayrı malzemedan, belirli bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemenin belirli şartlar altında ve belirli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan katkı elamanından oluşmaktadır. Ancak, molekülse ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler mikroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz [39, 40, 41].

Her kompozitte genellikle birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip iki çeşit malzeme bulunur. Bunlar; matris ve katkı (takviye) malzemesi olarak adlandırılır. Bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme her ikisinden farklı özellikler alır. Genel olarak katkı malzemesi taşıyıcı görev üstlenirken faz ise katkı maddesini bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar [39, 40].

Kompozit malzemeler matris ve katkı malzemesinin özelliklerini yansıtmalarının yanı sıra, yüksek mukavemet, hafiflik, tasarım esnekliği, boyutsal kararlılık, yüksek dielektrik direnci, korozyon dayanımı, kalıplama kolaylığı, yüzey uygulamaları, yüksek ısı dayanımı, yüksek kimyasal direnç, titreşim sönümlenme, akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu gibi avantajlar sağlar. Bazı kompozitlerin mukavemetleri metallere oranla çok yüksektir. Örneğin aynı yönlü aramid ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler, çelik ve alüminyumdan yaklaşık 4-6 kat daha yüksek spesifik çekme dayanımına sahiptir. Aynı yönlü grafit takviyeli epoksi, çelik alüminyumdan yaklaşık 3,5-5 kat daha yüksek spesifik çekme dayanımına sahiptir. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler artırılır. Karmaşık parçaların tek olarak

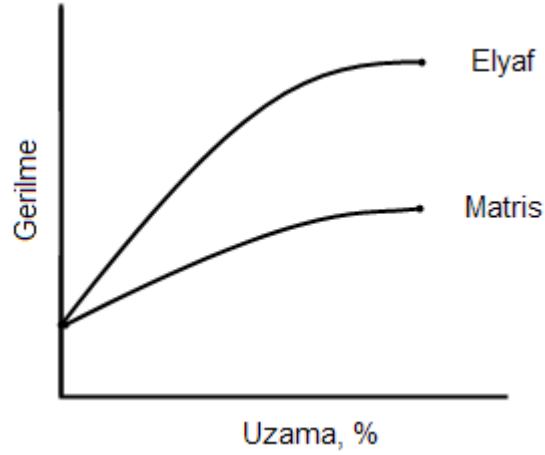
üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detayları ve parça sayısının azalmasıyla üretim süresi kısalmaktadır. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır.

Kompozit malzemelerin en önemli dezavantajı hammaddesinin pahalı olmasıdır. Ancak bağlantı elemanları sayısında ve ağırlıkta azalma olması dikkate alındığında, toplam maliyette bir düşme söz konusu olur. Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanım ve katlar arası düşük kesme dayanım özellikleri bulunmaktadır. Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Bazı durumlarda kurutma işlemi, uzun zaman aldığı için zor olabilir [39, 40, 41].

Kompozit malzemenin yapısında bulunan matris malzemesi, katkı elemanını sararak bir arada tutan, yükleri aktaran ve donatıyı dış etkilerden koruyan sürekli fazı oluşturmaktadır. Matris malzemesi, bu işlevlerin yanı sıra, kompozit bünyesindeki gerilmelerin bir kısmını karşılayarak taşımaya yardımcı olmakta ve elyaflarda meydana gelen çatlama ve kopmaları tolere ederek kompozitin tokluğunu artırmaktadır. Ancak, yük taşımaya ikinci malzeme olarak katılma durumu basınç halinde değişmekte ve kompozitin basınç mukavemeti büyük ölçüde matrisin mukavemetine bağlı olmaktadır. Bir kompozitin kullanım sıcaklığı matrisin kullanım sıcaklığı ile sınırlıdır. Matrislerin çoğu sıvı halde kullandığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrislerin diğer önemli noktalarıdır [39, 40].

Kompozitlerin yapısında, gelen yükü taşımak ve mukavemeti arttırmak için katkı elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Takviye edici, kompozitin mekanik dayanımından sorumludur ve dayanımı arttırıcı etkisi çoğu kez kompozit içerisindeki hacmi %10'unu geçtiğinde gözlenmeye başlar. Bu nedenle takviye amacıyla kullanılan elyafın mekanik dayanımı matristen belirgin bir oranda

yüksek olmalıdır. Şekil 4.1’ de matris ile elyafın mekanik dayanım farkı gösterilmektedir [39, 40].



Şekil 4.1. Matris ve elyafın mekanik dayanım farkı [39,40]

Karbon, cam, aramid, bor, polietilen, poliamid, polyester, doğal elyaflar veya dokumalar kompozit hazırlamada kullanılan elyaflara örneklerdir. Tablo 4.1’ de takviye amacıyla sıklıkla kullanılan bazı elyafların ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülü değerleri verilmiştir. Genel amaçlı ticari kompozitlerde en fazla cam elyaflar kullanırken kompozitlerde ise aramid ve karbon elyaf kullanılmaktadır [40].

Tablo 4.1. Takviye amacıyla kullanılan bazı elyaf ve metallerin çekme dayanımı ve çekme modülleri [39,40]

Elyaf veya Metal	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Modülü (GPa)
Karbon Elyaf	2000-3000	325-440
Aramid Elyaf	3100-3600	60
E- Cam Elyaf	2400	70
S- Cam Elyaf	3450	85
Alüminyum	130-180	72
Titanyum	250-400	105
Paslanmaz Çelik	206-520	196

Elyafların üstün mekanik özelliklere sahip olmasının sebebi, ince çaplı olarak üretilmeleri nedeniyle büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıklarının en aza indirilmiş olmasıdır. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olarak kullanılmasının nedenleri aşağıda belirtilen özelliklere bağlıdır [40].

1. Tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmelerinde dolayı üstün mikroyapısal özellikler,
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyafalara iletilen yük miktarının artması,
3. Elastisite modülünün çok yüksek olmasıdır [39, 40].

Dolgu malzemeleri, kimyasal malzemeler ve diğer katkıları matris niteliklerine göre özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Katkı maddelerinin, yanma geciktirici, yağlayıcı ve oksit giderici gibi amaçları vardır [39, 40].

4.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

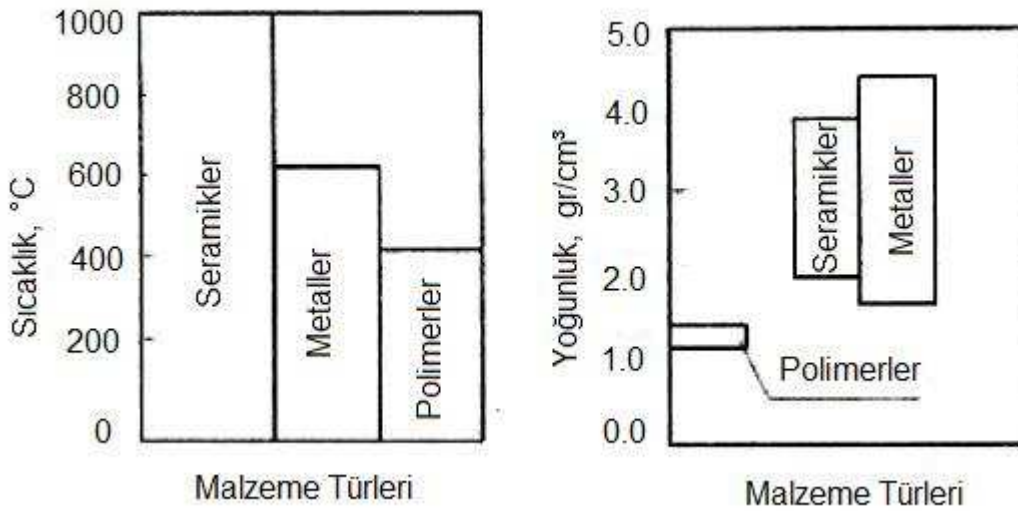
Kompozit malzemeleri, morfolojik veya yapı özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Kompozit malzemeler matris malzemesine göre metal, seramik ve polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılabilir gibi takviye malzemesine göre de sınıflandırılabilir [39, 40].

Polimer matris kompozitleri, ileri polimer grubu matris malzemelerin çoğunlukla sert, dayanımlı katkı malzemeleriyle takviye edilmeleri sonucu oluşturulur. Polimer matrisli kompozit malzemeler üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik gibi özelliklerinden dolayı genellikle, otomotiv, uçak, tekstil, inşaat sanayinde tercih edilir [39, 40].

Metal matrisli kompozitler alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal ve alaşımların matris işleviyle, karbon, bor ve diğer bazı metallerin elyaf, parçacık, plaka, kıl-kristal (whisker) yapısında takviye fazını oluşturmasından meydana gelir.

Metal matrisli kompozit malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik, özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık, otomotiv sektöründe kullanılırlar [39, 40].

Seramik matris kompozitler, seramik veya metal parçacık, plaka, kıl-kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzeme grubudur. Seramikler, düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmalarına rağmen aşırı derecede gevrekler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklık dereceleri ve sertlikleri işlenmelerini zorlaştırır. Kırılgan oluşları seramik matrisli kompozitleri potansiyel olarak güvensiz yapar. Metal, seramik ve polimer matrislerin birbirlerine göre zayıf ve üstün yanları Şekil 4.2' de gösterilmektedir [39, 40].



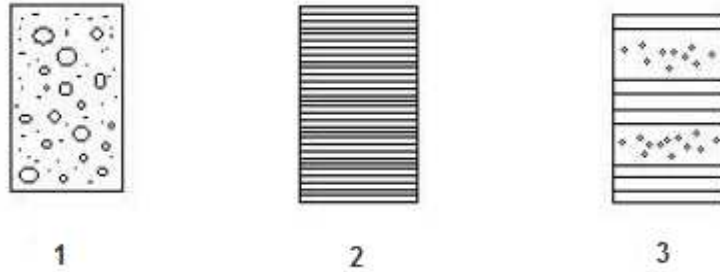
Şekil 4.2. Kompozitlerde kullanılan farklı matris malzemelerin sıcaklık-yoğunluk özellikleri [41]

4.1.1. Takviye malzemesine göre sınıflandırma

- Parçacık takviyeli kompozit malzemeler,
- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- Tabakalı kompozit malzemeler [41].

Şekil 4.3' deki üç tip takviye elemanlı kompozit polimer, metal veya seramik matris için örnek olabilir niteliktedir. Burada elyaf takviyeli kompozitler de, sürekli elyaf

takviyeli kompozitler, kesikli elyaf takviyeli kompozitler, rasgele düzlemsel olarak yönlendirilmiş kompozit çeşitleri mevcuttur [40].



Şekil 4.3. (1) Parçacık, (2) elyaf, (3) tabakalı kompozit malzeme [40].

Parçacık takviyeli kompozitlerin ise büyük parçacıklarla dayanımı artırılmış kompozitler, Dispersiyonla dayanımı artırılmış kompozitler gibi çeşitleri mevcuttur.

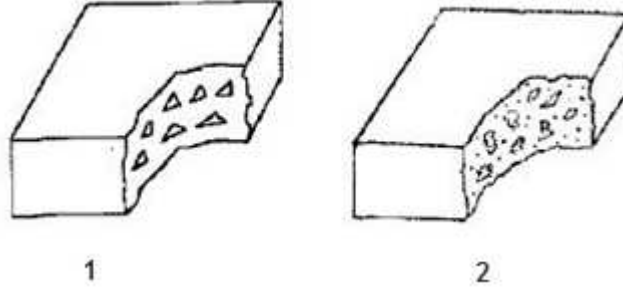
Şimdi sırası ile takviye malzemesine göre kompozit malzemelerin bazı özelliklerini açıklayalım [40].

4.1.1.1. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Parçacık takviyeli kompozitler, metal, seramik ve polimerlerin birleşiminden oluşabilir. Matris malzemesi içerisinde katkı malzemesinin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. Yapının mukavemeti, katkı malzemesinin sertliğine bağlıdır. En yaygın çeşit, polimer matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenliği sağlar [39, 40].

Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve sıcaklık dayanımları yüksektir. Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemeler olup ortalama gömülen parçacık boyutu 1µm' den büyük ve elyaf hacim oranı %25' den fazla kullanılmamaktadır. En çok kullanılan parçacıklar ise Al_2O_3 ve SiC kimyasallardan oluşan seramiklerdir. Burada yük, elyaf ve matris tarafından birlikte taşınır ve özellikler izotropiktir. Bu kompozitler dayanımı iyileştirmekten ziyade alışılmışın dışında belirli özelliklerde

kompozit elde etmek için tasarlanmaktadır. Şekil 4.4' de parçacık takviyeli ve dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozite örnek gösterilmektedir [39, 40].



Şekil 4.4. (1) Parçacık takviyeli ve (2) dispersiyonla dayanımı arttırılmış kompozitlerin yapısı [40]

Parçacık takviyeli kompozitlerin dezavantajı, döküm yoluyla üretimlerinde parçacık ilave edildiği zaman toz parçacıkların karıştırılma zorluğu, eriyik viskozitesinin düşmesi veya sıvı metalin seramik parçacıkları ıslatamamasıdır [39, 40].

Dağınımla (dispersiyon) mukavemetlendirilmiş kompozit malzemeler ise yüksek ısı kararlılığına sahip mikrondan daha küçük çökeltiler veya parçacıkların metalik matris içinde homojen dağılmasıyla elde edilir (Şekil 4.4. 2). Bu parçacıkların çapı 0.01 ile 0.1 μm ve uzunluğu 50-200 μm arasındadır ve kullanılan parçacıkların hacim oranı %1-15 arasında değişir. Dağınımla mukavemetlendirilmiş kompozitler izotropik bir özellik gösterirler [39,40].

Tanecik takviyeli kompozitlere takviye olarak örneğin, karbonatlar, kil, mika, silikatlar, makroküreler, tarımsal atıklar, metal tozları veya parçaları, pudra, pul, pelet, granül, küre ve şekilsiz küçük kırıntılar katılabilir. Takviye amacıyla kullanılan malzemenin üç yöndeki boyutları arasında önemli ve belirgin bir fark yoktur. Tanecik takviyeli kompozitlerinin mekanik özellikleri zayıftır. Bu nedenle, daha çok mekanik dayanımın önemli olmadığı maliyet düşürmek amacıyla, süs eşyalarının, genel amaçlı ürünlerin ve yük etkisinde kalmayacak diğer tür malzemelerin üretiminde yararlıdırlar [39, 40].

4.1.1.2. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

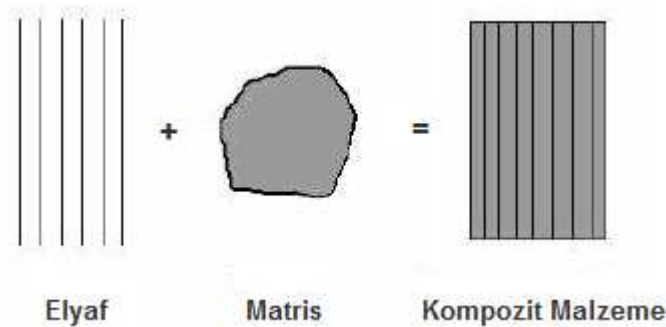
Elyafın birinci görevi yükü taşıyarak dayanım ve rijitliği arttırmaktır. Bir malzemenin elyaf olarak adlandırılabilmesi için ASTM' deki standardına göre;

- Uzunluk/enine ortalama boyut en az 10/1,
- En büyük kesit $\leq 0.05 \text{ mm}^2$,
- En büyük genişlik $\leq 0.25 \text{ mm}$ olmalıdır.

Elyaf lar genellikle üç gruba ayrılır;

- Doğal elyaf lar (yün, pamuk vs),
- Rejenere elyaf (doğada bulunan uzun makro moleküllerden yararlanılarak elde edilirler, rayon gibi),
- Yapay elyaf (cam, naylon gibi).

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde yükü elyaf taşımaktadır. Kompozit malzemenin dayanımı elyaf eksenini doğrudan doğruya en büyük değerdedir. Elyafa dik doğrultuda ise daha düşük dayanıma sahiptir. Elyaf takviyeli bir kompozit malzeme Şekil 4.5' de şematik olarak gösterilmektedir.



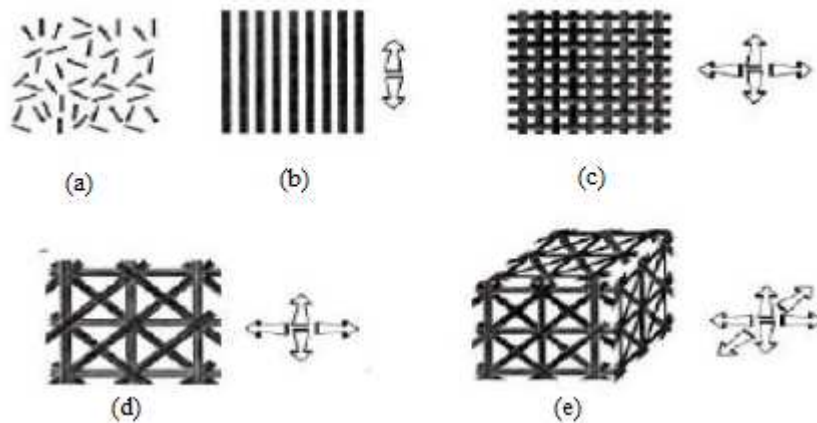
Şekil 4.5. Elyaf ve matris kullanarak kompozit malzemenin üretilmesi

Elyaf lar demetler halinde kullanıldığında, kompozit yapısında mevcut olan polimerin katkısız haline göre daha dayanıklıdır. Elyaf demeti üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında, demette bulunan elyaf lar dan bazıları kopabilir veya yüzeylerinde

çatlama, çizilme gibi kusurlar oluşabilir. Elyaf demetinin dış kuvvetler karşısında aldığı bu tür zararlar, sadece etkilenen elyaflarla sınırlı kalır ve demet içerisindeki diğer elyaflara aktarılmaz. Yığın halindeki bir maddenin (cam parçası, polimer parçası) herhangi bir bölgesinde oluşan kusur malzeme içerisinde ilerler ve sonuçta malzemeyi kullanılamaz hale getirebilir. Bu özellik elyaf takviyeli kompozitlerin dezavantajlarından birisidir [40].

Elyafların matris içindeki dağılımı kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyaf kompozit içerisinde uygun geometrilerde yerleştirilerek, kompozitin çekme gibi yüklemelere farklı yönlerde farklı yanıtlar vermesi sağlanır (anizotropi). Örneğin elyafların yönlendirildiği eksene 90° lik açıdan yapılan yüklemelerde kompozitin kopma dayanımı en yüksek olacaktır. Benzer şekilde vurma dayanımı, ısı iletkenlik, ısı genişleme gibi davranışlar da elyafların yönlenme eksenine açısal olarak bağlıdır [39, 40].

Şekil 4.6' da elyaf ve dokuma takviyeli kompozitlerde elyafların kompozit içerisine yerleşim şekilleri verilmiştir. Şekil yanındaki oklar mekanik dayanımın iyi olduğu yönleri göstermektedir[39,40,41].



Şekil 4.6. Elyaf ve dokuma takviyeli kompozitlerde liflerin kompozit içerisine yerleşim şekilleri [39, 40, 41]

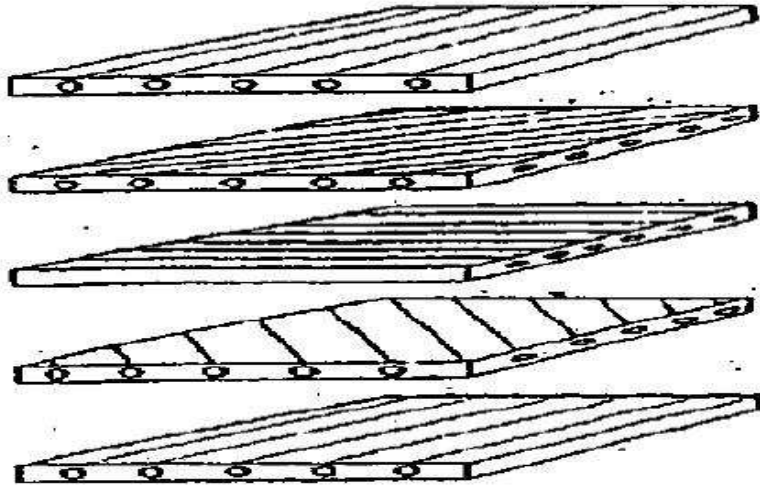
Elyaf takviyeli kompozitler, özellikle otomotiv, uzay ve havacılık alanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiş malzemelerdir. Otomotiv, uzay ve havacılık alanlarında ilk kullanılan kompozitler alüminyum alaşımlarından hazırlanmış ve uçakların bazı parçaları yüksek mekanik dayanımları ve hafifliklerinden dolayı alüminyum kompozitlerden yapılmıştır. Ancak alüminyum alaşımları korozyona ve metal yorulmasına uğrayabilen malzemelerdir ve bu zayıf özelliklerin iyileştirilmesi pahalı işlemler gerektirir. Elyaf takviyeli polimerik kompozitlerde korozyon söz konusu değildir ve malzeme yorulması metallerdeki kadar hızlı gelişmez [39, 40].

4.1.1.3. Tabakalı kompozitler

Bir matristeki örülmüş elyaf veya tek yönlü elyaf düzlemi şeklinde matris malzemesine ilave edilerek elde edilen kompozit malzemeye tabakalı kompozit denir. Genel olarak yapılan tabakalandırma Şekil 4.7' deki gibi elyaf yönlerine dikey ve paralel olan ana malzeme eksenleri boyunca gösterilmiştir [39, 40].

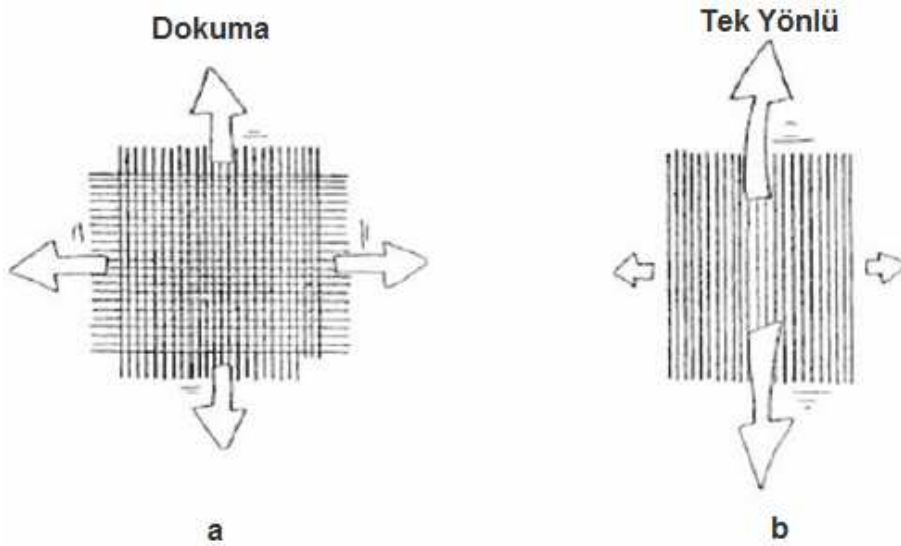
Çok değişik kombinasyonlarla tabakalanmış kompozitlerin üretimi mümkündür. Tabakalı kompozitler, yapısal yönden taneli elyaf donatılı kompozit malzemedен farklılık göstermektedir. Tabakalı kompozitler farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonundan oluşur. Korozyon direnci zayıf metaller üzerine, daha yüksek korozyon dirençli metallerin veya plastiklerin kaplanmasıyla korozyon özelliği, yumuşak metallerin sert malzemelerle birleştirilmesiyle sertlik ve aşınma direnci, farklı fiber yönlenmesine sahip tek tabakaların birleştirilmesiyle çok yönlü yük taşıma özelliğinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır [39, 40].

Tabakalandırma işlemi ise, tabakalardaki ana malzeme yönlerinin açık yönlendirmesi şeklinde tabakalar yığındır. Bir tabakalandırmanın katmanları, genellikle tabakalarda kullanılan matris malzemesi ile aynıdır. Tabakalandırma, farklı malzemelerin tabakaları veya elyaf takviyeli katmanların tabakaları olabilir [39, 40].



Şekil 4.7. Genel tabakalandırma görünüşü[39,40]

Şekil 4.8' de tek yönlü kompozit malzemeler tek yönde daha üstün mekanik özelliklere sahiptir ve anizotropik (farklı yönlerde farklı özelliklerin sergilenmesi) özellik gösterir. İzotropik (bütün yön ve doğrultularda aynı özelliklere sahip olan malzeme) malzemeler (daha çok metaller) bütün doğrultularda eşit özellikler gösterir [39, 40].



Şekil 4.8. Dokuma ve tek yönlü elyaflar için farklı yönlerde özelliklerin gösterimi, a) eşit özellikler, b) eşit olmayan özellikler [39, 40]

Tabakalı kompozit bir yapının yüksek hızlardaki darbelere gösterdiği direnç elyafın elastik modülü, kırılma uzaması gibi elyaf özellikleri ile elyafın kompozit yapı içerisindeki kullanım şekline ve kompozitin alansal yoğunluğuna bağlıdır. Katlı yapıların ciddi tehlike tipleri için geliştirildiği ve bu yapıların temelde elyaf tipi,

matris tipi, doku konstrüksiyonu, kat sayısı, iplik yönü ile kesişmeleri ve iplik setleri ile yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Çarpmanın katlı yapılara etkisi, katı ve esnek tiplerine bağlı olarak değişmekte, katlı yapılar için katlar arası açılmanın bozulma modu olduğu ve bunun enerjinin dağıtılması açısından olumlu ancak yapının dayanımı açısından negatif olarak etkilediği iddia edilmiştir. Katlı yapıların ağırlığı ve konforunda tehlike tipine bağlı olarak göz önüne alınması gerekir [39, 40].

4.1.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma

Kompozit malzemeleri matris malzemesine göre 3 ana grupta toplanabilir.

- Metal matrisli kompozitler (MMK),
- Seramik matrisli kompozitler (SMK),
- Polimer matrisli kompozitler (PMK).

4.1.2.1. Metal matrisli kompozitler (MMK)

Matris malzemesi olarak genellikle, dökme demir, çelik, bakır, alüminyum ve bronz gibi metaller kullanılır. Bu tür kompozitlerde takviye malzemesi olarak ise metal, plastik, seramik, ağaç tozu ve pudra kullanılabilir. Genel olarak kullanılan takviye malzemesi ise seramiktir. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 senedir MMK' ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır. Metal matrisli kompozitler malzeme gereksinimlerine en büyük alternatiftir. Seramiklerin yüksek elastik modülü ile metallerin plastik şekil değiştirme özellikleri birleştirilerek aşınmaya dayanıklı, kırılma tokluğu ve basma gerilmesi yüksek malzemeler elde edilmektedir. Bu kompozitler yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır [40].

4.1.2.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , TiC, TiB, TiN ve AlN gibi bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matrisli kompozitler elde edilir. Seramik malzemeler çok sert ve kırılmandır. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımlarına ve göreceli düşük yoğunluk özelliklerine sahiptirler. Seramik malzemeler ısı şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçaların imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir. Seramik matrise ilave edilen karbon, seramik ve camlar özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları gibi özel şartlar için geliştirilmektedir. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluk da artmaktadır. Alümina ve zirkonya esaslı seramik kompozitler üzerine son yıllardaki çalışmalar, bu malzemelerin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamalarda değil aynı zamanda insan vücudunda da biomalzeme olarak kullanılmaya başlanmasına sebebiyet vermiştir [40].

4.1.2.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler, matris malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri ile oluşmaktadır. En yaygın örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve 'fiberglass' olarak bilinen poliestere esaslı reçinelerin cam elyafı ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler [40].

Kompozit malzemeler içerisinde en yaygın olarak kullanılan polimer kompozitli malzemelerin en önemli özellikleri yüksek özgül mukavemet (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastite modülüdür. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgül mukavemetin 110 Nm/g olmasına karşın cam elyafı-poliesterlerde 620 Nm/g'dır. Bu üstünlüğünden dolayı polimer kompozitler uçak, otomotiv ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarının yerine tercih edilmektedir. Matris olarak kullanılan

polimerler metal malzemelere nazaran daha ucuz ve kolaylıkla çalışabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan genelde üç tip polimer mevcut olup bunlar; termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir. Termosetler grubunda ağırlıklı olarak poliester ve epoksi reçine kullanılır. Termoplastikler grubunda yaygın olarak poliamid ve polipropilen kullanılmaktadır (yaklaşık %68,3). Elastomer çok düşük gerilmelere maruz kaldığında büyük elastik deformasyon yeteneğine sahiptir. Bazı elastik polimerler %500 ve daha fazla uzama yaparlar ve tekrar orijinal şekline dönerler. Ağırlıklı olarak kauçuk kullanımı yaygındır [40].

BÖLÜM 5. DENEYSEL YÖNTEM VE YAPILAN DENEYLER

5.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler

5.1.1. Polimer matris

5.1.1.1. Poliamid 6

Poliamid 6 matris malzemesi olarak Domamid 27 ticari isimli hammadde kullanılmıştır. Kullanılan poliamid 6' nın yoğunluğu 1,14 g/cm³, ergime sıcaklığı (T_m) 221 °C, camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 55 °C ve maksimum nem oranı ağırlıkça %0,06 olan ürün kullanılmıştır.

5.1.2. Katkı malzemeleri

5.1.2.1. Kısa cam elyaf

Katkı (Takviye) malzemeleri; deneylerde kullanılan cam elyaf 10,5 µm çapında ve 4,5 mm boyunda olacak şekilde PA 2 tip kısa cam elyafıdır. Takviye malzemesi olarak kullanılan E tipi cam elyaf, Cam Elyaf San. Ve Tic. A.Ş' den temin edilmiştir. PA 2 tipi kırılmış demetli E tipi cam elyaf, kolay akma, iyi işlenebilirlik ve iyi mekanik dayanım özelliklerine sahiptir, cam elyaf yüzeyi amino-silan esaslı bağlayıcı ile poliamid 6 malzemeye iyi bağlanabilmesi için kaplanmıştır. Deneylerde kullanılan E tipi cam elyafın özellikleri Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kırpılmış cam elyafın (PA2) bazı özellikleri

Cam Tipi	E
Elyaf Çapı (μm)	10,5
Nem Miktarı. Maks.(%)	0,07
Bağlayıcı Türü	Amino-silan
Bağlayıcı Miktarı (%)	$0,90 \pm 0,20$
Reçine Uyumu	Poliamid
Kırılma Boyu (mm)	3 - 4,5

5.1.2.2. Mika

Diğer bir mineral katkı olan mikanın ortalama partikül çapı $10\mu\text{m}$ olarak seçilmiş ve Omya Madencilik San. ve Tic. A.Ş. İstanbul'dan temin edilmiştir. Yüksek saflıktaki mika mineralinin seçilmesi ve konsantre edilmesi ile elde edilen doğal mika tozunun üretici firma tarafından verilen özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Mika tozunun özellikleri

Mika Tozu	Birim	Değer
Tane Boyutu	μm	10
Renk Özelliği L^* (Beyaz)	(%)	78
Yoğunluk	gr/cm^3	2,7
Kırılma İndisi		1,6
Sertlik	Mohs	2,8
SiO_2	%	48,3
Al_2O_3	%	32
Fe_2O_3	%	13,5
K_2O	%	9,5
MgO	%	0,2
Na_2O	%	0,5

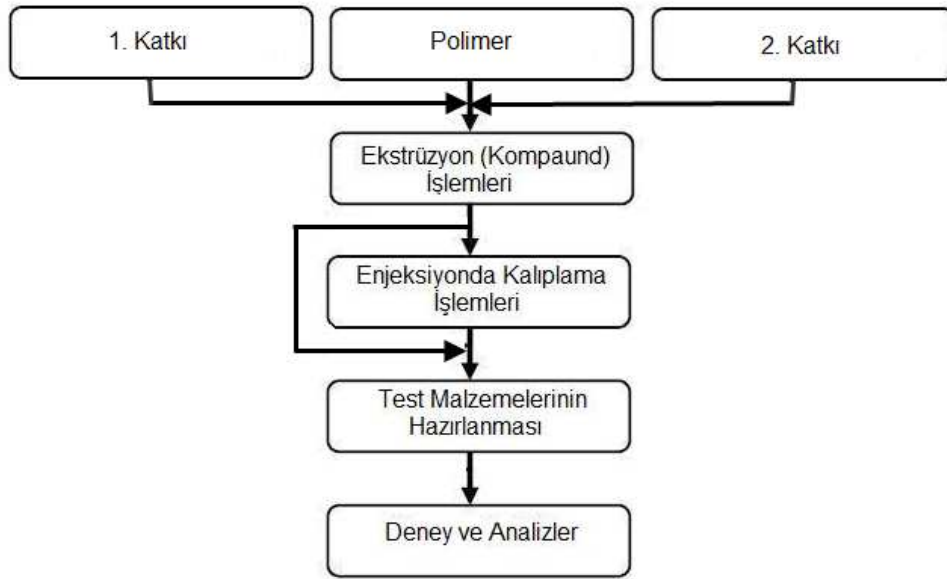
5.2. DeneY Numunelerinin Hazırlanması

DeneY numunelerinin hazırlanması Şekil 5.1' de belirtilen proseslerle sağlanmıştır. Katkısız poliamid 6' ya cam elyaf ile mika katkıları dozatorle ağırlıkça yüzde oranları ayarlanıp, ilave edilerek kompond (ekstrüzyon) üretim makinesi kullanılarak üretilmiştir. Kompond makinesi, Werner Pflleiderer marka NR11-75 tip çift vidalı ekstruderdir. Kompond sıcaklık aralığı ise 220 °C ile 250 °C aralığında ayarlanarak granül formda malzemeler üretilmiştir. Daha sonra granül formdaki katkısız poliamid 6 ve kompozit malzemeleri ERAT marka enjeksiyon makinesinde 220 °C ve 260 °C sıcaklık aralığında test numuneleri üretilmiştir (Üretim prosesi Bölüm 3.4.'de verilmiştir). DeneYlerde PA 6 katkısız malzemesi ve 9 farklı kompozisyon hazırlanmış olup toplam 10 numune üretilmiştir. Tablo 5.3' de numune formülasyonları verilmiştir.

Tablo 5.3. Numune formülasyon detayı

Sıra no	Numune Adı	Formülasyonu
1	PA6	Poliamid 6 (Katkısız)
2	PA6+%10CE	Poliamid 6 + %10 Cam Elyaf
3	PA6+%20CE	Poliamid 6 + %20 Cam Elyaf
4	PA6+%30CE	Poliamid 6 + %30 Cam Elyaf
5	PA6+%10Mika	Poliamid 6 + %10 Mika
6	PA6+%20Mika	Poliamid 6 + %20 Mika
7	PA6+%30Mika	Poliamid 6 + %30 Mika
8	PA6+%10CE+%20Mika	Poliamid 6 + %10 Cam Elyaf + %20 Mika
9	PA6+%15CE+%15Mika	Poliamid 6 + %15 Cam Elyaf + %15 Mika
10	PA6+%20CE+%10Mika	Poliamid 6 + %20 Cam Elyaf + %10 Mika

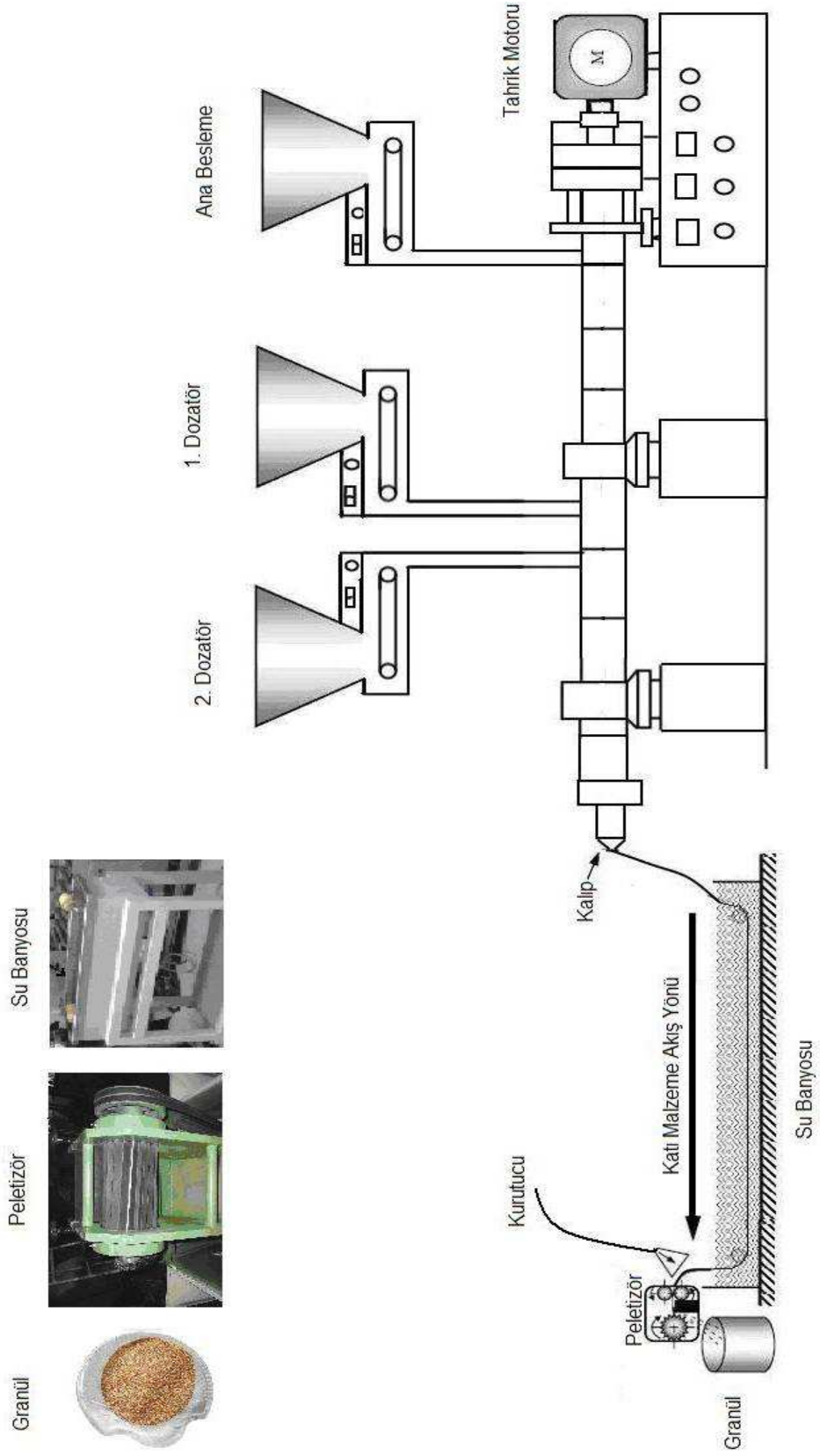
*CE, Cam elyaf



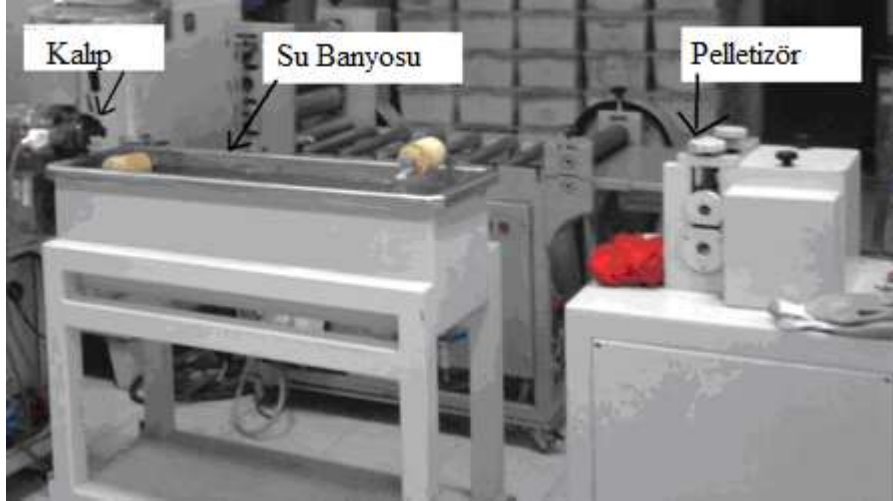
Şekil 5.1. Malzeme deney ve analiz prosesi

5.3. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve hazırlanan numunelere ait uygulanan deneyler aşağıda verilmiştir. Numuneler üç farklı aşamada ve iki proses ile elde edilmiştir. Birinci proses Werner Pfleiderer NR-II 75 marka çift vidalı kompaund makinesinde (Şekil 5.2.), granül kalıbı, soğutucu ve pelletizör (Şekil 5.3.) kullanarak, birinci aşama olarak mika minerali ağırlıkça %10, % 20, %30 oranlarında poliamid 6'ya dozajlama üniteli sistemle ilave edilmiştir. İkinci aşamada ise yine dozajlama üniteli sistem vasıtasıyla cam elyaf ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında poliamid 6'ya ilave edilmiştir. Daha sonra cam elyaf ve mika katkıları poliamid 6'ya %10CE+%20Mika, %15CE+%15Mika, %20CE+%10Mika dozajlama üniteli sistemde ağırlıkça yüzde oranları ayarlanarak ilave edilmiştir. Kompaund üretim şartları Tablo 5.4' de verilmiştir. İlaveler sonucunda üretilen granüller ikinci proseste Erat marka enjeksiyon makinesinde (Şekil 5.4.) uygun işleme sıcaklıkları göz önüne alınarak standart şartlara ve deney prosedürlerine uygun olacak şekilde kalıpta (Şekil 5.5) üretilmiştir.



Şekil 5.2. Granül üretim makinesi (Kompound, Ekstrüzyon) şematik gösterimi



Şekil 5.3. Kompound prosesinde kalıp su banyosu ve pelletizör resmi

Tablo 5.4. Kompaund üretim şartları tablosu

Formüller (Sıra no)	1	2,3,4	5,6,7	8,9,10
Sıcaklık (°C)	220-245	220-250	220-250	220-250
Vida Devri (dev/dk)	800	850	850	850
Tork (%)	50	55	55	55
Kapasite (Kg/h)	45	45	45	45
Eriyik Basıncı (Bar)	32	34	32	32
Eriyik sıcaklığı (°C)	228	249	244	243
Peletizör Bıçak Devri (dev/dk)	100	100	100	100
Su Banyosu Sıcaklığı (°C)	60	60	60	60



Şekil 5.4. Enjeksiyon prosesinde kullanılan ERAT marka enjeksiyon makinesi



Şekil 5.5. Enjeksiyonda üretilen test numune kalıp resmi

Kompaund makinesinde değişik kompozisyonlarda granül üretilmiştir. Standartlara uygun olarak hazırlanan kalıp kullanılarak enjeksiyon makinesinde test çubukları hazırlanmıştır. Test numunelerine Vicat yumuşama sıcaklık testi, yük altında eğilme sıcaklık testi diferansiyel taramalı kalorimetre testi ve dinamik mekanik analiz testi gibi termal, mekanik ile aşınma ve sürtünme testleri uygulanmıştır. SEM analizi ile çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeylerden katkıların dağılımı incelenmiştir. Aşınma deneyi sonucunda elde edilen aşınma yüzey görüntüleri optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

5.4. Kullanılan Test Cihazları ve Numuneleri

5.4.1. Vicat yumuşama sıcaklığı

Termoplastik plastikler için uygulanan Vicat yumuşama sıcaklığı testi Şekil 5.6' da ki prensip ile TSE EN ISO 306' ya göre başlıca 4 metotla incelenebilir.

Metot A 50 : 10N'luk bir kuvvet ve 50°C/saat'lik bir ısıtma hızı kullanılır,

Metot B 50 : 50N'luk bir kuvvet ve 50°C/saat'lik bir ısıtma hızı kullanılır,

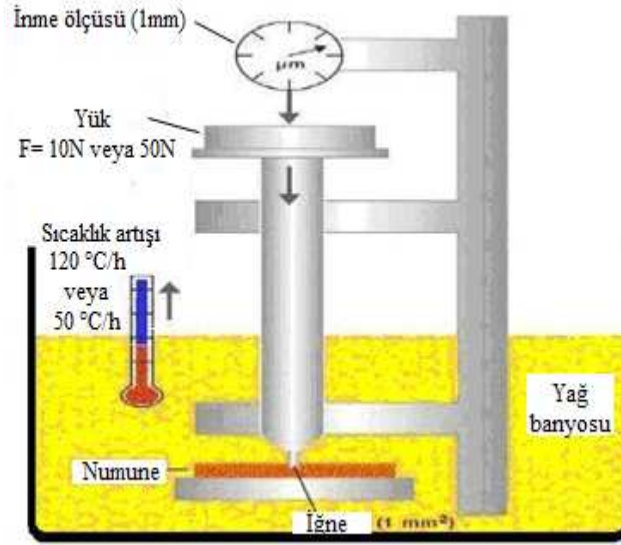
Metot A120 : 10N'luk bir kuvvet ve 120C/saat'lik bir ısıtma hızı kullanılır,

Metot B120 : 50N'luk bir kuvvet ve 120°C/saat'lik bir ısıtma hızı kullanılır.

Deneyin prensibi şöyledir; sıcaklık üniform olarak artırılırken, yukarıdan verilen yüklerden biriyle 1 mm²' lik batma yüzey alanlı standart batma ucunun plastik deney numunesine 1mm battığı sıcaklık tayin edilir ve °C cinsinden okunur. Bu sıcaklık Vicat yumuşama sıcaklığı olarak ifade edilir.

Deneyde kullanılan batma ucu olarak 3 mm uzunluğunda, yuvarlak kesitli, tercihen sertleştirilmiş çelikten yapılmış uç kullanılmaktadır. Batma ucunun alt yüzeyi düz, pürüzsüz ve numune yüzeyine paralel olmalıdır.

Vicat yumuşama sıcaklığı testi, Metot B 120 test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 80X10X4 mm ölçülerindeki numuneler yağ banyosuna konularak oda sıcaklığından kademeli olarak 120 °C/h sıcaklık artışı ile batma ucunun 1mm battığı andaki sıcaklık değeri Vicat yumuşama sıcaklığı olarak kaydedilir.



Şekil 5.6. Vicat yumuşama sıcaklığı tayini

Vicat yumuşama sıcaklık testi, EUROTEC Mühendislik Plastikleri Sanayi ve Tic. A.Ş.'de bulunan Ceast marka HDT 3 Junior model test cihazında gerçekleştirilmiştir.

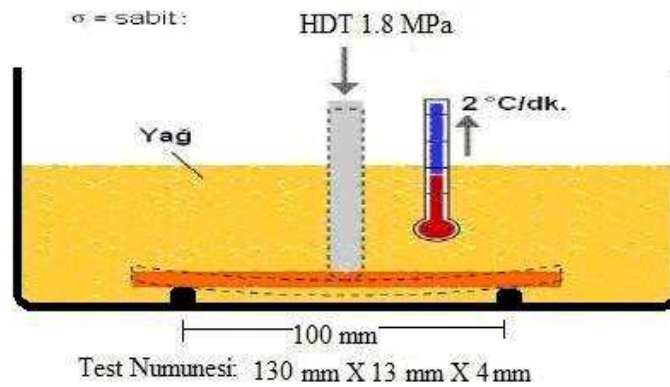
5.4.2. Yük altında eğilme sıcaklığı testi (HDT)

TS 2468-1 EN ISO 75-2 deney standartlarına uygun olarak 130x13x4 mm ölçülerinde hazırlanan numunelere Şekil 5.7' deki HDT cihazında 0,45 MPa veya 1,8 MPa basınç uygulanmaktadır. Yük altında eğilme sıcaklığı, ısıyla eğilme sıcaklığı olarak ta bilinir.



Şekil 5.7. Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) cihazı

Bu test daha çok kalite kontrol uygulamalarında seçilen malzemenin kısa süreli ısı direncinin ölçülmesi ile yapılır. Ancak elde edilen veriler polimerlerin yüksek sıcaklıklardaki davranışlarının önceden bilinmesi amacıyla kullanılamaz. Şekil 5.8’ de görüldüğü gibi yük altında eğilme sıcaklığı testi sıcaklık artışını sağlamak üzere bir yağ banyosu muhafazası içerir. Bu muhafazanın sıcaklık artışı veya azalışı otomatik ısı kontrol cihazlarıyla gerçekleştirilir. Deney numunesi aralarındaki mesafe 100mm olan iki destek üzerine yerleştirilir. Uygun eğilmeyi ölçmek için kadranlı göstergesi olan bir cihaz kullanılır. Sıcaklığın ölçülmesi °C cinsinden dijital termometre ile yapılır. Deney numunesinin orta kısmına 0,45 MPa veya 1,8 MPa’lık basınç uygulanır. Yağ banyosu muhafazasının sıcaklığı oda sıcaklığından itibaren 2°C/dk olmak üzere arttırılır. Deney numunesinin orta yeri 0,254 mm (0,01 inç) eğildiği andaki sıcaklık 1,8 MPa basınçtaki eğilme sıcaklığıdır.



Şekil 5.8. HDT test numunesi ve uygulama şematik gösterimi

HDT Testi, İstanbul’da EUROTEC Mühendislik Plastikleri Sanayi ve Tic. A.Ş.’de bulunan Ceast marka HDT 3 Junior model test cihazında yapılmıştır.

5.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre cihazının çalışma tekniği, ısı farkına dayanır. Buna göre numune ve referans ısıtılırken, soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken, salınan (ekzotermik) ya da soğrulan (endotermik) enerji miktarları arasındaki fark ölçülür. Bu farkın nedeni sıcaklık uygulanırken, numunede

gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişimlerdir. Uygulama esnasında numune ve referansın sıcaklıkları, ısı alınarak veya verilerek aynı tutulur. Sıcaklıkları aynı tutmak için uygulanan bu ısı farkı, sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak gösterilir.

Genellikle inert atmosfer sağlamak ve numunenin oksitlenmesini engellemek için azot seçilir. Deneylerde kullanılan Şekil 5.9 'da ki DSC cihazının ortam sıcaklığı genellikle 30°C civarındadır. Genel olarak termal analizlerin tarama hızı 10°C/dk' dır. Sabit basınç ve sabit yoğunluktaki ısı kapasitesi DSC için önemli bir fonksiyondur. Önemli olmasının nedeni ise, kimyasal reaksiyonlar ya da faz dönüşümlerinin yokluğunda DSC eğrilerinin büyüklüğü sabit basınç altındaki numunenin ısı kapasitesiyle orantılıdır. DSC analizi sonucunda aşağıdaki Eşitlikde verilen formül yardımıyla ısı kapasitesi (C_p) belirlenir.

$$C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)$$

C_p: ısı kapasitesi, joule/kelvin

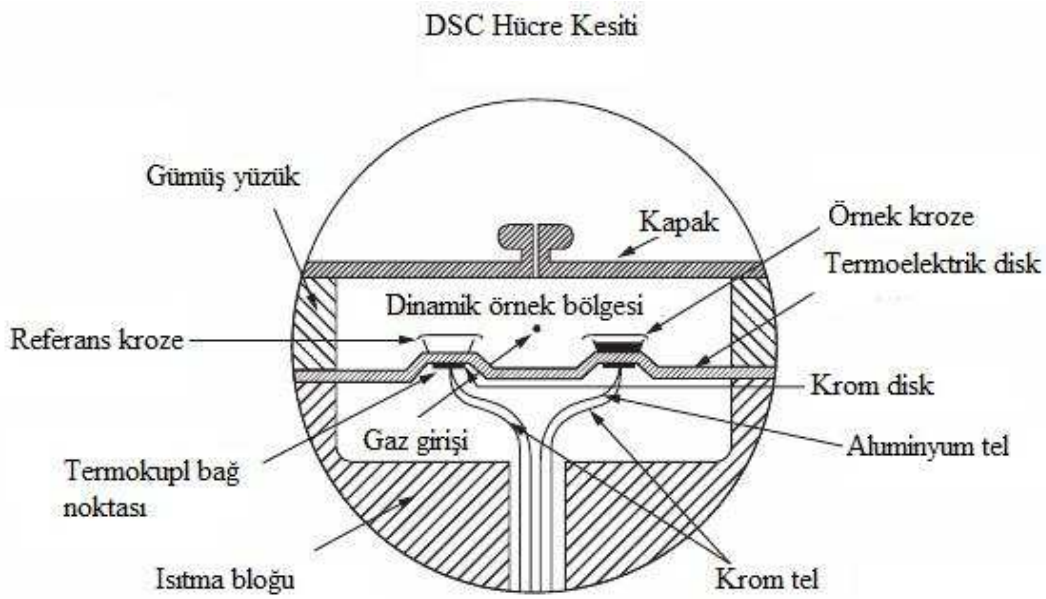
δQ: ısı farkı, joule

□T: sıcaklık farkı, kelvin' dir



Şekil 5.9. Deneylerde kullanılan diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı

DSC testi, TSE EN ISO 11357-1 de belirtilen tek ısıtıcı ve sıcaklık sensörü ile numune ve referans tavalarının aynı ocak içerisinde oda sıcaklığından kademeli olarak $10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ sıcaklık artışı ile yapılmıştır. Numune ağırlığı yaklaşık 2-10 gr arası seçilmiştir. Atmosfer ortamı olarak azot gazı $20\text{ml}/\text{dk}$ transferle yapılmıştır. Numunede hal değişimi gözleendiğinde referans ile numune arasında sıcaklık farkı oluşur. Numune ile referans arasındaki sıcaklık farkı sonlanana kadar numune ısıtılır. Sıcaklık farkı ya da (ΔT) sinyali ısı akış denkleğine dönüştürülür ve sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) - Isı akış (ΔT) grafiği oluşturulur. Şekil 5.10' da DSC hücre kesiti gösterilmiştir.



Şekil 5.10. DSC hücre kesiti

DSC ölçümü ile yapıların ısı kapasiteleri, faz değişimi, termal genleşme, oksitlenme, camı geçiş sıcaklıkları (T_g), termal kararlılık, ergime piki (T_m), kristalizasyon piki (T_c) gibi özellikleri belirlenebilir.

DSC testi ise Tetra Teknolojik Sistemler Ltd. Şti. İstanbul laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka Pyris 6 DSC model test cihazında yapılmıştır.

5.4.4. Dinamik mekanik analiz (DMA)

DMA analizi, malzemelerin viskoelastik özelliklerini belirlemede kullanılan en önemli yöntemdir. Malzemeye salınımlı bir kuvvet uygulanması sonucunda, malzemenin bu kuvvete karşı verdiği cevabı analiz eder. Malzemeye uygulanan kuvvet, gerilim ve malzemenin uğradığı deformasyon ise gerilim olarak tanımlanır. İdeal elastik malzemeye uygulanan gerilimle oluşan deformasyon arasındaki faz farkı sıfır iken ideal viskoz davranışta gerilim ile deformasyon arasındaki faz farkı 90° dir. Gerçek sistemlerde ise faz açısı (tanjan delta) ve pik genliği incelenerek malzemenin viskozite, modül ve diğer özellikleri belirlenebilir [42].

Malzemede depolanan deformasyon enerjisinin ölçütü elastik karakterlerin gösterdiği depolama modülüdür ve E' ile gösterilir. Malzemenin ısı biçiminde kaybettiği deformasyon enerjisi ve viskoz karakterlerinin göstergesi ise E'' ile gösterilen kayıp modülüdür. Malzemede depolanan enerjinin malzeme tarafından dağıtılabileme özelliği ise kayıp modülünün depolama modülüne oranı olarak tanımlanan tanjan delta (tan delta)' dır [43]. DMA cihazı 5.11' de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.11. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) cihazı şematik gösterimi

20x4x2 mm ($\pm\%10$) ebatındaki DMA test malzemesine 1Hz frekansta, 22 °C' den 190°C' ye kadar 2°C/dak ısıtma hızında tarama yapılarak incelenmiştir. Test malzemelerinde meydana gelen kayıp modül ve depolama modülünün sıcaklıkla değişim grafiği elde edilmiştir.

DMA testleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Merkez Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer marka DMA 8000 model cihazı ile yapılmıştır.

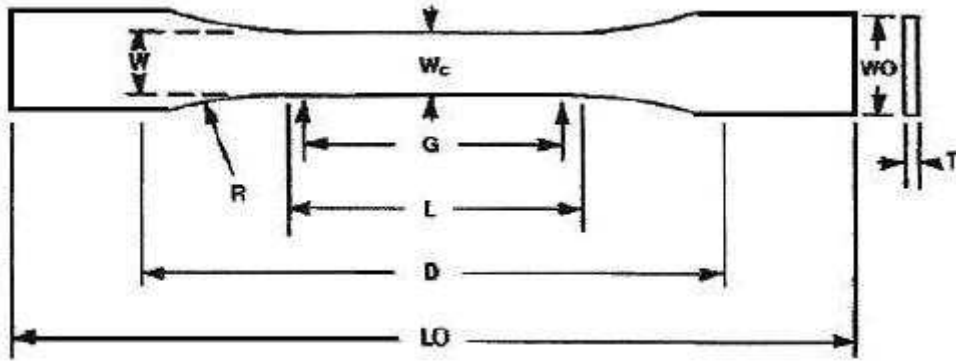
5.4.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Cam elyaf ve mika katkıların yapı içerisindeki dağılımını incelemek amacıyla çekme testi sonucu elde edilen kırık yüzeylere Şekil 5.12' de gösterilen Taramalı elektron mikroskop cihazı kullanılarak analizler yapılmıştır.

Çekme testi, TS 1398-2 EN ISO 527-2 standartlarında (plastiklerin çekme özelliklerinin tayini) 5 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir. TS 1398-2 EN ISO 527-2 ile Tip 1B ye göre seçilen numune Şekli 5.13' de, boyutları ise Tablo 5.5' de gösterilmiştir. Kırık yüzey görüntüleri incelenmeden önce numune yüzeyleri 40A° kalınlığında altın ile kaplanmıştır.



Şekil 5.12. Taramalı Elektron Mikroskop cihazı



Şekil 5.13. Çekme numunesi boyutları

Tablo 5.5. TS 1398-2 EN ISO 527-2'e göre çekme numunesi boyutları

İşaret	Boyut	Tip 1A	Tip 1B	Tip 1BA	Tip 1BB	Tip 5A	Tip 5B
Wc	Dar kısmın genişliği (mm)	10	10	5	2	4	2
L	Dar kısmın uzunluğu (mm)	80	60	30	12	25	6
WO	Tüm genişlik (mm)	20	20	10	4	12,5	6
LO	Tüm uzunluk (mm)	≥150	≥150	≥75	≥30	≥75	≥35
G	Ölçüm uzunluğu (mm)	50	50	25	10	20	10
D	Kıskaçlar arası mesafe (mm)	115	106.-120	58	23	50	20
R	Pervaz yarıçapı (mm)		60				
T	Kalınlık (mm)	4	4	≥2	≥2	≥2	≥1

Taramalı elektron mikroskop incelemeleri, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan JEOL JSM marka 6060LV model test cihazında yapılmıştır.

5.4.6. Aşınma analizi

Aşınma cihazı, ana gövde üzerinde bir elektrik motoru, bir yük kolu, load-cell ve bilgisayar gibi bir takım kısımlardan oluşmaktadır.

Bir elektrik motorunun tahriki ile dönen rulmanlar vasıtasıyla yataklanmış bir mile bağlı bulunan bir sabit disk vardır. Bu sabit diskin üzerine deneylerde kullanılacak

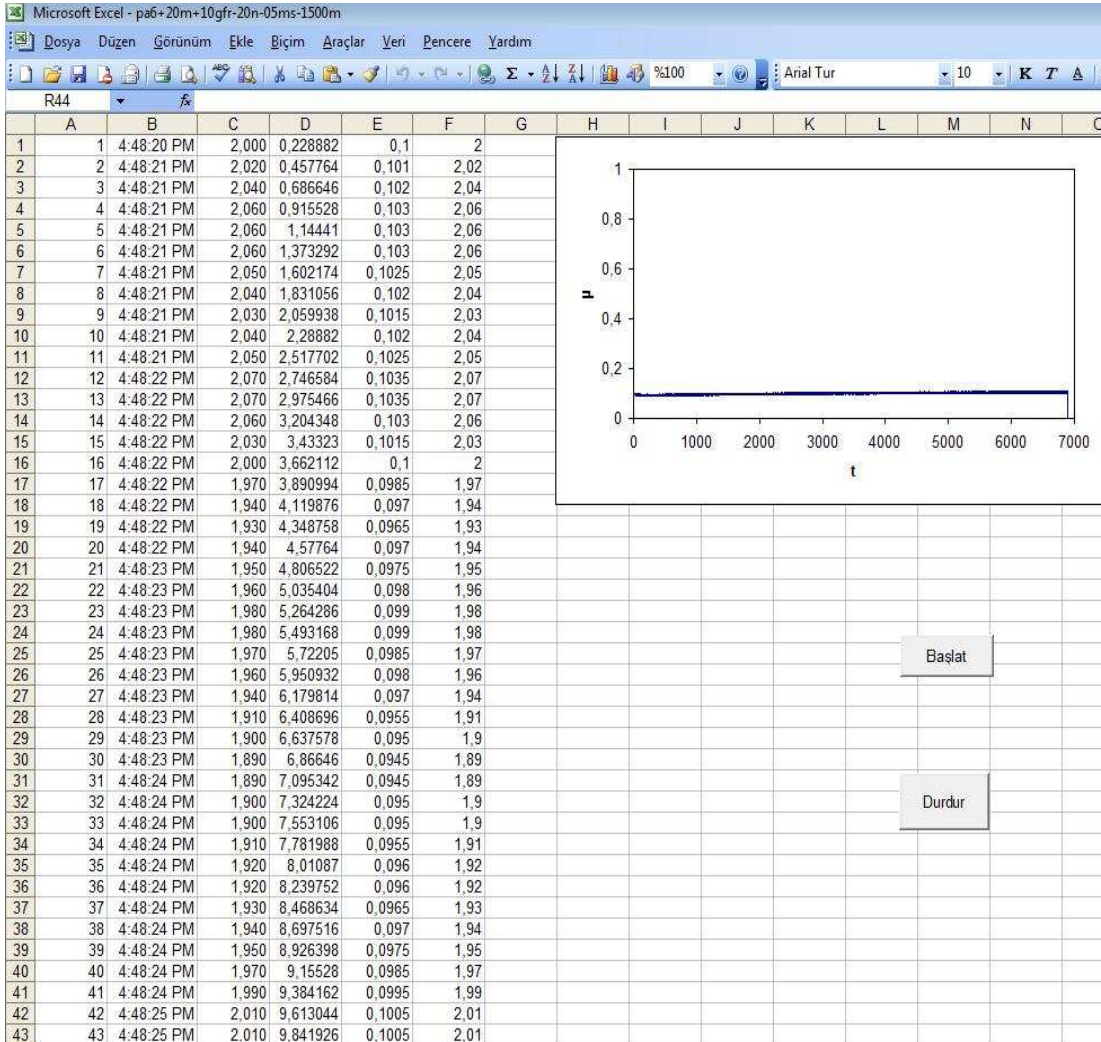
olan elik disk, bir vida yardımıyla sabit diske bağlanır. Kol üzerinde bulunan bir mekanizma ile 6mm çapındaki polimer pim malzemeler kola bağlanır. elik disk yüzeyi ve deney numuneleri aşınma deneyine başlamadan önce aseton ile temizlenir. Aparata bağlanan pim numunesi diskin üzerine yavaşça bırakılır, pim numunesinin diske sürtünmesiyle pim numunesinin bağlı olduğu kol aparatı da diskin dönme yönüne hareket etmek istemektedir. Bu istek sonucunda kolda bir ileriye doğru bir hareket gerçekleşir.

Bu ileriye doğru olan hareket yanal kuvveti vermektedir. Bu yanal kuvvet ise yk hücresi ile llp elektronik göstergede değerleri göstermektedir. Aynı zamanda bu veriler doğrudan bilgisayarda Excel programına depolanmaktadır. Deneylerde dakikada 1000 veri alacak şekilde ayarlanmıştır. Deney süresince toplam 65536 data değeri elde edilmiştir. Bu yanal yük değerleri Excel programında deneylerde kullanılan yüke bölünerek Excel programında D stnunda görülen değerler elde edilmektedir. Bu veriler Y ekseninde olacak şekilde, X ekseninde de deney süresi olacak şekilde grafik haline getirilmiştir. Deney süresince zamanla oluşan sürtünme katsayısı grafiği elde edilir. şekil 5.14' de bilgisayarda elde edilen Excel program formatının şeklini göstermektedir.

Aşınma deneyinde kullanılacak olan pim ve disk numuneleri için özel olarak plastik enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir.

Katkısız PA 6, cam elyaf ve mika katkılı kompozit malzemelerin aşınma numuneleri 6 mm çapında ve 50 mm boyunda olacak şekilde üretilmiştir. Ayrıca karşı disk olarak 100 mm çapında ve 5 mm kalınlığında PA6+%30cam elyaf, PA6+%30mika ve PA6+%6vaks katkılı diskler enjeksiyon makinesinde üretilmiştir. Disklerin yüzeyleri her deney sonucunda 1000 nolu zımpara ile parlatılmış ve yüzeyler aseton ile temizlenmiştir. Deneyde kullanılan disklerin deney öncesi yüzey profilometresi, yüzey pürüzlülüğün belirlemek amacıyla alınmıştır. Deney ncesi alınan yüzey pürüzlülük(Ra) değerleri aşağıdaki gibidir.

- PA 6 + %30 cam elyaf katkılı diskin Ra değeri 0,557 μm ,
- PA 6 + %30 mika katkılı diskin Ra değeri 0,397 μm ,
- PA 6 + % 6 vaks katkılı diskin Ra değeri ise 2,224 μm değerlerinde ölçülmüştür.



Şekil 5.14. Aşınma deneyin de excel formatında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri ve grafiği gösterilmiştir.

Tribolojik deneylerde, PA 6 ve kompozitlerinin üç farklı karşı diske karşı sürtünme katsayısı ve aşınma oranı tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı yanal kuvvetin, normal uygulanan kuvvete oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{F_s}{F_N}$$

Burada;

μ : Sürtünme katsayısı

F_S : Yanal sürtünme kuvveti N;

F_N : Normal kuvvet, N ifade eder.

Deney süresinin bitiminde, önce kol kaldırılarak aşınma programı durdurulur. Daha sonra diski döndüren motor durdurulur. Pim bağlı olduğu yerden çıkarılır, varsa üzerindeki aşınma partikülleri ve çapakları alınır, son ağırlık ölçümü için dijital terazide tartılır. Deneylede kullanılan hassas terazi Precisa marka olup 0.0001g hassasiyetindedir. Pimlerin rutubeti alındıktan sonra ilk ağırlık ile son ağırlık arasındaki fark hesaplanarak belirlenen şartlar için numunenin aşınma kaybı değeri bulunur.

Aşağıda belirtilen eşitlik ile numunelerin aşınma oranı hesaplanır.

$$Wa = \frac{\Delta m}{S \times \rho \times F_N}$$

Burada;

Wa : Aşınma oranı, mm^3/Nm veya m^2/N

Δm : aşınma miktarı, g

S : kayma yolu, m

ρ : numunenin yoğunluğu, g/cm^3

F : normal kuvvet, N ifade eder.

Aşınma deneyleri, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarında bulunan, Şekil 5.15' de gösterilen pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.15. Aşınma test düzeneği

BÖLÜM 6. DENEYSEL BULGULAR

6.1. Yapılan Çalışmaların Test Sonuçları ve Tartışma

Ekstrüzyonda üretilen PA 6 kompozit granülleri enjeksiyon makinesinde kalıplanarak hazırlanmıştır. Üretilen test malzemelerinin mekanik, termal ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

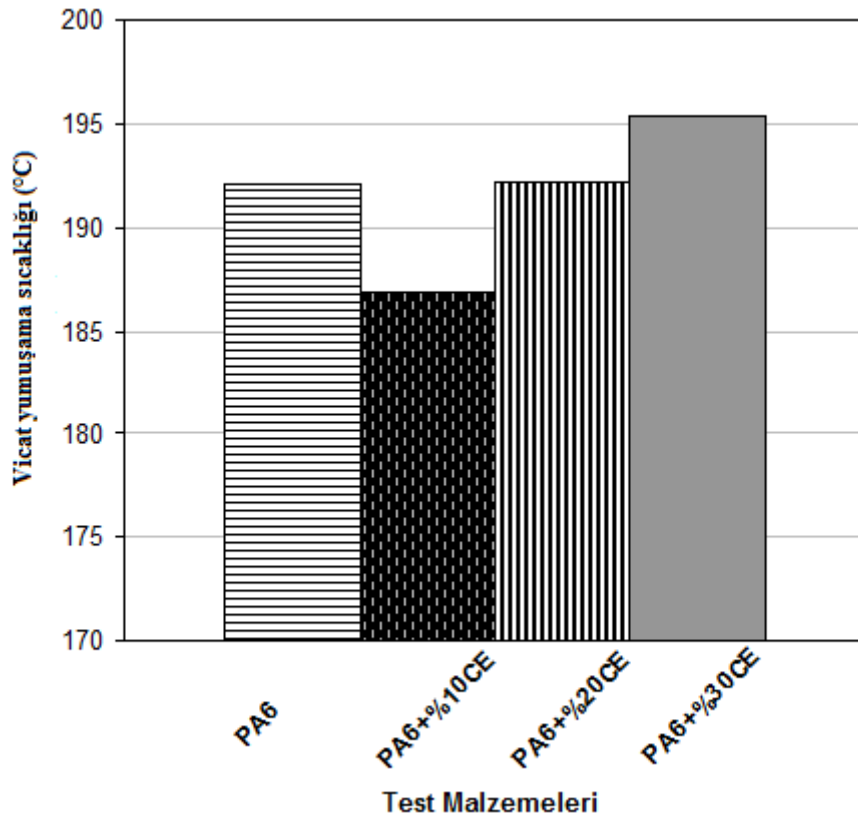
6.1.2. Termal özellikler

6.1.2.1. Vicat yumuşama sıcaklığı

Test cihazına yerleştirilen 80x10x4 mm ebatlarındaki test malzemelerine silikon banyo içerisinde oda sıcaklığından başlayarak 120°C/h sıcaklık artışı ile 50N yük uygulayarak yumuşama sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Katkısız poliamid 6 ve cam elyaf, mika ve cam elyaf+mika katkıli kompozitlerinin Vicat yumuşama sıcaklıkları Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Test malzemelerinin Vicat yumuşama sıcaklıkları

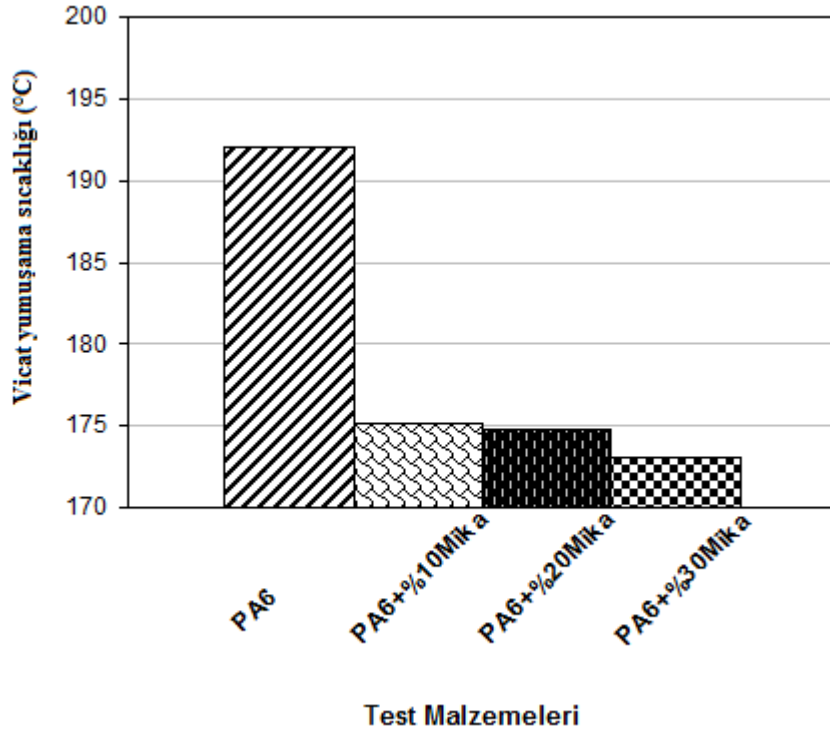
Formüller	Vicat yumuşama sıcaklığı(°C)
PA6	192,1
PA6+%10CE	186,9
PA6+%20CE	192,2
PA6+%30CE	195,4
PA6+%10Mika	175,1
PA6+%20Mika	174,7
PA6+%30Mika	173
PA6+%10CE+%20Mika	183,3
PA6+%15CE+%15Mika	188
PA6+%20CE+%10Mika	189,8



Şekil 6.1. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 test malzemelerinin Vicat karşılaştırmaları

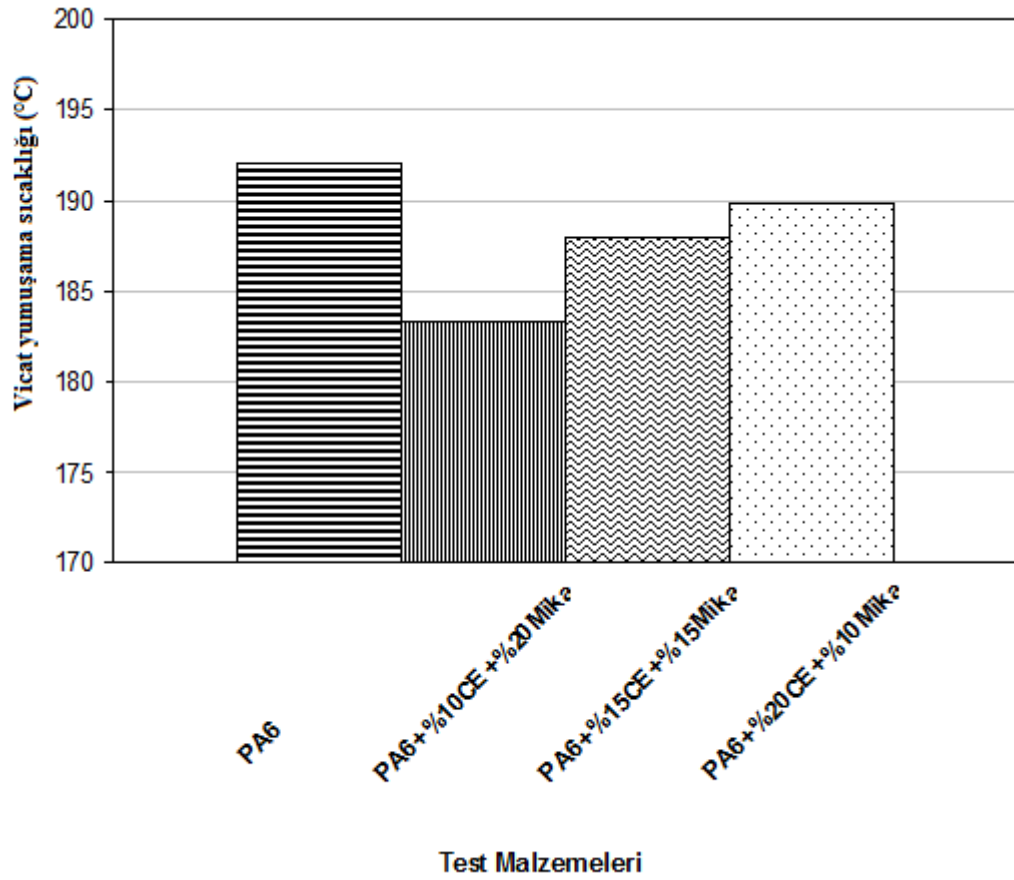
Şekil 6.1' deki değerler neticesinde katkısız PA 6 ile %10, %20, %30 cam elyaf katkılı test malzemeleri arasındaki değişimler incelenmiştir. PA 6' ya göre %10 cam

elyafli test malzemesinin Vicat değerinde dūřuř olduğu, yalnız %20 ve %30 cam elyaf katkıli kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklığı poliamid 6 malzemeye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



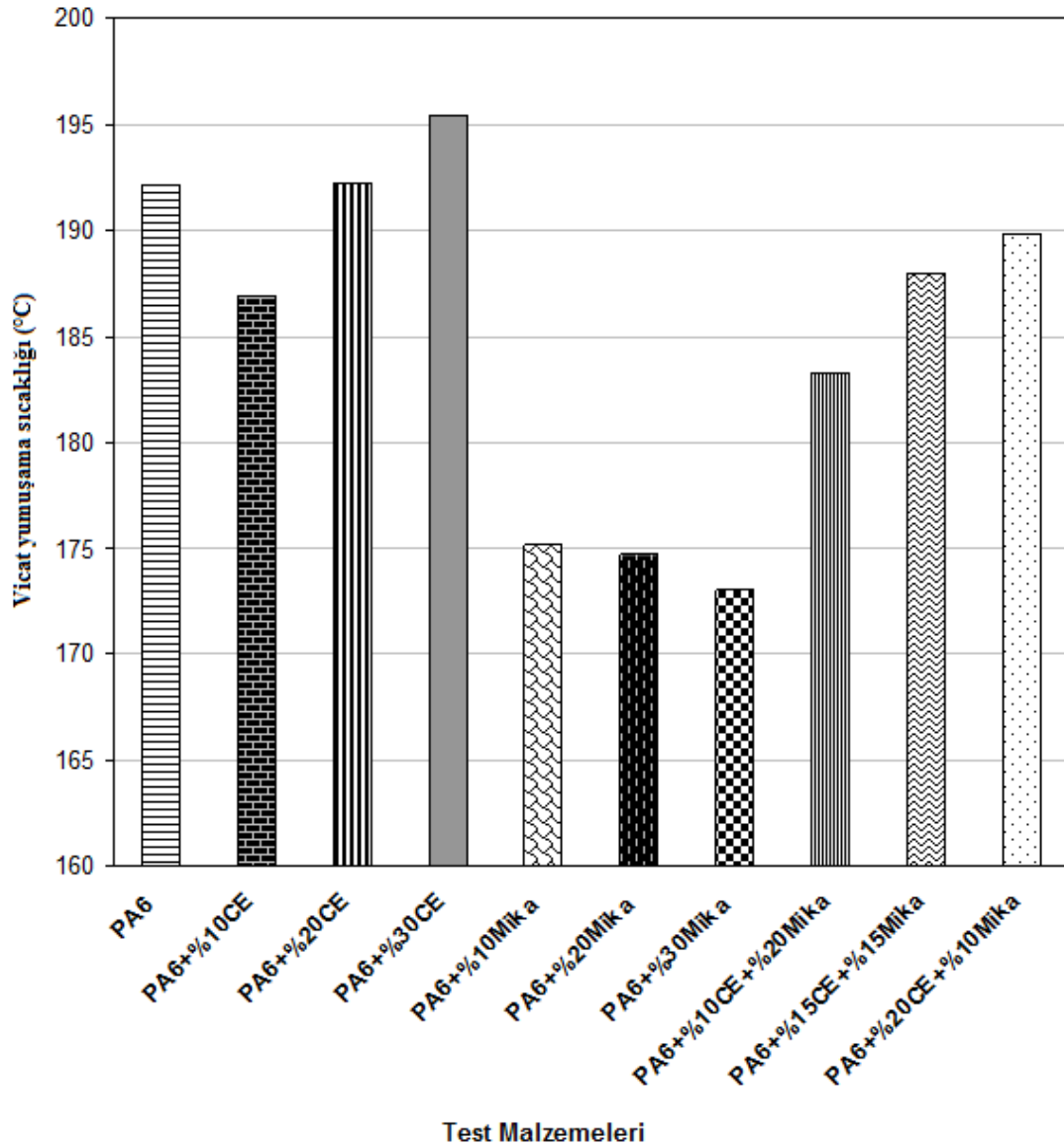
şekil 6.2. Katkısız PA 6 ve mika katkıli kompozit malzemelerin Vicat karşılaştırmaları

şekil 6.2' deki değerler neticesinde katkısız PA 6 malzeme ile %10, %20, %30 Mika katkıli PA 6 kompozitlerin arasında bazı değişimler incelenmiştir. PA 6' ya göre %10, %20, %30 mika katkıli kompozitlerin yumuşama sıcaklık değerleri poliamid 6 malzemeye oranla daha dūřktr ve mika oranı arttıka Vicat yumuşama sıcaklığının da dūřtę gözlenmiştir.



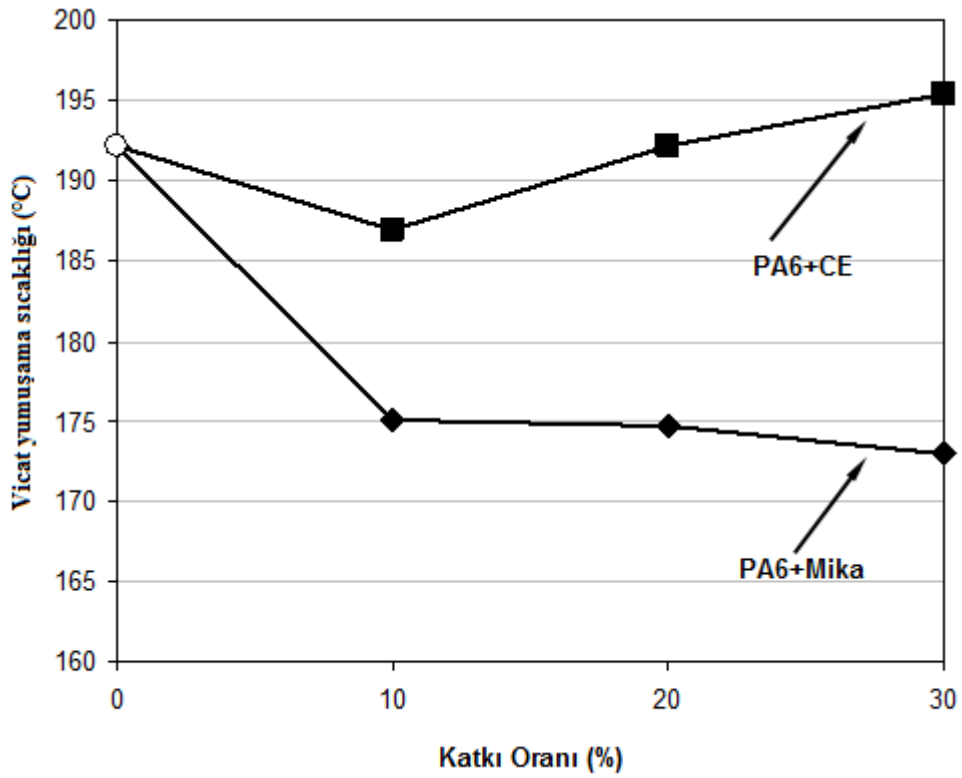
Şekil 6.3. Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklık değişimleri

Şekil 6.3' deki değerler neticesinde katkısız PA 6 malzeme ile cam elyaf-mika katkılı PA6 hibrit kompozitleri olan %10CE+%20Mika, %15CE+%15Mika, %20CE+%10Mika formülleri arasındaki değişimler incelenmiştir. Buna göre Vicat yumuşama sıcaklığının cam elyaf oranının artması ile yükseldiği, mika katkı oranının artması ile de azaldığı gözlenmiştir.



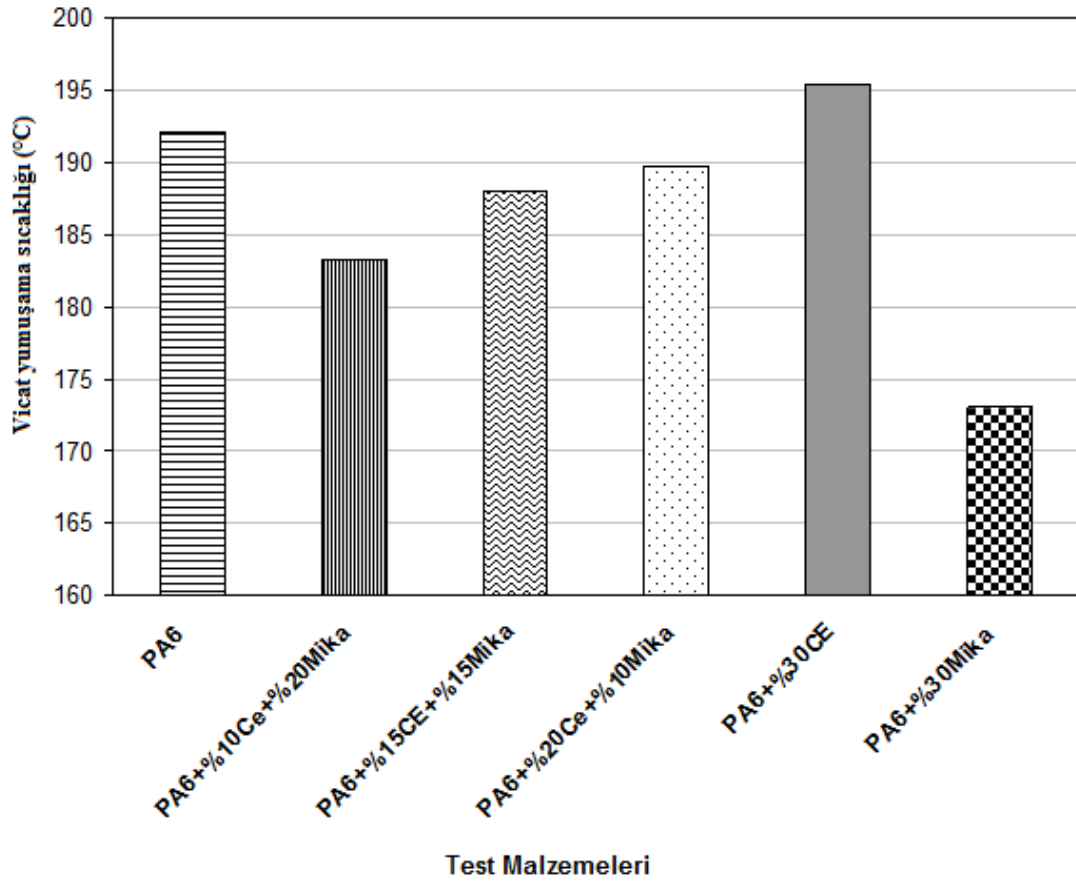
Şekil 6.4. Test malzemelerinin Vicat yumuşama sıcaklığı karşılaştırmaları

Şekil 6.4’ de tüm malzemelerin Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri verilmiştir. Vicat yumuşama sıcaklık değerinin en yüksek PA6+%30CE kompoziti olduğu ve PA6+%30Mika kompozitte ise en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir. Poliamid 6 malzemesine göre mika katkılı kompozitlerin ve cam elyaf miktarı düşük olan (PA6+%10CE) kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklık değerlerinin az olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.5. Katkısız PA 6' ya göre Vicat yumuşama sıcaklıklarının cam elyaf ve mika katkılı malzemelerin katkı oranına göre değişim karşılaştırmaları

Cam elyaf ve mika katkılı kompozitlerin Vicat yumuşama sıcaklığının katkı oranının artmasına göre değişimi Şekil 6.5' de verilmiştir. Katkısız PA 6' ya ilave edilen cam elyaf oranı arttıkça Vicat yumuşama sıcaklığı yükselirken, mika katkı oranının artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.6. Katkısız PA 6 ve %30 oranlı katkıların grafiği

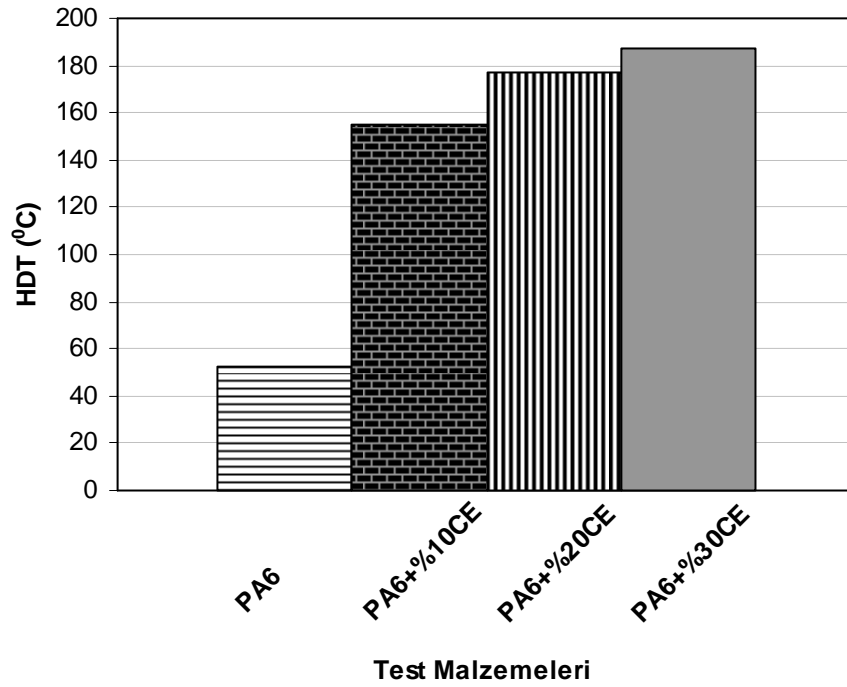
Katkı oranı %30 olan kompozit malzemelerle, katkısız PA 6' nın karşılaştırma grafiği Şekil 6.6' da görüldüğü gibidir. Buna göre PA6+%30CE olan kompozitin diğer %30 katkılı kompozitlerden daha yüksek yumuşama sıcaklığına ulaştığı tespit edilmiştir. %30 Mika katkılı kompozitlerde Vicat yumuşama sıcaklığı mika katkı oranına bağlı olarak düşüş göstermiştir.

6.1.2.2.Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT)

130x13x4 mm ebatlarındaki, 100mm aralıklı dayanaklar üzerine yerleştirilen malzemeye 1,8 MPa basınç uygulayarak, yağ ortam sıcaklığı oda sıcaklığından itibaren dakika 2°C olacak şekilde arttırılmıştır. Yapılan testler neticesinde Tablo 6.2' deki Yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 6.2. Numunelerin Yük Altında Eğilme Sıcaklıkları (HDT)

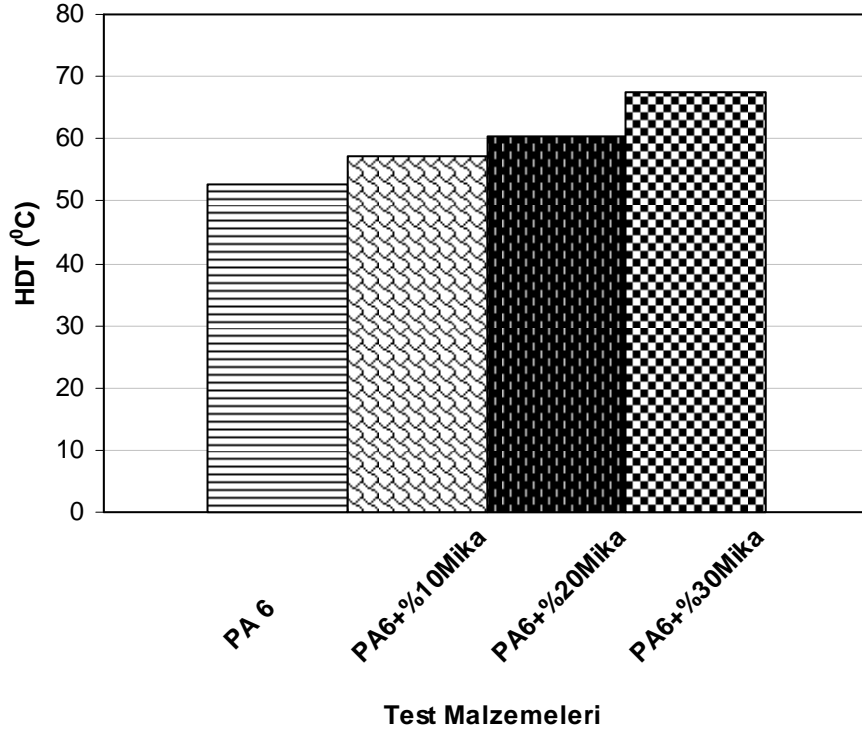
Formüller	HDT (°C)
PA6	52,8
PA6+%10CE	155,4
PA6+%20CE	177,3
PA6+%30CE	187
PA6+%10Mika	57,1
PA6+%20Mika	60,6
PA6+%30Mika	67,4
PA6+%10CE+%20Mika	146,1
PA6+%15CE+%15Mika	173,6
PA6+%20CE+%10Mika	175,7



Şekil 6.7. Katkısız PA 6 ve cam elyaf takviyeli PA 6 kompozitlerinin HDT analizleri

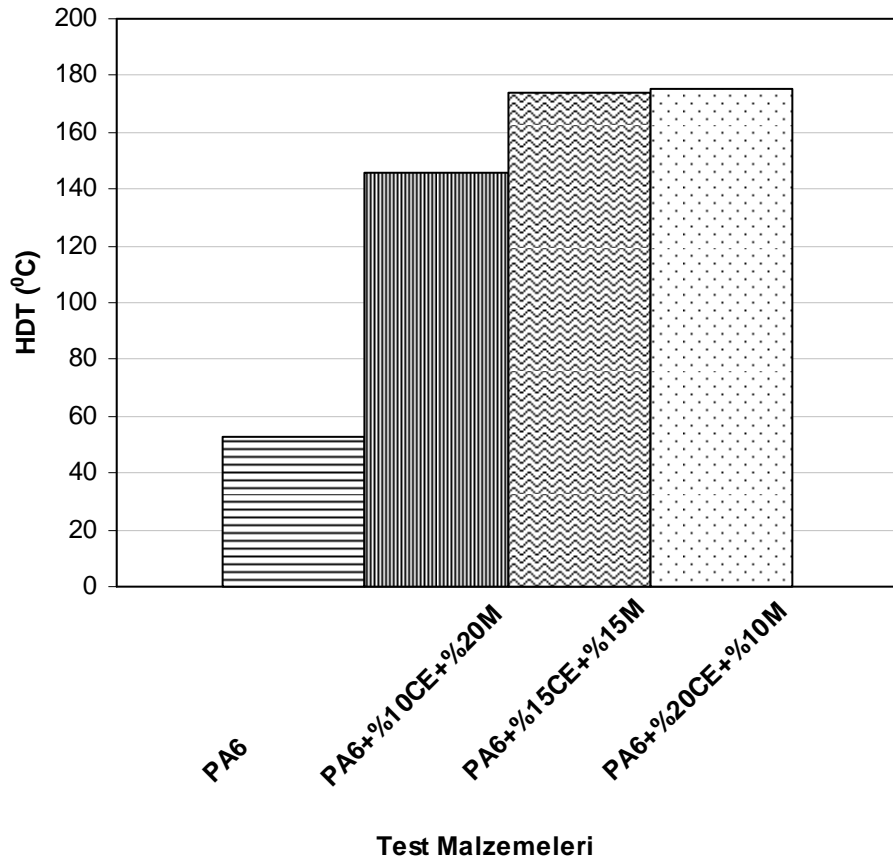
Şekil 6.7' deki değerler neticesinde katkısız PA 6 malzeme ile cam elyaf katkılı kompozit malzemeler arasındaki HDT değişimleri gözlenmiştir. Buna göre cam elyaf katkısının yük altında eğilme sıcaklığına (HDT) etkisinin 3 ila 4 kat daha fazla

olduğu tespit edilmiştir. PA 6 bünyesindeki cam elyaf oranı arttıkça HDT değeri de yükselmektedir.



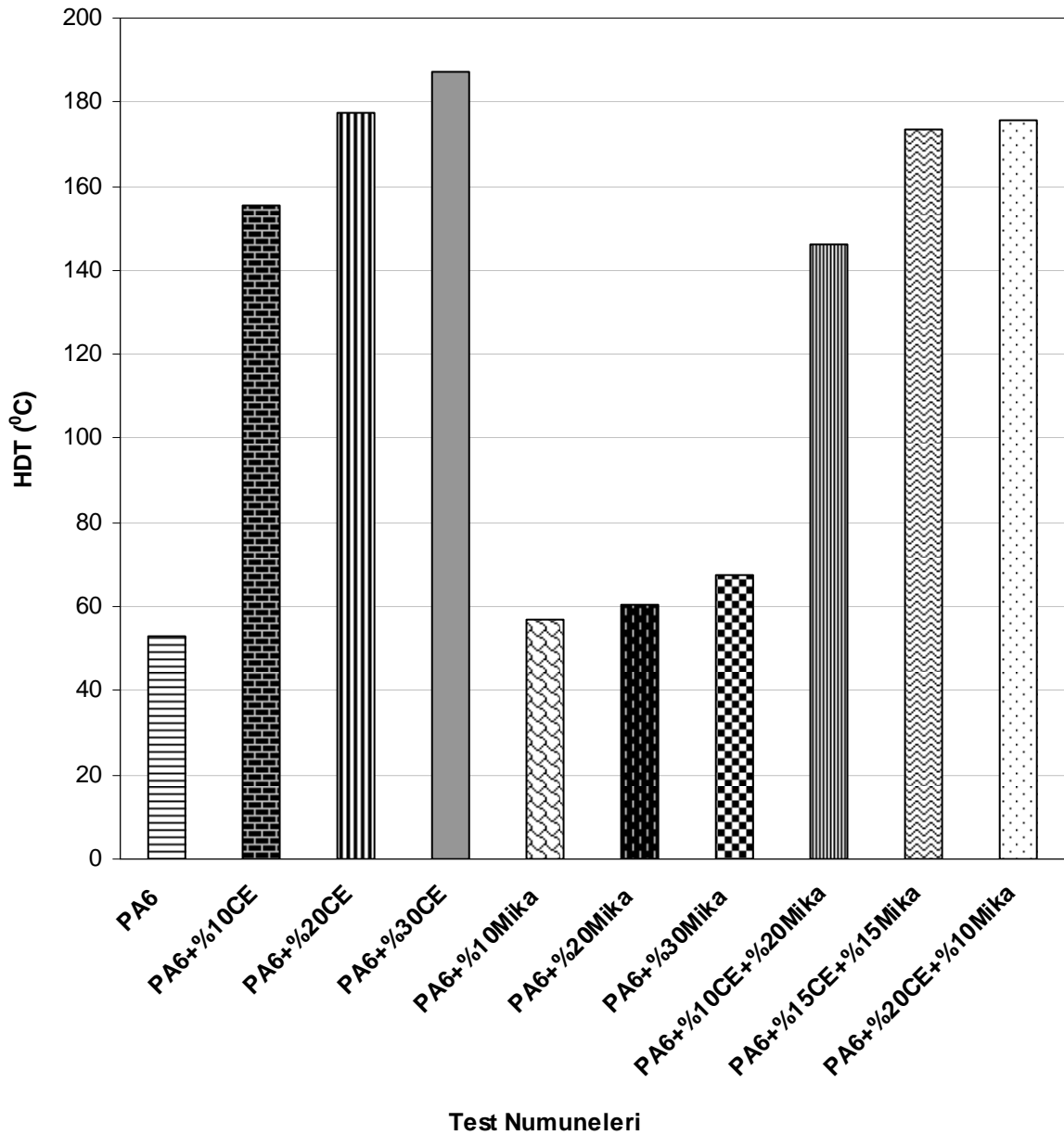
Şekil 6.8. Katkısız PA 6 ve Mika katkılı PA 6 kompozitlerin HDT Karşılaştırmaları

Şekil 6.8’ de katkısız PA 6 malzeme ile mika katkılı kompozit malzemeler arasındaki HDT değişimleri gözlenmiştir. Buna göre PA 6 içerisindeki mika katkısının yük altında eğilme sıcaklığına (HDT) etkisinde çok az artış olduğu tespit edilmiştir. Mika oranı arttıkça HDT değerinde düşük oranda yükseldiği sonucuna varılmıştır.



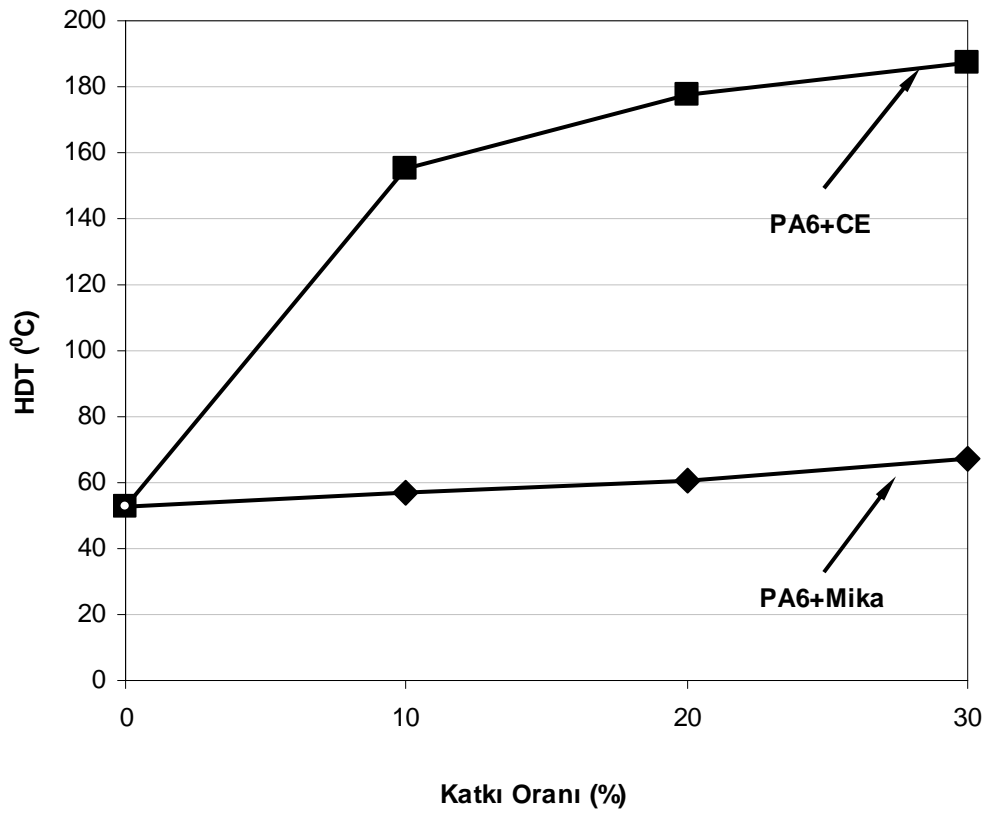
Şekil 6.9. PA 6 ve cam elyaf-mika katkıli hibrit kompozitlerin HDT karşılaştırmaları

Şekil 6.9' da katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkıli PA 6 hibrit kompozit malzemelerin HDT değerlerindeki değişimi göstermektedir. Buna göre cam elyaf ve mika katkıli hibrit kompozitlerin HDT değerleri, katkısız PA 6' nın HDT değerinden 2 ile 4 kat daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Hibrit malzemelerde cam elyaf oranının artması HDT değerinin yükselmesine sebep olduğu tespit edilmiştir.



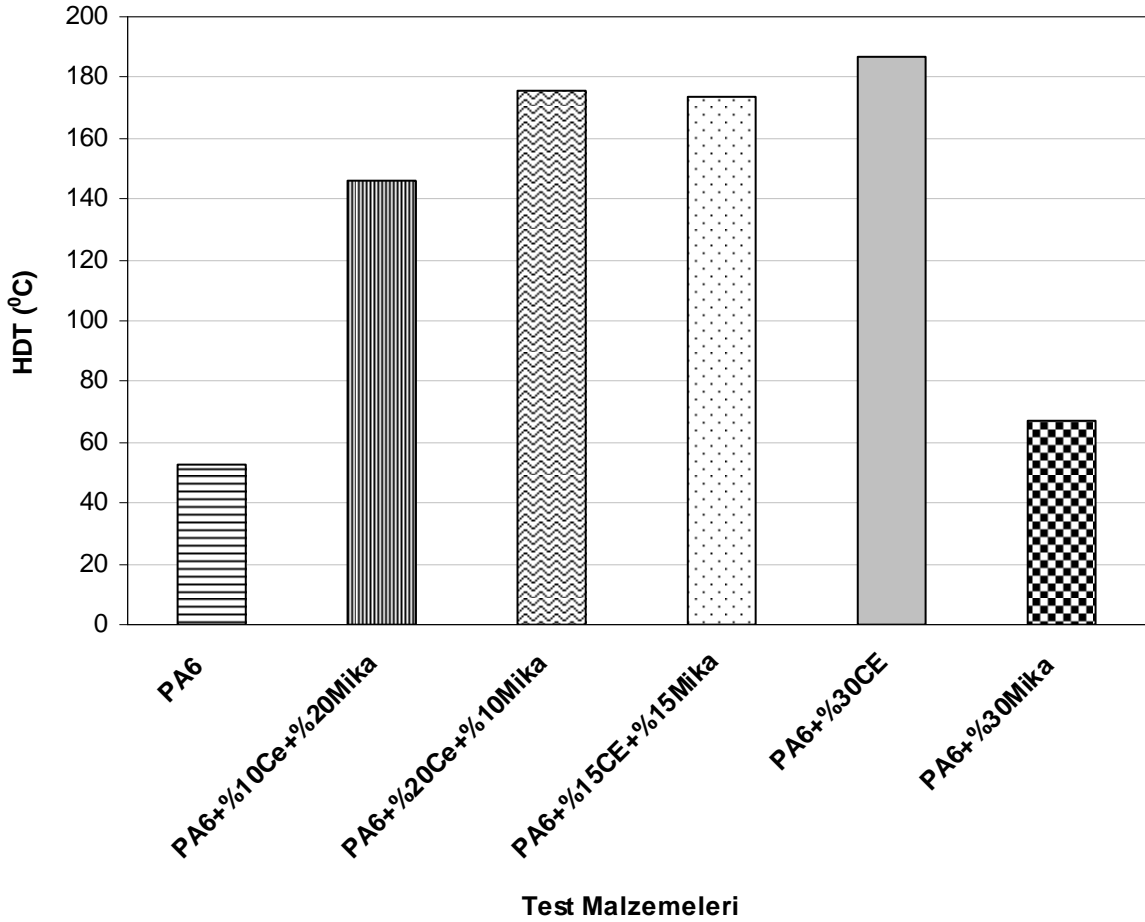
Şekil 6.10. Tüm test numunelerin HDT analizlerinin karşılaştırmaları

Şekil 6.10 incelendiğinde, mika katkılı PA 6 kompozitlerin HDT değerleri yaklaşık 57 ile 67 °C arasında olup, cam elyaf takviyeli kompozitlerin HDT değerleri ise 155 ile 187 °C arasında olduğu gözlenmiştir. Buna ilave olarak mika ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin HDT değerleri ise 146 ile 175 °C arasında olduğu tespit edilmiştir. Şekilde de hibrit kompozit içindeki cam elyaf oranının artması ile HDT değerinin yükselmesine sebep olduğu gözlenmiştir.



Şekil 6.11. Cam elyaf ve mika katkı oranı-HDT ilişkisi

Şekil 6.11' de cam elyaf ve mika katkı oranı artışı ile PA 6 kompozit malzemelerin HDT değerlerinde arttığı gözlenmiştir. Ancak cam elyaf oranının HDT değerindeki artış yaklaşık % 254 iken mika katkısındaki bu değişim yaklaşık olarak %28 oranında olmuştur.



Şekil 6.12. Katkısız PA6 ve %30 oranlı katkıların grafiği

Katkı oranı %30 olan kompozit malzemelerle katkısız PA 6'nın HDT grafiği Şekil 6.12' de görüldüğü gibidir. Buna göre PA6+%30CE olan kompozitin diğer %30 katkılı kompozitlerden daha yüksek yumuşama sıcaklığı olduğu incelenmiştir. Cam elyaf oranına göre içeriğinde mika olan katkılarda HDT' nin yükseldiği gözlenmiştir.

6.1.2.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

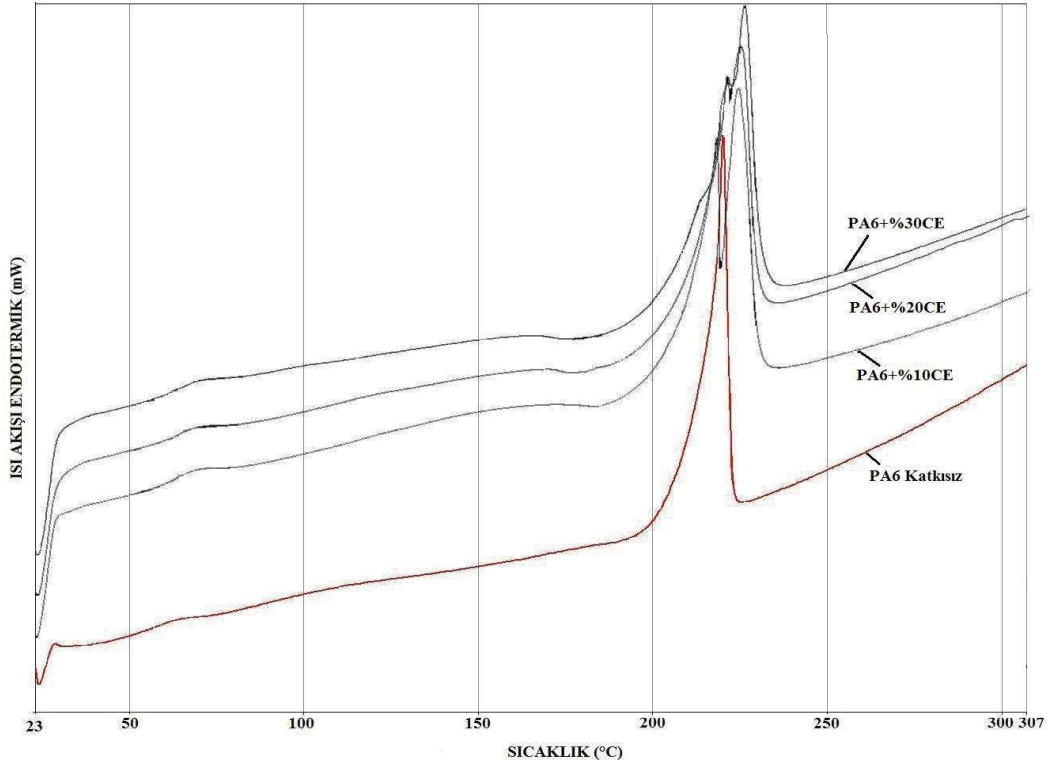
Şekil 6.13-17' de PA 6 ve kompozitlerinin sıcaklık ile ısı akış ilişkileri gösterilmiştir. Katkısız PA6' nın ergime sıcaklığı (T_m) 220,27 °C, camsı geçiş sıcaklığı ise 54,78 °C' dir. Şekil 6.13 incelendiğinde cam elyaf katkılı kompozit malzemelerin katkısız PA 6 malzemesine göre ergime sıcaklığı %2,3, camsı geçiş sıcaklığı ise %17 oranında arttığı gözlenmiştir. Şekil 6.14 incelendiğinde ise mika katkılı kompozit malzemelerin katkısız PA 6 malzemesine göre ergime sıcaklığı %1,7, camsı geçiş

sıcaklığı %17 oranında artmaktadır. Ayrıca Şekil 6.15’ de cam elyaf-mika hibrit kompozitlerinin katkısız PA 6 ya göre camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık 12 °C’ ye, ergime sıcaklığı ise yaklaşık 7 °C’ ye kadar arttırdığı gözlenmiştir.

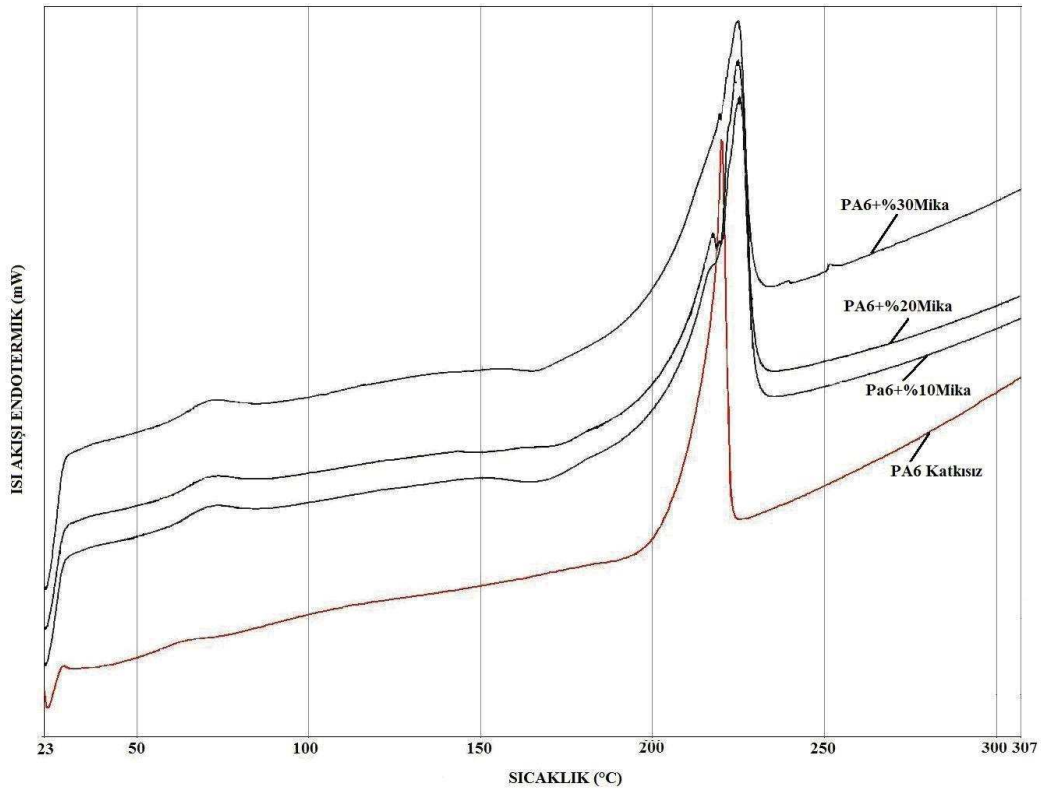
Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’ de mika ve cam elyaf katkılı kompozitlerin kıyaslanması katkısız PA 6 malzeme ve aynı oranlardaki cam elyaf-mika hibrit kompozitleriyle kıyaslandığında hibrit kompozitlerin camsı geçiş ve ergime sıcaklığının daha fazla olduğu görülmektedir. Test malzemelerinin Tg, Tm, verdiği veya absorbladığı entalpi değişimi (ΔH) ve ısı kapasitesi (ΔC_p) detayları Tablo 6.3’ de verilmiştir.

Tablo 6.3. Numunelerin Tg, Tm ve entalpi değişimleri tablosu

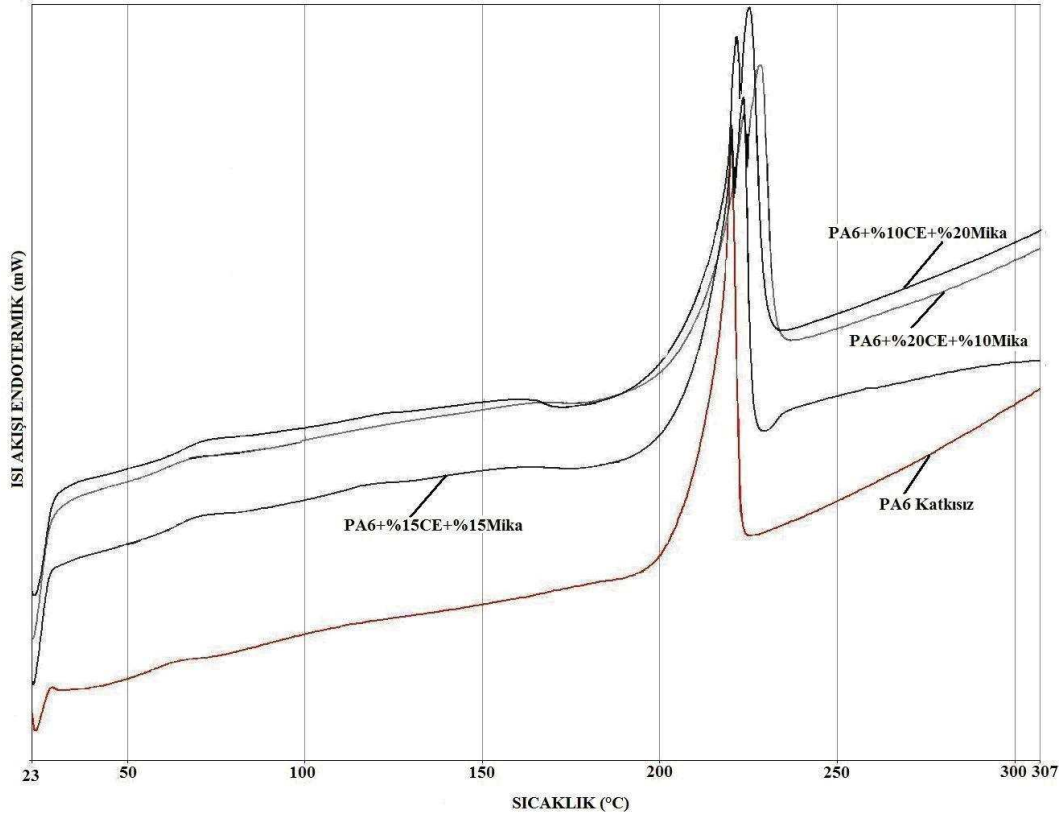
Malzemeler	Tg (°C)	ΔC_p (j/g°C)	Tm (°C)	ΔH (j/g)
Katkısız PA6	54,78	0,589	220,27	105,5651
PA6+%10Mika	63,56	0,194	224,37	44,1874
PA6+%20Mika	64,74	0,188	224,12	11,5871
PA6+%30Mika	64,29	0,168	224,16	35,4178
PA6+%10CE	64,81	0,170	223,56	14,6233
PA6+%20CE	62,07	0,175	223,55	39,9442
PA6+%30CE	64,32	0,145	225,39	3,2233
PA6+%10CE+%20Mika	61,92	0,141	227,62	4,6915
PA6+%15CE+%15Mika	66,73	0,180	227,67	1,8492
PA6+%20CE+%10Mika	63,08	0,114	224,67	1,6156



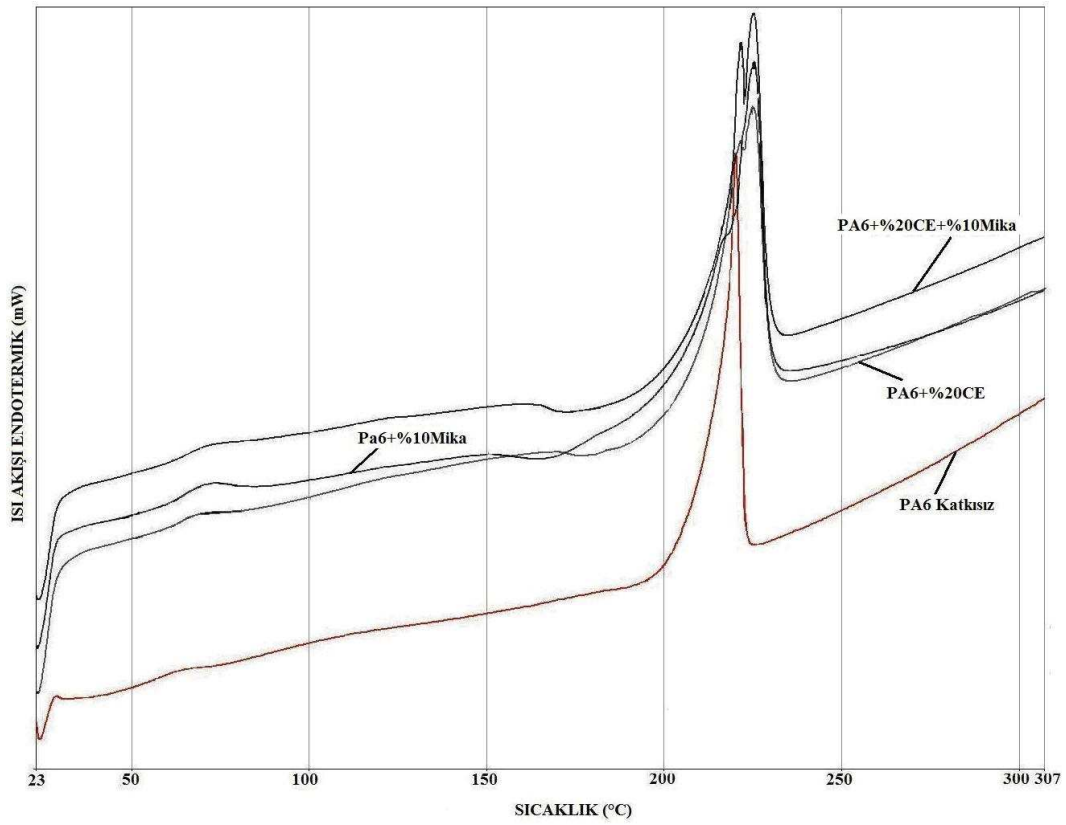
Şekil 6.13. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin DSC eğrileri



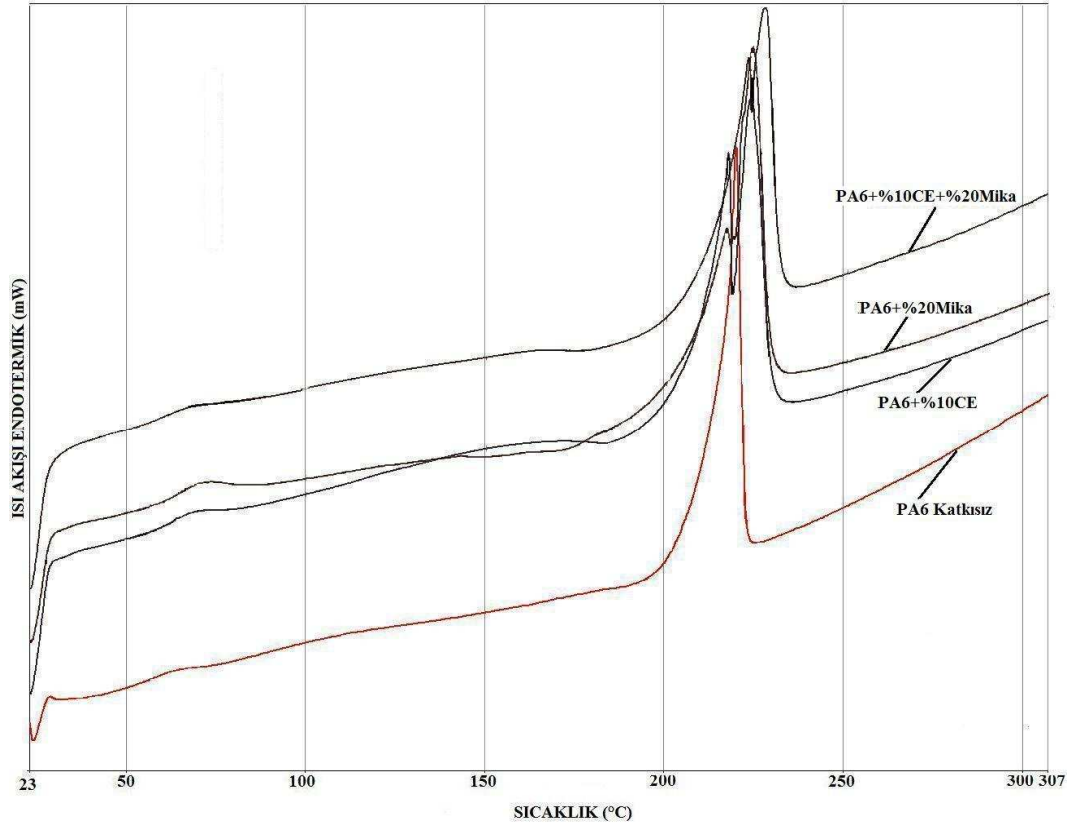
Şekil 6.14. Katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozitlerinin DSC eğrileri



Şekil 6.15. Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkı PA 6 hibrit kompozitlerin DSC eğrileri



Şekil 6.16. Katkısız PA 6 ve cam elyaf ve mika katkı PA 6 kompozitlerin DSC eğrileri



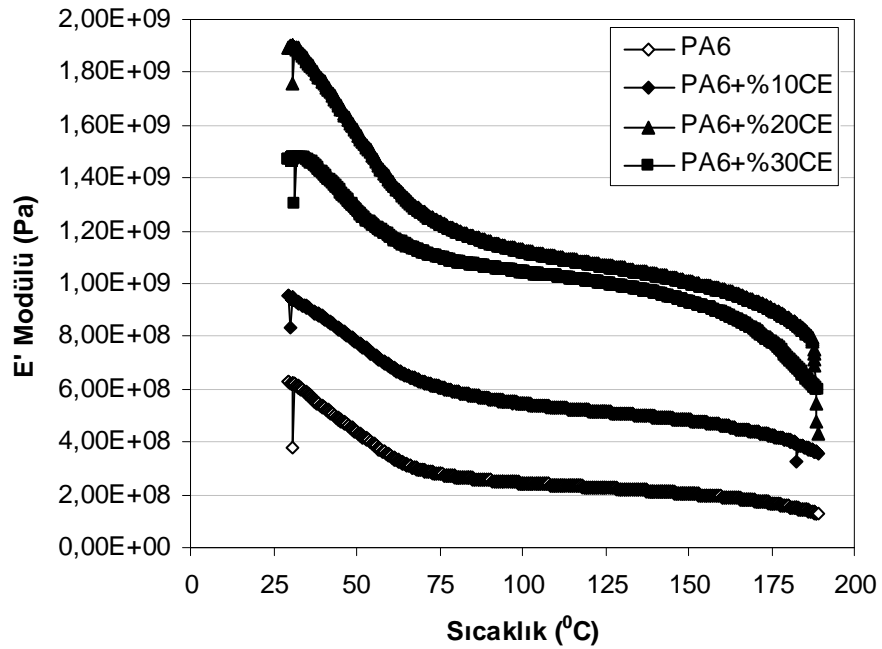
Şekil 6.17. Katkısız PA 6 ve cam elyaf ve mika katkılı PA 6 kompozitlerin DSC eğrileri

6.1.3. Mekanik deneyler

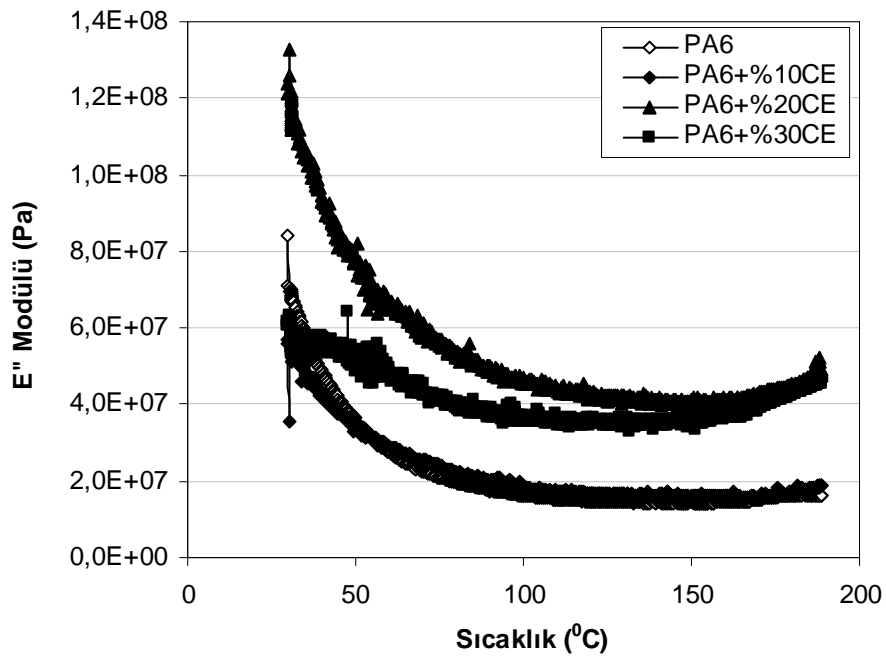
6.1.3.1. Dinamik mekanik analiz (DMA)

Şekil 6.18, 6.21 ve 6.24' de katkısız PA 6 ve cam elyaf, mika katkılı PA 6 kompozitler ile cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozit malzemelerin depolama modülü (E') karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir. Test malzemelerin katkısız PA 6 malzemesine karşı gösterdiği artı yönde değişim kompozit malzemelerin deformasyon enerjisinin ölçütü ve elastik niceliği hakkındaki değişimi göstermektedir. Şekil 6.19, 6.22 ve 6.25' de malzemelerin kayıp modülleri (E'') katkısız PA 6 malzemeye karşı kompozit karışımların artı yönde değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Malzemelerin kayıp modülleri ısı biçiminde kaybettiği deformasyon enerjisi ile viskoz niceliğini belirtmektedir. E' ve E'' grafikleri incelendiğinde $E' > E''$ olduğu görülmektedir. Bu sonuç malzemelerin elastik özelliklerinin baskın olduğunu vurgulamaktadır. Şekil 6.20, 6.23, 6.26' da ise malzemelerin tan delta (Δ) piklerinin

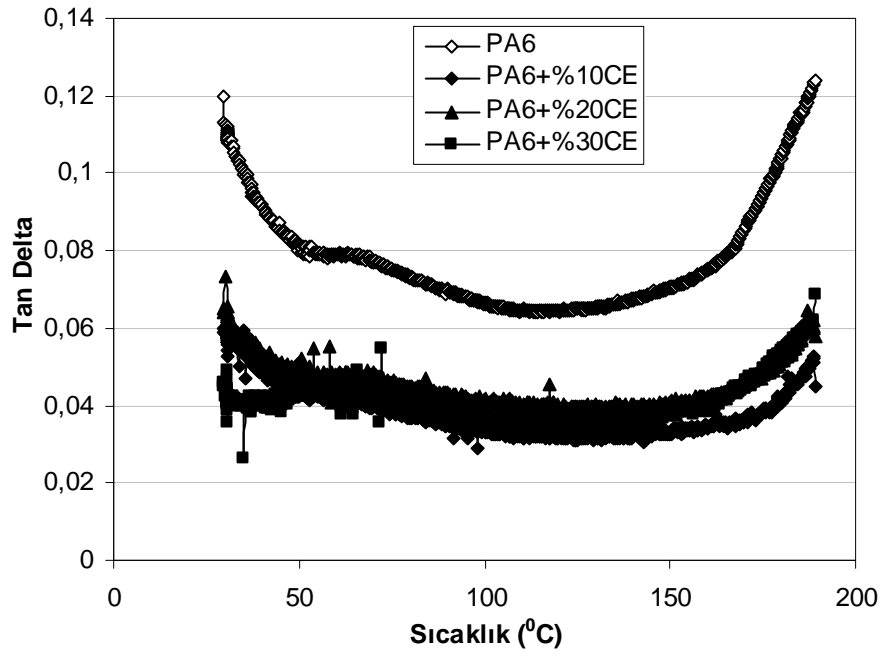
yüksekliği molekül zincirlerinin hareketliliği hakkında bilgi vermektedir. Numunelerin pik yüksekliklerinden elde edilen camı geçiş sıcaklıkları (T_g) Tablo 6.4' de verilmiştir.



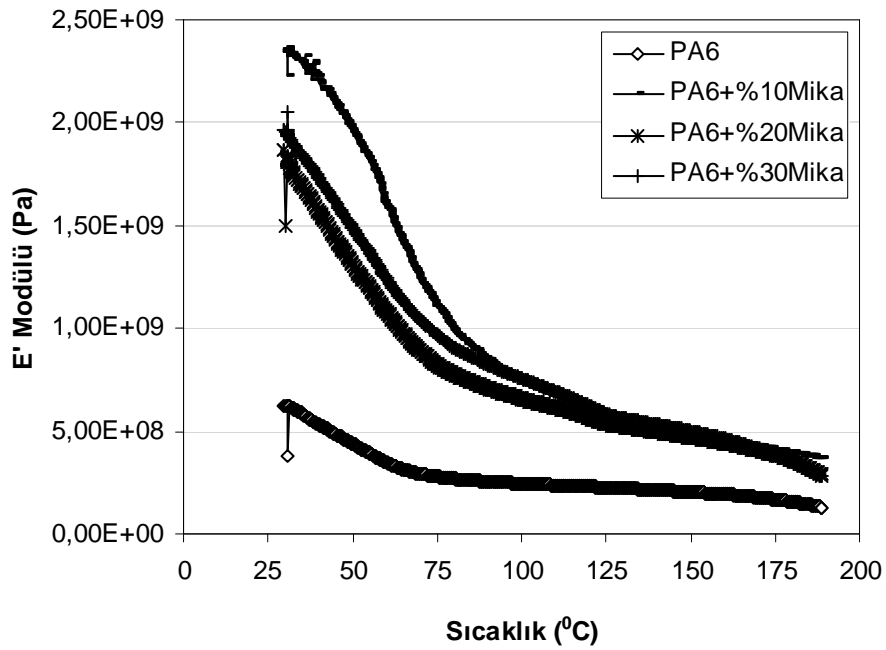
Şekil 6.18. Cam elyaf katkıları ile güçlendirilmiş PA 6'nın depolama modülü (E') karşılaştırmaları



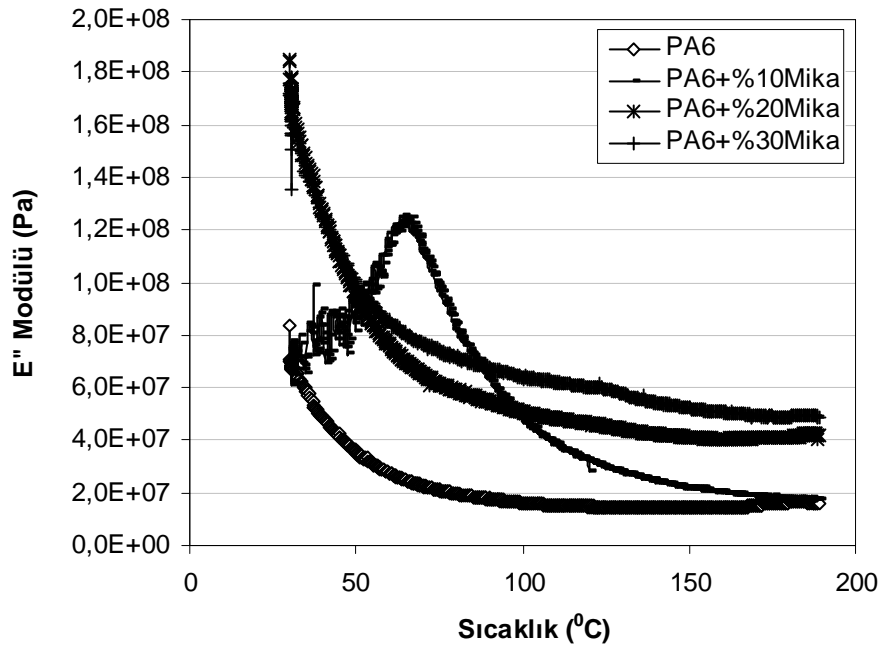
Şekil 6.19. Katkısız PA 6 ile cam elyaf katkıları ile güçlendirilmiş kompozitlerinin kayıp modülü (E'') karşılaştırmaları



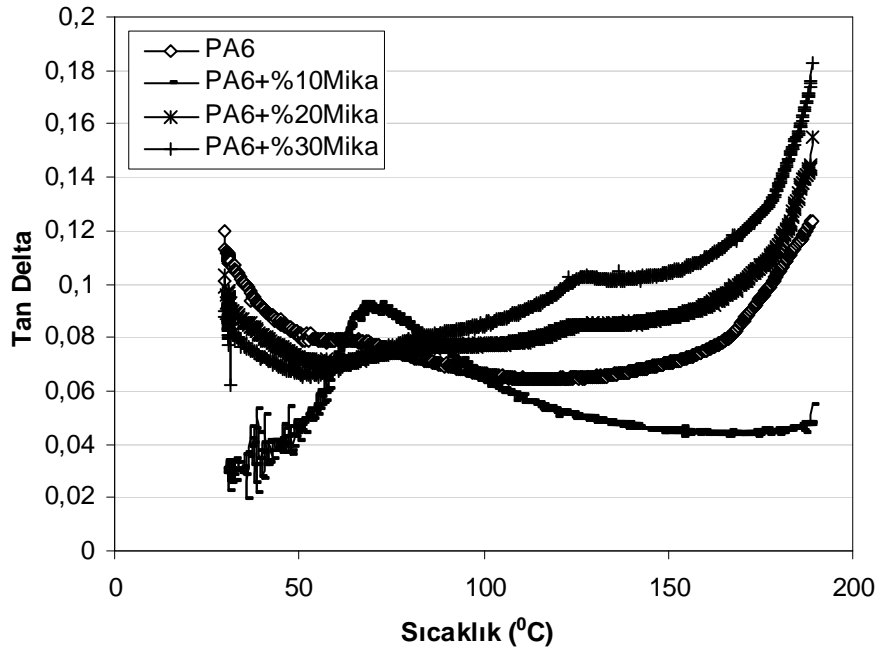
Şekil 6.20. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı



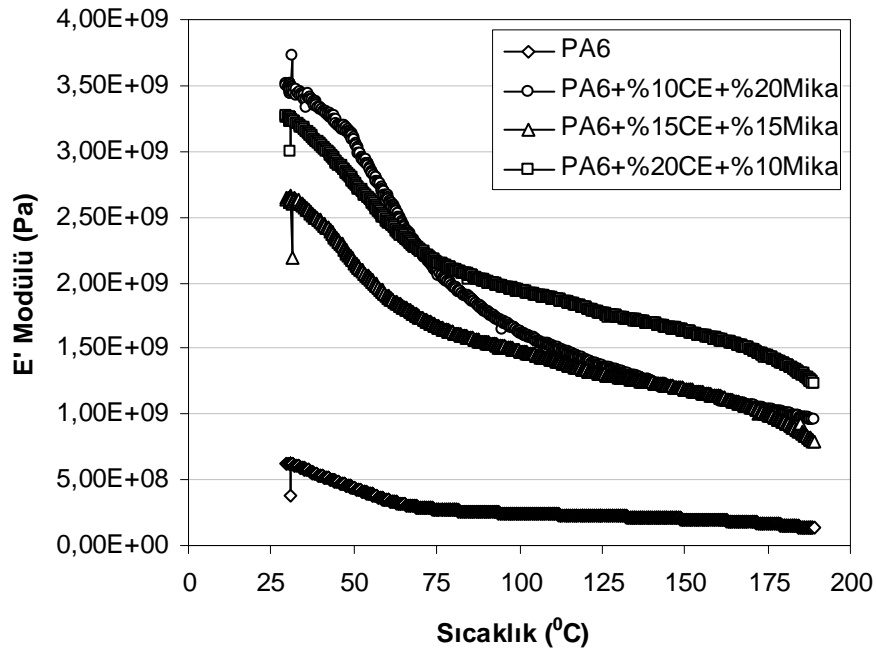
Şekil 6.21. Mika katkılı kompozitlerle katkısız PA 6'nın depolama modülü (E') ilişkisi



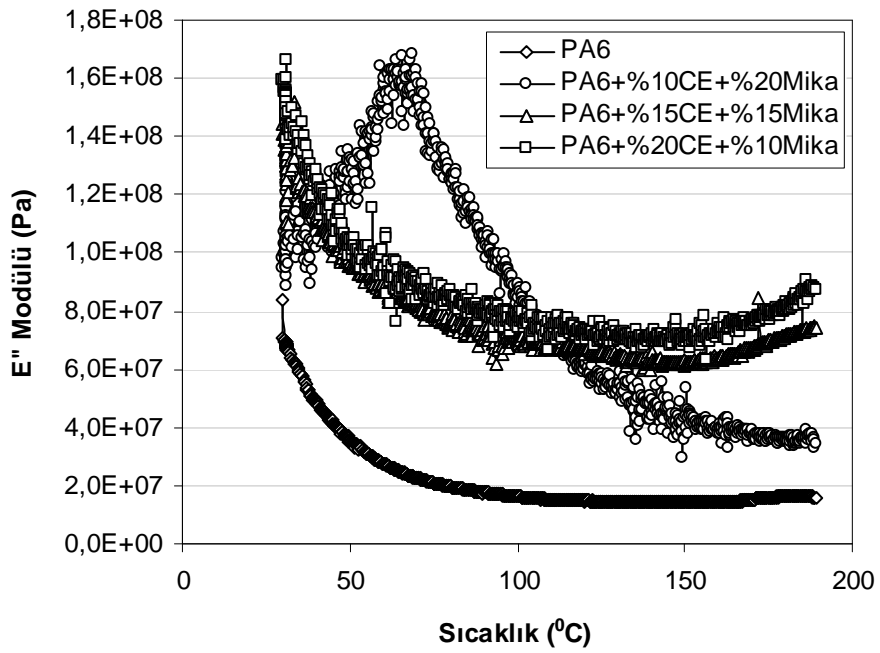
Şekil 6.22. Katkısız PA 6 ile mika katkılı kompozitlerin kayıp modül (E'') ilişkisi



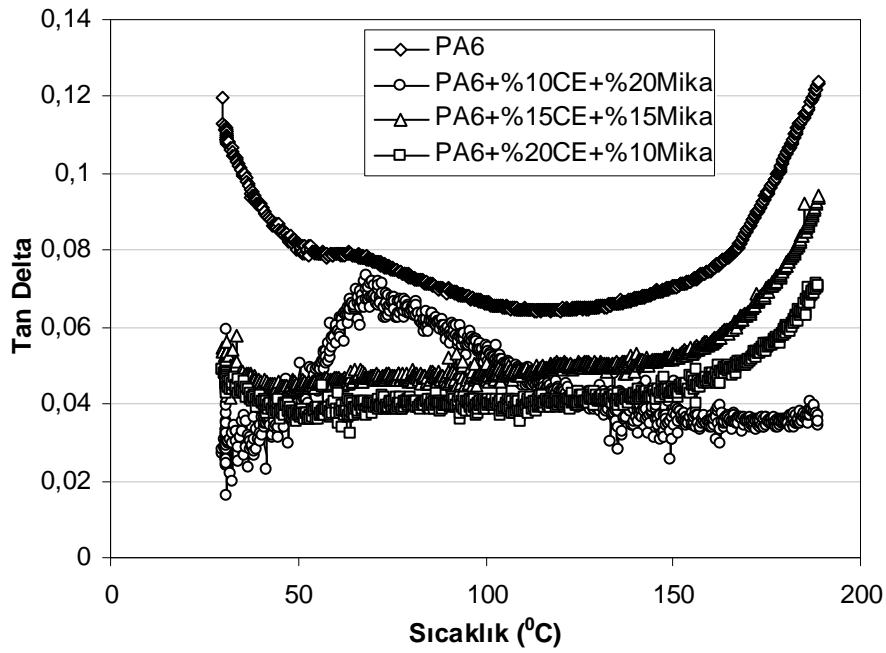
Şekil 6.23. Katkısız PA 6 ile mika katkılı kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı



Şekil 6.24. Katkısız PA 6 ile cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin depolama modülü (E') ilişkisi



Şekil 6.25. Cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozitlerin katkısız PA 6 ile kayıp modül (E'') ilişkisi



Şekil 6.26. Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozitlerin E' ve E'' değerlerinin tan delta karşılığı

Tablo 6.4. Kompozitlerin Tan delta-sıcaklık datalarından hesaplanan Tg (Camsı geçiş sıcaklığı) değerleri

Malzeme	Tan delta ^a	Tg ^b (°C)
Katkısız PA 6	0,079	54,6
PA6+%10CE	0,043	61,8
PA6+%20CE	0,048	63,7
PA6+%30CE	0,046	67,3
PA6+%10Mika	0,088	61
PA6+%20Mika	0,072	61,9
PA6+%30Mika	0,073	63,5
PA6+%10CE+%20Mika	0,071	65
PA6+%15CE+%15Mika	0,048	66,3
PA6+%20CE+%10Mika	0,040	66,4

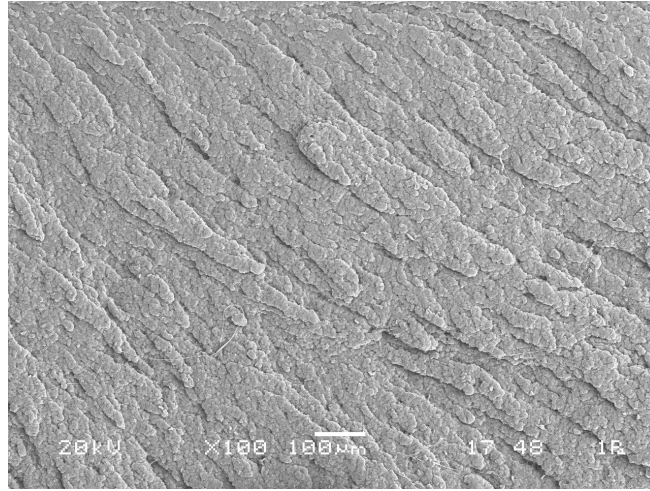
^a Tan delta pikinin yüksekliği

^b Tan delta' nın maksimumuna karşılık gelen sıcaklık Tg' yi belirtir.

6.1.3.2. Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri

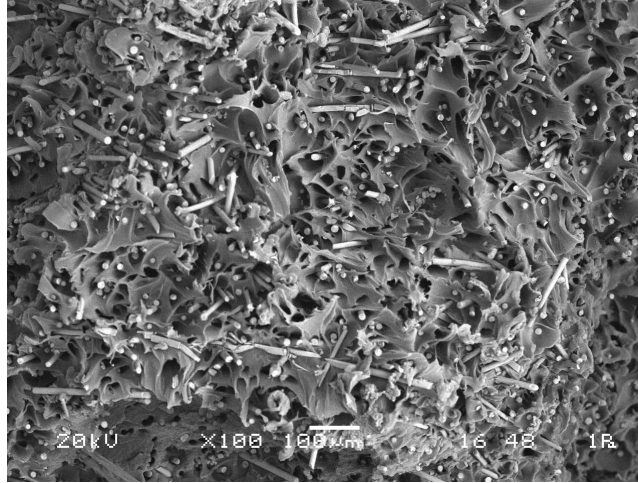
Katkısız PA 6 ve kompozit malzemelerin çekme işlemi sonunda oluşan kırık yüzeyleri SEM yardımıyla incelenmiştir.

Şekil 6.27' de katkısız poliamid 6' nın ve Şekil 6.28 a, b ve c' de ise cam elyaf, mika ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.28-a' da görüldüğü gibi cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemede, cam elyafların yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı ve silan kaplı cam elyafın tamamen PA 6 tarafından ıslatıldığı görülmektedir. Cam elyafın bazı bölgelerde sıyrılmaya sonucu yapıdan çıkarak boşluklar oluşturduğu, bazı bölgelerde ise cam elyafın kırıldığı görülmektedir. Şekil 6.28-b' de mika ilavesinin PA 6 içersine homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Şekil 6.28-c' de ise cam elyaf-mika hibrit kompozitinde, cam elyaf ve mikanın yapı içerisinde homojen olarak dağıldığı ve cam elyafın bazı bölgelerde yapıdan sıyrıldığı belirlenmiştir.

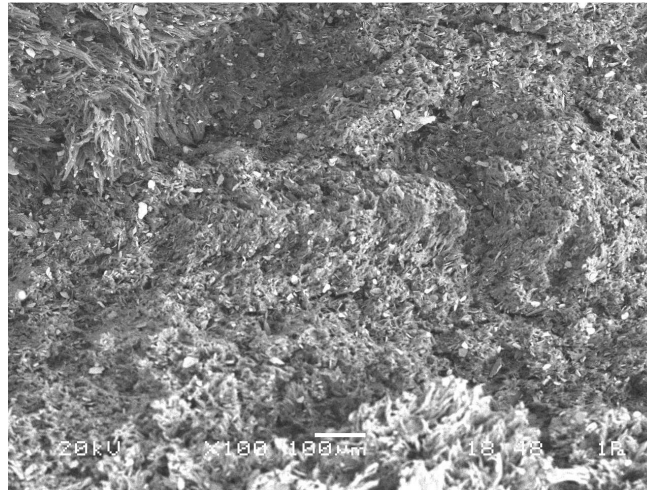


Katkısız PA 6

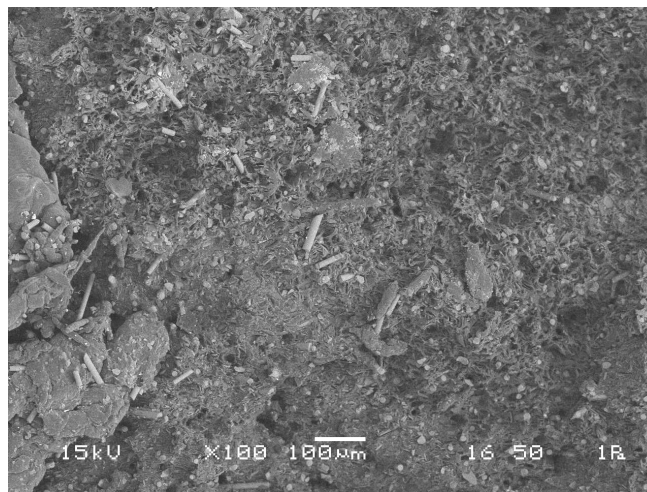
Şekil 6.27. Katkısız PA 6'nın SEM mikroyapı fotoğrafı



a) PA6+%20CE



b) PA6+%20Mika



c) PA6+%10CE+%20Mika

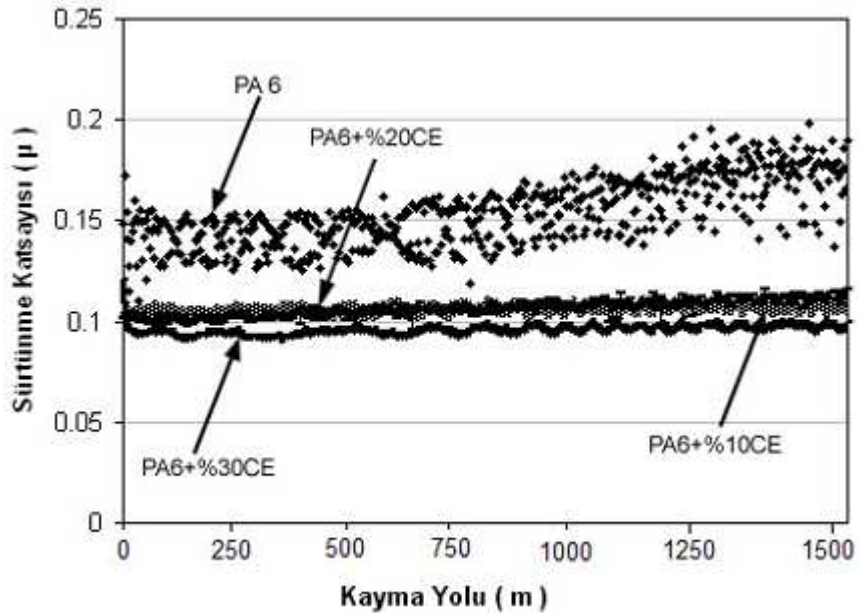
Şekil 6.28. a) PA6+%20CE, b) PA6+%20Mika, c) PA6+%10CE+%20Mika katkılı PA 6 kompozitlerin SEM görüntüleri

6.1.4. Tribolojik özellikler

6.1.4.1. Aşınma analizi

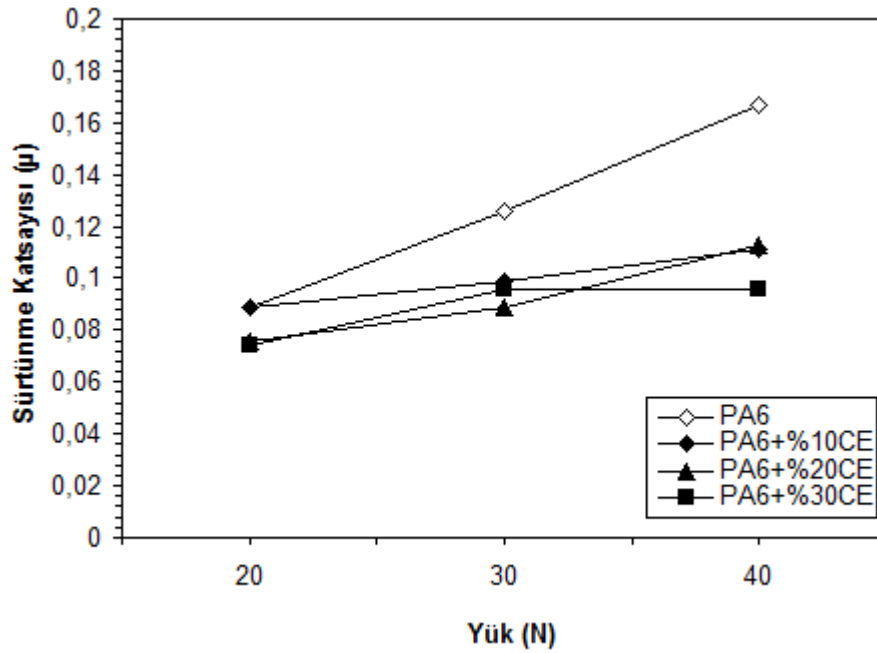
- **%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve kompozitlerinin aşınma analizleri;**

Şekil 6.29' da 40N yük altında katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı 0,12 ile 0,18 gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Bununla birlikte %10 ve %20 cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak birbirinin üzerinde olacak şekilde yaklaşık olarak 0,10 olarak görülmektedir. % 30 cam elyaf PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0,09 civarında tespit edilmiştir.



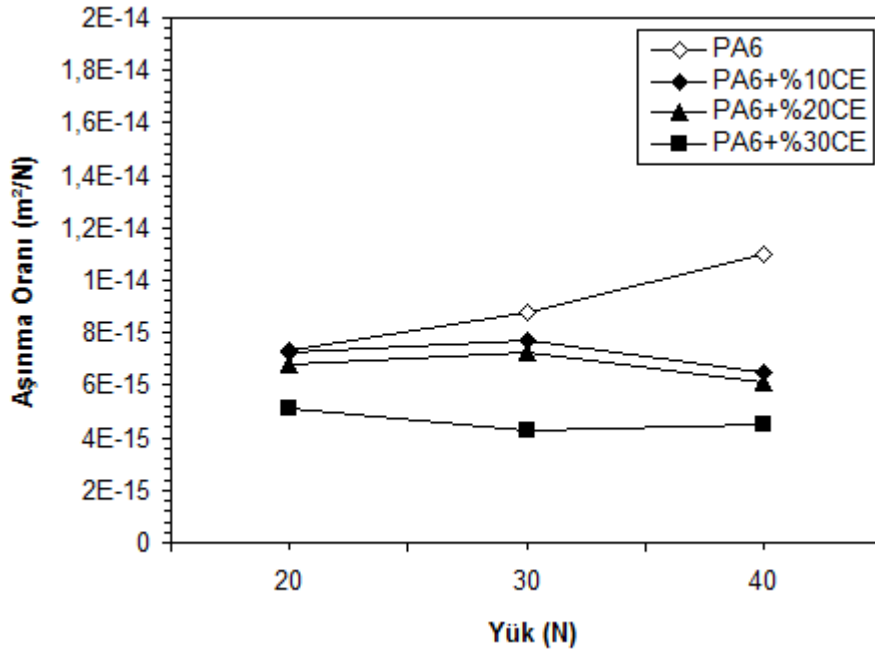
Şekil 6.29. %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesi ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 6.30. katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisini verilmektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6' nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf katkılı kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. PA 6' ya ilave edilen cam elyaf katkı oranı artması ile uygulanan yük aralıklarında sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10CE, PA 6+%20CE, PA 6+%30CE kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %87, %26, %49 ve %29 oranında olduğu belirlenmiştir.



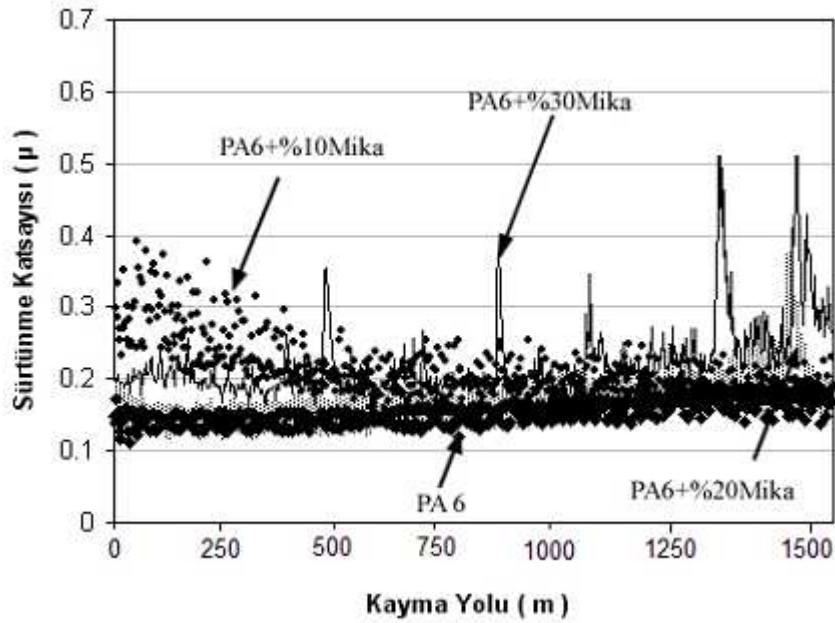
Şekil 6.30. %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi Şekil 6.31' de verilmiştir. Cam elyaf oranı artması ile uygulanan yük aralıklarında aşınma oranı azalmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6'nın aşınma oranının uygulanan yüklerle birlikte arttığını fakat %10, %20 ve %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozitlerin aşınma oranlarının düştüğü görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6'nın aşınma oranı %47 artarken, PA6+%10CE, PA6+%20CE ve PA6+%30CE takviyeli kompozitlerin aşınma oranları ise sırasıyla %28, %28 ve %20 oranlarında azalmıştır.



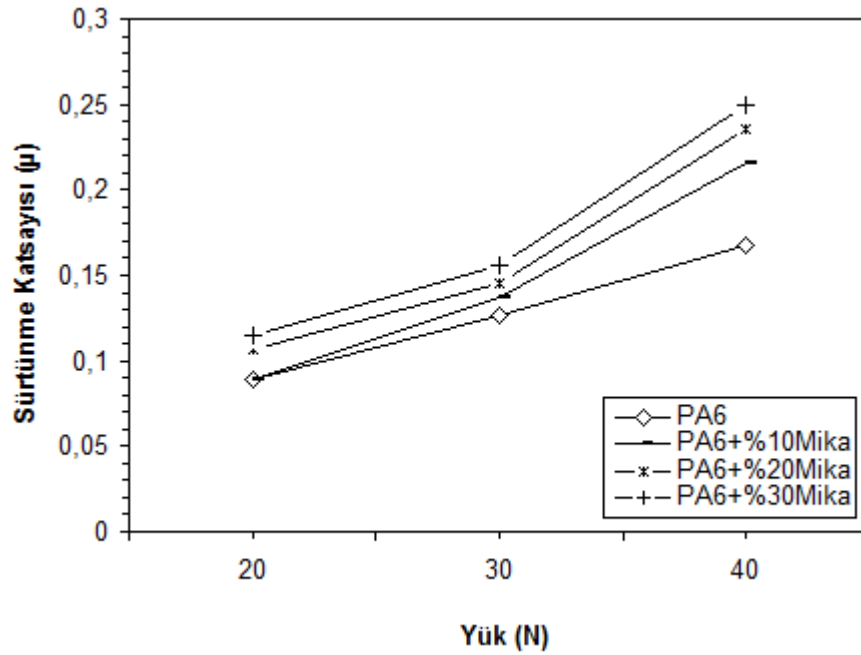
Şekil 6.31. %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit disk malzemesi ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.32' de %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit malzemelerin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6' nın sürtünme katsayısı ortalama 0,12 ile 0,18 gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Bununla birlikte %10 ve %20 mika katkılı PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak birbirinin üzerinde olacak şekilde yaklaşık olarak 0,15 ile 0,3 aralığında görülmektedir. % 30 mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise ortalama 0,2 ile 0,30 civarında tespit edilmiştir.



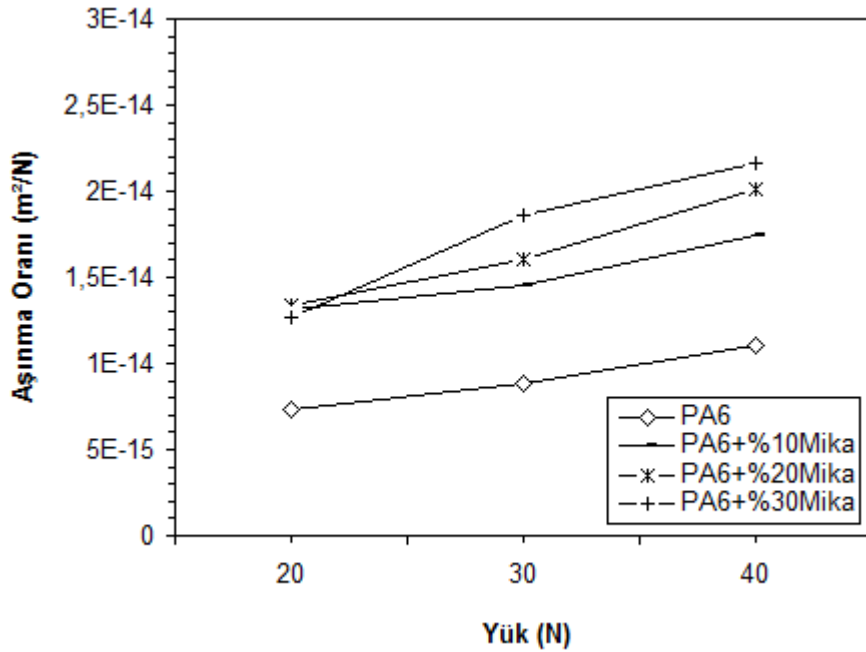
Şekil 6.32. PA 6+ %30 cam elyaf takviyeli disk malzeme ile çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin katkısız PA 6 ile sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi

%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.33' de gösterilmiştir. PA 6' ya ilave edilen mika oranının uygulanan yük aralıklarında artması ile sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de mika takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika, PA 6+%30Mika kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %87, %141, %120 ve %117 oranında olduğu tespit edilmiştir.



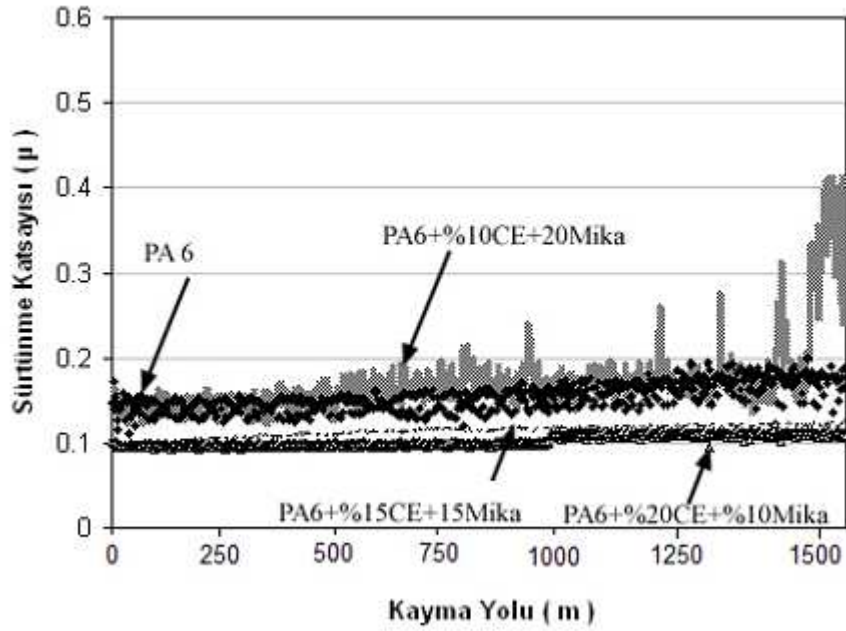
Şekil 6.33. %30 cam elyaf katkılı PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Şekil 6.34’ da Katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozitlerinin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi verilmiştir. Mika oranının artmasıyla, uygulanan yük aralıklarında, aşınma oranı da artmıştır. Katkısız PA 6, %10, %20 ve %30 mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin aşınma oranının uygulanan yüklerle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N’ dan 40N’ a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ve PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika, PA6+%30Mika katkılı kompozitlerin aşınma oranları ise sırasıyla %57, %42,%53,%62 oranlarında artmıştır.



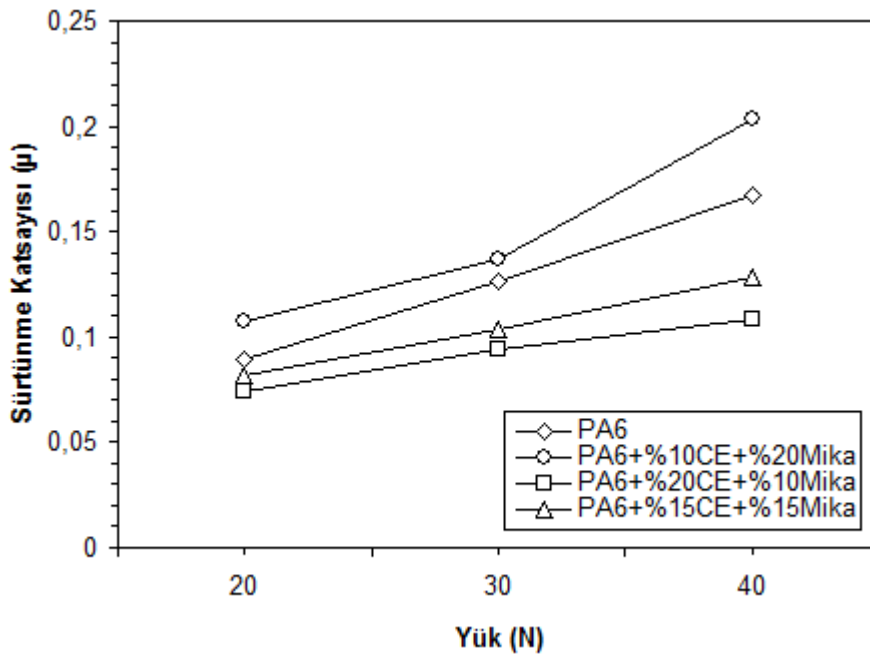
Şekil 6.34. %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.35' de %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit malzemelerin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisini görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı 0,1 ile 0,18 gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Bununla birlikte %20CE+%10Mika ve %15CE+%15Mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak birbirinin üzerinde olacak şekilde yaklaşık olarak 0,10 olduğu görülmektedir. %10CE+%20Mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise ortalama 0,15 ile 0,43 aralığında tespit edilmiştir.



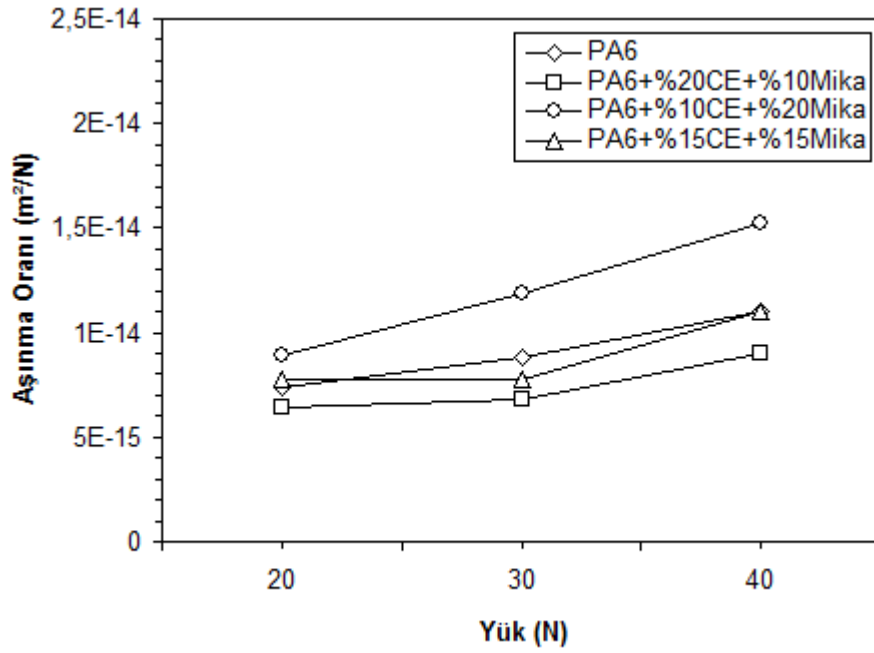
Şekil 6.35. %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin katkısız PA 6 ile sürtünme katsayısı – kayma yolu ilişkisi

%30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.36' de göstermektedir. Cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 bünyesinde bulunan mika oranının artması ile sürtünme katsayısının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6' nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA6+%10CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %87, %89, %56 ve %46 oranında olduğu tespit edilmiştir.



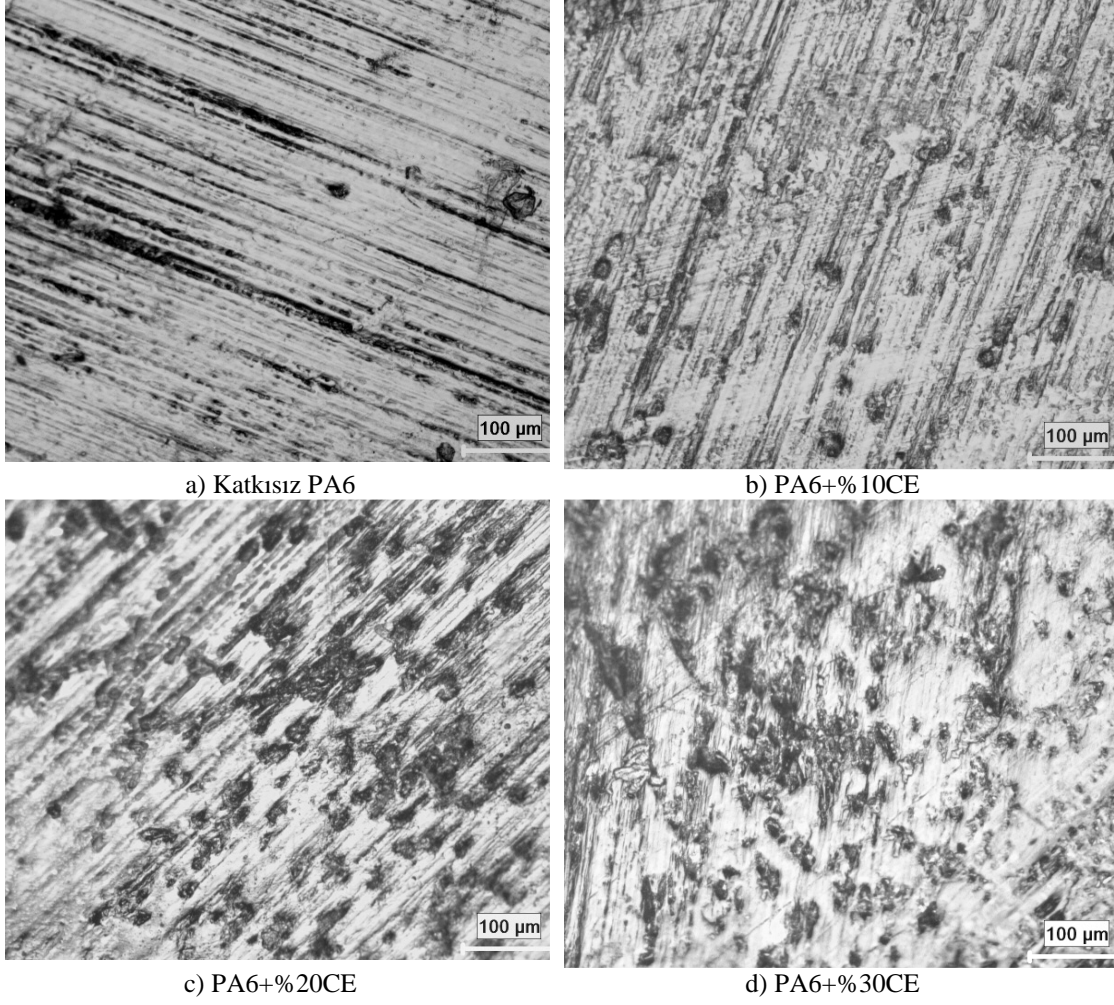
Şekil 6.36. PA6+%30 cam elyaf disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Şekil 6.37. Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi verilmiştir. Cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit içerisinde bulunan mika oranının artması ile aşınma oranının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile uygulanan yük aralığında aşınma oranının azaldığı görülmüştür. Dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit malzemelerin aşınma oranının uygulanan yük aralığında arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ile PA6+%10CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerinin aşınma oranı sırayla %57, %67, %38, %50 artış göstermiştir.

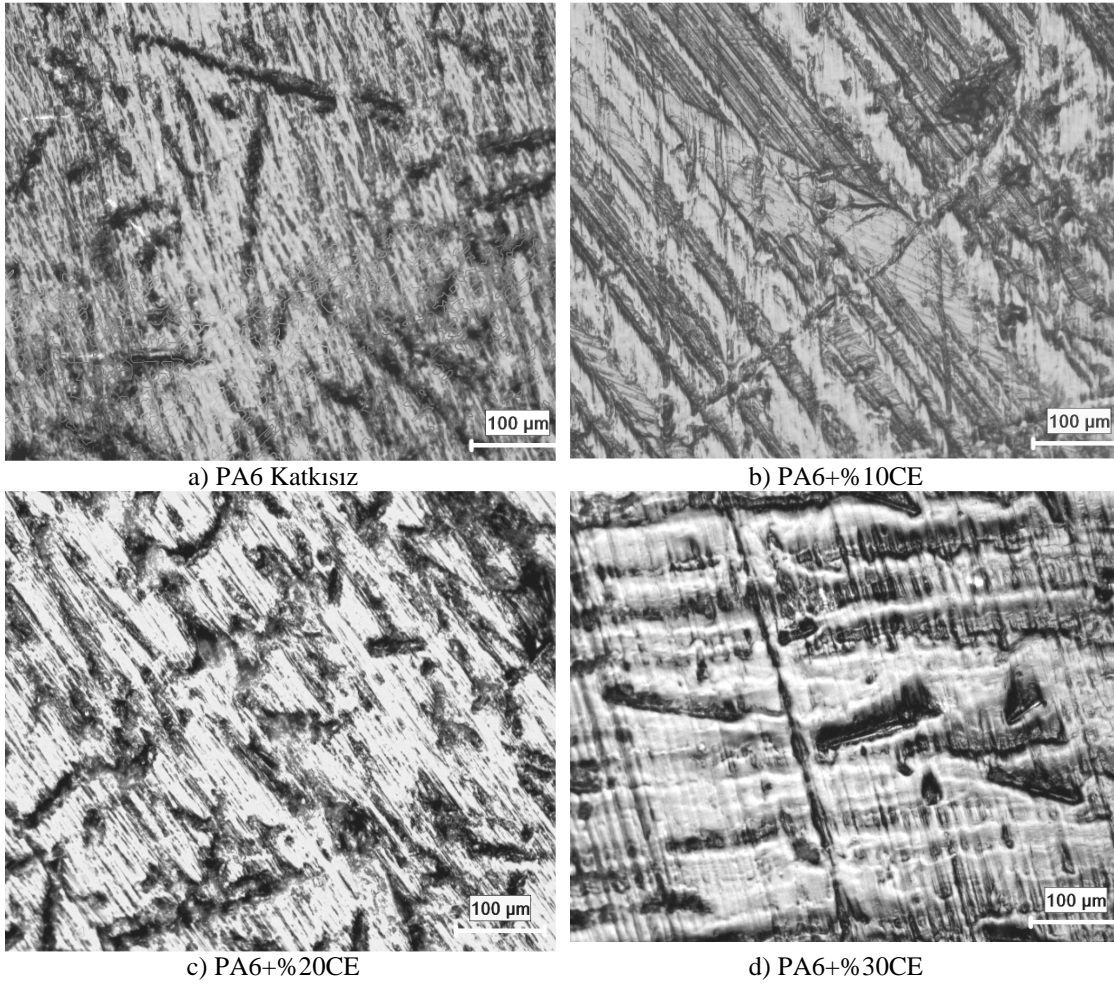


Şekil 6.37. PA6+%30 cam elyaf disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

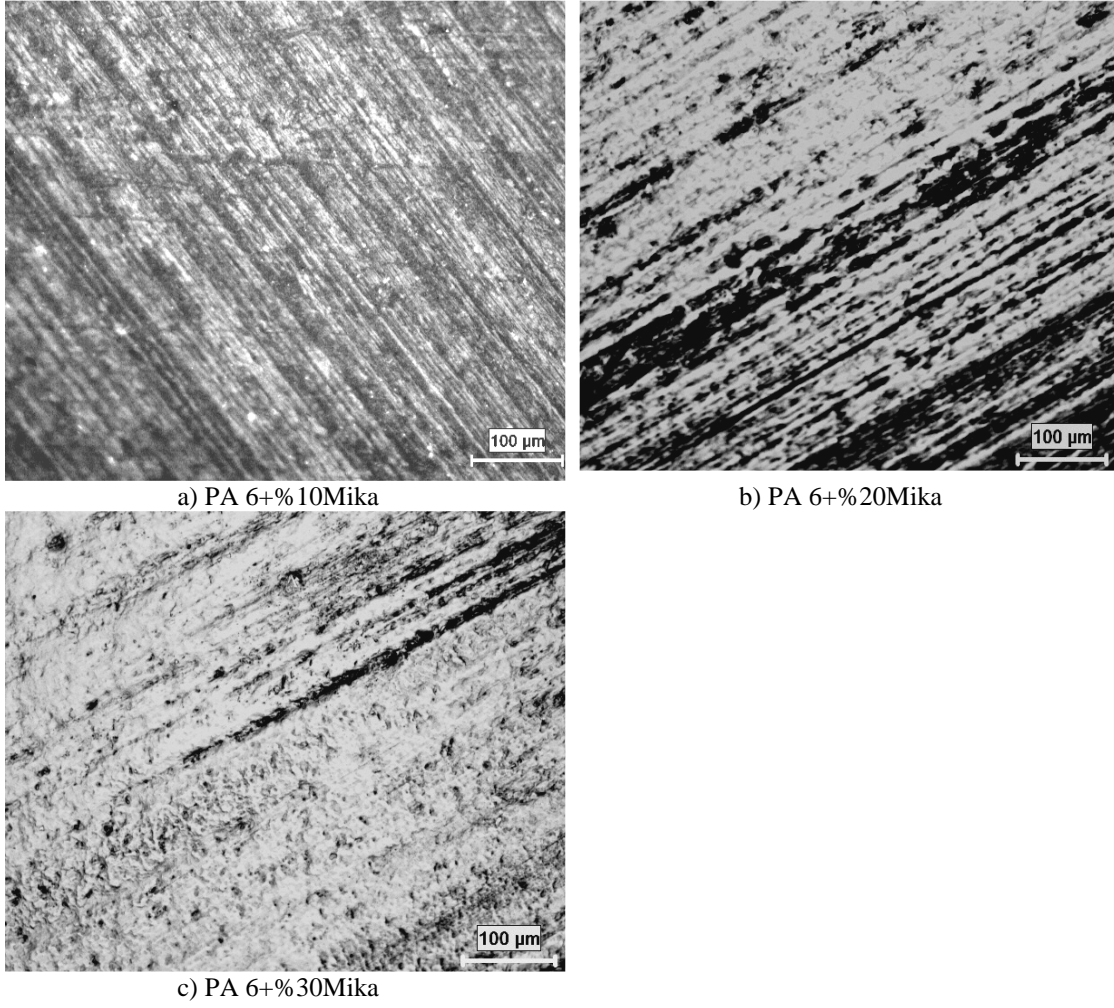
%30 cam elyaf takviyeli poliamid 6 kompozit malzemesiyle aşınan katkısız poliamid 6 ve poliamid kompozit malzemelerin aşınma sonra yüzey mikroyapı görüntüleri Şekil 6.38-43' de verilmiştir. Statik-dinamik sürtünme katsayıları Tablo EK A' da, aşınma oranları ise Tablo EK D' de gösterilmiştir.



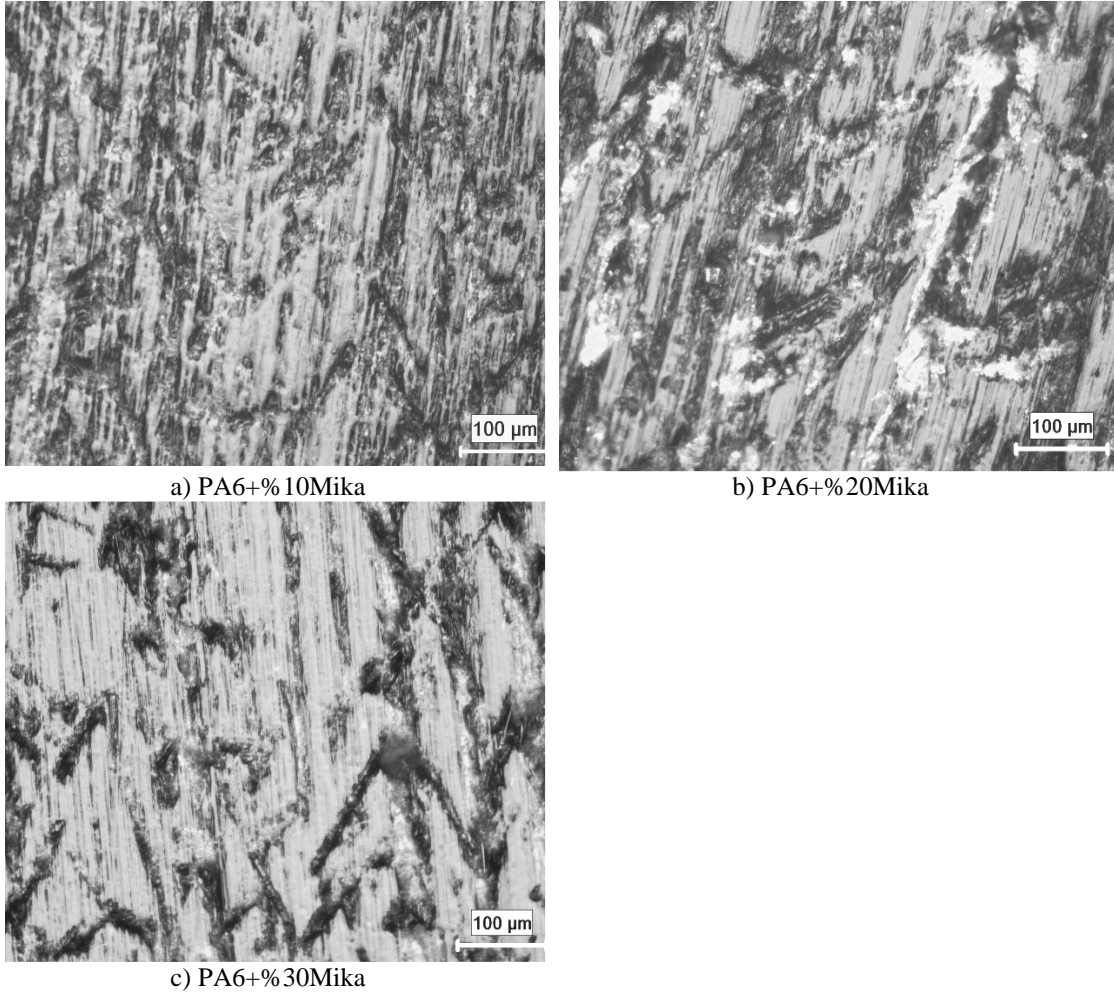
Şekil 6.38. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



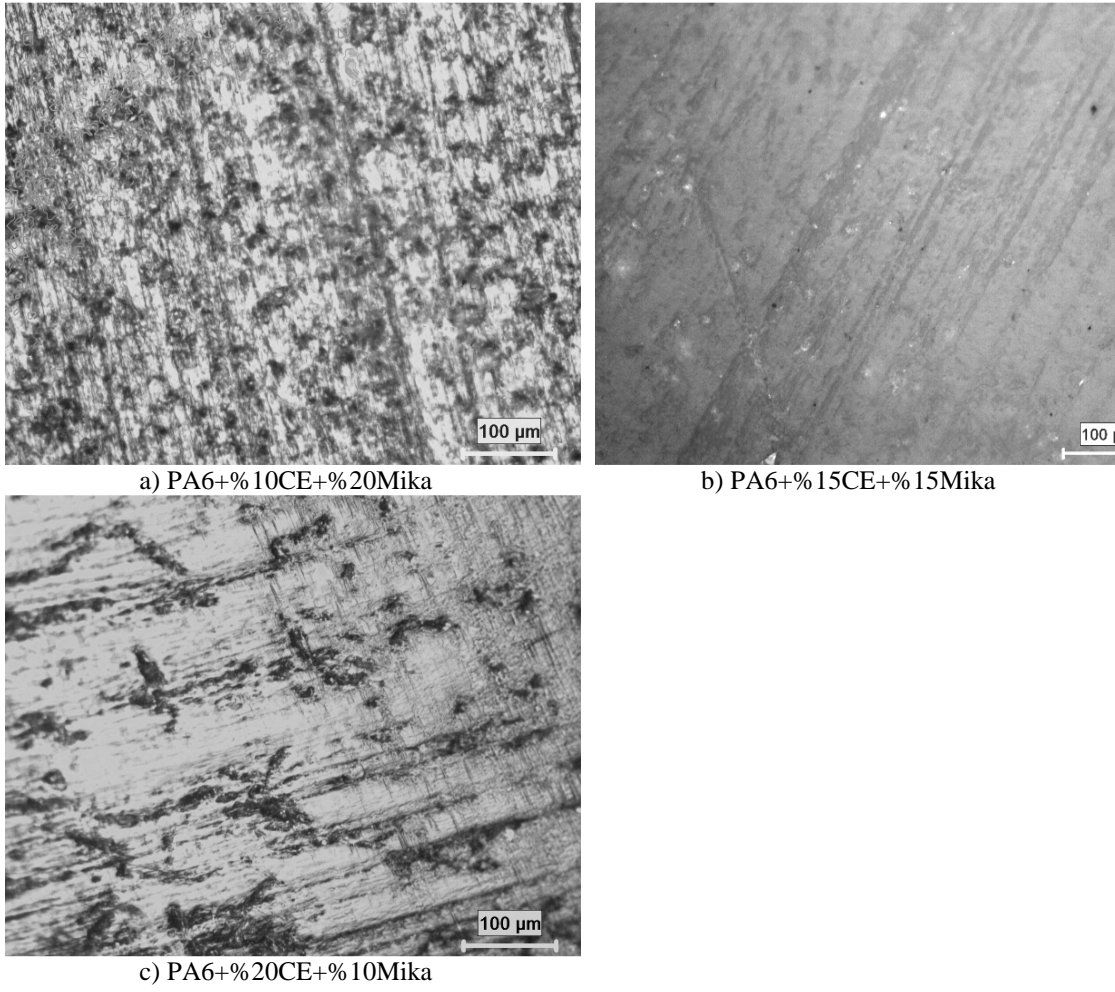
Şekil 6.39. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takiyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



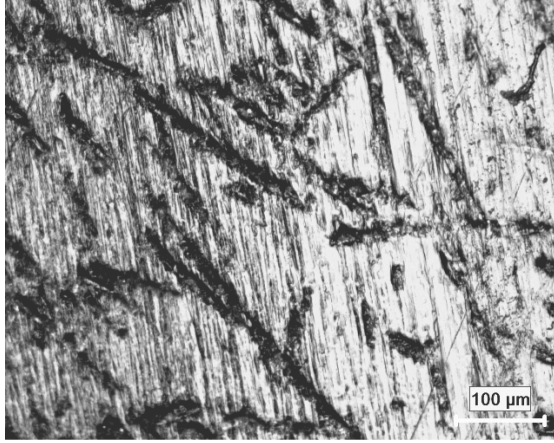
Şekil 6.40. Mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



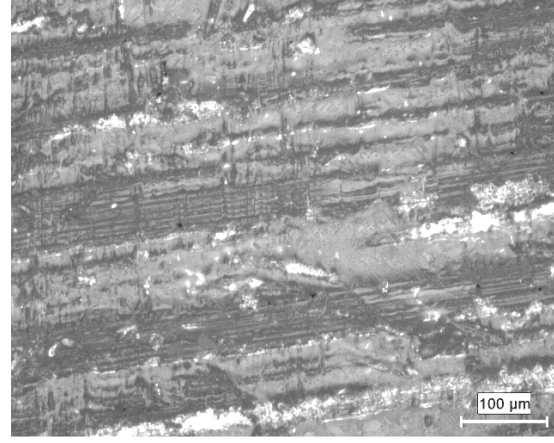
Şekil 6.41. Mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



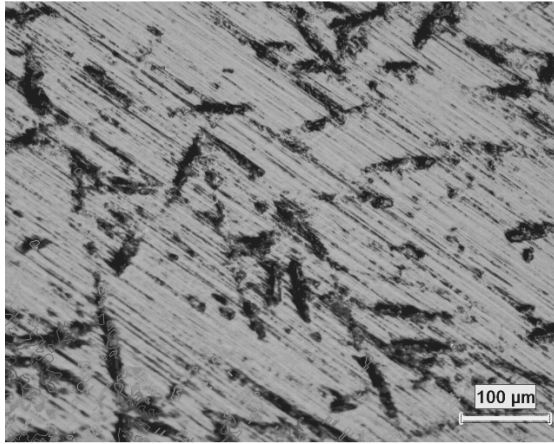
Şekil 6.42. Cam elyaf-mika katkı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan pim aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



a) PA6+%10CE+%20Mika



b) PA6+%15CE+%15Mika

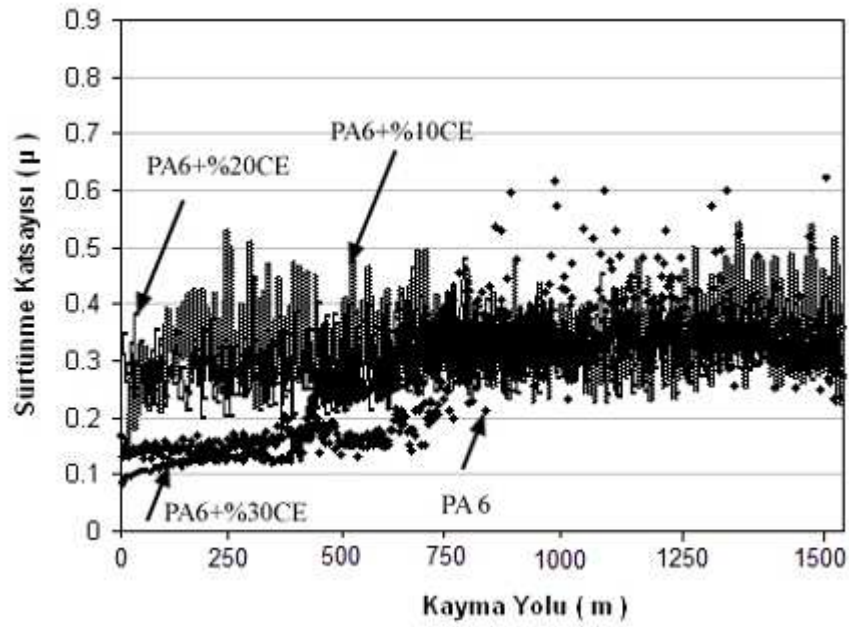


c) PA6+%20CE+%10Mika

Şekil 6.43. Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %30 cam elyaf takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)

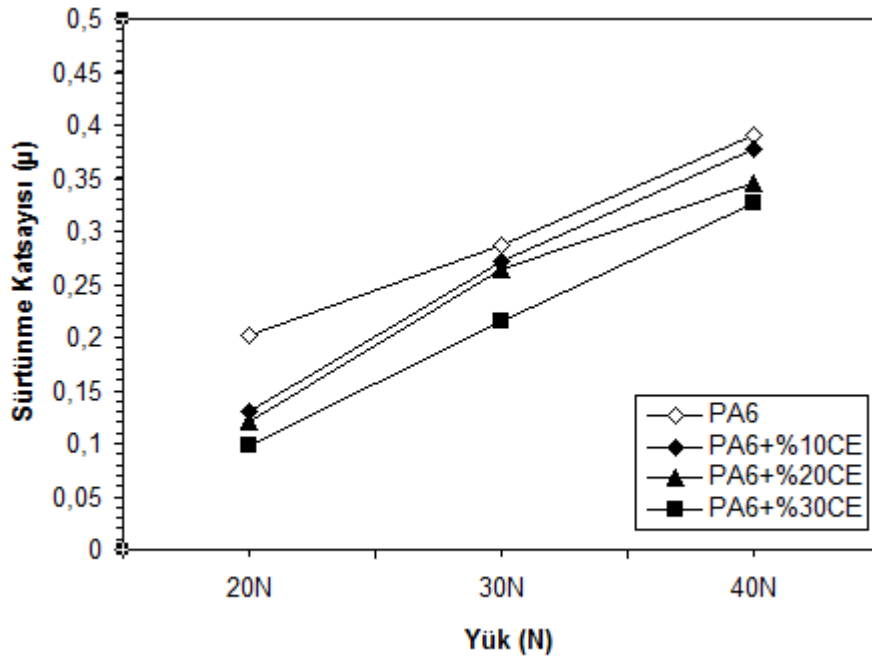
- **%30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve kompozitlerinin aşınma analizleri;**

Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi Şekil 6.44' de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6, %10 ve %30 cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,09 ile 0,53 gibi geniş bir alanda görülmektedir. %30 cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0,2 ile 0,4 aralığında tespit edilmiştir.



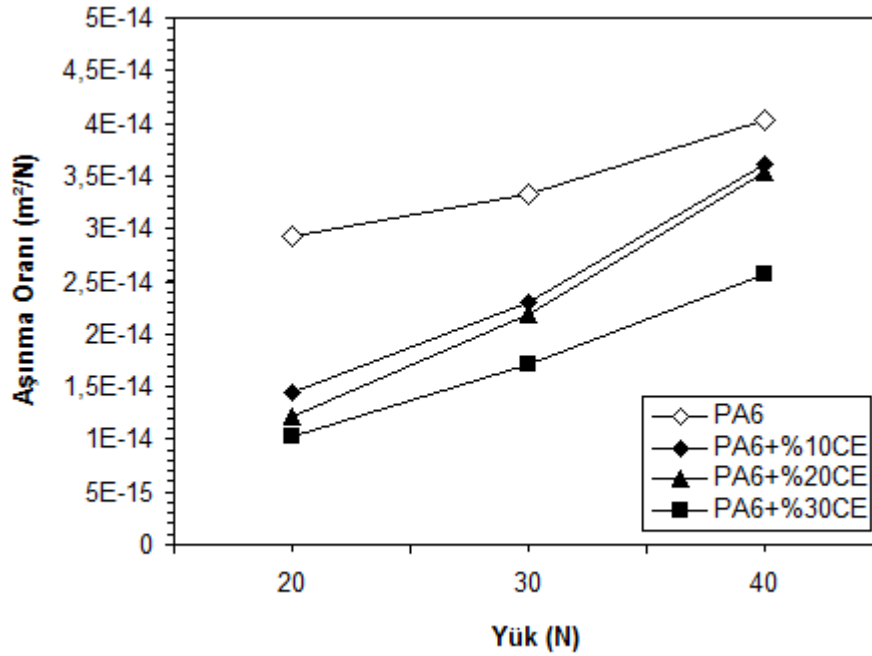
Şekil 6.44. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.45' de gösterilmiştir. PA 6' ya ilave edilen cam elyaf katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında sürtünme katsayısı azalmaktadır. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10CE, PA 6+%20CE, PA 6+%30CE kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %94, %190, %186 ve %230 oranında olduğu tespit edilmiştir.



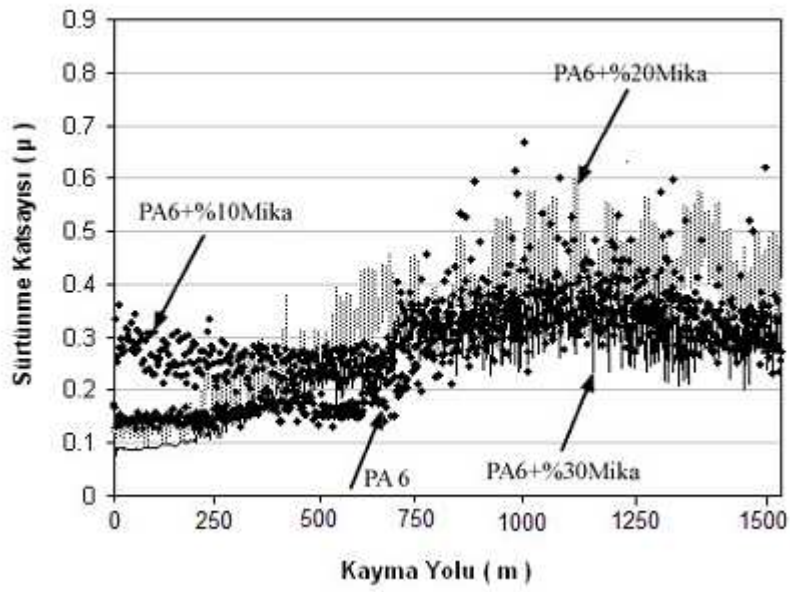
Şekil 6.45. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Katkısız PA 6 ve cam elyaf takviyeli PA 6 kompozitlerinin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi Şekil 6.46' de verilmiştir. PA 6' ya ilave edilen cam elyaf katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında aşınma oranı azalmaktadır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin aşınma oranının uygulanan yükle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA6+%10CE, PA6+%20CE ve PA6+%30CE takviyeli kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla %33, %140, %183 ve %120 oranlarında artmıştır.



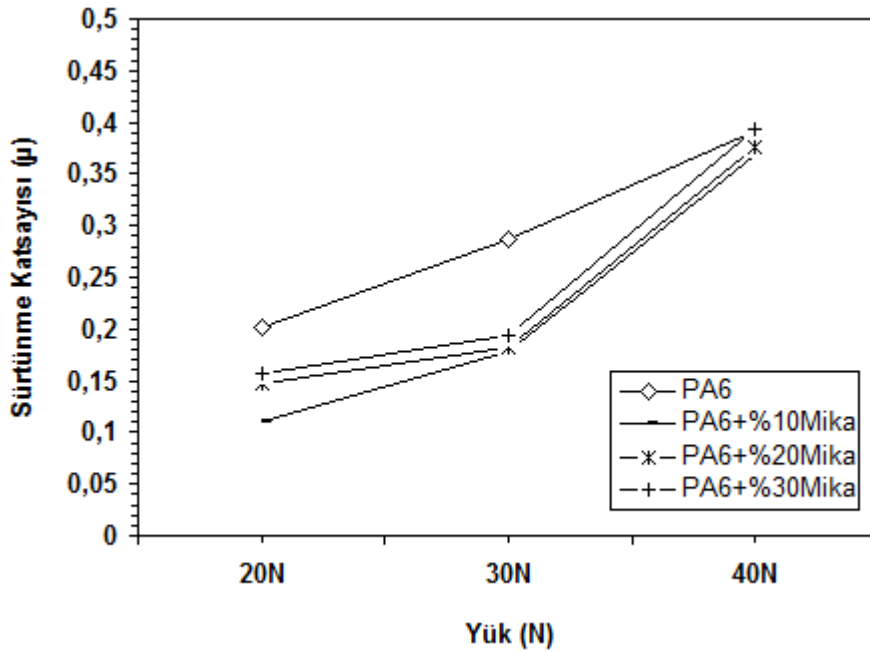
Şekil 6.46. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.47. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6, %20 ve %30 mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,09 ile 0,6 gibi geniş bir alanda görülmektedir. %10 mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0,20 ile 0,40 aralığında tespit edilmiştir.



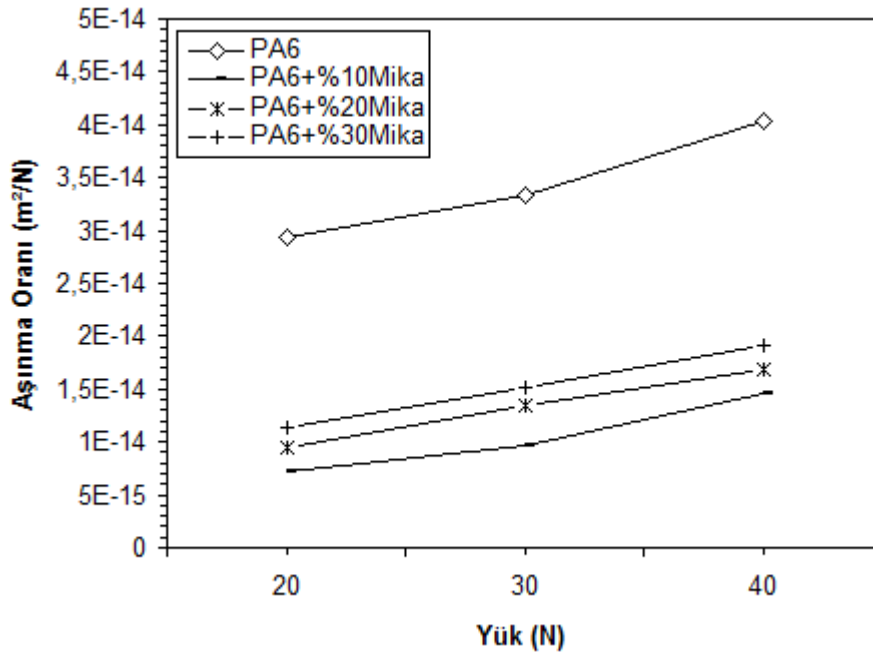
Şekil 6.47. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

%30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.48’ de göstermektedir. PA 6’ ya ilave edilen mika oranının azalması ile uygulanan yük aralığında sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6’nın sürtünme katsayısı hem de mika takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N’ dan 40N’a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika, PA 6+%30Mika kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %94, %237, %154 ve %150 oranında olduğu tespit edilmiştir.



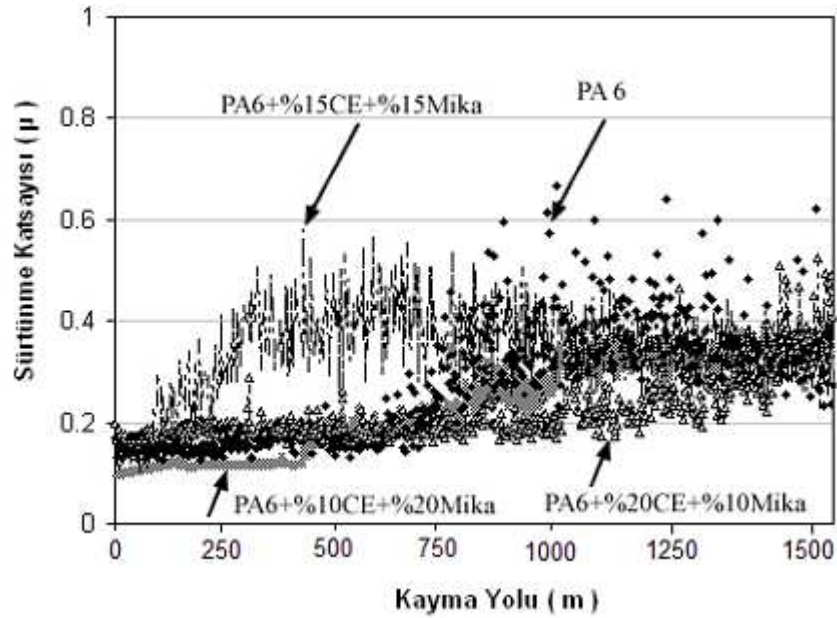
Şekil 6.48. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin Sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Şekil 6.49’ da katkısız PA 6 ve mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi verilmiştir. PA 6’ ya ilave edilen mika oranının azalmasıyla, uygulanan yük aralıklarında, aşınma oranı da azalmıştır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6, %10, %20 ve %30 mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin aşınma oranının uygulanan yükle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N’den 40N’a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ve PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika ve PA6+%30Mika takviyeli kompozitlerin aşınma oranları ise sırasıyla %33, %133, %100 ve %80 oranlarında artmıştır.



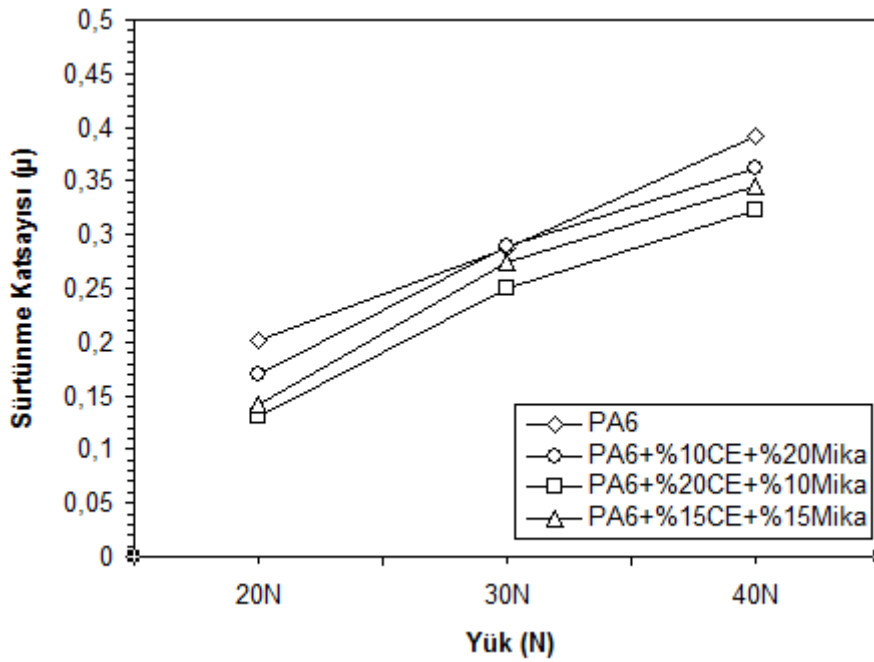
Şekil 6.49. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.50' de %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit malzemelerin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6' nın sürtünme katsayısı 0,1 ile 0,6 gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Bununla birlikte %20CE+%10Mika ve %15CE+%15Mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak birbirinin üzerinde olacak şekilde yaklaşık olarak 0,10 ile 0,53 aralığında olduğu görülmektedir. %10CE+%20Mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise ortalama 0,09 ile 0,4 aralığında tespit edilmiştir.



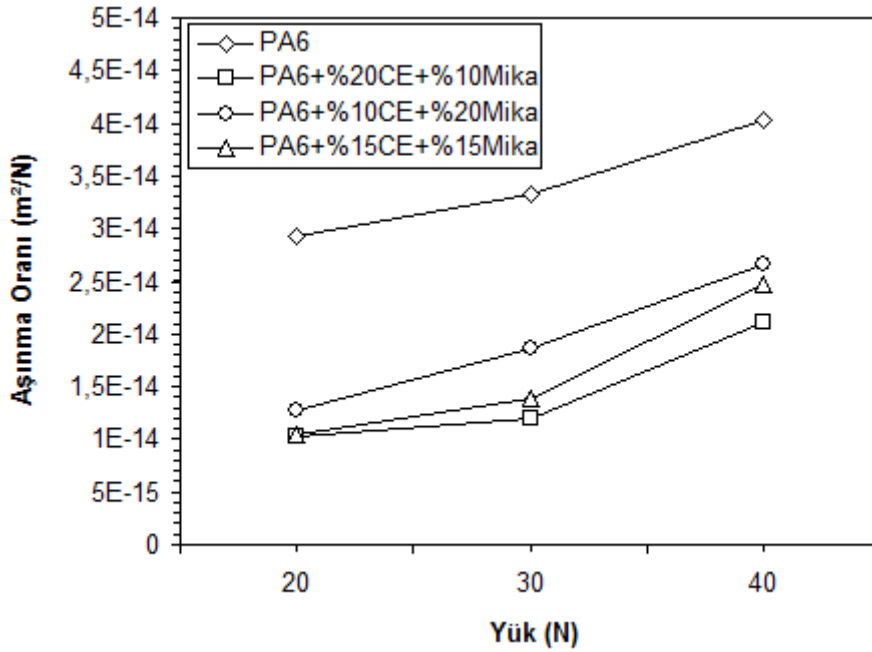
Şekil 6.50. %30 mika takviyeli disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

%30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.51' de gösterilmektedir. Cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 bünyesinde bulunan mika oranının artması ile sürtünme katsayısının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf-mika takviyeli hibrit kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N' dan 40N' a yani %100 oranında artırıldığı zaman PA 6 ile PA6+%10CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerinin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %94, %114, %143 ve %148 oranında olduğu tespit edildi.



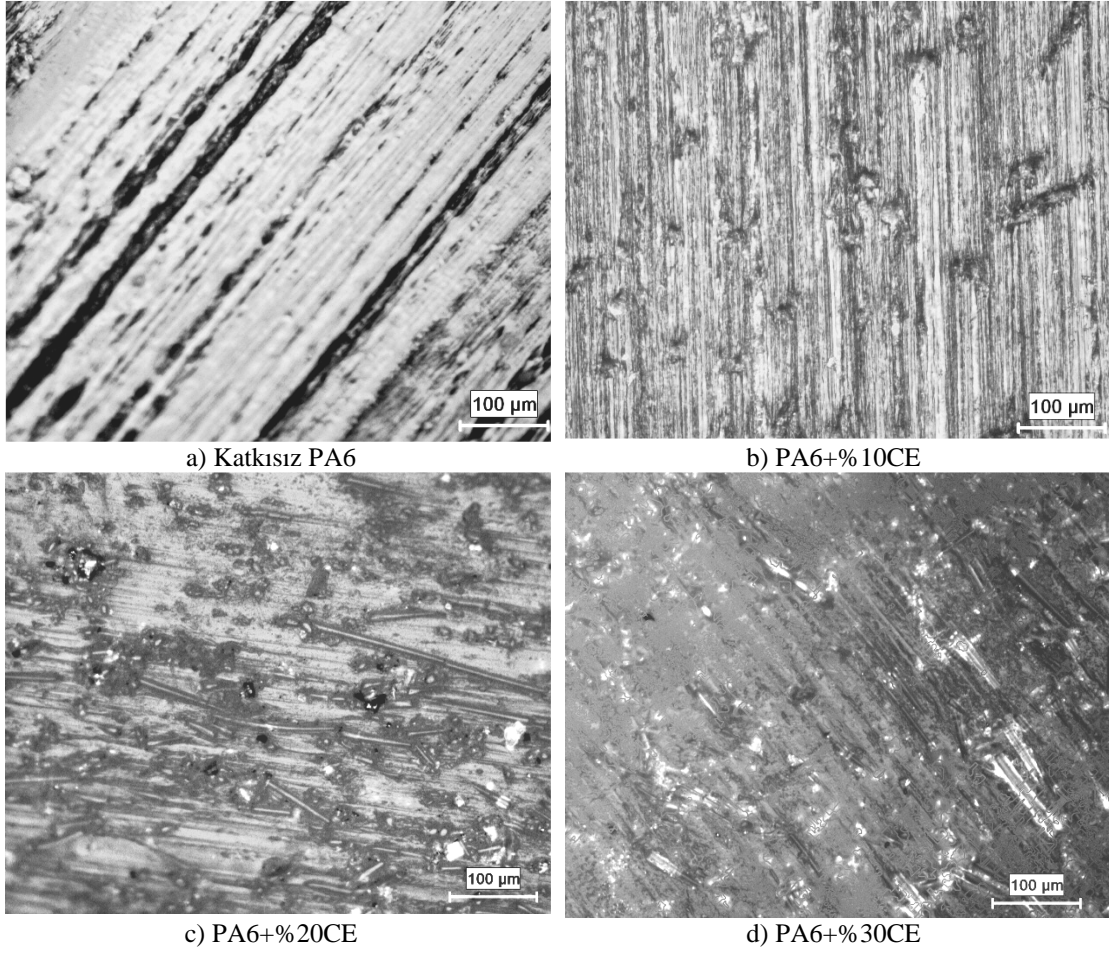
Şekil 6.51. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Şekil 6.52’ de katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin %30 mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi verilmiştir. Cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit içerisinde bulunan mika oranının artması ile aşınma oranının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile uygulanan yük aralığında aşınma oranının azaldığı görülmüştür. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6 ve cam elyaf+mika katkılı PA 6 kompozit malzemelerin aşınma oranının uygulanan yüklerle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N’ dan 40N’ a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ile PA6+%10CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerinin aşınma oranı sırayla %33, %85, %120, %100 artış göstermiştir.

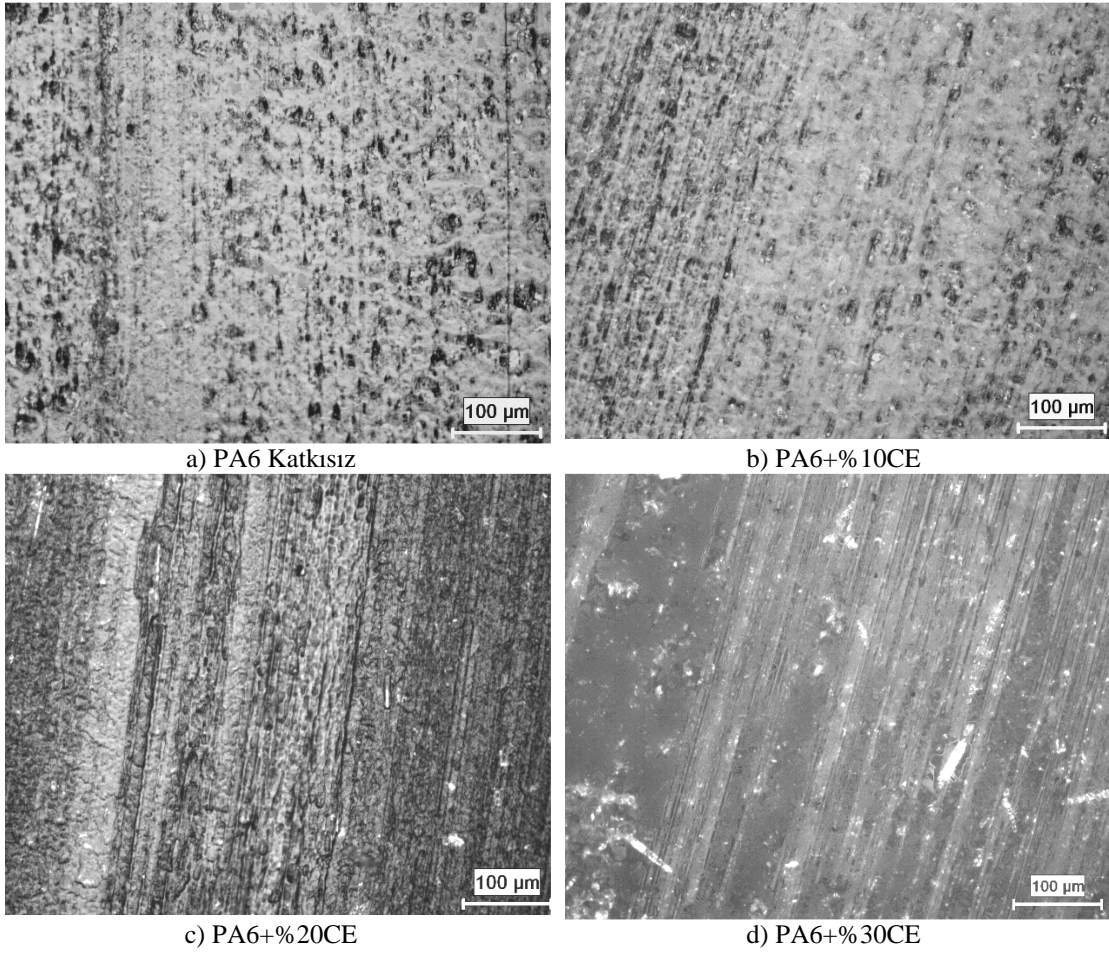


Şekil 6.52. %30 mika takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

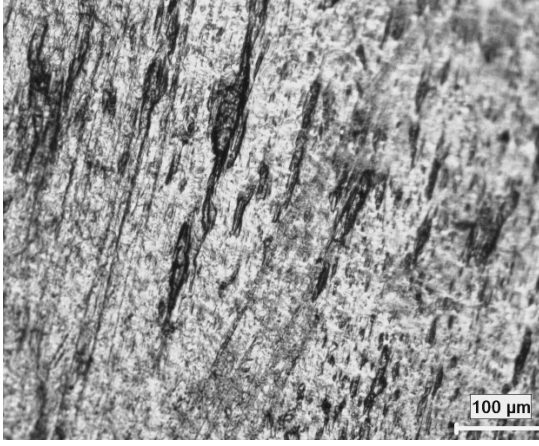
%30 mika takviyeli poliamid 6 kompozit malzemesiyle aşınan katkısız poliamid 6 ve poliamid kompozit malzemelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.53-58’ de verilmiştir. Statik-dinamik sürtünme katsayıları Tablo EK B’ da, aşınma oranları ise Tablo EK E’ de gösterilmiştir.



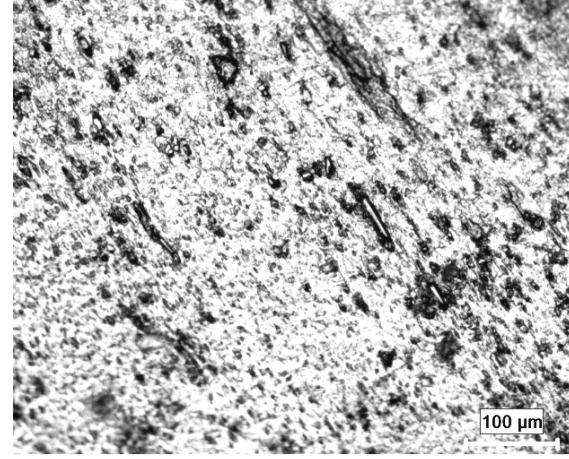
Şekil 6.53. %30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan katkısız ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerin pim aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



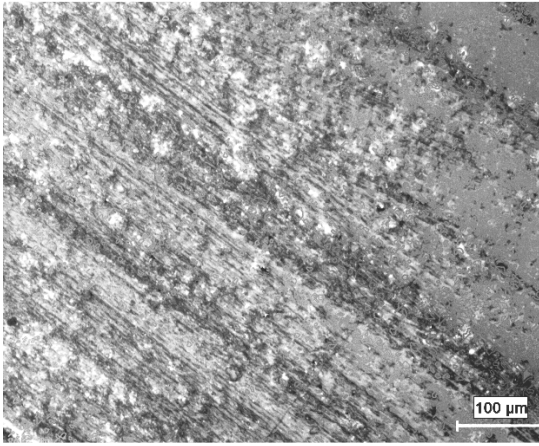
Şekil 6.54. %30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan katkısız ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



a) PA6+%10Mika

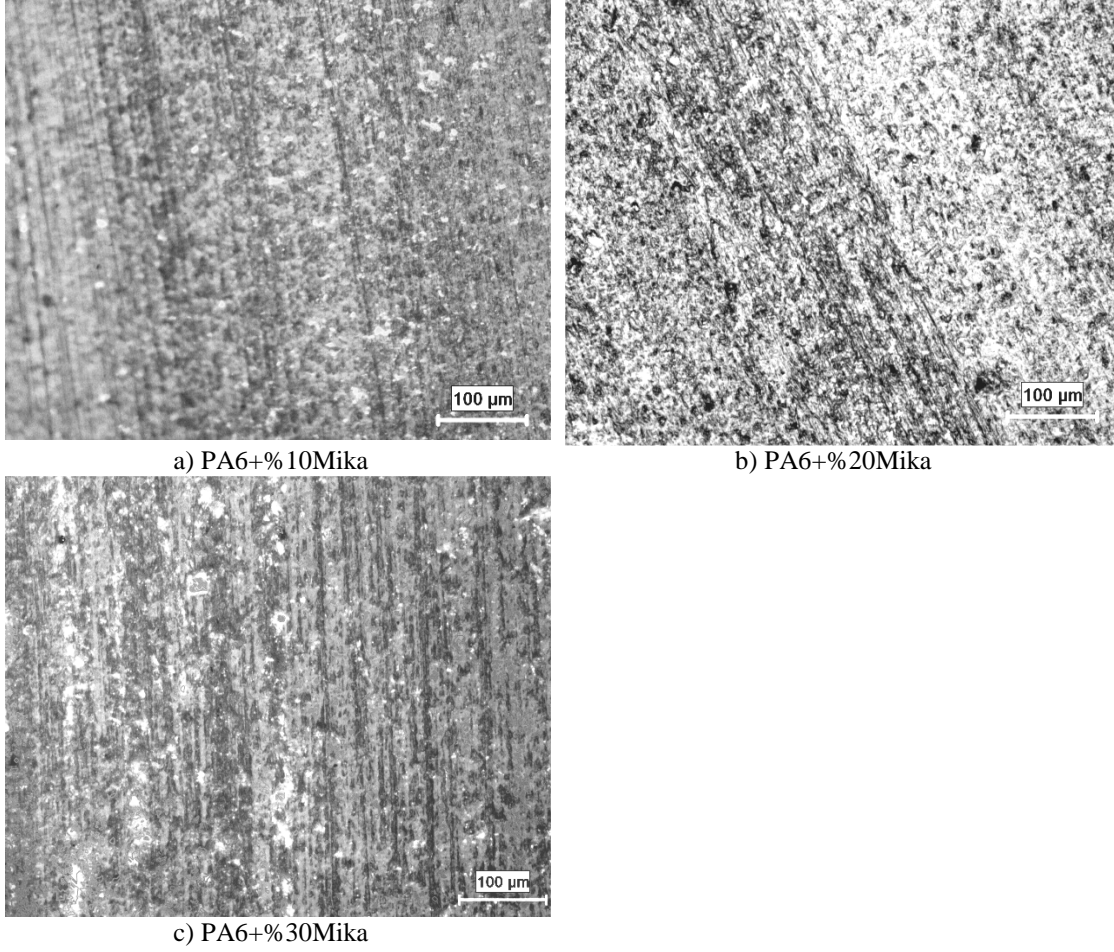


b) PA6+%20Mika

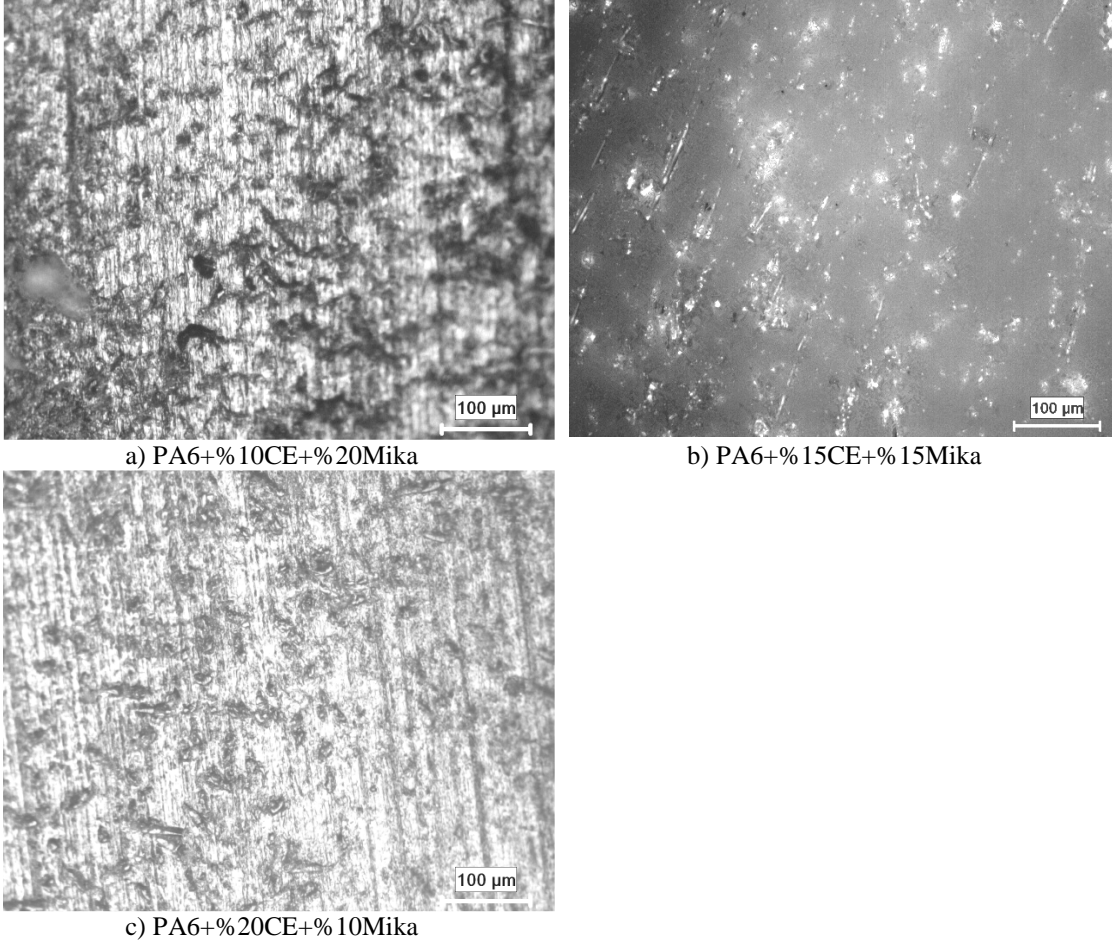


c) PA6+%30Mika

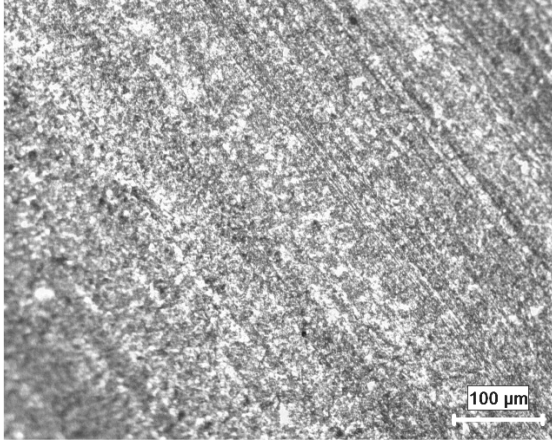
Şekil 6.55. %30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozitlerin pim aşınma yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



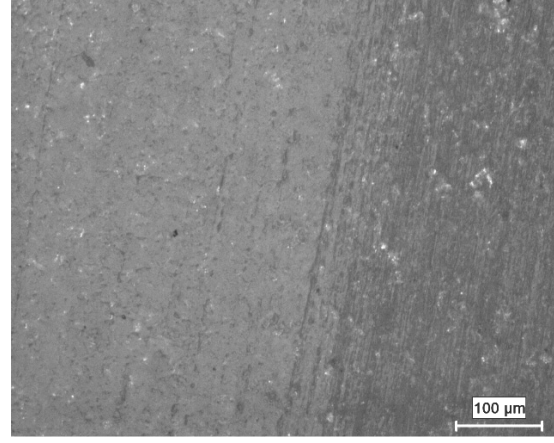
Şekil 6.56. %30 mika katlı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katlı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



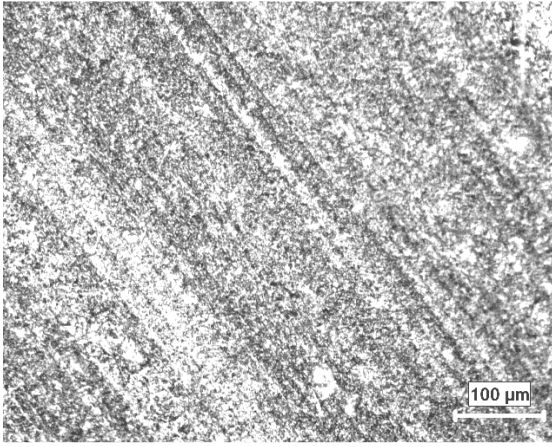
Şekil 6.57. %30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



a) PA6+%10CE+20%Mika



b) PA6+%15CE+%15Mika

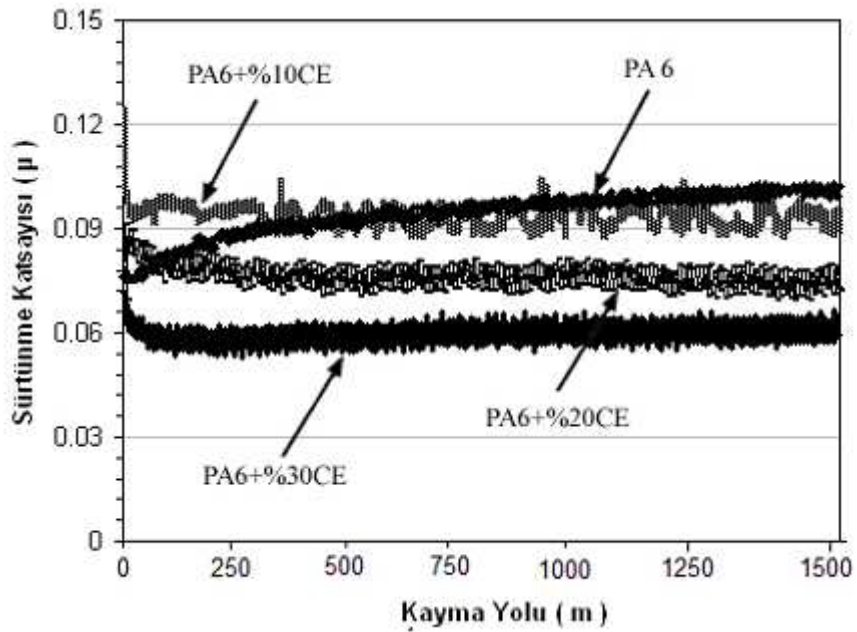


c) PA6+%20CE+%10Mika

Şekil 6.58. %30 mika katkılı PA 6 kompozit diske karşı çalışan cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)

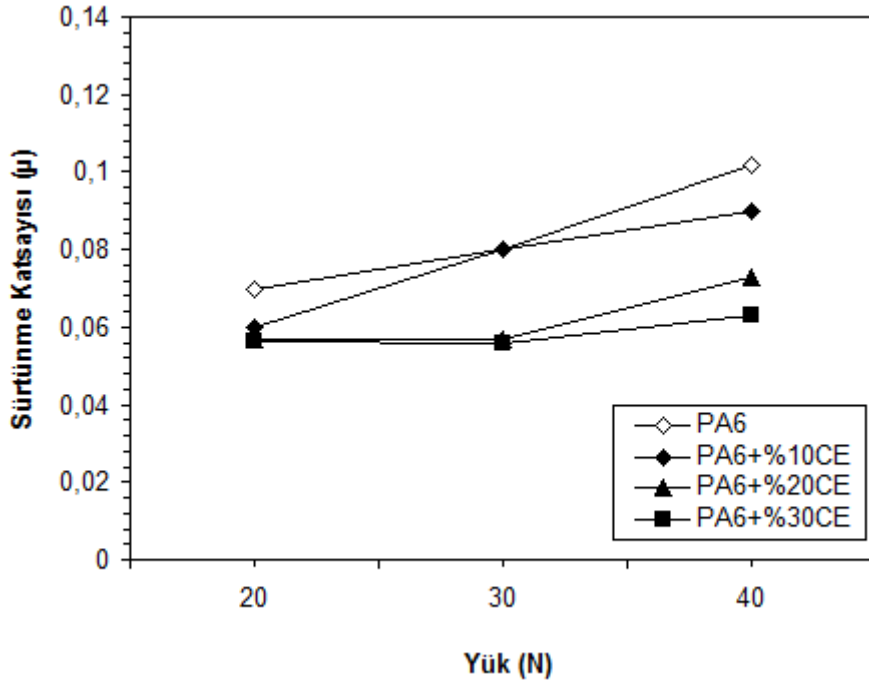
- %6 vaks takviyeli poliamid 6 diske karşı katkısız PA 6 ve kompozitlerinin aşınma analizleri;

Şekil 6.59' da katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-kayma yolu ilişkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi katkısız PA 6, %10 cam elyaf takviyeli PA 6 kompozitin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,1 gibi bir alanda görülmektedir. %20 ile %30 cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0,06 ile 0,07 civarında tespit edilmiştir.



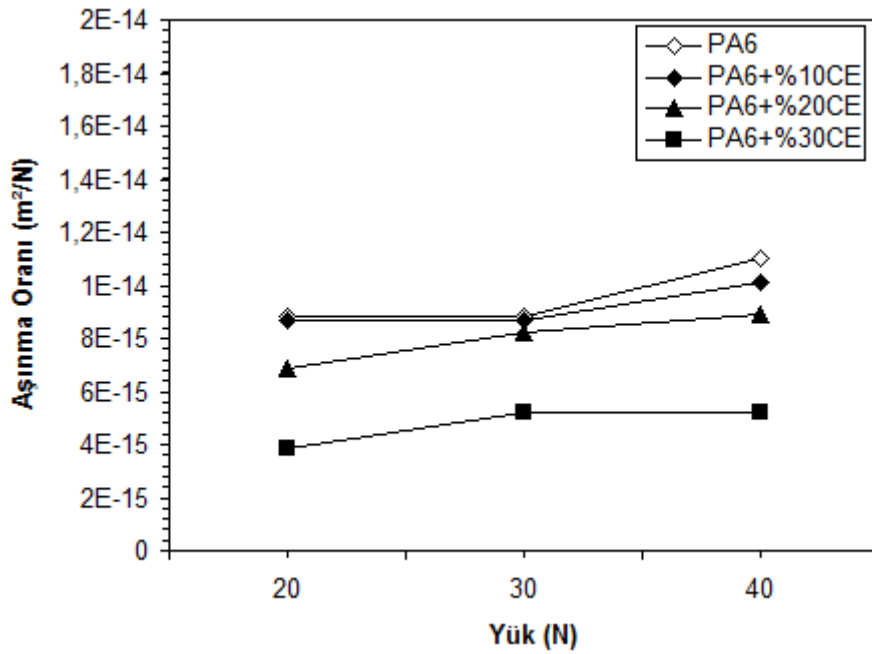
Şekil 6.59. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

Şekil 6.60' da katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi gösterilmiştir. PA 6' ya ilave edilen cam elyaf katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında sürtünme katsayısı azalmaktadır. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10CE, PA 6+%20CE, PA 6+%30CE kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %47, %33, %22 ve %12 oranında olduğu tespit edilmiştir.



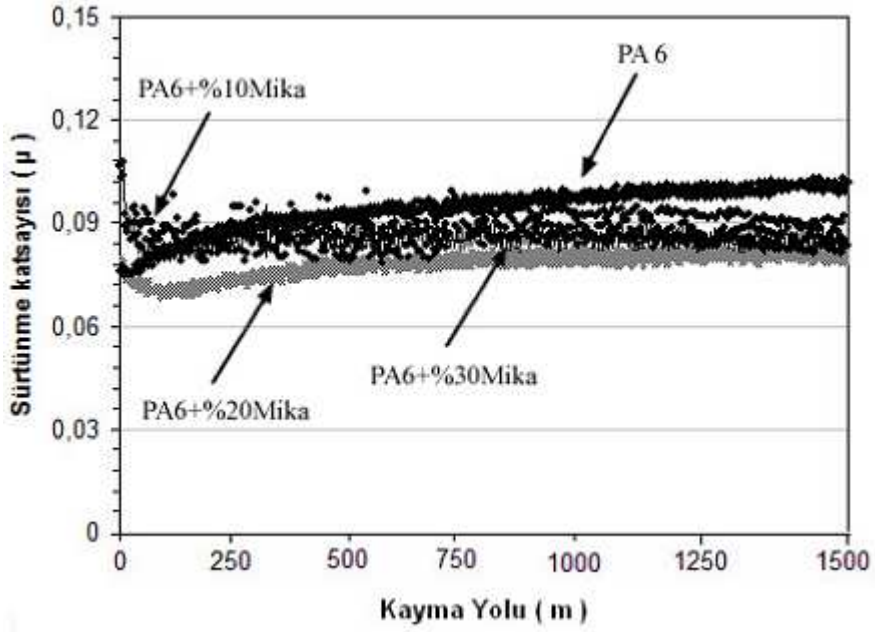
Şekil 6.60. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Katkısız PA 6 ve cam elyaf takviyeli PA 6 kompozitlerinin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi Şekil 6.61' de verilmiştir. PA 6' ya ilave edilen cam elyaf katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında aşınma oranı azalmaktadır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerinin aşınma oranının uygulanan yükle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA6+%10CE, PA6+%20CE ve PA6+%30CE takviyeli kompozitlerin aşınma oranları sırasıyla %20, %14, %21 ve %28 oranlarında artmıştır.



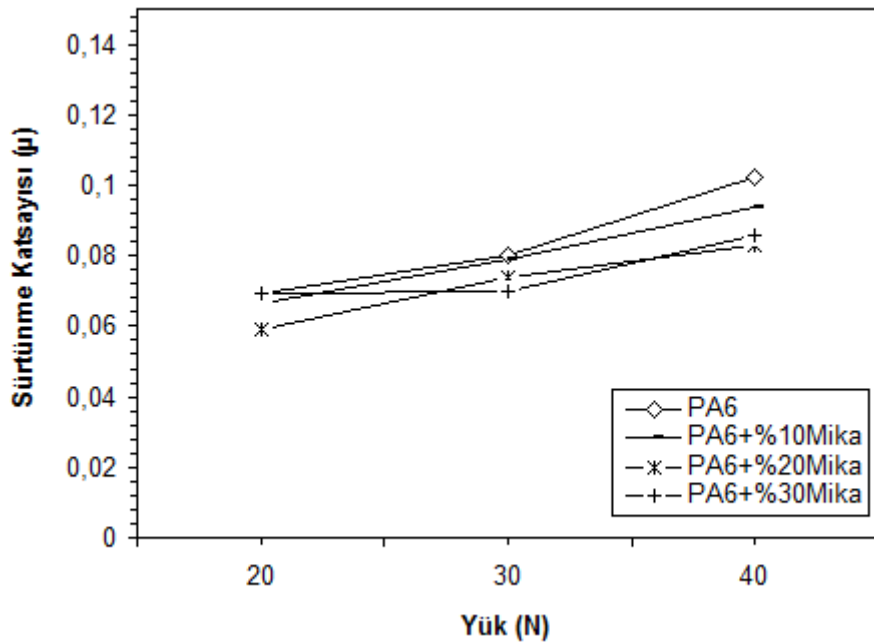
Şekil 6.61. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.62' de katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit malzemelerin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi %10, %20 ve %30 mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,07 ile 0,1 gibi geniş bir alanda görülmektedir. Katkısız PA 6 malzemesinin sürtünme katsayısı ise 0,08 ile 0,1 aralığında tespit edilmiştir.



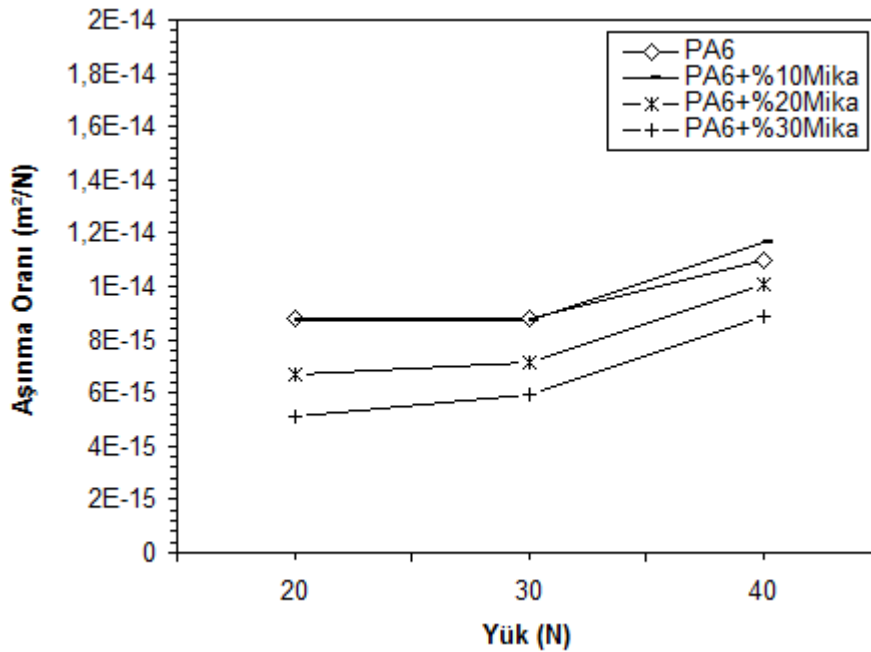
Şekil 6.62. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

%6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.62' de gösterilmiştir. PA 6' ya ilave edilen mika katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında sürtünme katsayısı azalmaktadır. Şekilde açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de mika takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika, PA 6+%30Mika kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %47, %41, %41 ve %24 oranında olduğu tespit edildi.



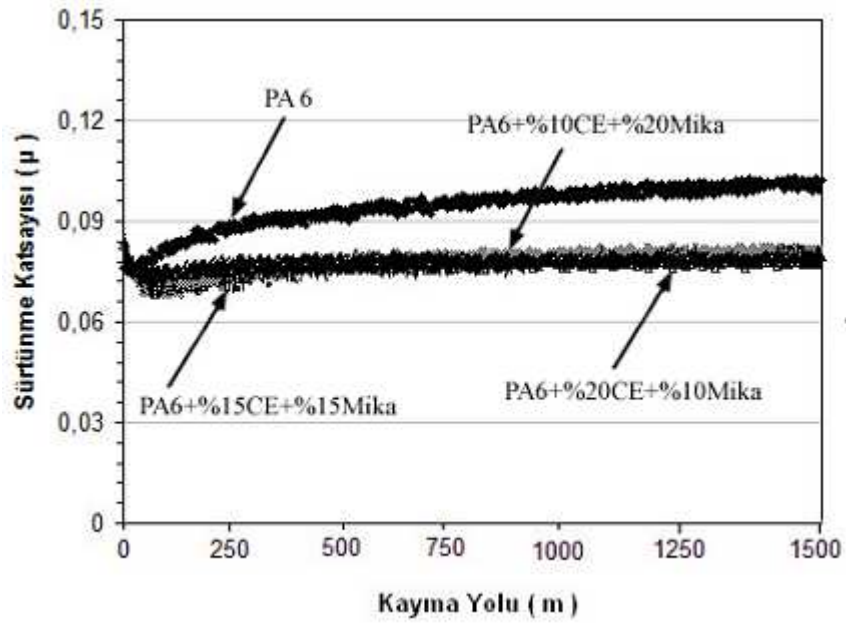
Şekil 6.63. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Şekil 6.64' de katkısız PA 6 ve mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi verilmiştir. PA 6' ya ilave edilen mika katkı oranı arttıkça uygulanan yük aralığında aşınma oranı da azalmaktadır. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6, %10, %20 ve %30 mika katkılı PA 6 kompozit malzemesinin aşınma oranının uygulanan yüklerle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ve PA 6+%10Mika, PA 6+%20Mika ve PA6+%30Mika takviyeli kompozitlerin aşınma oranları ise sırasıyla %33, %32, %41 ve %69 oranlarında artmıştır.



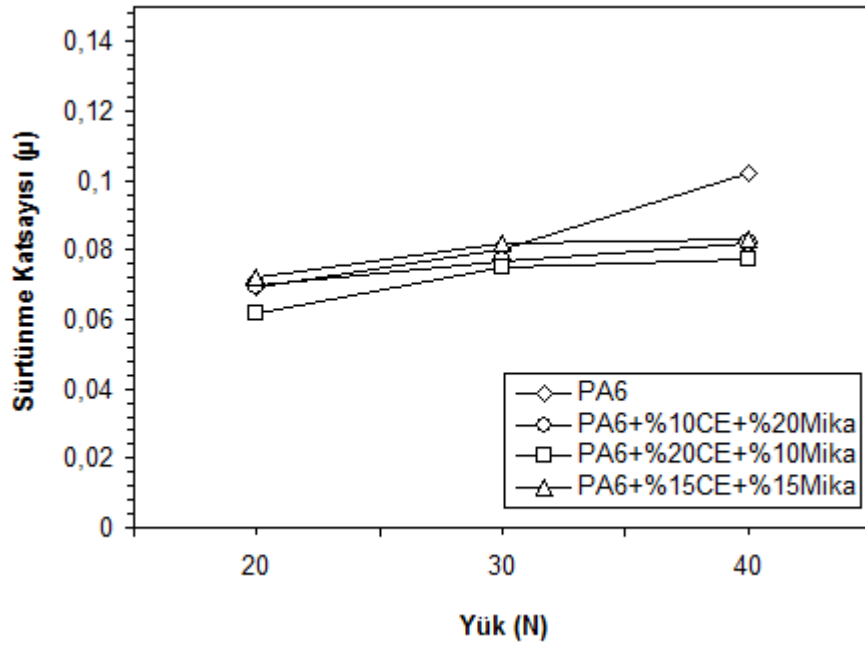
Şekil 6.64. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

Şekil 6.65' de %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit malzemelerin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı- kayma yolu ilişkisini göstermektedir. Şekilde de görüldüğü gibi katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı 0,08 ile 0,1 gibi dar bir aralıkta seyretmektedir. Bununla birlikte %20CE+%10Mika ve %15CE+%15Mika takviyeli PA 6 kompozitlerinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak birbirinin üzerinde olacak şekilde yaklaşık olarak 0,08 ile 0,11 aralığında olduğu görülmektedir. %10CE+%20Mika takviyeli PA 6 kompozit malzemesinin sürtünme katsayısı ise ortalama 0,07 ile 0,08 aralığında tespit edilmiştir.



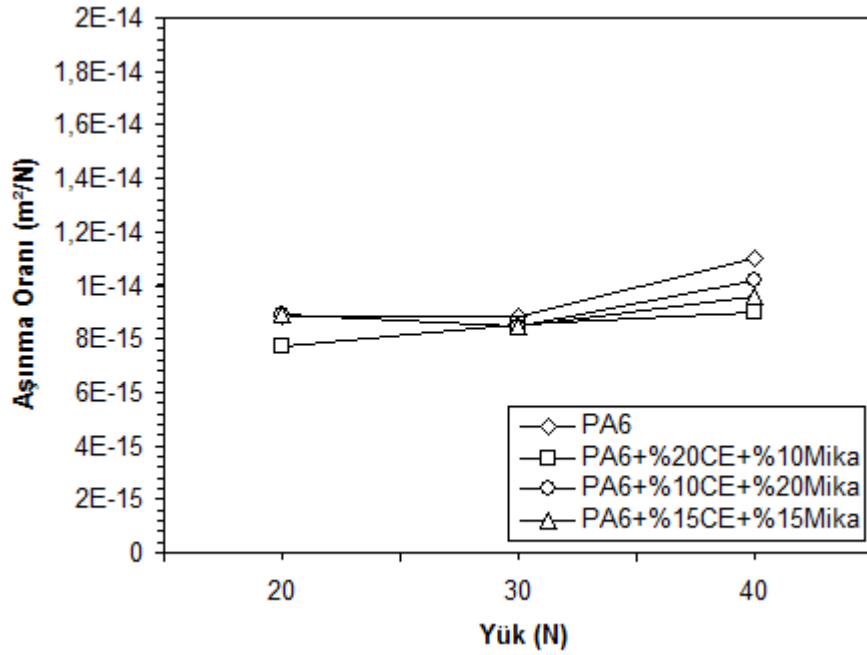
Şekil 6.65. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışılan katkısız PA 6 ve mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin 40N yük ile sürtünme katsayısı - kayma yolu ilişkisi

% 6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı katkısız PA 6 ve cam elyaf+mika katkılı PA 6 kompozitlerinin çalışması durumundaki sürtünme katsayısı-uygulanan yük ilişkisi Şekil 6.66' de göstermektedir. Cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 bünyesinde bulunan mika oranının artması ile sürtünme katsayısının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi hem katkısız PA 6'nın sürtünme katsayısı hem de cam elyaf-mika takviyeli PA 6 hibrit kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları uygulanan yükün artması ile artmaktadır. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6, PA6+%10CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerin sürtünme katsayılarındaki artış sırasıyla %47, %17, %15 ve %25 oranında olduğu tespit edildi.



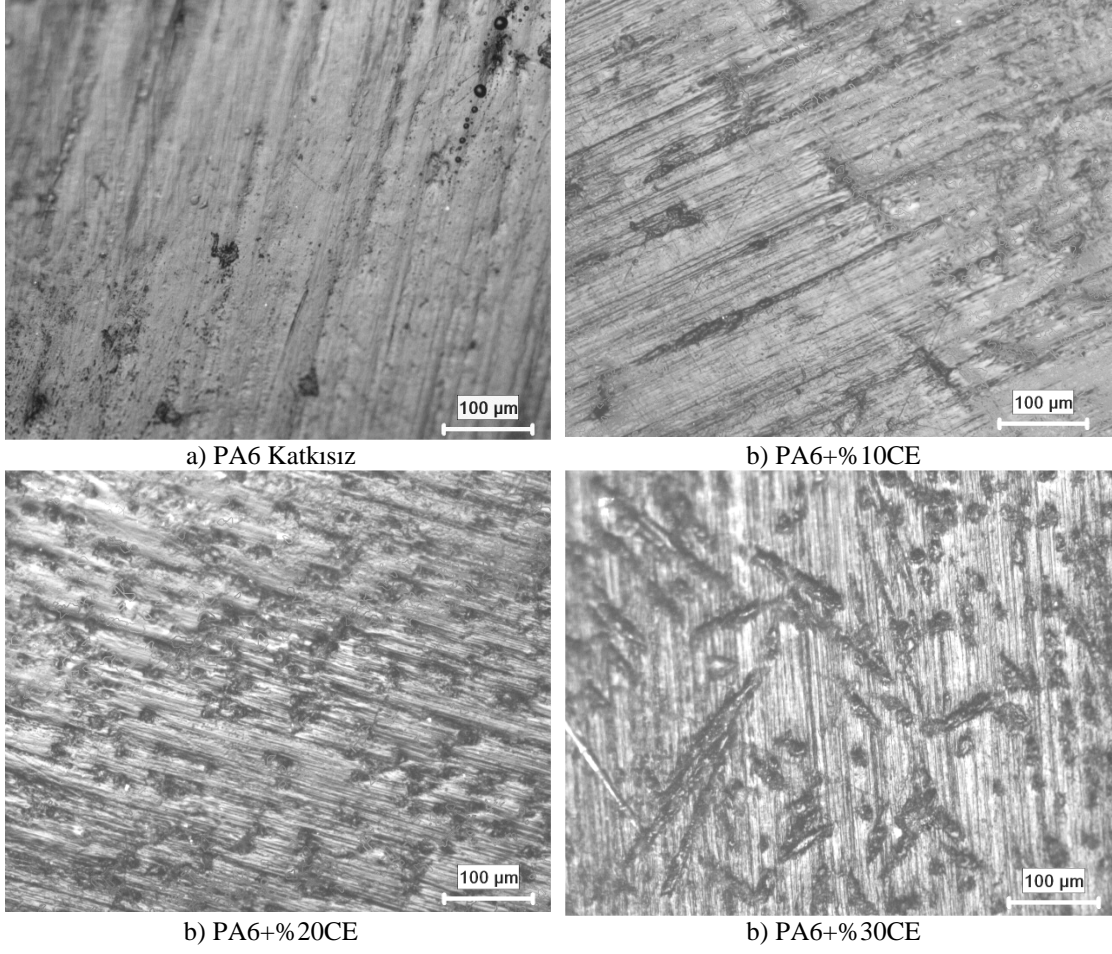
Şekil 6.66. PA6+%6Vaks disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin sürtünme katsayısı - yük ilişkisi

Katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerinin %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit malzemesine karşı çalışması durumundaki aşınma oranı-yük ilişkisi Şekil 6.67' de verilmiştir. Cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit içerisinde bulunan mika oranının artması ile aşınma oranının uygulanan yük aralığında arttığı, cam elyaf oranının artması ile uygulanan yük aralığında aşınma oranının azaldığı görülmüştür. Şekil dikkatli bir şekilde incelendiğinde katkısız PA 6 ve cam elyaf+mika katkılı PA 6 kompozit malzemelerin aşınma oranının uygulanan yüklerle birlikte arttığını görülmektedir. Uygulanan yük 20N'dan 40N'a yani %100 oranında artırıldığı zaman katkısız PA 6 ile PA6+10%CE+%20Mika, PA6+%15CE+%15Mika, PA6+%20CE+%10Mika kompozitlerinin aşınma oranı sırayla %20, %14, %5, %16 artış göstermiştir.

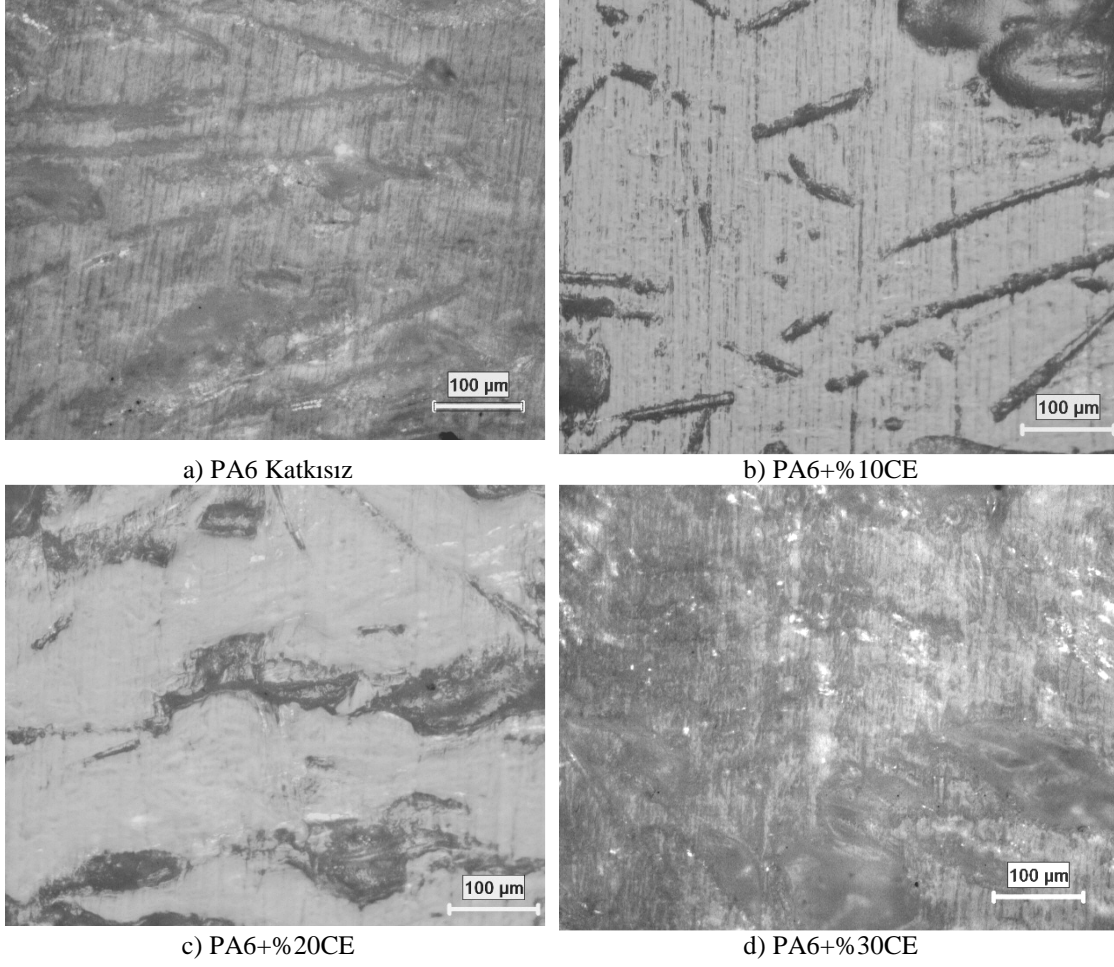


Şekil 6.67. %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzeme ile çalışan katkısız PA 6 ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin aşınma oranı – yük ilişkisi

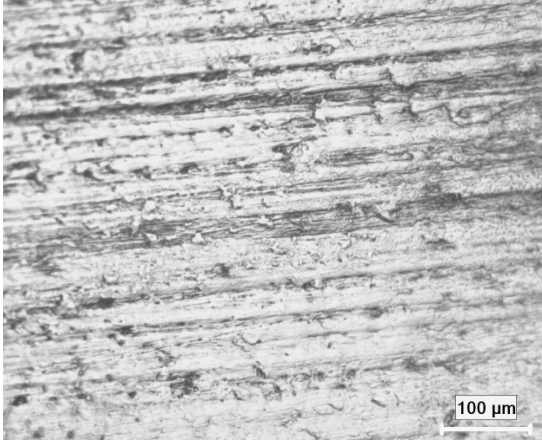
%6 vaks takviyeli poliamid 6 kompozit malzemesiyle aşınan katkısız poliamid 6 ve poliamid 6 kompozit malzemelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 6. 68-73' de verilmiştir. Statik-dinamik sürtünme katsayıları Tablo EK C' da, aşınma oranları Tablo EK F' de gösterilmiştir



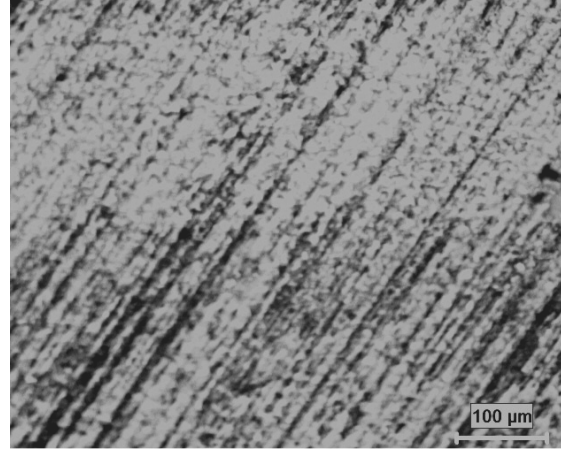
Şekil 6.68. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkı PA 6 kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı aşınma ile oluşan mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



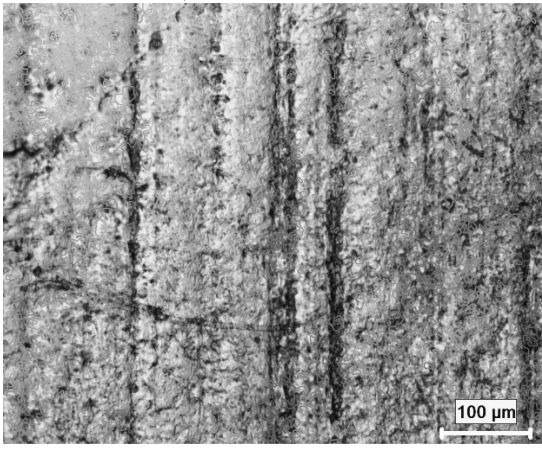
Şekil 6.69. Katkısız PA 6 ve cam elyaf katkılı PA 6 kompozit pimlerin çalıştığı %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemedeki oluşan yüzey mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



b) PA6+%10Mika

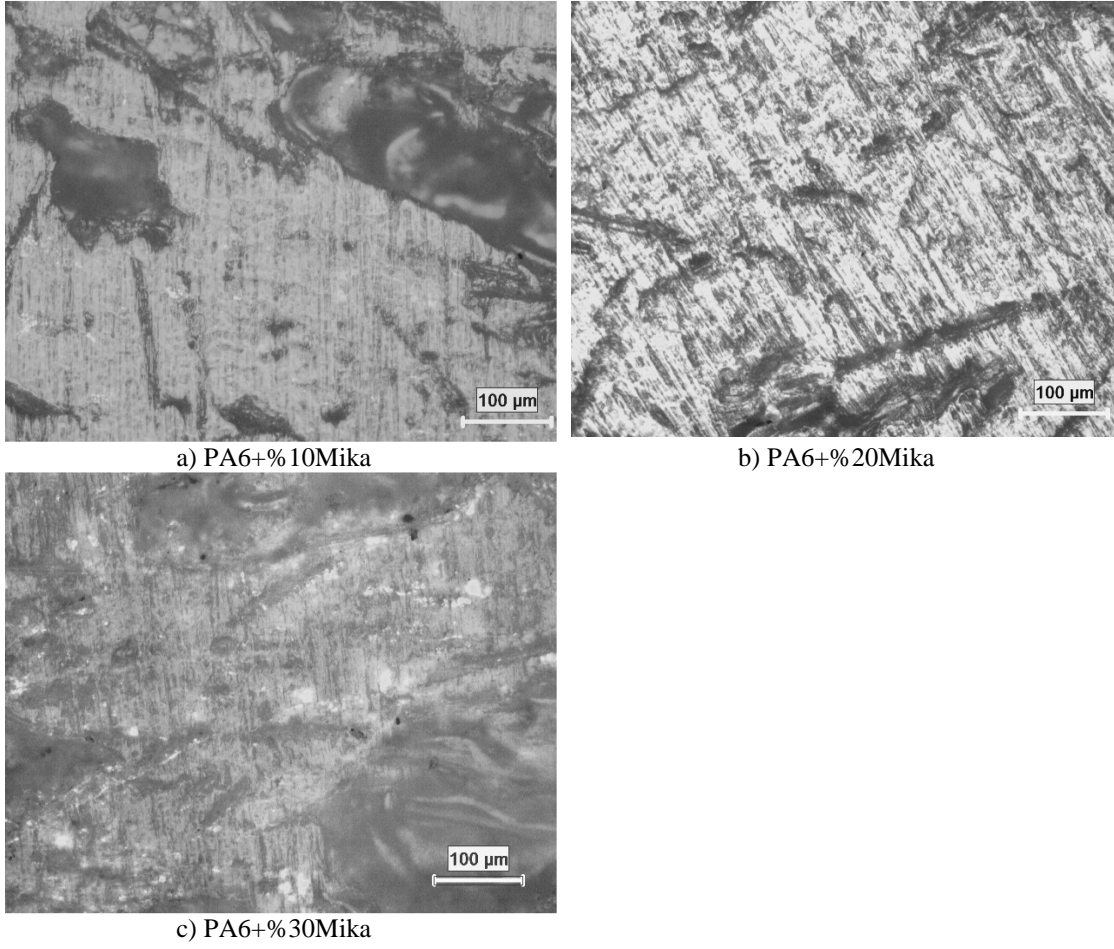


b) PA6+%20Mika

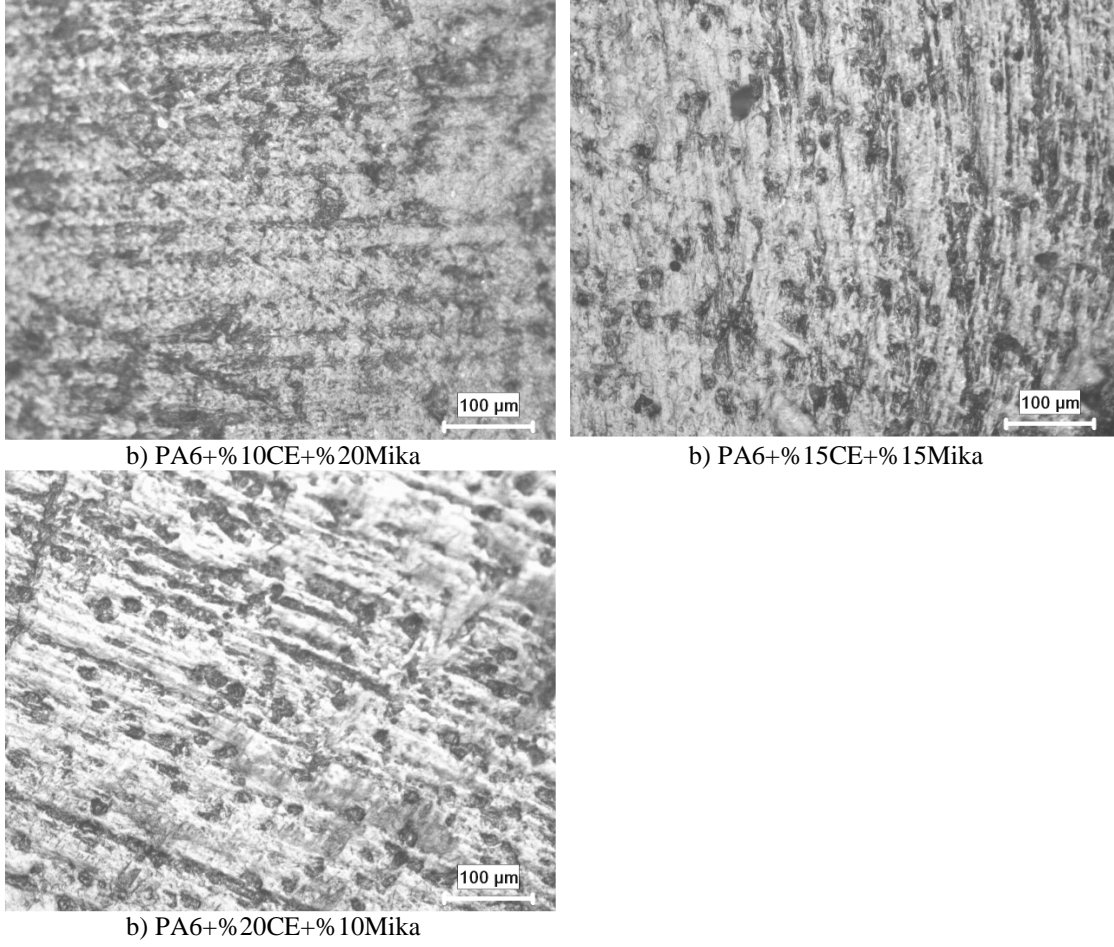


b) PA6+%30Mika

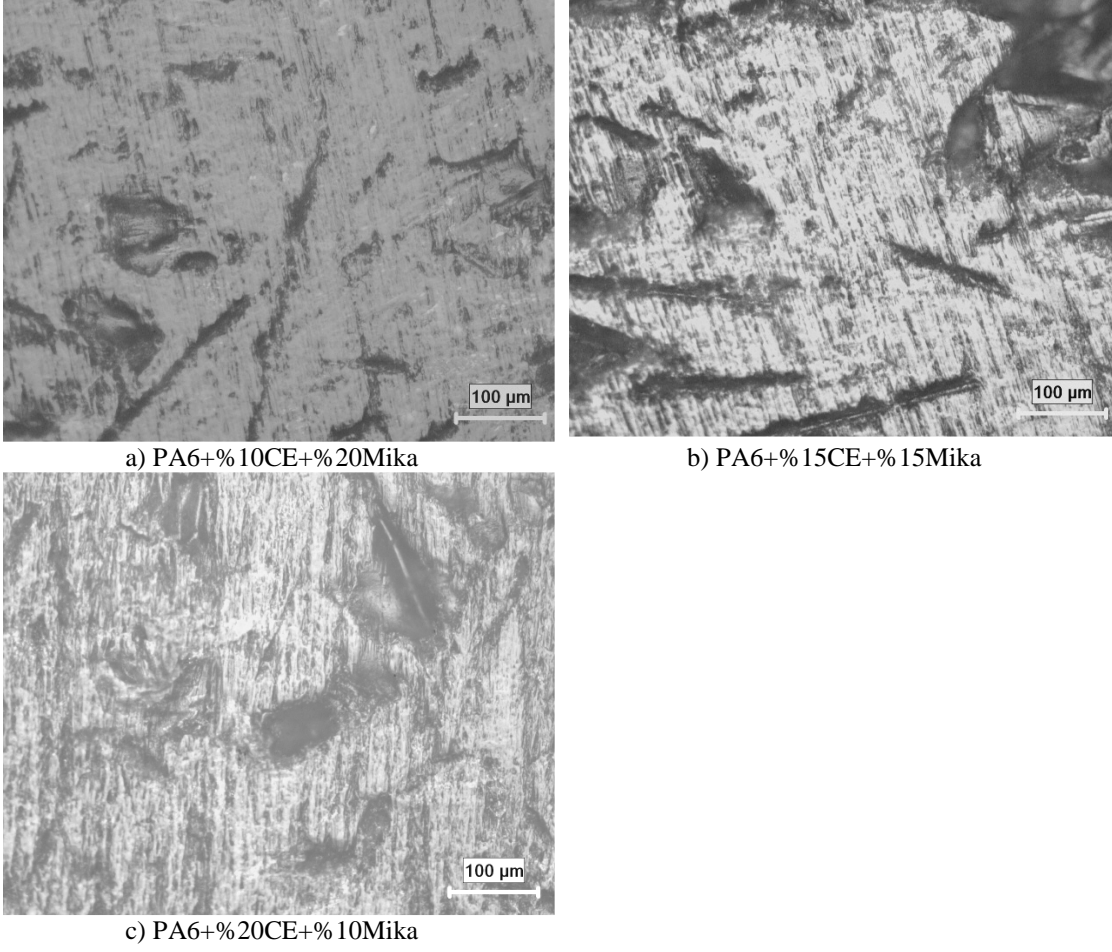
Şekil 6.70. %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



Şekil 6.71. %6 vaks takviyeli PA 6 kompozit diske karşı çalışan mika katkılı PA 6 kompozit pimlerin aşındırdığı disk yüzeyi optik mikroskop görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



Şekil 6.72. Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)



Şekil 6.73. Mika-cam elyaf katkılı PA 6 hibrit kompozit pimlerin %6 vaks takviyeli PA 6 disk malzemeye karşı oluşan disk aşınma yüzeyi mikroyapı görüntüleri (Yük:40N, kayma hızı:0,5m/s)

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, katkısız PA 6 ve kompozitlerinin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Termal özellikler, Vicat, HDT, DSC, mekanik özellik olarak DMA, tribolojik özellik olarak da aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Katkısız poliamid 6 polimerinin Vicat yumuşama sıcaklığı 192.1 °C olarak tespit edilmiştir. Cam elyaf katkılı poliamid 6 kompozit malzemelerinin Vicat yumuşama sıcaklıkları, katkısız PA 6 polimerine göre çok az artış göstermiştir. %30 CE katkılı PA 6 kompozitin Vicat yumuşama sıcaklığı ise 195.4 °C olarak belirlenmiştir. %30 CE katkısı ile Vicat yumuşama sıcaklığı % 1.7 oranında artmıştır.

Katkısız poliamid 6'ya değişik oranlarda katılan mika katkısı da Vicat yumuşama sıcaklığını etkilemiştir. Ana matris içindeki mika oranı arttıkça Vicat yumuşama sıcaklığı düşmüştür. % 30 mika katkılı kompozitin Vicat yumuşama sıcaklığı 173 °C olarak tespit edilmiştir. Vicat yumuşama sıcaklığındaki mika katkısına bağlı olarak düşüş yaklaşık olarak %13 civarında bulunmuştur.

CE ve mika katkılı hibrit kompozit malzemelerin yumuşama sıcaklıkları incelendiğinde cam elyaf oranının artmasına bağlı olarak Vicat yumuşama sıcaklığında artış gözlenmiştir. En iyi karışım %20CE+%10Mika içeren hibrit kompozit olmuştur. Bu kompozitin Vicat yumuşama sıcaklığı 189.8 °C olarak tespit edilmiştir.

Katkısız Poliamid 6 polimerinin 1.8MPa basınç altındaki eğilme sıcaklığı (HDT) 52,8 °C olarak tespit edilmiştir. Cam elyaf katkılı poliamid 6 kompozit malzemelerinin HDT değeri, katkısız PA 6 polimerine göre artış göstermiştir. %30 CE katkılı PA 6 kompozitin HDT değeri ise 187 °C olarak tespit edilmiştir. %30 CE katkısı ile HDT değeri yaklaşık olarak %254 oranında artmıştır.

Katkısız poliamid 6' ya değişik oranlarda katılan mika katkısı HDT değerini attırıştır. Ana matris içindeki mika oranı arttıkça HDT değeri de çok az oranda arttırıştır. % 30 mika katkılı kompozitin HDT değeri ise 67,4 °C olarak tespit edilmiştir. HDT değerinin mika katkısına bağlı olarak artışı yaklaşık olarak %27,5 civarında olmuştur.

Cam elyaf-mika katkılı hibrit kompozit malzemelerin HDT değerleri incelendiğinde cam elyaf oranının artmasına bağlı olarak artış gözlenmiştir. En iyi karışım %20CE+%10Mika içeren hibrit kompozit olmuştur. Bu kompozitin HDT değeri ise 175,7 °C olarak tespit edilmiştir.

Katkısız poliamid 6' nın DSC sonuçlarında ergime sıcaklığı (T_m) 220,27 °C, camsı geçiş sıcaklığının (T_g) 54,78 °C olduğu belirlenmiştir. CE katkısının PA 6 kompozitlerin ergime sıcaklığını 223,56 °C' ye, camsı geçiş sıcaklığını ise 64,81'e çıkardığı görülmüştür. Mika katkısı ise PA 6 kompozitlerin ergime sıcaklığını 224,37 °C' ye camsı geçiş sıcaklığı ise 64,74 °C' ye çıkarmıştır. Cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 kompozit malzemelerinde camsı geçiş sıcaklığı ve ergime sıcaklıklarında artış görülmüştür. DSC sonuçlarından %15CE+%15Mika içeren PA 6 kompozit malzemenin ergime sıcaklığı 227,67 °C, camsı geçiş sıcaklığı ise 66,73 °C olarak belirlenmiştir.

Dinamik Mekanik Analiz testleri sonucunda malzemelerin depolama modülü (E') incelendiğinde sıcaklık oranı artması ile katkısız poliamid 6' nın depolama modülü azaldığı gözlenmiştir. Katkısız poliamid 6'yı cam elyaf, mika ve cam elyaf-mika katkılı PA 6 kompozitleriyle kıyaslandığımızda depolama modülünün arttığı görülmektedir.

Katkısız poliamid 6 ve kompozitlerinin kayıp modülleri (E'') incelendiğinde, malzemelerin sıcaklık artışına bağlı olarak kayıp modüllerinin azaldığını ve viskoelastik özelliğine başladığı görülmektedir. Katkısız poliamid 6'yı cam elyaf, mika ve cam elyaf-mika katkılı hibrit PA 6 kompozitleriyle kıyaslandığımızda kayıp modülünün arttığı görülmektedir.

CE ve mika katkılı poliamid esaslı kompozit malzemelerin aşınma ve sürtünme deneyleri, üç farklı polimer esaslı kompozit disk malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Disk malzemeler sırasıyla aşağıdaki gibi kullanılmıştır. %30CE, %30Mika, %6Vaks katkılı PA 6. Aşınma deney sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

%30 cam elyaf katkılı poliamid 6 kompozit diskte yapılan incelemelerde, yük miktarı arttıkça; katkısız PA 6 ile cam elyaf, mika ve cam elyaf+mika katkılı kompozitlerde sürtünme katsayısı artmaktadır. Aşınma oranları ise yüke göre; cam elyaf katkılı PA 6 kompozitlerde değişmemektedir. Mika katkılı kompozitlerde ise yük arttıkça aşınma oranı artmaktadır. Poliamid 6'nın cam elyaf+mika katkılı kompozitlerinde ise mika oranı arttıkça aşınma oranı artmaktadır. Aşınma işlemi sonucunda en az aşınan malzeme $4,29 \times 10^{-15} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile PA6+%30CE kompozit malzemesi, en fazla aşınan malzeme ise $1,26 \times 10^{-14} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile PA6+%30Mika kompoziti olmuştur.

%30 mika katkılı poliamid 6 kompozit diskte yapılan incelemelerde, yük miktarı arttıkça; Katkısız PA 6 ile cam elyaf, mika ve cam elyaf+mika katkılı kompozitlerde sürtünme katsayısı artmaktadır. Aşınma oranları ise yük'e göre; cam elyaf oranı arttıkça düşmekte, mika oranı arttıkça yükselmektedir. Cam elyaf+mika katkılı kompozitlerde ise cam elyaf oranı yükseldikçe aşınma oranının düştüğü görülmektedir. Aşınma işlemi sonucunda en az aşınan malzeme $7,29 \times 10^{-15} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile PA6+%10Mika kompoziti, en fazla aşınan ise $4,08 \times 10^{-14} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile katkısız PA 6 malzemesi olmuştur.

%6 vaks katkılı poliamid 6 kompozit diskte yapılan incelemelerde, yük miktarı arttıkça, katkısız PA 6 ile cam elyaf ve mika katkılı kompozitlerde sürtünme katsayısı artmakta cam elyaf-mika katkılı PA 6 hibrit kompozitlerde ise değişmemektedir. Aşınma oranları ise yük'e göre; cam elyaf ile mika oranı arttıkça yükselmektedir. Cam elyaf-mika katkılı poliamid 6 kompozitte ise değişmemektedir. Aşınma işlemi sonucunda en az aşınan malzeme $3,88 \times 10^{-15} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile PA6+%30CE kompoziti, en fazla aşınan malzeme ise $1,10 \times 10^{-14} \text{ mm}^2/\text{N}$ aşınma oranı ile katkısız PA 6 malzemesi olmuştur.

Aşınma deneyleri sonucunda PA6+%30CE ve PA6+%6vaks malzeme ile çalışan PA6+%30CE disk/pim çiftlerinde en uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemenin camsı geçiş sıcaklığı $64,32 \text{ }^\circ\text{C}$, ergime sıcaklığı $225,39 \text{ }^\circ\text{C}$, yük altında eğilme sıcaklığı $187 \text{ }^\circ\text{C}$ ve Vicat yumuşama sıcaklığı $195,4^\circ\text{C}$ gibi değerlere sahip olduğu görülmektedir. Başka bir disk olan PA6+%30Mika malzemesiyle çalışan PA6+%10Mika disk/pim çifti en uygun malzeme olarak görülmüştür. Bu malzemenin camsı geçiş sıcaklığı $63,56 \text{ }^\circ\text{C}$, ergime sıcaklığı $224,37 \text{ }^\circ\text{C}$, yük altında eğilme sıcaklığı $57,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ve Vicat yumuşama sıcaklığı $175,1 \text{ }^\circ\text{C}$ gibi değerler sahip olduğu görülmektedir.

7.2. Öneriler

- Deneylerde kullanılan cam elyaf ve mika katkılı poliamid 6 kompozitlerin aşınma ve sürtünme dirençleri farklı ortam şartlarında, düşük veya yüksek sıcaklıklarda ve farklı nem ortamlarında yapılabilir.
- Kompozit malzeme üretiminde cam elyaf kullanmak yerine yine iğnesel yapılı olan wollastonit kullanılabilir. Mekanik, fiziksel ve termal özellikleri incelenebilir.
- Cam elyaf ve mika oranı matris içinde artırılabilir ve özellikler iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ABDULRASHID, S. E., ARIFIN, K., AKIL, M. H., KOOI, C. C., Mechanical and Thermal Properties of Polymer Composites for Electronic Application, The International Conference on Structural Analysis of Advanced Materials, Universiti Sains Malaysia, 2007.
- [2] FROOZIAN, P., AKIL, M. H., KHALIL, A., Prediction of Mechanical Properties of Mica-Filled Epoxy Composite Using Various Mechanical Models, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Cilt29, Sayfa 2368, 2010.
- [3] TOMAR, N., MAITI, S. N., Mechanical Properties of Mica-Filled PBT/ABAS Composites, Journal of Applied Polymer Science, Cilt 117, Sayfa 672-681, 2010.
- [4] MADANI, M., EI-BAYOUMI, A. S., Effect of Ionizing Radiation on Physicomechanical Properties of Surface-Treated Mica-Reinforced High-Density Polyethylene, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Cilt29, Sayfa 1062, 2010.
- [5] NURDINA, A. K., MARIATTI M., SAMAYAMUTTHIRIAN P., Effect of Single-Mineral Filler and Hybrid-Mineral Filler Additives on the Properties of Polypropylene Composites, Journal of Vinyl & Additive Technology, Cilt 15, Sayfa 20-28, 2009.
- [6] SAMAL, S. K., MOHANTY S., NAYAK K. S., Banana/Glass Fiber/Reinforced Polypropylene Hybrid Composites: Fabrication and Performance Evaluation, Polymer-Plastics Technology and Engineering, Cilt 48, Sayfa 397-414, 2009.
- [7] HASHEMI, S., Hybridisation Effect on Flexural Properties of Single- and Double- Gated Injection Moulded Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Filled With Short Glass Fibres and Glass Beads Particles, Springer Science & Business Media (J. Mater. Sci.), Cilt 43, Sayfa 4811-4819, 2008.

- [8] CZIGANY, T., DEAK, T., TAMAS, P., Discontinuous Basalt and Glass Fiber Reinforced PP Composites From Textile Prefabricates: Effects of Interfacial Modification on the Mechanical Performance, *Composite Interface*, Cilt 15, no7-9, Sayfa 697-707, 2008.
- [9] SADABADI, H., GHASEMI, M., Study on Fiber Weight Fraction Effect on Tensile Modulus of Polystyrene (PS) Composites Reinforced With Short Glass Fiber (SGF) Based on Their Fiber Orientation, *Polymer-Plastics Tecnology and Engineering*, Cilt 47, Sayfa 427-432, 2008.
- [10] BOSE, S., MAHANWAR, P. A., Influence of Particle Size and Particle Size Distribution on Mica Filled Nylon 6 Composite, *Journal of Materials Science*, Cilt 40, Sayfa 6423-6428, 2005
- [11] ALSAWAILEM, F. D., Dynamic Mechanical Properties of Toughened Polyamide Composites, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Cilt 33, Sayfa 1b, Nisan 2008.
- [12] PISHARAT, S., WONG C. S., HU X., Fracture Behavior of Nylon Hybrid Composites, *Journal of Materials Science*, Cilt 39, Sayfa 6529-6538, 2004.
- [13] LI, D. X., DENG, X., WANG, J., YANG, J., LI X., Mechanical and Tribological of Polyamide 6- Polyurethane Block Copolymer Reinforced With Short Glass Fibers, *WEAR an International Journal on the Science and Tecnology at Friction Lobrication and wear*, Cilt 269, Sayfa 262-268, 2010.
- [14] MALCHEV, P. G., VOS, G., PICKEN, S. J., GOTSIS, A. D., Mechanical and Fracture Properties of Ternary PE/PA6/GF Composites, *Composites Science and Technology*, Cilt 70, Sayfa 734-742, 2010.
- [15] LI, C., LIU, X., Mechanical and Thermal Properties Study of Glass Fiber Reinforced Polyarylene Ether Nitriles, *Matterials Letters*, Cilt 61, Sayfa 2239-2242, 2007.
- [16] THOMASON, J. L., The Influence of Fibre Length and Concentration on the Properties of Glass Fibre Reinforced Polypropylene. 6. The Properties of Injection Moulded Long Fibre PP at High Fibre Content, *J. L. Thomason/Composite*, Cilt A36, Sayfa 995-1003, 2005.
- [17] UNAL, H., SEN, U., MİMAROĞLU, A., Study of Abrasive Wear Volume Map for PTFE and PTFE Composites, *Appl. Compos. Mater.*, Cilt 14, Sayfa 287-306, 2007.

- [18] MIMAROGLU, A., UNAL, H., ARDA, T., Friction and Wear Performance of Some Thermoplastic Polymer and Polymer Composites Against Unsaturated Polyester, Applied Surface Science, Cilt 252, Sayfa 8139-8146, 2006.
- [19] UNAL, H., MİMAROGLU, A., SERDAR, V., Dry Sliding Performance of Thermoplastics Against Reinforced Unsaturated Polyester (BMC): In use in Electrical Contact Breakers Components, WEAR, Cilt 261, Sayfa 841-847, 2006.
- [20] UNAL, H., SEN, U., MİMAROGLU, A., Dry Sliding Wear Characteristics of Some Industrial Polymers Against Steel Counterface, Tribology International, Cilt 37, Sayfa 727-732, 2004.
- [21] UNAL, H., MIMAROGLU, A., Friction and Wear Behaviour of Unfilled Engineering Thermoplastics, Materials and Design, Cilt 24, Sayfa 183-187, 2003.
- [22] YAŞAR, İ., ARSLAN, F., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi, Turk J. Engin. Environ Sci., Cilt 24, Sayfa 181-191, 2000.
- [23] KOÇ, R., ÜNAL H., ELDOĞAN O., Poli-Oksi-Metilen ve Kompozitlerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Teknoloji dergisi, Cilt 10, Sayı 3, Sayfa 143-152, 2007.
- [24] ŞAFAK, D., Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Tasarım Bakımından İncelenmesi ve Uygulamalı Tasarım Örneği, Y. Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniv., 2001.
- [25] ERBAY, B., Nemin %30 Cam Elyaf ile Takviye Edilmiş Poliamid 66 Malzemede Sıkıştırılabilme Mukavemeti Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Y. Lisans tezi, Osmangazi Üniv., 2006
- [26] BULDU, L., Enjeksiyon Parametrelerinin Bazı Mühendislik Plastiklerin Akış Uzunluğuna Etkisinin Araştırılması, Y. Lisans tezi, Gazi Üniv., 2007.
- [27] EKŞİ, O., Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Y. Lisans tezi, Trakya Üniv., 2007.
- [28] ÇAĞLARER, E., Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerde Takviye Türü ve Oranına Bağlı Olarak Çeşitli Ortam Koşullarında Elektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Y. Lisans tezi, Trakya Üniv., 2004.

- [29] KURT, M., Plastik Malzemelerin (PTFE ve POM) Lazer ile Kesilme Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Y. Lisans tezi, Marmara Üniv., 2006.
- [30] YILMAZ, T., PEEK (Poliethereterketon) ve Kompozitlerinde Kısa Fiber Takviyesi ve Mikro Yapının Tribolojik Özelliklere Etkisi, Y. Lisans tezi, Kocaeli Üniv., 2002.
- [31] TAŞDEMİR. M., Mühendislik Plastikleri, Metal öğretmenliği, Ders Notları Marmara Üniv., 2007.
- [32] DOĞRUYOL, A., BİŞMİŞER G., Poliamid, Polietilen, Polikarbonat, Polipropilen, Polistiren, Polietilen Teraftalat Türü Termoplastiklerin İncelenmesi, Lisans Tezi, Marmara Üniv., 1998.
- [33] ERBAY, K., Silah Gövdeleri için Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Y. Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniv., 2009.
- [34] ÜNAL, H., AYPE/PA 6 Blendi ile Geri Kazanılmış PA 6 ve PA 66'nın Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora tezi, Sakarya Üniv., 1999.
- [35] KAŞTAN, A., Grafit Katkılı Nylon(PA6)'nın Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelemesi, Y. Lisans tezi, Marmara Üniv., 2005.
- [36] KARADENİZ, E., Poliamid/Polipropilen (PA/PP) Karışımlarının Yapı ve Özellikleri, Y. Lisans tezi, Marmara Üniv., 2006.
- [37] Devlet Planla Teşkilatı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Genel Endüstri Mineralleri, DPT: 2619,ÖİK: 630, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik630.pdf>, Ankara 2001.
- [38] ATEŞ, N., Makine İmalat Sanayinde Kullanılan %30 Cam Elyafıyla Kuvvetlendirilmiş PA Malzemesinin (PA6.6 GF 30) Üretim Şartlarına Bağlı Olarak Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Y. Lisans tezi, Uludağ Üniv., 2002.
- [39] DEMİREL, A., Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Y. Lisans tezi, Gazi Üniv. 2007.
- [40] AKKOYUNLU, T., Polimer Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Metal öğretmenliği, Lisans Tezi, Sakarya Üniv.2010.

- [41] DEMİRCİOĞLU, G., Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Boyutun Etkisi, Y. Lisans tezi, Gazi Üniv., 2006.
- [42] GÜLTEKİN G., Yara Örtü Malzemesi Uygulamaları için Yağ Asidi Temelli Poliüretan Filmlerin Üretimi, Y. Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniv., 2006.
- [43] MUTLU B. H., Hint Yağı Temelli Poliüretan Hidrojel Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu, Y. Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniv., 2008.

EKLER

EK A

Tablo EK A. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yükü göre değişimi

Malzeme	Disk	PA6+%30CE Disk	
	Yük	μ Statik	μ Dinamik
Katkısız PA 6	20	0,135	0,089
	30	0,117	0,126
	40	0,161	0,167
PA6+%10CE	20	0,081	0,0885
	30	0,097	0,099
	40	0,106	0,1115
PA6+%20CE	20	0,0875	0,076
	30	0,072	0,0885
	40	0,12	0,113
PA6+%30CE	20	0,0945	0,0743
	30	0,0735	0,09575
	40	0,09835	0,096
PA6+%10Mika	20	0,103	0,0895
	30	0,1435	0,137
	40	0,253	0,216
PA6+%20Mika	20	0,103	0,107
	30	0,132	0,145
	40	0,176	0,235
PA6+%30Mika	20	0,101	0,115
	30	0,159	0,156
	40	0,201	0,25
PA6+%10CE+%20Mika	20	0,096	0,1075
	30	0,098	0,137
	40	0,139	0,203
PA6+%15CE+%15Mika	20	0,067	0,082
	30	0,107	0,104
	40	0,096	0,128
PA6+%20CE+%10Mika	20	0,104	0,074
	30	0,081	0,094
	40	0,099	0,108

EK B

Tablo EK B. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yükü göre değişimi

Malzeme	Disk	PA6+%30Mika Disk	
	Yük (N)	μ Statik	μ Dinamik
Katkısız PA 6	20	0,205	0,2015
	30	0,13	0,287
	40	0,171	0,391
PA6+%10CE	20	0,122	0,1305
	30	0,139	0,271
	40	0,164	0,378
PA6+%20CE	20	0,115	0,1205
	30	0,094	0,265
	40	0,311	0,345
PA6+%30CE	20	0,0915	0,099
	30	0,109	0,215
	40	0,096	0,327
PA6+%10Mika	20	0,1545	0,1095
	30	0,124	0,179
	40	0,278	0,369
PA6+%20Mika	20	0,1665	0,148
	30	0,117	0,1815
	40	0,116	0,376
PA6+%30Mika	20	0,1495	0,157
	30	0,119	0,1935
	40	0,092	0,393
PA6+%10CE+%20Mika	20	0,1125	0,1695
	30	0,117	0,289
	40	0,095	0,362
PA6+%15CE+%15Mika	20	0,167	0,142
	30	0,116	0,275
	40	0,115	0,345
PA6+%20CE+%10Mika	20	0,0925	0,13
	30	0,143	0,25
	40	0,127	0,323

EK C

Tablo EK C. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin statik-dinamik sürtünme yükü göre değişimi

Malzeme	Disk	PA6+%6 Vaks Disk	
	Yük (N)	μ Statik	μ Dinamik
Katkısız PA 6	20	0,0625	0,0695
	30	0,078	0,08
	40	0,76	0,102
PA6+%10CE	20	0,064	0,06
	30	0,106	0,08
	40	0,097	0,09
PA6+%20CE	20	0,0585	0,057
	30	0,086	0,057
	40	0,086	0,073
PA6+%30CE	20	0,0715	0,0565
	30	0,077	0,056
	40	0,066	0,063
PA6+%10Mika	20	0,06	0,0665
	30	0,09	0,079
	40	0,092	0,0935
PA6+%20Mika	20	0,066	0,059
	30	0,079	0,074
	40	0,073	0,083
PA6+%30Mika	20	0,071	0,0695
	30	0,105	0,07
	40	0,106	0,086
PA6+%10CE+%20Mika	20	0,0815	0,07
	30	0,084	0,077
	40	0,077	0,082
PA6+%15CE+%15Mika	20	0,079	0,072
	30	0,082	0,082
	40	0,079	0,083
PA6+%20CE+%10Mika	20	0,098	0,062
	30	0,06	0,075
	40	0,078	0,0775

EK D

Tablo EK D. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin %30 cam elyaf katkılı PA 6 malzemeye karşı aşınma oranları

Malzemeler	YÜK (N)	M1	M2	M FARK	YOĞ. (gr/cm ³)	YOL (m)	W. Rate (m ² /N)
Katkısız PA 6	20	1,438	1,4378	0,00025	1135	1500	7,34214E-15
	30	1,3129	1,31205	0,00045	1135	1500	8,81057E-15
	40	1,018	1,0172	0,00075	1135	1500	1,10132E-14
PA6+%10MİKA	20	1,4813	1,48075	0,00045	1143	1500	1,31234E-14
	30	1,2495	1,24795	0,00075	1143	1500	1,45815E-14
	40	1,474	1,47075	0,00120	1143	1500	1,74978E-14
PA6+%20MİKA	20	1,5945	1,594	0,00050	1242	1500	1,34192E-14
	30	1,0998	1,09885	0,00090	1242	1500	1,61031E-14
	40	1,5214	1,51985	0,00150	1242	1500	2,01288E-14
PA6+%30MİKA	20	1,6186	1,6181	0,00050	1313	1500	1,26936E-14
	30	1,3989	1,39785	0,00110	1313	1500	1,86172E-14
	40	1,3431	1,3418	0,00170	1313	1500	2,15791E-14
PA6+%10CE	20	1,4276	1,42705	0,00025	1155	1500	7,21501E-15
	30	1,3831	1,3827	0,00040	1155	1500	7,69601E-15
	40	1,254	1,2535	0,00045	1155	1500	6,49351E-15
PA6+%20CE	20	1,6015	1,601	0,00025	1225	1500	6,80272E-15
	30	1,4298	1,42935	0,00040	1225	1500	7,25624E-15
	40	1,417	1,4165	0,00045	1225	1500	6,12245E-15
PA6+%30CE	20	1,2249	1,2239	0,00020	1294	1500	5,15198E-15
	30	1,4392	1,4389	0,00025	1294	1500	4,29332E-15
	40	1,4153	1,41495	0,00035	1294	1500	4,50799E-15
PA6+%10CE+%10Mika	20	1,7091	1,7089	0,00025	1301	1500	6,40533E-15
	30	1,6951	1,6942	0,00040	1301	1500	6,83235E-15
	40	1,6927	1,69165	0,00070	1301	1500	8,96746E-15
PA6+%15CE+%15Mika	20	1,434	1,43315	0,00035	1312	1500	8,89228E-15
	30	1,6024	1,6014	0,00070	1312	1500	1,18564E-14
	40	1,4009	1,39925	0,00120	1312	1500	1,52439E-14
PA6+%20CE+%10Mika	20	1,5883	1,5882	0,00030	1285	1500	7,7821E-15
	30	1,3596	1,3595	0,00045	1285	1500	7,7821E-15
	40	1,5957	1,59445	0,00085	1285	1500	1,10246E-14

EK E

Tablo EK E. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin %30 mika katkılı PA 6 diske karşı aşınma oranları

Malzemeler	YÜK (N)	M1	M2	M FARK	YOĞ. (gr/cm ³)	YOL (m)	W. Rate (m ² /N)
Katkısız PA 6	20	1,3187	1,3177	0,00100	1135	1500	2,93686E-14
	30	1,3169	1,3152	0,00170	1135	1500	3,32844E-14
	40	1,4179	1,4151	0,00275	1135	1500	4,03818E-14
PA6+%10MİKA	20	1,4809	1,4806	0,00025	1143	1500	7,29076E-15
	30	1,3111	1,31055	0,00050	1143	1500	9,72101E-15
	40	1,2498	1,2455	0,00100	1143	1500	1,45815E-14
PA6+%20MİKA	20	1,5752	1,57485	0,00035	1242	1500	9,39345E-15
	30	1,0994	1,0985	0,00075	1242	1500	1,34192E-14
	40	1,3623	1,36105	0,00125	1242	1500	1,6774E-14
PA6+%30MİKA	20	1,6055	1,605	0,00045	1313	1500	1,14242E-14
	30	1,4487	1,448	0,00090	1313	1500	1,52323E-14
	40	1,6036	1,6021	0,00150	1313	1500	1,90404E-14
PA6+%10CE	20	1,4119	1,4114	0,00050	1155	1500	1,443E-14
	30	1,3711	1,3702	0,00120	1155	1500	2,3088E-14
	40	1,1929	1,18905	0,00250	1155	1500	3,6075E-14
PA6+%20CE	20	1,4913	1,4912	0,00045	1225	1500	1,22449E-14
	30	1,4225	1,42205	0,00120	1225	1500	2,17687E-14
	40	1,5827	1,5802	0,00260	1225	1500	3,53741E-14
PA6+%30CE	20	1,5959	1,5955	0,00040	1294	1500	1,0304E-14
	30	1,4379	1,4367	0,00100	1294	1500	1,71733E-14
	40	1,5928	1,59015	0,00200	1294	1500	2,57599E-14
PA6+%10CE+%10Mika	20	1,6053	1,60515	0,00050	1312	1500	1,27033E-14
	30	1,6767	1,67625	0,00110	1312	1500	1,86314E-14
	40	1,5986	1,59695	0,00210	1312	1500	2,66768E-14
PA6+%15CE+%15Mika	20	1,5871	1,5867	0,00040	1285	1500	1,03761E-14
	30	1,3612	1,36035	0,00080	1285	1500	1,38348E-14
	40	1,5776	1,57545	0,00190	1285	1500	2,46433E-14
PA6+%20CE+%10Mika	20	1,6956	1,6952	0,00040	1301	1500	1,02485E-14
	30	1,7078	1,70695	0,00070	1301	1500	1,19566E-14
	40	1,2479	1,24625	0,00165	1301	1500	2,11376E-14

EK F

Tablo EK F. Katkısız PA 6 ve kompozitlerinin % 6 vaks katkılı PA 6 diske karşı aşınma oranları

Malzemeler	YÜK (N)	M1	M2	M FARK	YOĞ. (gr/cm ³)	YOL (m)	W. Rate (m ² /N)
Katkısız PA 6	20	1,2722	1,27205	0,00030	1135	1500	8,81057E-15
	30	1,2676	1,26725	0,00045	1135	1500	8,81057E-15
	40	1,2579	1,25735	0,00075	1135	1500	1,10132E-14
PA6+%10MİKA	20	1,256	1,2558	0,00030	1144	1500	8,74126E-15
	30	1,2493	1,2489	0,00045	1144	1500	8,74126E-15
	40	1,0409	1,04025	0,00080	1144	1500	1,1655E-14
PA6+%20MİKA	20	1,5356	1,5354	0,00025	1242	1500	6,70961E-15
	30	1,1004	1,09995	0,00040	1242	1500	7,15692E-15
	40	1,1642	1,1635	0,00075	1242	1500	1,00644E-14
PA6+%30MİKA	20	1,5967	1,59655	0,00020	1313	1500	5,07743E-15
	30	1,5932	1,59285	0,00035	1313	1500	5,92367E-15
	40	1,5922	1,5915	0,00070	1313	1500	8,8855E-15
PA6+%10CE	20	1,394	1,39385	0,00030	1155	1500	8,65801E-15
	30	1,3855	1,38485	0,00045	1155	1500	8,65801E-15
	40	1,3678	1,36695	0,00070	1155	1500	1,0101E-14
PA6+%20CE	20	1,4773	1,47705	0,00025	1213	1500	6,87002E-15
	30	1,4744	1,47405	0,00045	1213	1500	8,24402E-15
	40	1,405	1,4043	0,00065	1213	1500	8,93103E-15
PA6+%30CE	20	1,1944	1,194	0,00015	1287	1500	3,885E-15
	30	1,1928	1,19235	0,00030	1287	1500	5,18001E-15
	40	1,1895	1,18885	0,00040	1287	1500	5,18001E-15
PA6+%10CE+%10Mika	20	1,6956	1,69545	0,00030	1301	1500	7,6864E-15
	30	1,7092	1,709	0,00050	1301	1500	8,54044E-15
	40	1,5191	1,51875	0,00070	1301	1500	8,96746E-15
PA6+%15CE+%15Mika	20	1,6032	1,6028	0,00035	1312	1500	8,89228E-15
	30	1,6781	1,67705	0,00050	1312	1500	8,46883E-15
	40	1,6756	1,67405	0,00080	1312	1500	1,01626E-14
PA6+%20CE+%10Mika	20	1,3628	1,36255	0,00035	1308	1500	8,91947E-15
	30	1,3614	1,36085	0,00050	1308	1500	8,49473E-15
	40	1,3154	1,3144	0,00075	1308	1500	9,55657E-15

ÖZGEÇMİŞ

Tacettin SAYLAN, 14.07.1985 de İstanbul’ da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Üsküdar da tamamladı. 1999 yılında Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesi, Metal işleri Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında lisans eğitimine Marmara Üniversitesinde Metal Öğretmenliği bölümünde başladı ve 2007 yılında bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Metal Öğretmenliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitime başladı. Aynı zamanda 2007 – 2009 yılları arasında Akplast Plastik Ambalaj San Tic. Ltd. Şti.’nde Üretim planlamacı olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin yeni ürün projeleri ile birlikte verimlilik projeleri ve toplam kalite yönetimi projelerinde aktif rol aldı. Haken Evaplast Plastik Metal Kapı ve Pencere Aksesuarları Ltd. Şti.’nde Üretim Müdürü sıfatıyla çalışmaktadır.