

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİAMİT 12 ESASLI KOMPOZİT KAPLAMALARIN
HAZIRLANMASI ve KARAKTERİZASYONU**

**CEREN SALMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

GEBZE

2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİAMİT 12 ESASLI KOMPOZİT
KAPLAMALARIN HAZIRLANMASI VE
KARAKTERİZASYONU

CEREN SALMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ İLKE ANAÇ

GEBZE
2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
POLYAMIDE 12 BASED COMPOSITE
COATINGS**

CEREN SALMAN

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE**

DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING

**THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. İLKE ANAÇ**

**GEBZE
2020**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/12/2019 tarih ve 2019/53 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/01/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ceren SALMAN 'ın tez çalışması Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğretim Üyesi İlke ANAÇ

ÜYE

: Doç. Dr. Koray ÖZTÜRK

ÜYE

: Prof. Dr. Güralp ÖZKOÇ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Poliamit12 (PA12) korozyon direnci, çözücüye direnci, aşınma direnci yüksek ve su emmesi düşük olduğu için günümüzde bulaşık makinesi sepetlerinin kaplanması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, PA12'ye alternatif olarak maliyet iyileştirme amacıyla, PA12 esaslı kompozit kaplamalar hazırlanmıştır. Kaplamalar, farklı cam bilyeler ve kalsit kullanılarak akışkan yatakta kaplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Çalışma amacına yönelik olarak modifiye edilmemiş cam bilye (UMGB), poliestere ile modifiye edilmiş cam bilye (PEMGB) ve kalsit kullanılmıştır. 4 farklı oranda UMGB (ağ.%3-5-7-10), 3 farklı oranda PEMGB (ağ.%10-13-15) ve ağ. %10 oranında kalsit, PA12 esaslı kompozit kaplamalara katkı olarak eklenmiştir. Hazırlanan bu kaplamalar %100 PA12 referans kaplama numunesi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Katkı türünün ve miktarının kaplamaların kalınlıklarına, parlaklıklarına, aşınma miktarlarına ve çözücüye dayanımına etkisi detaylıca incelenmiştir. Aynı zamanda hazırlanan kaplamalar SEM ile karakterize edilmiştir.

Poliamit matrisi ve PEMGB, PEMGB'nin içerdiği organik poliestere modifiyesi sayesinde kimyasal olarak benzer bir yapıya sahiptir. Bu durumun, UMGB-PA12 kompozit kaplamaları ile karşılaştırıldığında, PEMGB-PA12 kompozit kaplamaların hem aşınma hem de parlaklık değerlerinde pozitif etki sağladığı tespit edilmiştir. Ağırlıkça %7 UMGB kullanılarak elde edilen kaplamalar ile ağ. %10 PEMGB kullanılarak elde edilen kaplamaların parlaklık ve çözücüye dayanım performans değerlerinin eşdeğer olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %10 kullanımın maliyet avantajını artırdığı göz önünde bulundurulduğunda ağ.%10 PEMGB katkılı kompozit kaplamanın akışkan yatak tekniği ile başarılı bir şekilde hazırlanabileceği ve %100 PA12 yerine kullanılabileceği bu tez kapsamında gösterilmiştir.

Ön denemelerde kalsit katkılı kaplamaların çözücüye dayanımının çok düşük olduğu tespit edildiği için diğer oranları çalışılmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Toz Poliamit 12 (PA12), Termoplastik Kaplama, PA12 Kompozitleri, Akışkan Yatakta Kaplama, Cam Bilye, Kalsit.

SUMMARY

Polyamide 12 (PA12) is used as a coating material for dishwasher baskets due to high solvent resistance, abrasion resistance and low water absorption. In this study, PA12 based composite coatings have been prepared to replace PA12 for cost reduction. The coatings were prepared by fluidized bed coating method using different glass beads (unmodified glass beads (UMGB), polyester modified glass beads (PEMGB) and calcite. In order to prepare the coatings, Different weight % of glass beads (UMGB ağı. %3-5-7-10, PEMGB ağı. %10-13-15) and ağı. %10 calcite were used as an additive. The effect of additive type and the amount on properties such as thickness, gloss, solvent resistance, abrasion and solvent resistance investigated in detail. The coatings were also characterized by SEM. The coatings were compared with reference sample which is prepared using only PA12.

The polyamide matrix and PEMGB have a chemically similar structure due to the organic polyester modification contained in PEMGB. When compared to UMGB-PA12 composite coatings, it was found that PEMGB-PA12 composite coatings had a positive effect on both wear and gloss values. It has been found that solvent resistance and gloss values are equal for both the coatings including %7 UMGB by weight and the coatings including %10 PEMGB by weight. In this thesis, it is shown that the composite coatings based on PA12 and %10 PEMGB by weight were successfully prepared using a fluidized bed technique and can replace PA12 in dishwasher basket and this will reduce the cost of the material.

Our preliminary studies with calcite additive (10% in weight) showed that the solvent resistance of calcite containing coating was very low and other ratios were not studied.

Key Words: Powder Polyamide 12 (PA12), Thermoplastic Coating, PA12 Composites, Fluidized Bed Coating, Glass Ball, Calcite.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana bilgi birikimi ve deneyimleriyle azami ölçüde yardımcı olmaya çalışan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlke ANAÇ'a teşekkürü borç bilirim.

Konu her ne olursa olsun, doğduğum günden bu güne her türlü engeli önümden kaldıran, bugünlere gelmemi sağlayan ve maddi-manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, annem Pervin SALMAN, babam Dursun SALMAN ve canım abim Eren SALMAN'a,

Tüm zorlu süreçlerimde, her türlü kaprisimi çeken, hiç bıkmadan, sabırla "Yapacağımı biliyorum" diyip bana her daim güvenen, destek veren ve vermeye de devam edeceğini bildiğim sevgili yol arkadaşım Sergen ERDOĞMUŞ'a,

Bu yola birlikte girdiğim kader ortağım Hilal AKSUNGUR BÜYÜKYEKDELİ'ye ve can dostum Aysu KAYA'ya,

Tez çalışmalarımın her aşamasında desteğini arkamda hissettiğim, bilgi ve tecrübesine hayranlık duyduğum Arçelik A.Ş, Malzeme Teknolojiler Ailesi Teknik Lideri Dr.Simge TARKUÇ'a ve Arçelik'in bana kattığı güzel insanlar; Bahar KAYA, Anaguli ABULIZI, Gizem DENİZKUŞU, Tuğçe KAYA'ya, deneysel çalışmalarımın farklı kilitleri çözen Hasan BOZKURT, Yunus Emre YÜCE ve Emre YAVUZTÜRK'e, çalışkan stajyerlerimiz Eda YARARLI ve Gülper YARARLI'ya, tüm alt yapı imkanlarını önüme seren Arçelik A.Ş Merkez Ar-Ge, Malzeme Teknolojileri Ailesi'ne,

Son olarak, yeni tanıdığım ama desteğini esirgemeyen KEAS ARGE Ekibi'ne sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. TEORİK BİLGİ VE LİTERATÜR ÖZETİ	4
2.1. Polimerler	4
2.1.1. Termoplastikler	6
2.1.1.1. Poliamit 12	8
2.1.2. Termosetler ve Elastomerler	11
2.2. Cam Bilyeler	12
2.3. Kompozitler	14
2.3.1. Metal Matrisli Kompozitler	15
2.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler	15
2.3.3. Polimer Matrisli Kompozitler	16
2.4. Toz Kaplama	19
2.4.1. Toz Kaplama Metodunun Avantaj ve Dezavantajları	20
2.4.2. Toz Kaplama Yöntemleri	21
2.4.2.1. Elektrostatik Püskürtme	22
2.4.2.2. Akışkan Yatakta Kaplama	23
3. MATERYAL VE METOTLAR	27
3.1. Kullanılan Malzemeler	27
3.1.1. Poliamit 12	27
3.1.2. Kalsit	28

3.1.3. Cam Bilyeler	29
3.2. Deneysel Çalışmalar	30
3.2.1. Toz Karışımlarının Hazırlanması	30
3.2.2. Akışkan Yatak ile Toz Kaplama Metodu	31
3.2.3. Kompozit Kaplamaların Hazırlanması	33
3.3. Karakterizasyon	36
3.3.1. Kalınlık Tayini	36
3.3.2. Parlaklık Tayini	37
3.3.3. Renk Tayini	38
3.3.4. Aşınma Miktarı Tayini	40
3.3.5. Çözücüye Dayanım Tayini	41
3.3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	44
4.1. Kullanılan Katkı Malzeme Çeşidinin Parlaklığa Olan Etkisi	44
4.1.1. Cam Bilyelerin Parlaklığa Olan Etkisi	45
4.1.2 Kalsitin Parlaklığa Olan Etkisi	53
4.2. Kullanılan Katkı Malzeme Çeşidinin Aşınmaya Olan Etkisi	54
4.2.1. Cam Bilyelerin Aşınmaya Olan Etkisi	55
4.2.2. Kalsitin Aşınmaya Olan Etkisi	58
4.3. Kullanılan Katkı Malzeme Çeşidinin Çözücüye Dayanıma Olan Etkisi	59
4.3.1. Cam Bilyelerin Çözücüye Dayanıma Olan Etkisi	60
4.3.2. Kalsitin Çözücüye Dayanıma Olan Etkisi	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
kcal	: Kilokalori
kV	: Kilovolt
μm	: Mikrometre
$^{\circ}$: Derece
%	: Yüzde
ΔE	: Renk değişimi
mm	: Milimetre
ΔP	: Akışkanlaşma basınç değişimi
L	: Akışka yatak uzunluğu
d_p	: Partikül boyutu
U_{mf}	: Minimum akışkanlaşma hızı
ε_{mf}	: Minimum akışkanlaşma boşluğu
ρ_g	: Yoğunluk
ϕ_s	: Partikül küreselliği
ABS	: Akrilonitril- Bütadien-Stiren
Al_2O_3	: Alüminyum Trioksit
Ağ.	: Ağırlıkça
ASA	: Akrilonitril Stiren Akrilat
ATH	: Alümina Trihidrat
BaO	: Baryum Oksit
BaTiO_3	: Baryum Titanyumoksit
CNF	: Karbon Nanoelyaf
CNT	: Karbon Nanotüp
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
EPDM	: Etilen Propilen Dien Monomeri
ETFE	: Etilen-Tetrafloroetilen
EVA	: Etilen Vinil Asetat
FEP	: Florlu Etilen Propilen

FFKM	: Perflorelastomerler
FKM	: Floroelastomerler
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HNT	: Hallosit Nanotüpler
LCP	: Sıvı Kristal Polimer
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
Li ₂ O ₂	: Lityum Oksit
MW-CNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
NS	: Nano Silika
Ort	: Ortalama
PA6	: Poliamit 6
PA6,6	: Poliamit 6,6
PA11	: Poliamit 11
PA12	: Poliamit 12
PAEK	: Poli (akril eter) keton
PAI	: Poli (amit imid)
PBI	: Poli (benzimidazol)
PBT	: Poli (bütilen tereftalat)
PC	: Polikarbonat
PE	: Polietilen
PEEK	: Poli (eter eter keton)
PEI	: Polieter İmid
PEMGB	: Poliester ile Modifiye Edilmiş Cam Bilye
PES	: Polieter Sülfon
PET	: Polietilen Tereftalat
PFA	: Polifloro Alkoksi
PFPE	: Perflor Polieter
PI	: Poliimid
PMMA	: Polimetilmetakrilat
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PPA	: Polifitalamit
PPE	: Polifenilen Eter

PPO	: Poli (p-Fenilen Oksit)
PPS	: Poli (fenilen sülfid)
PPSU	: Poli (fenil sülfon)
PS	: Polistiren
PSU	: Polisülfon
PTFE	: Politetrafloretilen
PVC	: Poli (vinil klorür)
SAN	: Stiren Akrilonitril
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum Karbür
Si ₃ N ₄	: Silisyum Nitrür
SiO ₂	: Silisyum Dioksit
SLS	: Selektif Lazer Sinterlemesi
TPE	: Termoplastik Elastomer
UMGB	: Modifiye Edilmemiş Cam Bilye
UP	: Doymamış Poliester Reçine
VOC	: Uçucu Organik Bileşenler

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Polimer piramidi.	4
2.2: Bazı termoplastik aileleri için mükemmellik piramidi.	7
2.3: Poliamit12'in kimyasal yapısı.	9
2.4: Poliamit 12'nin makro görüntüsü.	10
2.5: Polimer içerisindeki cam bilyelerin 2.5 K X'deki SEM görüntüsü.	12
2.6: Toz kaplama yöntemlerinin şematik gösterimi: a) Konvensiyonel kaplama, b) Elektrostatik püskürtme, c) Akışkan yatak.	22
2.7: Farklı akışkanlık rejimleri.	24
2.8: Hava akış hızının fonksiyonu olarak yatak rejimi değişiminin gösterimi.	25
2.9: Akışkan yatak ile toz kaplanmış ürünler: a) otomotiv parçası, b) su şebekesi boru hattı, c) süpermarket arabası, d) bulaşık makine sepeti.	25
3.1: Poliamit12 morfolojisinin 14 K X büyütmedeki SEM görüntüsü.	28
3.2: Kalsitin 1000 X'de çekilmiş mikroskop görüntüsü.	29
3.3: Cam bilyelerin 2 K X büyütmede SEM görüntüsü.	29
3.4: a)Akışkan yatak örnekleri, b) akışkan haldeki haznenin görüntüsü.	31
3.5: Akışkan yatak şematik gösterimi.	31
3.6: Çalışma parçasının akışkan yatak içerisindeki gösterimi.	32
3.7: Akışkan yatakta kaplama adımları.	33
3.8: Kaplanmış numune örneği.	34
3.9: a)Son ısıtması yapılmayan kaplamaların yüzey görüntüsü, b) yüzeyin daha yakından görüntüsü.	35
3.10: Akışkan yatakta kaplama için gerekli adımların fotoğraflarla gösterilmesi.	35
3.11: Bulaşık makinesi sepetini oluşturan tellerin mikroskop görüntüsü a) 3mm'lik tel, b) 4mm'lik tel, c) 7 mm'lik tel.	36
3.12: Kaplama kalınlık ölçme cihazı.	37
3.13: Parlaklık ölçme cihazı.	38
3.14: Renk ölçüm cihazı.	39

3.15:	L,a ve b değerlerinin ifade ettiği renklerin iki ve üç boyutlu olarak gösterilmesi.	40
3.16:	Aşınma cihazı.	40
3.17:	Çözücüye dayanım test düzeneği.	41
3.18:	Taramalı elektron mikroskopu.	42
4.1:	Değişen UMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk kalınlık ve ortalama parlaklık değerlerinin grafiği.	45
4.2:	Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamaların artan cam bilye miktarına göre parlaklık değişiminin fotoğraflanması: a) %0 UMGB, b) %3 UMGB, c) %5 UMGB, d) %7 UMGB, e) %10 UMGB.	46
4.3:	Değişen modifiye edilmemiş cam bilye miktarı ile hazırlanmış kompozit kaplamaların 500 X'de kesit çekilmiş yüzey ve 5 K X'de çekilmiş yüzey SEM görüntüleri: kesit görüntüleri a) ağ. %0, b) ağ.%3, c) ağ.%5, d) ağ.%7, e) ağ. %10, yüzey görüntüleri f) ağ.%0, g) ağ.%3, h) ağ.%5, i) ağ.%7, i) ağ.%10.	48
4.4:	Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk kalınlık ve ortalama parlaklık değerlerinin grafiği.	49
4.5:	%100 PA12 a), ağ. %10 UMGB b), ağ. %10 PEMGB c) katkı kaplamaların sırasıyla 5.0 K X, 5.0 K X ve 4.5 K X büyütmeden çekilmiş yüzey SEM görüntüleri.	50
4.6:	Değişen poliester ile modifiye edilmiş cam bilye miktarı ile hazırlanmış kompozit kaplamaların 500 X'de kesit çekilmiş yüzey ve 4.5 K X'de çekilmiş yüzey SEM görüntüleri: kesit görüntüleri a) ağ.%0, b) ağ.%10, c) ağ.%13, d) ağ.%15, yüzey görüntüleri, e) ağ.%0, f) ağ.%10, g) ağ.%13, h) ağ.%15.	51
4.7:	Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının parlaklıklarının değişiminin fotoğraflanması: a) %10 PEMGB, b) %13 PEMGB, c) %15 PEMGB.	52
4.8:	Değişen CaCO ₃ miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk kalınlık ve ortalama parlaklık değerleri.	54
4.9:	Değişen UMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk ve son kalınlık ve ortalama aşınma miktarı değerlerinin grafiği.	55

4.10:	Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk ve son kalınlık ve ortalama aşınma miktarı değerlerinin grafiği.	57
4.11:	Değişen CaCO ₃ miktarına göre hazırlanmış kaplamaların ortalama ilk ve son kalınlık ve ortalama aşınma miktarı değerlerinin grafiği.	59
4.12:	Referans ve PA12-UMGB kompozit kaplamalarının çözücüye dayanım sonrasındaki değişimin görüntüleri.	60
4.13:	Değişen UMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların renk değişim grafiği.	61
4.14:	Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların çözücüye dayanım sonrasındaki değişimin görüntüleri.	62
4.15:	Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların çözücüye dayanım değişim grafiği.	64
4.16:	%100 PA12 (referans) ve ağ. %10 CaCO ₃ miktarı ile hazırlanmış kaplamaların çözücüye dayanım sonrasındaki değişimin görüntüleri.	65

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Çalışmada kullanılan toz hammaddeler.	27
3.2: Hazırlanan kompozisyonlar içindeki hammadde miktarları.	30
3.3: Renk uzaklıklarının değer tablosu.	39
4.1: Poliamit kaplamaların değerlendirme testleri ve sınır değerleri.	44
4.2: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve standart sapma değerleri.	47
4.3: Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve standart sapma değerleri.	52
4.4: PA12, UMGB-PA12 ve PEMGB-PA12 ile oluşturulan kaplamaların ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve standart sapma değerleri.	53
4.5: Değişen CaCO ₃ miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve sapma değerleri.	54
4.6: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk ve son kalınlık değerleri, aşınma miktarları ve standart sapma değerleri.	56
4.7: Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk ve son kalınlık, ortalama aşınma miktarı ve standart sapma değerleri.	57
4.8: %100 PA12 ve aynı oranda (%10) katkılandırılarak hazırlanmış UMGB ve PEMGB kompozit kaplamalarının ortalama aşınma miktarları ve ortama parlaklık değerleri.	58
4.9: Değişen CaCO ₃ miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk ve son kalınlık değerleri ve aşınma miktarları.	59
4.10: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının çözücüye dayanım sonrası ΔE ve standart sapma değerleri.	62
4.11: Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının çözücüye dayanım sonrası ΔE değerleri.	63
4.12: Değişen CaCO ₃ miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının çözücüye dayanım sonrası ΔE değerleri.	65

1.GİRİŞ

Kaplama, genel olarak, dekoratif, koruyucu ve fonksiyonel amaçlı bir malzemenin yüzeyine bir organik kaplamanın uygulanabilmesi için kullanılan bir terimdir [1].

Kaplamaların fonksiyonel olarak gösterdiği üstünlükler sebebiyle, kaplama teknolojisi son yıllarda hızlı bir gelişme göstermektedir. Bazı durumlardan maliyet artışına sebep olsa da malzemelerin kullanım ömürlerinin artmasıyla, dezavantaj avantaja çevrilmiş olur. Günümüzde modern yüzey teknolojilerinin esas amacı da tam olarak kullanım ömürlerinin artırılması, buna uygun dekoratif ve fonksiyonel yüzeylerin geliştirilmesini sağlamaktır. Özellikle metallerin çalışma alanlarına bakıldığında tahrip olma olasılıkları oldukça fazladır [2]. Bu sebeple metal yüzeyler üzerine kaplama yapmak ihtiyaç haline gelmiştir.

Metalik cisimler üzerine kaplanan polimerik tozlar, korozyondan korunması, elektrik yalıtımının sağlanması ve dekoratif yüzey sağlanması amaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Mühendislik plastikleri, son yıllarda gelişme gösteren en önemli malzemelerden biri haline gelmiştir. Kullanılan polimer malzemeler etkili koruma sağlanması sebebiyle endüstriyel uygulamalarda geniş yer tutmaktadır [4].

Metal yüzeylerin kaplanmasında, sıvı (sprey kaplam, daldırarak kaplama, rulo kaplama, kumlama, elektro kaplama) ve toz boya (elektrostatik spre, akışkan yatakta kaplama ve elektrostatik-akışkan yatakta kaplama) olarak iki uygulama tekniği bulunmaktadır [1].

Günümüzde solvent esaslı boyalar yerini toz boyalara bırakmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise solvent esaslı boyalarda bulunan pigment ve diğer katkıların toz boya yönteminde kullanılmamasıdır [3-5]. Toz boya uygulaması için elektrostik spre ve akışkan yatak oldukça fazla kullanılmaktadır. Geleneksel bir akışkan yatak, gözenekli bir plakadan veya membrandan, kuru hava ve toz ile dolu tanktan oluşur. Hava, tozu askıya alır ve hacmini artırır. Böylece toz bir sıvı gibi davranır. Kaplanacak olan altlık malzeme, daldırılacak olan tozun ergime noktasının üzerindeki sıcaklıkta önceden ısıtılır ve birkaç saniye boyunca toza daldırılır ve üzerinde kaplamaya katkı sağlamamış olan tozlar silkelenerek uzaklaştırılır. Yüzeydeki filmin sürekliliği ve

kalınlık artışı sağlanması için ikinci bir ısıl işlem uygulanır. Ardında hızlı bir soğutma ile kaplama işlemi tamamlanmış olur.

Toz kaplamalarda kullanılan termoplastik malzemeler arasında amorf olarak, polietersülfon (PES) ve polieterimid (PEI); yarı kristal olarak, poliamit (PA), poliimid (PI), polietereterketon (PEEK), polifenilen sülfid (PPS) bulunmaktadır [4]. En yoğun çalışmalar ise PA, polibütillen tereftalat (PBT) / polietilen tereftalat (PET) ve polipropilen (PP) gibi düşük sıcaklıklarda kullanılan polimerler üzerine yapılmıştır [4].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İeriği

Bu tez çalışmasında hedef ürün olarak bulaşık makine sepeti telleri belirlenmiştir. Mevcut çalışmalarda, bulaşık makine sepeti altlık malzemesi olan, düşük karbonlu çelik plaka yüzeyleri, poliamit 12 (PA12) ile akışkan yatak kullanarak kaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında PA 12 esaslı kompozit kaplamalar akışkan yatak kullanılarak yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kompozit bir kaplama oluşturmasının öncelikli sebebi maliyet avantajı sağlamaktır. Maliyet iyileştirirken, aynı zamanda, incelenen (kalınlık, parlaklık, aşınma direnci ve çözücüye dayanım miktarı) özelliklerde kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmak da hedeflenmiştir.

PA12'nin tercih edilmesinin nedeni su emme kapasitesinin düşük, korozyon ve aşınma direnci yüksek olmasıdır [6]. Genel olarak uygulama alanlarına, beyaz eşyalar (bulaşık makine sepetleri, buzdolabı rafları), metal-tel parmaklıklar (çitler), petrol ve gaz boru hatları, sokak mobilyaları (metalik aydınlatmalar, direkler, banklar) ve yangın söndürücüler örnek verilebilir [3].

Katkı olarak kullanılan cam bilye korozyona, lekelenmeye ve aşınmaya direnci özellikleri sebebiyle tercih edilmiş olup, akışkanlaştırma kalitesini de arttıracığı öngörülmüştür [6]. Kalsit ise, cam bilyeden daha ucuz olup, hem pahalı plastikler yerine ikame hem de organik polimerler için uygun dolgu maddelerinden biri olarak kabul görmektedir [7].

Literatürde ve endüstride PA12 kaplamaların akışkan yatak ile yüzeyler kaplandığı bilinmektedir [1-8]. Bu tez kapsamında da PA12 ile hazırlanan kaplamalar referans kabul edilip, PA12, cam bilye ve kalsit tozları ile kuru harmanlanarak, düşük karbonlu çelik yüzeyler üzerine akışkan yatak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.

PA12 ile yapılan kompozit örneklerinin genellikle SLS yöntemi ile yapıldığı tespit edilmiştir [9-10-11-12]. PA12 kompozit kaplamaların hazırlanmasına 2005 yılında Arkema yapılmış bir patent dışında [6], hiçbir çalışma bulunmamaktadır. 2005 yılında yapılan çalışmada PA12 ve modifiye edilmemiş cam ve seramik bilye kullanarak akışkan yatakta kaplamalar hazırlanmış ve sadece yüzey pürüzlüğü ölçülmüştür. Bunun dışında hiçbir ölçüm yapılmamıştır.

Bu çalışmada iki çeşit cam bilye (modifiye edilmemiş ve poliester ile modifiye edilmiş) ve kalsit katkı olarak kullanılmıştır. Katkı türünün ve miktarının kaplamaların kalınlıklara, parlaklıklara, aşınma miktarlarına ve çözücüye dayanımına etkisi detaylıca incelenmiştir. Katkı türünün ve miktarının, incelenen tüm özellikleri etkilediği gözlenmiştir. Bu da bu tezin özgünlüğü oluşturmaktadır.

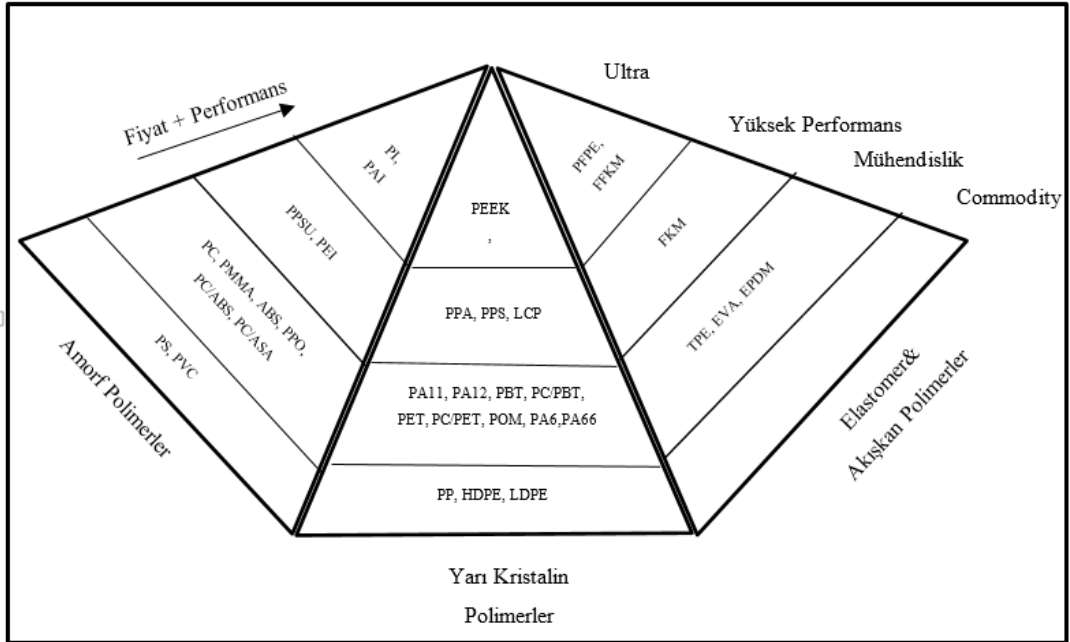


2. TEORİK BİLGİ ve LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölüm tez çalışmasının dayandığı temel teorik bilgilere ayrılmıştır. Çalışmanın anlaşılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Genel olarak polimerler, cam bilyeler, kompozitler, toz kaplama ve metotları için yararlanılan literatür çalışmalarından örneklere değinilmiştir.

2.1. Polimerler

Polimerlerin gelişimi 1930'lu yıllarından başlamış olup, günümüzde hayatın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Giyim, ev yapılı ürünleri, ambalajlama, taşıma, fotoğrafçılık, sağlık ve daha birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Etrafımıza dikkatlice baktığımızda bu örnekleri daha da çoğaltmak mümkündür. Polimerler, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, fiyat-performanslarına, tüketim seviyelerine, fiziksel durumlarına göre sınıflandırılmaktadır [4]:



Şekil 2.1: Polimer piramidi.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte polimer özelliklerinin geliştirilmesine imkân bulunmaktadır. Bu gelişimin en yaygın olan yollarından biri ise polimer kompozit malzemelerin hazırlanmasıdır [13].

Polimerler, metallere göre daha hafif, dekoratif olarak kullanılabilen, kimyasal açıdan inert, korozyona karşı direnci olan ve birçok değişik amaç için kullanmaya yatkın malzemelerdir [2-13]. Bu üstün özellikleri sayesinde günümüzde sayısız uygulamada kullanılmaktadır [14]. Yalnızca kimyagerlerin değil; makine, kimya, tekstil ve endüstri mühendislerinin de ilgisini çeken materyallerdir [13].

Polimerik sistemler, hafif ve çoğu zaman sünek özelliği sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerler, metaller ve seramiklerle karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma sahiptir. Ancak geliştirilmek istenen özellikleri, polimer matrisli kompozitlerle sağlanabilir. Bunun için de dolgu maddeleri olarak fiberler, parçacıklar veya trombositler eklenebilir [9].

Polimer malzemeler her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Tıp, biyokimya, biyofizik ve moleküler biyoloji alanlarında da yeri ve önemi büyüktür. Tıbbi cihazlar, yakıt hücreleri ve yeni teknolojik cihaz ve makinelerde kullanılan metal parçalar, gün geçtikçe yerini polimerden yapılmış parçalara bırakmaktadır [13-15]. Düşük ağırlıkları, havaya ve aşınmaya karşı dirençli olmaları ve ekonomik üretimleri sayesinde, yiyecek ve içecek kaplarından geleneksel ekipmanlara, otomobil bileşenlerinden yapı bileşenlerine kadar çeşitli ürünlerde kullanım için cam, metal ve ahşap malzemelere alternatif olarak kullanılmaktadır [15].

Bunun yanı sıra kaplama teknolojilerinde de yükselen bir trende sahip olduğu görülmektedir. Geleneksel organik kaplamalar, hidrokarbonlar (hekzan, toluen, ksilen), ketonlar (aseton), alkoller (metanol, etanol, sikloheksanol) ve esterler (etil asetat) gibi uçucu organik bileşikleri (VOC) içerir. Uçucu organik bileşenlerin çevre dostu olmadığı bilinmektedir ve bu konuda farkındalık yaratmak için VOC kullanımını azaltmak bir ihtiyaç haline gelmiştir [16]. Çözüm olarak kaplamadaki çözücü oranını sıfıra indirmek ya da organik çözücüyle suyla değiştirmek seçilebilir. Bu durumda su esaslı kaplamalara olan talep artmıştır [16]. Başka bir yaklaşım ise çözücü içermeyen toz kaplamaların kullanılmasıdır. Bu tür kaplamalar, VOC azaltımına giden en iyi yoldur. Bu nedenle, çelik direkler için poliester toz kaplaması ile çevre dostu ve korozyona dayanıklı destek malzemeleri geliştirilmiştir ve böylece doğal ortamın sebep olduğu hasarın önüne geçilmiştir [16].

Polimerler çeşitli özelliklere sahip oldukları için geniş bir sınıflandırma yapılmaktadır. Fiziksel durumlarına göre (amorf, yarı kristalin), kaynağına göre (doğal ve sentetik), yapısına göre (organik ve inorganik), makromolekül zincir yapılarına göre (düz, dallanmış, çapraz bağlı ve ağ yapısı), ısıl davranışlarına göre (termoplastik ve termoset), uzaydaki yapılarına göre (izotaktik, ataktik ve sindiotaktik), sentez yöntemine göre (kondenzasyon ve katılma) ve monomer çeşitlerine göre (homopolimer ve kopolimer) olmak üzere 8'ye ayrılır [13]. Isıl özelliklerine göre temelde 2 ayrı gruba ayrılırlar ve bunlar termoplastikler ve termosetlerdir. Termoplastikler düz zincirli termosetler ise çapraz bağlı zincirli polimerlerdir. Bu sebepten ısıtıldıktan sonraki davranışları farklıdır. Termosetler çapraz bağları sebebiyle tekrar ısıtıldıklarında şekil değiştirmez ve yumuşamazlar. Ancak termoplastikler tam tersi bir davranış sergiler. Isıtılıp soğutulduktan sonra tekrar ısıtılıp kalıplanmaya ve şekil vermeye uygundur [13-17].

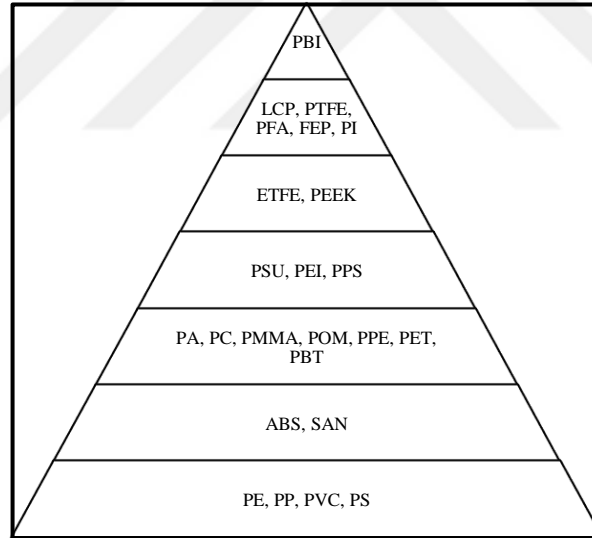
2.1.1. Termoplastikler

Termoplastikler, ısıtıldıklarında yumuşayan, soğutulduklarında tekrar sertleşen plastik grubudur. Termoplastik polimerlerin zincirleri doğrusal veya dallanmış yapıda olabilir. Zincir içerisinde kovalent, zincirler arası Van der Waals, dipol-dipol ve hidrojen bağlarına sahip molekül yapısına sahiptirler [4]. Isı etkisiyle eritilerek yeniden şekillendirilebilen, birden fazla ısıtma ve soğutma çevrimine dayanabilen, ciddi hasar oluşmadan yeniden işleme ve geri dönüşüme izin veren polimerler için kullanılan genel kavramdır [4-17].

Polimer zincirlerini çapraz bağlar değil, Van der Waals bağları (London kuvvetleri) (0-1,5 kcal/mol), polar etkileşimler (1,5-3 kcal/mol) ve hidrojen bağları (3-7 kcal/mol) bir arada tutar. Polimerler arasındaki ikincil etkileşimler çözücü veya ısı etkisi ile kırılabilirler. Bu sayede uygun çözücü çözülebilir ve uygun sıcaklıklarda rahatça erirler [4].

Polietilen, polistiren, poli (vinil klorür), poli (etilen teraftalat), poliamitler, poli (hekzametilen adipamit), polipropilen; ticari termoplastiklerden bazılarıdır [18]. Termoplastikler, gibi, performanslarına, tüketim seviyelerine ve özgülük derecelerine göre sınıflandırılmaktadır [4]:

- Polietilen (PE), PP, Polivinilklorür (PVC), Polistiren (PS): ticari termoplastikler,
- Akrlonitril-Butadien-Stiren (ABS), Stiren Akrlonitril (SAN): daha özel uygulamaları olan kopolimerler,
- PA, Polikarbonat (PC), Polimetilmetakrilat (PMMA), Polioksümetilen (POM), Polifenilen Eter (PPE), PET, PBT: mühendislik termoplastikleri,
- Polisülfon (PSU), PEI, Polifenilen Sülfür (PPS): daha özel performanslara sahip mühendislik termoplastikleri,
- Etilen-tetrafloroetilen (ETFE), PEEK: ileri teknoloji kullanımlar için sınırlı tüketim,
- Sıvı Kristal Polimer (LCP), Politetrafloroetilen (PTFE), Perfloroalkoksi (PFA), Florlu Etilen Propilen (FEP), polimitler (PI): ileri teknoloji kullanımları için daha sınırlı tüketim,
- Polibenzimidazol (PBI): yüksek oranda hedeflenmiş kullanımlar ve çok sınırlı tüketim (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Bazı termoplastik aileleri için mükemmellik piramidi.

Termoplastikler, plastik bardaklar, oyuncaklar, tükenmez kalem gövdeleri, şişe kapakları, çöp ve alışveriş poşetleri gibi ürünlerin yapımında kullanılır. Bununla beraber toz kaplama teknolojilerinde de kendini göstermektedirler. Üretilen ilk toz kaplamalar termoplastik polimerlerden yapılmıştır. 1950'lerin başından beri, hammadde olarak kullanılabilmesi, birçok farklı uygulama için kabul edilebilir

özellikleri ve basit imalat ve uygulama yöntemlerine sahip olması bu kaplamaları piyasadaki popülerliğine katkıda bulunmaktadır [19].

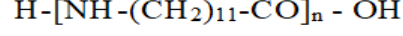
Bu ürünlere örnek vinil kopolimerler, poliamitler ve floro polimerler gösterilmektedir [20]. Isıl kararlılık istenildiği durumlarda PP ve poli(fenilen oksit); ışık geçirgenliğinin önemli olduğu yerlerde, optik özellikleri iyi olan PS ve PMMA; üstün kimyasal direnç ve yüksek sürtünme direnci beklenen alanlarda ise PTFE kullanımı uygundur [19].

Son yıllarda, polimer mühendisliği alanında yapılan çalışmalar, termoplastiklerin metal yerine kullanılmasının önünü açmıştır. Aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli dolgu malzemeleri kullanılmaktadır [21]. Bu katkılar organik olabileceği gibi inorganik katkılar da olabilir. Kei Shibata ve arkadaşları cam bilye takviyelendirilmiş termoplastik kompozitlerin tribolojik davranışları üzerine çalışmıştır [21]. Bu çalışmalarında dört cam formu kullanılmıştır: cam fiberler, içi boş cam bilyeler, içi dolu (katı) cam bilyeler ve cam gevrekleri. Sonuçlar, cam fiber ve katı cam bilye katkılı kompozitlerin en düşük aşınma direnci; içi boş cam bilye katkılı kompozitin ise en yüksek aşınma direnci gösterdiğini bildirmiştir [21].

Otomotiv endüstrisinde, araç ağırlığını azaltma amacıyla araştırmalar artarak devam etmektedir [22]. Polimerlerin, yapısal parçalarda istenen mekanik özelliklere sahip olmaması sebebiyle, elyaflarla (cam, karbon, aramid vb.) veya inorganiklerle (cam bilyeler, pudra, kalsiyum karbonat vb.) takviye edilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır [22]. Dolgular, nihai kompozit yoğunluğunun arttırarak, maliyet azaltma ve beklenen performans değerlerine katkı sağlamaktadır.

2.1.1.1. Poliamit 12

Poliamitler, peptit bağları tarafından bağlanmış monomerlerin bir araya gelip oluşturduğu, yarı kristalin polimerlerdir. Poliamitlerin amid grupları (-CO-NH-) makro moleküllerin zincirleri arasında hidrojen bağları oluşturur (Şekil 2.3). Bu sayede kristalliğe teşvik edilmiş olup, en yüksek boyutsal kararlılık ve kimyasallara karşı direnç sağlanır [1]. Poliamit 12, poliamitler içerisinde en düşük amid konsantrasyonuna sahiptir [1]. Dolayısıyla bağ yapacak olan NH grubu konsantrasyonunun az olması nem emilimini azaltır.



Şekil 2.3: Poliamit12'in kimyasal yapısı.

PA12 tozlarının gösterdiği üstün özelliklerden bazıları şunlardır:

- Yüksek tokluk,
- Yağlara, yakıtlara, hidrolik sıvılar, neme, alkalilere, tuzlu su çözeltilerine dirençli olması,
- Birçok çözücüye karşı dirençli olması,
- Kimyasallara maruz kalsa bile çok iyi gerilme direnci,
- Kuru çalışırken bile düşük kayma sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci,
- Ses ve titreşim sönümlenme.

Geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmasını sağlayan diğer fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri ise:

- Metallerle iyi yapışma,
- Yüksek mekanik dayanım, elastikiyet ve yüzey sertliği,
- Düşük su emme ve su buharı geçirgenliği,
- Deterjan içeren sularda bile yüksek direnç,
- Düşük ısı iletkenliği,
- İyi elektriksel yalıtımı,
- Gıda yasalarına göre güvenli,
- Temizlemesi kolay yüzeylere sahip olmasıdır [1].

PA 12, toz formda kullanılan termoplastiklerin başında gelmektedir ve bu tozlar özel bir fiziksel işlemle, laurilaktamın yoğunlaşma polimerizasyonu ile üretilir. Neredeyse yuvarlak bir geometriye sahiptir (Şekil 2.4) [1]. Bu nedenle kaplama teknolojilerinde fazlasıyla tercih edilir [1].

polimerin sünekliğini zayıflattığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar ışığında, PA6'nın özelliklerinde en uygun değer için karışımlar belirlenmiştir: %20 pudra dolgusu %80 PA6 ya da ağırlıkça %20 pudra+%10 cam bilye+%70 PA6 karışımı. Ancak her durumda dolgu maddelerinin eklenmesi ile polimer malzemenin esnekliğinde düşüşler görülmüştür [26].

Arkema firması da bu konuda bir buluş başvurusu bulunmaktadır [6]. Bu buluş kapsamında hacimce %99-65 oranında PA12 ve %1-35 oranında cam bilye karışımları kullanılmıştır. Bu buluşun atak ettiği ürün ise bulaşık makinesi sepetleridir. PA12 ile içi boş cam bilye kuru olarak karıştırılmıştır ve akışkan yataкта kaplama yöntemi ile kaplanmıştır [6]. Elde edilen pürüzlü kaplamaların kurutma performansını arttırdığı ve cam bilyelerin akışkan yataktaki akışkanlık kalitesini arttırdığı saptanmıştır [6].

2.1.2. Termosetler ve Elastomerler

Termosetler, termoplastiklerden farklı olarak, zincirler arası yoğun çapraz bağ bulundurur ve ısı ile eritilemeyen polimerlerdir. İçerdikleri çapraz bağ sebebiyle serttirler, çözücülerde çözünmezler ve yeterince yüksek sıcaklıklarda direkt olarak bozunurlar. Fenol formaldehit, üre-formaldehit, melamin formaldehit polimeri en çok bilinen termoset örnekleridir. Bu polimerlerin polimerizasyonu genelde iki aşamada tamamlanır ve nihai ürün eldesi sağlanır. İlk aşamada mol kütlesi 500-5000 arası değişen düşük mol kütleli doğrusal bir polimer hazırlanır. Buna da ön polimer adı verilir. Ardında ön polimer içerisine boya gibi çeşitli katkı maddeleri eklenir ve viskoz sıvı görünümünde karışım elde edilir. İkinci aşamada uygun kalıplara konularak; radikalik başlatıcılar, ısı ve ışın gibi etkilerle çapraz bağlı yapıya dönüştürülür ve kullanılabilir bir termoset malzemesi elde edilir. Bu viskoz sıvıya da reçine denir. Bu isimlendirme sebebiyle termoset polimerlerden ziyade termoset reçineler tanımı daha yaygın kullanılmaktadır. Örneğin; telefon kutuları, melamin tabaklar, televizyon kabinleri, bilgisayar klavyesi termosetten yapılmış ürünlerdir. Bu malzemelerin eritilip yeniden şekillendirilmesi mümkün değildir [18].

sebebiyle, bazı uygulamalarda, reçine miktarının azaltılmasını sağlamaktadır [29]. Ek olarak, çok kere belirtilmiş olan akışkanlığa etkisi, yüklenen dolgu miktarı ile değişmektedir. Yüksek dolgu miktarı daha iyi akış sağlayabilir. Akışkan yatakta toz akışını iyileştirmek için kullanıldığı yapılan çalışmalardan bilinmektedir [6]. Elde edilen genel sonuçlar göre, kullanılan kimyasallara göre, daha az toksik ve çevre dostu modifikasyon olarak kullanılmaktadır [29].

Cam küreler, yansıtıcı yol boyası olarak da kullanılmaktadır. 1930 yıllarının sonunda, 3M şirketi, hurda pencere camından yapılmış olan katı cam bilyeleri otoyol boyalarına katılmak üzere üretmiştir [3].

Cam bilye katkılanmış naylon tozun mekanik özellikleri incelendiğinde, kopmada iyi bir uzama ile birlikte mükemmel sertlik sağlamaktadır [10]. Derin çekme kalıplarında ve otomobillerin motorlarında kullanılmak üzere cam bilye dolgulu naylon tozları kullanımı daha iyi parça eldesi sağlanır. Bu katkılandırma sayesinde daha fazla sağlamlık gözlemlenir. Gelişmiş mühendislik termoplastiklerin de üretim amaçlı sert parça talebi olduğunda prototipleşmesi mükemmeldir. Cam bilye ve cam elyaf harici dolgu malzemelerinin eklenmesi sertliği artırırken, parça mukavemetini arttırmamaktadır [10].

R.J.K. Wood'un yaptığı bir çalışmada ise Poliamit11 (PA11) kaplı, karbon çeliği enjektör boruların tribolojik özelliklerini incelenmiştir. Bu kapsamda 6 µm'luk küresel cam bilyeler kullanılarak mikro aşınma testi yapılmıştır. Ancak cam bilyelerin gömülmesi sebebiyle yorumlama zorlaşmış ve aşınma miktarının krater derinliğinin bir fonksiyonu olarak değiştiği anlaşılmıştır [30].

Yaygın olarak kullanılan bir diğer sektör ise otomotiv sektörüdür. Son yıllarda içi boş cam bilyelerin kullanımı oldukça genişlemiştir. Bunun en büyük sebebi hafiflik sağlarken hacimsel olarak bir fayda sağlamasıdır [31]. Ayrıca fiziksel özelliklerinden kayıp yaşamadan, daha düşük yoğunluğa sahip plastiklerin üretilmesine fırsat tanımaktadır [32]. M. Delogu ve arkadaşları da otomotiv sektörüne yönelik yenilikçi çözümlerin, içi boş cam bilyeleri kullanmaktan geçtiğini ifade etmektedirler [33].

Günlük yaşantıda ise kendini bulaşık sepeti kaplamalarında göstermektedir. Tozlar kuru olarak harmanlandıktan sonra akışkan yatakta kaplanmaktadır. Mevcutta PA12 ile kaplanan bulaşık makine sepetlerinin kurutma performanslarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ek olarak akışkanlaştırma kalitesinin de artacağı ön görülmüştür [6]. Yapılan çalışmalarda içi boş cam bilyelerin, çarpılma ve büzülmeyi

azalttığı, reolojik özellikleri değiştirdiği, hafiflik sağladığını ve maliyet iyileştirdiği bilinmektedir [34]. Bunlar dışında da avantaj sunmaktadır: Eriyikten daha hızlı soğutma hızı ve bununla beraber yüksek verimlilik, mekanik özelliklerinde kayıp olmadan ağırlık azaltılması, boyutsal kararlılık, termal iletkenlik ve dielektrik sabitinin azaltılması, sertlik ve ısıl bozulması direncinin artırılması gibi [31].

2.3. Kompozitler

En az iki farklı malzemenin mikro ya da makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir.

Kompozit malzemelerde iki farklı amaçla dolgu maddesi kullanılmaktadır. Bunlardan biri mekanik özellikleri (hafiflik, esneklik, aşınma, vb.) iyileştirmek, diğeri ise maliyet düşürmektir [35-36].

Kompozitler, matris yani ana malzeme ve takviye elemanlarından oluşur. Yapı içerisinde her iki malzeme grubunun görevleri farklıdır. Genellikle, takviye edici malzemeler, kompozitin mukavemet ve yük taşıma özelliğini; matris malzemeler ise plastik deformasyona geçişte görebileceği zararı önleyici görevini üstlenir. Kompozitlerin taşıdığı özelliklere, uzun ömürlü olmaları, hafiflikleri, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları gibi üstün özellikleri sayesinde çeşitli sektörde yer almaktadır. Bu özellikleri ile her sektörün farklı beklentisi olmasına rağmen bunların çoğuna cevap verebilir haline gelmiş malzemelerdir [35]. Yaygın olarak kullanılan sektörler:

- Uzay teknolojisi
- Otomotiv sektörü
- Denizcilik sektörü
- Tıp teknolojisi
- İnşaat ve yapı sektörü
- Gıda ve tarım sektörü
- Kimya sektörü
- Elektrik ve elektronik teknolojisi vb.

Kompozitlerin sınıflandırılması matris tipine ve takviye tipine göre yapılır. Matris tipine göre; metal matrisli, seramik matrisli ve polimer matrisli olarak, takviye tipine göre elyaflı, parçacıklı ve tabakalı olarak sınıflandırılmıştır [35-37].

2.3.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metaller saf halde yumuşak ve düşük mukavemetlidirler. Ancak alaşımlandırarak, sıcak-soğuk şekillendirilerek mukavemeti yükseltilebilirler. Metal matris kompozitler, endüstriyel uygulamaları büyümeye devam eden çekici malzemelerdir. Ana metal (örnek: Alüminyum, çelik, bakır), takviye şekli (örn. Lifler, parçacıklar) ve takviyelerin tipi (örnek: Karbürler, nitrürler) nedeniyle çok sayıda olasılığı kapsayan bu malzeme sınıfı imalat işlemi olarak (örneğin ötektik katılma, toz metalurjisi, karıştırma döküm), yüksek gerilme ve yorulma özellikleri dahil olmak üzere mekanik ve fiziksel özellikler açısından önemli gelişmelere yol açabilir [36].

Bazı metallerin lif veya taneciklerle takviyelendirilmesiyle kompozitler yapılır. Örneğin tungsten alaşımından yapılan liflerle takviyelendirilmiş metal alaşım kompozitleri 1000°C gibi yüksek sıcaklara dayanabilmektedir ve bu kompozitler jet motorlarında kullanılmaktadır [37].

2.3.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramikler ise düşük yoğunluklu, mukavemetli ve sert malzemeler olmasına rağmen gevrektiler. Kırılgan olmaları sebebiyle güvensizlik yaratabilirler. Ancak yüksek termal ve kimyasal dayanımları sebebiyle birçok alanda da tercih edilmektedirler [37]. Aynı zamanda yüksek maliyetlere sahip oldukları için kompozit uygulamaları tercih edilebilmektedir.

Seramik kompozitler, genellikle, lityum oksit (Li_2O_2), alümina (Al_2O_3), silika (SiO_2), baryum oksit (BaO) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) gibi matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok Al_2O_3 , silisyum karbür (SiC) ve Si_3N_4 kullanılır [37].

2.3.3. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimerler, üretim kolaylığı, hafiflik ve çoğu zaman sünek niteliği sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerler, metal ve seramiklerle karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma sahiptirler [11]. Bunlar dışında hedeflenen özelliklerin (fiziksel, mekanik, termal, manyetik, elektrik veya optik) geliştirilmesi amacıyla organik veya inorganik dolgular ihtiyaç duyulmaktadır [9-38]. Kompozit üretiminde termoplastikler, termosetler ve elastomerler dahil olmak üzere pek çok polimer çeşidi kullanılmıştır ve kullanılmaya da devam edilmektedir [11].

Parçacık dolgulu polimer kompozitler genellikle düşük maliyetlere sahiptirler ve ev, otomobil ve elektrik endüstrisinde kullanımı, bu sebeple, cazip hale gelmiştir. Genel olarak bu polimer kompozitlerin mekanik özellikleri, matris polimerdeki dolgu parçacıkların boyutuna, şekline ve dağılımına bağlıdır. Bu özelliklere bağlı olarak ara yüzeye yapışma kabiliyeti değişir ve dolayısıyla mekanik özellikleri değişir [10].

Kompozit yapı için organik veya inorganik dolgular sıkça kullanılmaktadır [9-38]. Polimer uygulamalarında en yaygın kullanılan minerallerden biri de kalsiyum karbonattır [39]. Artan maliyetler sebebiyle ucuz dolgu malzemeleri el üstünde tutulmaktadır ve kalsiyum karbonat da bunlardan biridir. Tüketiminin çok olması doğadan direkt olarak sağlanabilmesi, işlevsel olması, toksik olmaması ve düşük maliyetler sahip olmasıdır. Yapılan araştırmalarda dünya tüketiminin yılda on milyon tonun üzerinde olduğu saptanmıştır. Termoplastikler, termosetler ve elastomerlerde içerisinde sıkça kullanılmaktadır [39].

Baltus Cornelius Bonse ve arkadaşının yaptığı bir çalışmada, çift vidalı ekstruder kullanılarak ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranlarında kalsit, PA6 ile karıştırmıştır. Yapılan CaCO_3 -PA6 kompozitlerinin gerilme ve eğilme dayanımları kontrol edilmiştir. Mineral dolgulu kompozitler, polimerlerin daha kolay katılmasına, boyutsal kararlılığa ve maliyet azaltması sayesinde polimer işleme endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Bunların yanı sıra, bu çalışmada da olduğu gibi, eriyik akışı ve bazı mekanik özellikleri iyileştirme konusunda başarı sağlamaktadır. Eklenen CaCO_3 ile birlikte çekme dayanımı, çekme modülü ve eğilme dayanımlarında artış gözlenmiştir. Ancak bu özelliklerinde artmasıyla birlikte, polimer zincirlerinin hareketliliğini azalttığı görülmüştür [40].

Polimer kompozitleri hakkında birçok çalışma olduğunu bilinmektedir ve lazer sinterlenmesi için ticarileştirme çalışmaları olmuştur. Bu yöntemde polimer ve takviye parçacıklar arasındaki morfoloji ve yoğunluk farkı, homojen bir karıştırma sağlamak için önemli iki parametredir. Bunun dışında akışkan yatak metodu sıkça kullanılan yöntemlerdendir [12].

Polimer kompozitlerin (özellikle naylon esaslı), cam elyaf ve cam bilye ile farklı hacimlerde karıştırılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır [10]. Bu çalışmalar, birçok eklemeli üretim metodları ile uygulanabilmektedir. Bilgisayarla kontrol edilen, yüksek güçlü bir lazerin bir arada eritilmesi veya sinterlenmesi ile çalışan seçici lazer sinterleme (SLS) bunlardan biridir. İnce bir toz tabakası bir taban üzerine yayılır ve bir lazer seçici, toz yatağını tarar, malzemeyi sinterleyerek veya eriterek giderir. Bazı hafifçe alçaltılır, seçici bir şekilde sinterlenmiş katman üzerine yeni bir toz tabakası yayılır ve lazer tekrar tarar, bu kez seçici olarak sinterleme veya eriterek tozu önceki ve bir önceki tabakaya eritir. Süreci tam bir parçası oluşturma kadar devam etmektedir [41]. Haseung Chung ve arkadaşı Suman Das, selektif lazer sinterleme (SLS) yöntemi ile cam bilyeleri farklı hacimlerde (ağ.%0-30) naylon-11 ile karıştırarak kompozit malzeme üretimini araştırmışlardır. Her kompozisyondan çekme ve basma testi için örnekler hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, cam bilye hacmi arttıkça, kırılmadaki gerilme azalırken, gerilme ve sıkıştırma modülünü arttığı gözlemlenmiştir [9]. Katı serbest biçimli imalat (SFF), serbest biçimli katı nesnelerin parçalara özel bir alet ya da insan müdahalesi olmadan doğrudan bir bilgisayar modelinden üretilmesidir. SFF, son on yılda, daha önce ayırt edilmiş birkaç teknolojinin bir araya gelmesiyle gerçekleştirildi: bilgisayar bilimi, mekanik tasarım, kontroller, yüksek enerjili ışın teknolojisi ve malzeme bilimi ve mühendisliği.

Yine SLS yöntemi ile üretilen PA12 ve cam bilye kompozitlerinde mekanik özellikler incelenmiştir. Cam bilye eklenmesinin çekme dayanımı ve elastik modülü arttırdığı ancak darbe dayanımını ve sünekliğinin azalttığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda poliamit matris ile cam bilye arasında bir bağlayıcının kullanılmasının ara yüzey özelliklerini iyileştireceği ve özelliklerin daha da geliştirilebileceği sonucu elde edilmiştir [10].

Günümüzde, mühendislik malzemeleri olarak adlandırılan polimerlerin, kompozit çalışmalarını olabildiğince çoğaltmak ve örneklemek mümkündür. Termoplastikler gibi termosetler de katkılanırmaya ihtiyaç duymaktadır. Çoğunun

temel amacı hafiflik sağlamaktır. Bunun dışında yeterli mekanik özellikleri sağlayan, uygun maliyetli kompozitlerin elde edilmesidir [34].

Doymamış poliestere reçine (UP) ve alümina trihidrat (ATH) meydana gelen termoset kompozitin, %100 doymamış poliestere reçineye göre, daha iyi mekanik ve fiziksel özellik gösterdiği saptanmıştır. Bu doymamış poliestere reçine sıhhi tesisat ve mobilya üretimi gibi alanlarda kullanılır. Ancak maliyeti ve ağırlığı sebebiyle uygulama alanı kısıtlıdır. Ağırlıktan kazanç sağlamak için parçacıklı kompozitlere başvurulmuştur. Sonuçta ne kadar hafif olursa, nakliye masrafı o kadar düşer, o kadar taşıma ve montajı kolaylaşır ve üretim kapasitesi artar. Bu sebeple çeşitli dolgu malzemeleri eklenir: polimetilmetakrilat [34-42], içi boş cam bilye [34-43] ve silikat esaslı parçacıklar gibi [34-44]. Artan konsantrasyon ile kompozit malzemenin mekanik özellikleri de arttırabilir. Örneğin %6 içi boş cam bilye takviyesi ile yapılan kompozit çalışmasında, takviyesiz bileşime kıyasla, gerilme kuvvetinde %3, yüzey sertliğinde %26 kayıp gözlemlenmiştir. Ağırlık ise katkılandırma sonucu %13 azalma gözlemlenmiştir [34].

Ucuzlatma dışında, direkt olarak bir özelliği iyileştirme amacı ile de kompozit yapılabilir. PA12, elektriksel olarak iletkenlik sağlaması için %4 karbon siyahı ile doldurulmuştur [11]. Bu nanokompozitler SLS yöntemi ile üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemin, nanokompozitin mikro yapısı ve özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Lazer gücü ve hızı değişken olarak belirlenip, eğilme modülü ve parça yoğunluklar incelenmiştir. Maksimum bükülme modülünü ve parça yoğunluğu veren parametreler seti kullanılarak çekme, darbe, reoloji ve viskoelastik özellikleri incelenmiştir. Bir diğer karşılaştırma ise bu yöntem ile yapılan nanokompozitlerle ekstrüzyon ile üretilen nanokompozit özelliklerinin karşılaştırılmasıdır [11].

PA12'nin karbon nanotüplerle (CNT) oluşturduğu kompozitin mekanik özelliklerinde kayıp yaşamadığı gözlemlenmiştir. Hatta termal iletkenliği ve SLS'de toz akışını arttırdığı görülmüştür. Lazerle sinterlenmiş PA12'ye kıyasla, PA12-CNT nanokompozit parçanın, kopma uzamasından ödün verilmeden gerilme ve darbe değerleri iyileşmiştir [12].

Kompozit yapılarda matris olarak, genellikle, poliamitler ve poliesterler kullanılmakta ve özellikleri araştırılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, PA11'in, yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve umut verici biyoplastiklerden olduğu belirlenmiştir. Yağ ve tuzlu suya olan yüksek direnci ile birlikte mükemmel

piezoelektrik ve kriojenik özelliklere sahiptir. Tam olarak bu özellikleri sayesinde, otomotiv ve açık deniz petrol sahası endüstrilerinde yaygın ve gönül rahatlığı ile kullanıldığı görülmüştür. Buna rağmen, zaman zaman, katkılandırılma ihtiyaç duyulmaktadır [38].

PA11 kompozitlerinin, termal ve mekanik özellikleri iyileştirmek için çeşitli katkıları kullanılmaktadır. Bunlardan birkaçı çok duvarlı karbon nanotüpler (MW-CNT), karbon nano elyaflar (CNF), nano silikalar (NS), hallosit nanotüpler (HNT), baryum titanyumoksit ($BaTiO_3$) nanoparçacıklar ve titanat nanotüplerdir (TTNT). Yüzey modifiyeli TTNT, PA11 içerisine katıldığında daha iyi termal özelliklerin eldesi sağlanmıştır. Genel sonuç olarak, artan nano dolgu miktarı ile akma dayanımının da arttığı ancak kırılma dayanımının azaldığı görülmüştür [38].

Organik bir matris ile nano dolgunun işlevselliğinin sinerjik etkisi sonucu ve yüksek performanslı malzemelerin oluşturulması mümkün kılınmıştır [38]. Çalışmalar gösteriyor ki; bir polimerin hedeflenen özelliklerinin geliştirilmesi için organik veya inorganik dolgulara ihtiyaç duyulmaktadır ve günümüzde nano malzemeler, nano kompozitler ve nano parçacıklara olan ilgi oldukça artmıştır. Öyle ki nano boyutta inorganik parçacık içeren polimer kompozitler, yeni bir mühendislik malzemesi olarak nitelendirilmeye başlanmıştır.

2.4. Toz Kaplama

Organik polimerlerin toz halinde uygulanması, 1950'li yıllarda, tozların metalik yüzeylere püskürtülmesiyle başlamıştır. 1955'te Dr. Erwin Gemmer'in, metal yüzey üzerine termoplastik reçinelerin uygulanabilmesi için akışkan yataklı bir uygulama yöntemi patentlenmiştir [45]. Bununla beraber toz kaplama ve uygulama teknikleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Toz boya kaplama, çözücü içermeyen, toz malzemenin bir yüzeye kaplama metodlarından biridir ve çözücü esaslı boyalara göre çevre dostu alternatiftir [3]. Yüzeyler dekoratif amaçlı kaplanabileceği gibi yüzey özelliklerini veya mekanik özellikleri geliştirme amacıyla da kaplanabilir. Günümüzde metalik yüzeylerin polimer tozlarla kaplanması oldukça artan bir trende sahiptir. Aynı zamanda, çözücü içerikli boyaların çevreye verdiği zarara karşın, toz boya sektöründeki pazar payında da benzer bir artan eğilim gözlenmiştir. Bu sayede yeni ve yüksek performansa sahip

termoplastik ve termoset esaslı alaşım tozlarının pazarda tanınabilirliği, mevcudiyeti artmış olup, alternatif ve ekonomik bir metot haline gelmiştir [46]. Endüstriyel olarak dekoratif ve fonksiyonel kaplamalar denildiğinde, çoğunlukla, toz boyalı ürünlerin kullanıldığı bilinmektedir. Bunlardan birkaçı; teknik cihazlar (soğutucular, dondurucular, yıkayıcılar, mikrodalga fırınlar), mimari özellikler (pencereler, kapı çerçeveleri), bahçe mobilyaları, bisiklet ve araç çerçeveleri, el aletleri, korozyon ortamlar (sondaj boruları, inşaat demiri, vanalar ve armatürler, motor blokları), otomotiv (kamyon astarları, tamponlar, aynalar) [47].

2.4.1. Toz Kaplama Metodunun Avantaj ve Dezavantajları

Bu bölümde toz kaplama metodlarının sıvı kaplamalara göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir. Genel bir yaklaşım olarak toz kaplamalar, sıvı kaplamalara kıyasla uygulama kolaylığı ve verimliliği, maliyet ve çevre açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır.

- Avantajları:

-Daha yüksek film kalınlığı ve daha iyi performans: Toz kaplamalar, sıvı kaplamalara kıyasla daha kalın film üretimini mümkün kılar. Bunun sebebi tozların akma, damlama ve sarkma eğiliminin olmamasıdır. Bununla beraber çatlama, soyulma ve korozyona karşı daha dirençli hale gelirler.

-Uygulama kolaylığı ve verimliliği: Kaplama işlemi sonrasında temizleme için sıvı kaplamalarda çözücü gerektirirken, toz kaplama kabinleri hava püskürtülüp vakumlanmasıyla temizlenebilmektedir. Bununla birlikte eğer toz çok fazla yayılmamış ise toplanıp tekrar kullanıma da uygundur ancak sıvı kaplamada bu mümkün değildir.

-Daha çevre dostu: Çözücü kullanılmadığı için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

-Uygulama alanları: Toz kaplamalar, girintili-çukurlu bölgelere, karışık yüzeylere çok daha rahat uygulanabilmektedir. Bu uygulama sonucunda da homojen ve kabarcıksız kaplama elde edilebilir.

-Düşük sermaye yatırımı ve maliyet tasarrufu: Toz boyalar pahalı yağ alma kimyasalları ve atık su izleme sistemlerine gerek duymadığı için masrafı çok daha

düşüktür. Ek olarak kaplama malzemesinin bertaraf edilmesi için de ekstra masraf gerektirmemektedir. Enerji, işçilik ve malzeme maliyetleri karşılaştırıldığında toz boyaların büyük avantaja sahip olduğu görülmektedir [5].

- Dezavantajları:

Her yöntemde olduğu için toz kaplamaların da dezavantajları var. İnce film gerektiren uygulamalarda kullanılamamaktadır. Burada devreye sıvı kaplamalar girmektedir. Sıvı kaplamalar daha düşük sıcaklıklarda kürlenmektedir. Bu yüzden toz kaplama seçerken, tozun erime sıcaklığının altlık sıcaklık direnci uygun olup olmadığı iyice belirlenmelidir [5].

2.4.2. Toz Kaplama Yöntemleri

Kaplama için, tozlar yüklenir ve metal ve metal olmayan (cam, seramik, plastik ve ahşap dahil) yüzeylere uygulanır [47]. Toz kaplamalar genellikle akışkan yatak ve elektrostatik püskürtme ile uygulanır. Diğer uygulama yöntemleri ise alev püskürtmede, toz, kaplanan nesneye doğru ilerlerken eritilmesi için bir alev içinden itilir [45]. Diğer biriktirme teknikleri ile karşılaştırıldığında, elektrostatik püskürtme işlemi daha esnek ve çok yönlüdür. Tek sefer uygulama da bile çok kalın ve çok sayıda ürün kaplama imkanı sağlaması büyük avantaj olarak bilinmektedir. Akışkan yataklı toz kaplamada ise önceden ısıtılmış iş parçaları doğrudan akışkanlaştırılmış toz rezervuarına batırılır ve ardından film oluşumu için son ısıtma işlemi uygulanır. Göreceli olarak basit bir işlem gibi görünse de, manuel uygulandığında el alışkanlığı ve tecrübe gerekmektedir [47]. Ancak Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir parçanın homojen olarak kaplanmasında kullanılacak yöntemlerin başında gelmektedir [5]. Doğru uygulama yöntemini seçmek, kaplama malzemesine, parça tasarımına ve üretim hedefleri bağlıdır. Tozun uygulama metodunda kullanılabilirliği çok önemlidir [45].

- İyonlaşma (Corona) Tekniği: Bu teknik tabanca gövdesi içinde bulunan kaskatın, tabancanın ucunda bulunan iğneye gönderdiği yüksek voltajla (maksimum 100 kV) tabancadan çıkan boyaya elektrik yüklenmesi prensibine dayanır. Yüksek voltaj ile havanın nötral durumu bozularak eksi iyonlar oluşturulur. Ardından bu iyonlar birbirine ya da en yakın toz parçacığına tutunarak, topraklanmış yüzeye püskürtülür. Daha sonra malzeme fırınlanarak iyice yapışma sağlanır. Bu yöntemin en büyük avantajı kolaylıkla yüklenebilmesidir [48].

- Elektro-Kinetik (Tribo) Tekniği: Bu tekniğin iyonlaşmadan farkı kaskat olmamasıdır. Bu sistemde hava ile toz boya, tabancaya geldikten sonra özel olarak tasarlanmış yoldan geçer ve sürtünmenin etkisiyle (kinetik) elektrostatik olarak yüklenme prensibine dayanır [48].

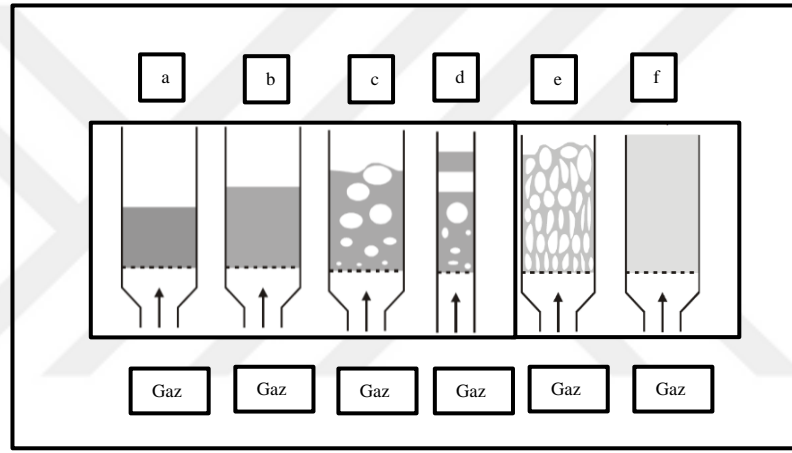
2.4.2.2. Akışkan Yatakta Kaplama

Akışkan yatakta toz kaplama 1960'lı yıllara dayanır ve o yıllarda geleneksel sıcak daldırma işlemine dayandırılarak ilk prototipler geliştirilir [46]. Öncelikli amaç, bu kaplama işlemi için parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelerin en uygun değerlerinin saptanmasıdır. Bu parametrelerin başında ön ısıtma sıcaklığı, daldırma süresi, havanın debisi ve son ısıtma sıcaklığı bulunmaktadır. 1980'li yıllara kadar yapılan çalışmalar sonucunda, akışkan yatakta kaplama tekniği sınırlı bir başarı elde etmiştir [46].

Akışkan yatakta, en basit haliyle, toz gözenekli bir filtreden geçen basınçlı hava ile akışkanlaştırılır. Önceden ısıtılmış yüzeyler, bu akışkan yatak içerisine batırılır ve toz yüzeyde eriyik hale gelir. Ardından sürekli bir film oluşumu için yeterli zaman ve ısıyı vermektten oluşur [46-49]. Akışkan yataklı toz kaplama uygulama sisteminin en önemli parçası, gözenekli bir filtredir [20]. Filtre, kaplanacak olan tozu alt tarafa geçirmeyecek boyutta gözenek çapına sahip olmalıdır. Haznenin altında verilen hava ile toz akışkan halen getirilir ve kaplanacak olan malzemenin toz içerisindeki hareketi kolaylaştırılmış olur. Akışkanlaştırılmış toz malzeme yatağı, bir sıvı gibi davranır [45].

Akışkanlaşma, tozun kaynama noktasındaki sıvı gibi davranması olarak da ifade edilebilir. Ergun denklemi, tozun ya da taneciklerin akışkan yatak için akışı açıklayan denklemdir [50]. Katı taneciklerin (toz malzemelerin) akışkanlaştırılmasını sağlayan

havadır. Yatağın altından verilen havanın hızı farklı akışkanlık rejimleri oluşur ve Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bir akış gerçekleşmediğinde (Şekil 2.7.a) sabit yatak olarak adlandırılır. Artan gaz hızıyla, tozun yukarı doğru hareketi başlar ve gaz tarafından uygulanan sürüklenme kuvveti parçacıklarına eşit olduğunda minimum akışkanlaştırma olarak adlandırılır (Şekil 2.7.b). Gaz akışının daha da artmasıyla, sırayla, kabarcıkların oluşumu görülür (Şekil 2.7.c), ardından kabarcıklar birleşip yükseldikçe büyür (Şekil 2.7.d). Parçacıklar, yeterince yüksek bir gaz akışına ulaştığında, parçacıkların terminal hızını aşar ve bu tip akışa türbülanslı akışkan yatak (Şekil 2.7.e) denir. Nihai ve yeterli gaz hızına gelindiğinde, katılar ve gaz homojen olarak, yatak boyunca, taşınır. Bu rejim de sürüklenmiş yatak olarak adlandırılır (Şekil 2.7.f) [50].



Şekil 2.7: Farklı akışkanlık rejimleri.

Bir parçacık yatağının akışkanlaşmasını daha iyi anlamak için, hangi akış hızlarının akışkanlaşmaya izin verdiğini ve ayrıca partiküllerin dışarıya hangi akış hızlarında taşınmaya başlayacağını belirlemek gerekir. Ergun denkleminde göre bunu etkileyen birçok parametre (tanecik yoğunluğu, minimum akışkanlaştırma hızı, sürtünme faktörü, yatağın uzunluğu gibi) bulunmaktadır (Denklem 2.1) [50].

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})^2}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\mu U_{mf}}{(\phi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3} \frac{\rho_g U_{mf}^2}{\phi_s d_p} \quad (2.1)$$

Çalışmalarda görüldüğü üzere bu yöntemi ile polimerlerin veya polimer kompozitlerinin bir yüzeye kaplanması kolay hale gelmektedir. Ancak akışkan yatak kaplama parametreleri sonuçları direkt olarak etkilediği unutulmamalıdır. Bu parametreler: ön ısıtma sıcaklığı, daldırma süresi, havanın debisi ve son ısıtma sıcaklığı olarak söylenebilir [46]. M. Barletta ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada asit ile modifiye edilmiş poliolefinin tozu metal üzerine kaplanmıştır ve akışkan yatak parametreleri ile çalışılarak uygun değer parametrelerin bulunması hedeflenmiştir [51]. Seçilen ön ısıtma sıcaklığı seçilen polimerin erime aralığının en az 50°C üstünde olması gerekmektedir. Ön ısıtma sayesinde eriyiğin metal üzerinde film oluşturması sağlanır [51]. Ön ısıtma sıcaklığı ile daldırma süresinin bir çıktısı olarak kaplama kalınlıklarının değiştiği gözlemlenmiştir [51]. Bu yöntem sayesinde kalın tabakaların eldesi sağlanmaktadır [19].

Kaplanmış nihai ürünlerin, kullanım yeri ve amacına bağlı olarak testleri yapılır. Kullanım alanları bulaşık makine sepetleri, alışveriş sepetleri, çitler, buzdolabı raflar ve otomotiv parçaları gibi düşünüldüğünde, bu ürünlere kimyasala direnç, korozyona direnç, aşınmaya direnç, yüzey tutunmaları, kalınlık ve renk ölçümleri testleri yapılabilir. Termoplastik kaplamalar, genellikle, 250 µm'den daha yüksek kalınlıklarda fonksiyonel kaplamalar olarak kullanılır ve esas olarak akışkan yataklı uygulama tekniği ile uygulanır [45]. Tipik olarak, akışkan yataklı bir kaplama prosesinde bir poliamit kaplama, 200 ile 500 µm arasında hatta belirli durumlarda yaklaşık 1000 µm'lik tabaka kalınlığına sahip olabilir [8]. Düşük film kalınlığındaki zorluklar, daldırma süresinin ve parça sıcaklığının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır [8].

Evonik akışkan yatakta kaplama için, homojen bir ince kaplamaya izin veren poliamit tozu geliştirmek amacıyla bir çalışmada bulunmuştur. Buluşun poliamit tozu, akışkan yatak kullanılarak, metal boru üzerinde homojen bir kaplama sağlanmış olup, ticari olarak temin edilebilen bir akışkan yataklı kaplama tozu olan VESTOSINT 1111 siyahı, VESTOSINT 1174 beyaz ve VESTOSINT 2157 siyahı ile karşılaştırılmıştır. Hem kaplama kalitesinin, geleneksel akışkan yataklı kaplama tozuna ulaştığı hem de 200 µm'den daha düşük kalınlıklarda kaplama yapılabildiği belirtmektedir. Mevcut buluş arzu edilen bir şekilde mevcut poliamid tozu ile akışkan yataklı kaplama ile boruların kromatsız kaplanmasına izin vermiştir [8].

3. MATERYAL ve METOTLAR

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kaplanacak olan düşük karbonlu çelik plakalar için, Poliamit 12 esaslı kompozit kaplamaların hazırlanmasında kullanılan malzemeler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan toz hammaddeler.

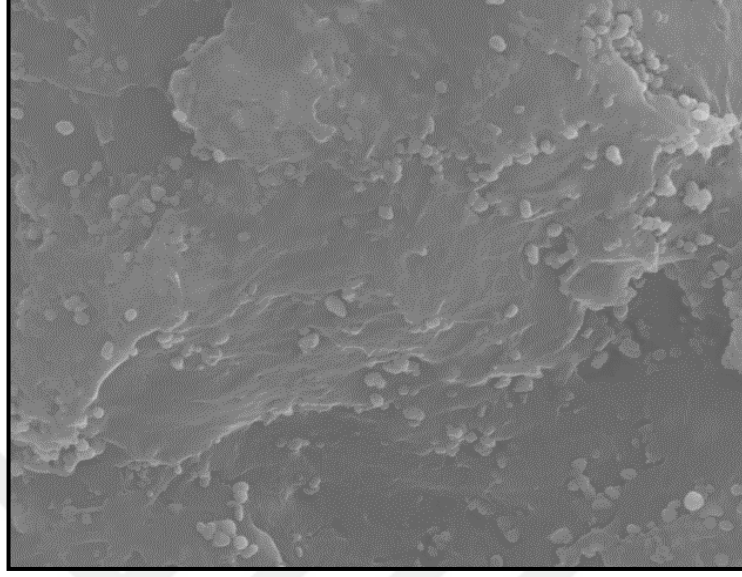
Hammaddeler	Ticari Adı	Tedarikçi Firma	Yoğunluk (g/cm ³)	Toz Boyutu Dağılımı (µm-d50%)
Poliamit 12 (PA12)	Vestosint 1111	Evonik	1,01	1 µm
Modifiye Edilmemiş Cam Bilye (UMGB)	OMicron NP5-P0	Omnis Kompozit	2,55	5 µm
Poliester ile Modifiye Edilmiş Cam Bilye (PEMGB)	OMicron NP5-P3	Omnis Kompozit	2,55	5 µm
Kalsit (CaCO ₃)	Kalsit 5 GZ	Omya Madencilik	2,71	5 µm

Bu malzemeler, laboratuvar ölçekli hazırlanan akışkan yatak kullanılarak yapılan kaplama çalışmasında kompozit yapıları oluşturan malzemelerdir. Matris olarak PA12 kullanılmış olup, diğer malzemeler takviye olarak tek tek ve farklı oranlarda çalışılmıştır. Bu malzemelerin hepsi toz formundadır ve düşük toz boyutu ve yoğunluğa sahiptirler (Tablo 3.1).

3.1.1. Poliamit12

Bu çalışmanın matrisi olan, ticari ismi ile Vestosint 1111, toz formundaki Poliamit 12 kullanılmıştır. Poliamit 12’nin SEM görüntüsünü Şekil 3.1’de

gösterilmiştir. İnce tane yapısına, 175-185°C aralığında bir ergime sıcaklığına sahip beyaz, kokusuz ve yarı kristalin bir termoplastik polimerdir.



Şekil 3.1: Poliamit12 morfolojisinin 14 K X büyütmedeki SEM görüntüsü.

Mevcutta kullanılan bulaşık makinesi sepetleri, akışkan yatakta, PA12 ile kaplanmaktadır. Bu uygulama yöntem ile diğer kaplama yöntemlerine (konvensiyonel kaplama ve elektrostatik püskürtme) göre, daha kolay kaplama yapılabilmektedir [5].

Artan PA12 maliyetleri ve toz formunun tedariki konusundaki kısıtlar sebebiyle kompozit çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Bu tez kapsamında da bulaşık makinesi sepetlerinde kullanılmak üzere, referans olarak PA12 kaplamaları ve kompozit kaplamalar (UMGB-PA12, PEMGB-PA12, CaCO₃-PA12) çalışılmıştır. PA12 kaplamaları ile kompozit kaplamaların sonuçları (parlaklık, kalınlık, çözücüye dayanım) karşılaştırılmıştır.

3.1.2. Kalsit

Literatür çalışmaları, kalsit en çok kullanılan dolgu malzemesi olduğunu göstermektedir [39]. Oldukça ucuz olması sebebiyle hem akademik hem de endüstriyel çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Tedarikinin kolay ve ucuz olması sayesinde birçok polimerik sistem içerisine dahil olmuş ve kendine büyük bir yer edinebilmiştir [7-39].

Cam bilye (3€/ kg), PA12 (9€/ kg)'den ucuz olup CaCO₃ (0,5tl/ kg)'ten pahalıdır. Cam bilyeler, termoplastik ve termoset reçine sistemlerinde kullanılan inorganik bir katkı olarak göze çarpmaktadır. Pürüzsüz bir yapıya sahip, sert, düşük yağ emilimi ve mükemmel kimyasal direnci olan bir malzemedir. Reçine karışım sisteminin viskozitesini düşürerek akışın iyileşmesini sağlamaktadır. Bu özellikleri ve üretimdeki reddedilme oranlarını düşürmesi sayesinde endüstrinin birçok sektöründe kendine yer bulmuştur. Bu sektörlerden birkaçı otomotiv, kimya, elektronik, mühendislik olarak sayılabilir [28].

3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Toz Karışımların Hazırlanması

Tozlar kuru karıştırma ile hazırlanmıştır. PA12 ile hazırlanan kaplamalar referans olarak belirlenip yapılan tüm testler, referans numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.2: Hazırlanan kompozisyonlar içindeki hammadde miktarları.

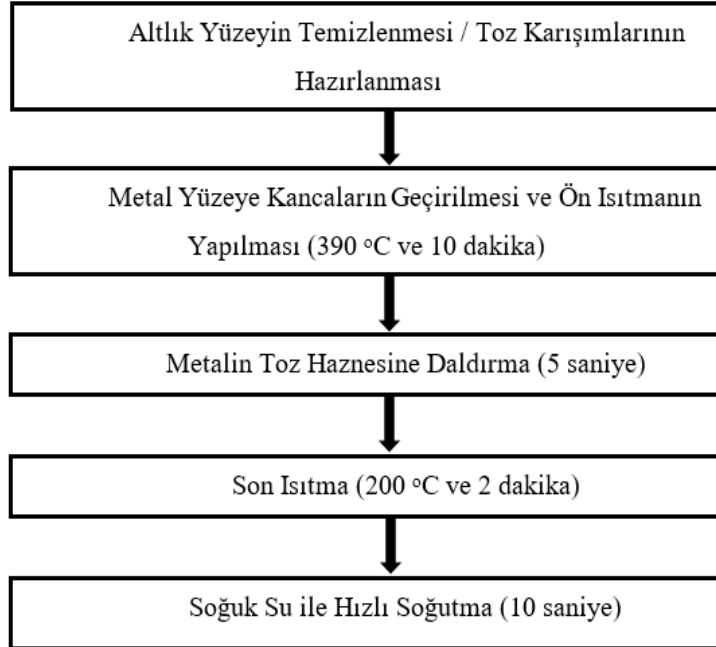
Komp. No.	Katkının Cinsi	Katkı miktarı(%ağ.)	PA12 miktarı (ağ.%)
1	-	0	100
2	UMGB	3	97
3		5	95
4		7	93
5		10	90
6		PEMGB	10
7	13		87
8	15		85
9	KALSİT	10	90

Bu tez çalışması kapsamında yapılan tüm kompozitlerin karışım oranları Tablo 3.2'de verildiği gibidir. Bunların hepsi kuru karıştırma ile hazırlanmış olup, düşük

3.2.3. Kompozit Kaplamaların Hazırlanması

Akışkan yatak ile toz kaplama yönteminde, kaplanacak olan parça önceden, belli bir süre, ısıtılır ve doğrudan toz haznesine (akışkan yatak içerisine) daldırılır. Böylece tozlar sıcak olan yüzeye yapışarak ince bir tabaka oluşturur. Ardından bu tabakanın daha homojen ve rijit olmasını sağlamak için ikinci ısıtmaya tabi tutulur. İkinci fırının ısısı, kullanılan tozun erime sıcaklığının bir miktar üstünde olması gerekmektedir. Son işlem olarak hızlı soğutma (su ile) yapılarak kaplamalar hazırlanır. Hazırlanan kaplamalar bulaşık makinesi sepetlerinde kullanılacağı için, bu sepetlerin maruz kaldığı şartlara uygun testler yapılmıştır. Ek olarak hazırlanan tozların kaplama içerisinde ne kadar homojen dağıldığını ve kullanılan tozların PA12 ile uyumluluğunu görmek için SEM ile karakterize edilmiştir.

Kaplama hazırlanırken uygulanan tüm adımlar, sıcaklıklar ve süreler Şekil 3.7'de belirtilmiştir. Bu adımların her birinde yapılacak olan en ufak bir değişim, kaplamanın kalitesini, performansını etkilemektedir [3]. Bu yüzden tüm sıcaklık ve süreler sabit tutulup, sadece katkıların etkisini görmek adına, katkıların oranları değişken olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7: Akışkan yatakta kaplama adımları.

Uygulama metodundaki her bir değişkenin (ön ısıtma ve son ısıtma sıcaklığı, daldırma süresi, hava debisi) kaplama kalınlığına etkisi olduğu düşünölmektedir. Proseste yapılacak değişimler doğrudan kalınlığı etkiler. Bu yüzden belirlenen her parametreyi doğru bir şekilde gerçekleştirmek gerekmektedir.

Hazırlanan kaplamaların kalınlıkları FISCHER markalı “DUALSCOPEMPOR” model kalınlık ölçer ile tespit edilmiştir. Bu cihaz, çelik ve alüminyum esaslı yüzeyler üzerine yapılan kaplamaların kalınlıkları tespit etme imkanı sunmaktadır. Kalınlıkların doğru bir şekilde belirlenmesi için kaplamanın her iki yüzeyinden 3 farklı noktasından değer okunur ve cihaz otomatik olarak ortalama kalınlığı ekranda gösterir. Cihazın görseli Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12: Kaplama kalınlık ölçme cihazı.

3.3.2. Parlaklık Tayini

Yüzeylerin ışığı ne kadar yansıttığını tespit etmek için parlaklıklar, yine, referans numune ile karşılaştırılmıştır. Yüzey ne kadar parlak ise dokunulduğunda bıraktığı pürüzsüzlük hissi o kadar fazladır.

Kaplamaların parlaklıkları KONICA MINOLTA markalı “MULTI GLOSS 268” seri parlaklık ölçer ile tespit edilmiştir. Bu cihaz 3 farklı açıdan (20°,60°,85°) ölçüm alma fırsatı sunar. Ergonomik tasarım, renkli ekran, kaydırma tekerleği işletimi ve gezinmesi kolay menü, parlak ölçümü her zamankinden daha kolay hale getirir. Kullanılan cihazın görseli Şekil 3.13’teki gibidir.



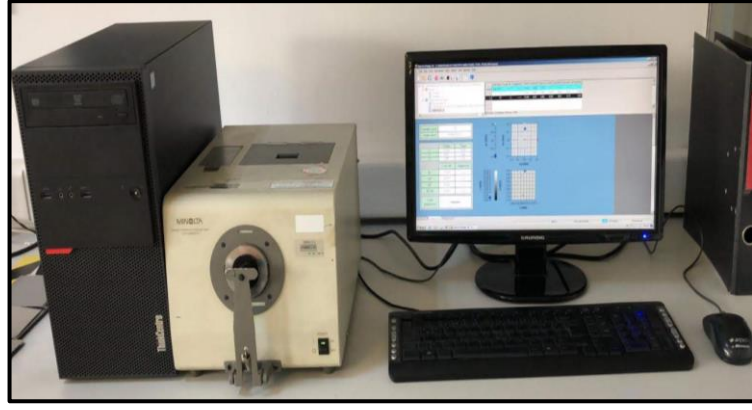
şekil 3.13: Parlaklık ölçme cihazı.

Cihaz, bir ışık kaynağı ile paralel veya birbirine yaklaşan ışık demetinin test yüzeyine yönelten mercek sistemi, fotosel ve yansıyan ışık konisini alan alıcıdan ibarettir. Parlaklık ölçümü 20°, 60° ve 85° 'de olmak üzere 3 farklı açıda sonuç verir. TS 4318 EN ISO 2813 standardında belirtildiğı üzere, parlak yüzeyler için 60°'deki değer kabul edilir [52]. Parlaklık değerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için kaplamanın her iki yüzeyinden ve 3 farklı noktasından değer okunur. Daha sonra aritmetik ortalaması alınıp kaydedilir.

3.3.3. Renk Tayini

Renk ölçüm cihazı, şekil 3.14'te görüldüğü üzere KONICA MINOLTA markasının "Spektrofotometre CM-3600d" modelidir. Kaplamalar tamamlandıktan sonra kimyasala maruz bırakılır. Kimyasalın kaplama üzerindeki değişimi renk değişimi ile tespit edilir. Cihaz, numune ile ölçülen malzeme arasındaki renk farkını karşılaştırma prensibine göre çalışır. Cihaz L, a, b, ΔL , Δa , Δb ve ΔE olarak 7 değer verir. Bu değerler;

- L: Açıklık/ Koyuluk kordinatı,
- a: Kırmızı/ Yeşil kordinatı,
- b: Sarı/ Mavi kordinatı,
- ΔL : (+) Kısmı beyaz açılımını, (-) Siyah açılımını,
- Δa : (+) Kısmı kırmızı açılımını, (-) Kısmi yeşil açılımını,
- Δb : (+) Kısmı sarı açılımını, (-) Kısmi mavi açılımını,
- ΔE : Toplam renk farkını ifade eder.



Şekil 3.14: Renk ölçüm cihazı.

ΔE , iki renk arasındaki farkın ölçümüdür. $L^*a^*b^*$ ise renk düzleminde bulunan iki rengin (düzlemdeki iki noktanın) koordinatları arasındaki uzaklıktır. Tablo 3.3'te görüldüğü gibi, ΔE ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazla demektir [53].

Tablo 3.3: Renk uzaklıklarının değer tablosu.

ΔE	Renk Farkı
0	Yok
1	Çok küçük
2	Küçük
3	Orta
4	Büyük
5	Çok büyük

Çözücü dayanım testi yapılmadan önce renk ölçümü yapılır. Ardından çözücüye dayanım testi uygulanır ve tekrar, aynı noktadan, renk ölçümü yapılır. Test cihazı anında L , a , b , ΔL , Δa , Δb ve ΔE olarak 7 değer verir. Bu değerlerin görsel olarak ne ifade ettiği Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Ancak test sonuçları genellikle ΔE değerine göre yorumlanır. Bu yorumlar Tablo 3.3'te belirtilmiştir.

3.3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Kaplamalar hazırlandıktan sonra kompozit yapının incelenmesi için karakterize edilmesi gerekmektedir. Tozların morfolojisini, birbiri içerisindeki dağılımını ve uyumunu gözlemek için en önemli karakterizasyon metotlarından bir olan, SEM cihazı ile kaplamalar, yüzey ve kesitten incelenmiştir.

Toz kaplama yapılan numunelerin mikro yapılarının incelenmesinde Şekil 3.18’de gösterilen, “ZEISS” marka, “SUPRA 55 VP” model taramalı elektron mikroskobu kullanıldı.

Taramalı elektron mikroskobu optik kolon, numune hücresi ve görüntüleme sistemi olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon sisteminde, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandıran anot plakası, elektron yoğunlaştırıcı mercekler ve tarama bobinleri bulunmaktadır. Taramalı elektron mikroskobunda, katı numune, üzerine odaklanan yüksek enerjili elektron demetiyle taranır ve yüzeyin taranması esnasında elektron ve numune atomları arasındaki etkileşim sonucunda farklı sinyaller oluşur. Bunlar; geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlar, Auger elektronları, X-ışını flüoresans fotonları ve farklı enerjili fotonlardır. Yüzey mikro yapısının incelenmesinde kullanılanlar ise ikincil elektronlardır.



Şekil 3.18: Taramalı Elektron Mikroskobu.

Taramalı elektron mikroskobunda iletken malzemeler nispeten diğerlerine göre çalışması en kolay numunelerdir. Çünkü engellenmemiş ya da yavaşlatılmamış bir şekilde toprağa akan elektronlar, yük birikimi nedeniyle oluşan gerçek olmayan yapay

verileri minimum seviyeye indirirler. Bunun yanında, elektrikçe iyi iletken numuneler genellikle ısıyı iyi ilettiklerinden ısısız bozunma olasılıkları daha düşüktür. İletken olmayan numunelerin SEM ölçümlerinde farklı türde yöntemler olmakla birlikte en çok tercih edileni; vakum altında buharlaştırma tekniği ile ince bir metalik film (altın, karbon) tabakasıyla kaplamaktadır. Bu tez kapsamında SEM görüntüsü elde edilmeden önce numune yüzeyleri altın kaplanmıştır. Numunenin aşırı kaplanması yüzey ayrıntılarını yok edeceğinden kaplama işleminin dikkatlice yapılması gerekmekte olup uygun bir kalınlıkla metalik film kaplanmalıdır.

Yüzey morfolojisi incelenirken yüzeyde oluşan mikro kürelerin çap ölçümü ve görüntüleme için cihazın “SmartSEM” programından faydalanılmıştır. Fiber veya küre bir ucundan diğer ucuna kadar işaretlenip aradaki mesafenin otomatik olarak ölçülmesi ile çap tayini yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskopunda Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) için “Esprit 2 Microanalysis” programı ile kalitatif analiz yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARIŞMALAR

Bu tez çalışmasında mevcutta kullanılan PA12'ye yapılan katkılandırmaların mevcut özelliklere etkisi ve tozların, kaplama içerisindeki dağılımını incelenmiştir. Bu özellikler; parlaklık, aşınma miktarı, çözücüye dayanımdır. Modifiye edilmemiş cam bilye, poliester ile modifiye edilmiş cam bilye ve kalsit kullanılarak; toplamda sekiz farklı kompozisyon çalışılmıştır ve doğru katkı malzemesinin tespiti için gerekli olan tüm testler kalsit ve iki farklı cam bilye ile oluşturulmuş tüm kaplamalara uygulanmıştır. Tüm testler üç tekrarla yapılmıştır ve Arçelik kabul sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1: Poliamit kaplamaların değerlendirme testleri ve sınır değerleri.

Yapılan Testler	Arçelik Kabul Sınır Değerleri
Kalınlık Tayini (μm)	$350\pm 50 \mu\text{m}$
Parlaklık Tayini (60°)	≥ 55
Aşınma Direnci Testi (μm)	10 μm : Aşınmaya direnç yüksek. 10-15 μm : Aşınmaya direnci orta seviye. 15-20 μm : Aşınma direnci tolere edilebilir. 20 μm : Aşınma direnci düşük.
Çözücü Dayanım Testi	Parlak düzgün yüzey: Kabul edilebilir. Bazı yerlerde pas lekeleri: Kabul edilebilir. Kayda değer paslanma: Kabul edilemez. Tamamen paslanma: Kabul edilemez.

4.1. Kullanılan Katkı Malzeme Çeşidinin Parlaklığa Olan Etkisi

Hazırlanan kaplamalarının parlaklık değerini belirlemek için parlaklık cihazı kullanılarak Bölüm 3.3.2'de açıklanan ölçüm metodu ile belirlenmiştir. Hazırlanan kaplamalar Tablo 4.1'de verilen Arçelik kabul sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir. Bu kabule göre; parlaklık değeri minimum 55 olması gerekmektedir.

Parlaklık değerleri Bölüm 3.3.2’de açıklanan ölçüm metodu ile belirlenmiştir. Artan UMGB miktarı ile kaplamanın parlaklık değerleri azalmıştır (Şekil 4.2). Tablo 4.2’de özetlenen değerler, %10 UMGB katkılı kaplama hariç, Arçelik kabul sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. %100 PA12 ile hazırlanan kaplamanın parlaklık (60°) değeri $85 \pm 1,7$ olarak ölçülürken %10 UMGB katkılı kaplamanın parlaklık (60°) değeri $32 \pm 2,3$ olarak ölçülmüştür. Cam bilye ile poliamit 12’nin kimyasal yapısındaki farklılıklar ışık ile etkileşimlerinde de farklılığa neden olmaktadır. Cam bilye miktarının artması ile parlaklıkta gözlemlenen düşüş bu etkileşim farklılığından kaynaklanmaktadır. Modifiye edilmemiş cam bilye miktarının artışı ile kaplamanın yüzeyinde ya da yüzeye yakın seviyede cam bilye miktarının arttığı SEM tekniği ile doğrulanmıştır (Şekil 4.3). UMGB miktarının %5’ten %10’a olan artışı ile cam bilyelerin yüzeydeki konsantrasyonu ve bölgesel birikmeler artmıştır.

Kaplama kalınlığı ise Bölüm 3.3.1’de açıklanan ölçüm metodu ile belirlenmiştir. Kaplamanın tüm yüzeyde eşit kalınlıkta olması idealdir. Kaplama kalınlığının homojen olmadığı durumlarda, daha düşük kalınlığa sahip bölgelerin kimyasal direncinin de düşük olduğu bilinmektedir. Bu bölgelerde kimyasalın kaplamayı aşip tabana nüfuz etmesi oldukça kolay hale gelmektedir, kaplamada bölgesel renk değişimi ve yüzeyden kopma gözlemlenebilir.

UMGB miktarının artırılması ile kaplama kalınlığının azaldığı ölçülmüştür (Tablo 4.2). Kaplama kalınlığı en yüksek 380 ± 16 μm olarak %100 PA12 kompozisyonunda, en düşük değer ise 348 ± 26 μm olarak %10 UMGB katkılı kaplamada ölçülmüştür. Tablo 4.2’de özetlenen değerler, Arçelik kabul sınır değerleri içerisinde yer almaktadır.

Tablo 4.2: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve standart sapma değerleri.

Komp. No.	Ağ.% UMGB	Ortalama İlk Kalınlık ($\pm\mu\text{m}$)	Ortalama Parlaklık (\pm°)
1	0	380 ± 16	$85 \pm 1,7$
2	3	360 ± 18	$78 \pm 1,0$
3	5	357 ± 17	$60 \pm 1,3$
4	7	355 ± 18	$55 \pm 1,2$
5	10	348 ± 26	$32 \pm 2,3$

PA12, UMGB-PA12 ve PEMGB-PA12 ile hazırlanan kaplamaların, değişen ağırlıkça oranlarının kalınlık ve parlaklığa etkisi Şekil 4.7’de gösterilmiş olup, Tablo 4.4’te karşılaştırılmıştır. Tüm oranlar incelendiğinde %100 PA12 ile oluşturulan kalınlıkların kompozit kaplamalar ile eldesinin mümkün olduğu görülmektedir. Ancak kullanılan oranların parlaklık değerlerini oldukça etkilediği görülmüştür. Kaplamaların başarısını belirlemek için tek ölçüt olmasa da önemli bir test olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 4.4: PA12, UMGB-PA12 ve PEMGB-PA12 ile oluşturulan kaplamaların ortalama ilk kalınlık, ortalama parlaklık ve standart sapma değerleri.

Komp. No.	Ağ.% PA12	Ağ.% UMGB	Ağ.% PEMGB	Ortalama İlk Kalınlık ($\pm\mu\text{m}$)	Ortalama Parlaklık (\pm°)
1	100	-	-	380 \pm 16	85 \pm 1,7
2	97	3	-	360 \pm 18	78 \pm 1,0
3	95	5	-	357 \pm 17	60 \pm 1,3
4	93	7	-	355 \pm 18	55 \pm 1,2
5	90	10	-	348 \pm 26	32 \pm 2,3
6	90	-	10	360 \pm 27	55 \pm 2,0
7	87	-	13	357 \pm 35	45 \pm 1,7
8	85	-	15	355 \pm 24	26 \pm 2,2

4.1.2. Kalsitin Parlaklığa Olan Etkisi

Cam bilyelerin dışında kalsiyum karbonat (kalsit) katkı malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Kalsitin ve cam bilye miktarının parlaklık değerine olan etkisini karşılaştırabilmek için ağ. %10 kalsit ile çalışılmıştır.

Kalsit katkılı PA 12 kompozit kaplamaların yüzey pürüzlülüğü %100 PA12 kaplaması ile eş düzeyde gözlemlenmiştir. Bu kaplamalara ait olan parlaklık ve kalınlık değerleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Ağırlıkça %100 PA12 ve %10 CaCO₃ ile hazırlanan kaplamaların parlaklıkları sırasıyla; 85 \pm 1,7 $^\circ$ ve 70 \pm 3,4 $^\circ$ ’dir (Tablo 4.5).

Tablo 4.6’da da görüldüğü üzere UMGB katkısı ile hazırlanan kaplamaların aşınma miktarı referans kaplamadan daha yüksek bulunmuştur. Aşınma miktarı ne kadar yüksek ise kaplamanın aşınmaya olan direnci de o kadar düşük demektir. %100 PA12 ile hazırlanan kaplamanın aşınma miktarı (μm) değeri $20\pm 0,5$ olarak ölçülürken %10 UMGB katkılı kaplamanın aşınma miktarı (μm) değeri $31\pm 6,0$ olarak ölçülmüştür. Tablo 4.6’da da özetlendiği gibi UMGB katkısı ağ. %3’ten ağ. %10’a çıkarıldığında kaplamanın aşınma direncinin arttığı gözlemlendi. Ağırlıkça düşük miktarda modifiye edilmemiş cam bilyenin kullanıldığı kaplamalarda gözlemlenen düşük aşınma direnci cam bilyelerin poliamit matrisi içinde uyum sağlayamadığı için yüzeyde negatif bir etki yaratmış olabileceği tespit edilmiştir. UMGB miktarının artışı ile cam bilyelerin kaplamaların yüzeyinde ya da yüzeye yakın seviyede konsantrasyonun arttığı SEM analizi ile gözlemlenmiştir (Şekil 4.3). Cam bilyenin küresel morfolojisi aşınma direncini arttıran etki olarak değerlendirilebilir [28]. Artan UMGB miktarı ile kaplamanın aşınma miktarı değerleri azalmış olup kaplamanın aşınmaya direnci artmıştır.

UMGB katkısı arttıkça aşınma direncinde artış gözlemlenirken parlaklık değerinin düştüğü görülmüştür. Katkı miktarı artışı ile her iki özelliğe beklenen pozitif etki gözlemlenemediğinden UMGB miktarı ağ.%10’un üzerine çıkartılmadı.

Tablo 4.6: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının ortalama ilk ve son kalınlık değerleri, aşınma miktarları ve standart sapma değerleri.

Komp. No.	Ağ.% UMGB	Ort. İlk Kalınlık (μm)	Ort. Son Kalınlık (μm)	Aşınma Miktarı ($\pm\Delta\mu\text{m}$)
1	0	380	360	$20\pm 0,5$
2	3	360	320	$40\pm 6,0$
3	5	357	320	$37\pm 8,0$
4	7	355	320	$35\pm 10,0$
5	10	348	317	$31\pm 6,0$

%100 PA12 (%0 PEMGB) ve PEMGB-PA12 karışımının farklı oranlarda (%10-13-15 PEMGB) hazırlanarak elde edilen kaplamaların aşınma miktarları ve ilk kalınlık değerleri (x_1) Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

UMGB kaplamasından daha yüksektir. Bu sonuçlar, PEMGB'nin poliamit ile kimyasal benzerliğinden dolayı daha uyumlu bir kaplama matrisi oluşturduğunun göstergesidir.

Aynı oranda (ağ.%10) çalışılan UMGB ve PEMGB kaplamaların parlaklık ve aşınma miktarları %100 PA12 ile karşılaştırmalı olarak Tablo 4.8'de verilmiştir. Ağırlıkça %10 UMGB katkılı hazırlanan kompozit kaplamanın aşınma miktarı %100 PA12 ile hazırlanan kaplamaya göre %50 daha yüksek bulunmuştur. Poliester ile modifiye edilmiş cam bilye ile hazırlanmış kaplamanın aşınma miktarı ise %100 PA12'den %25 daha yüksektir. Bu değerlendirmelerde görülmüştür ki; poliamit matrisine benzer bir yapıya sahip olan katkı malzemesinin kullanımı ile kaplamanın hem aşınma miktarı hem de parlaklık değeri pozitif etkilenmiştir.

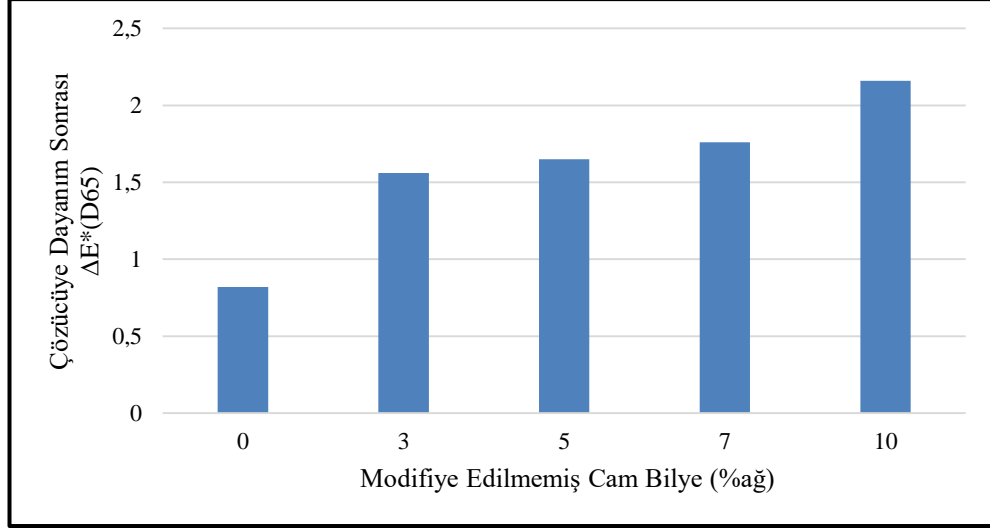
Tablo 4.8: % 100 PA12 ve aynı oranda (%10) katkılandırılarak hazırlanmış UMGB ve PEMGB kompozit kaplamalarının ortalama aşınma miktarları ve ortama parlaklık değerleri.

Komp. No.	Kompozisyon	Ortalama Aşınma Miktarı ($\pm\mu\text{m}$)	Ortalama Parlaklık (\pm°)
1	%100 PA12	20 \pm 0,5	85 \pm 1,7
5	%10 UMGB- %90 PA12	31 \pm 6,0	32 \pm 2,3
6	%10 PEMGB- %90 PA12	26 \pm 7,4	55 \pm 2,0

4.2.2. Kalsitin Aşınmaya Olan Etkisi

Cam bilyelerin dışında kullanılan katkı malzemesi olan kalsiyum karbonatın (kalsit) aşınma direncine etkisi değerlendirilmiştir. Kalsitin ve cam bilye miktarının aşınma miktarına olan etkisini karşılaştırabilmek için ağ. %10 kalsit ile çalışılmıştır.

Kalsit katkılı kompozit kaplamaya ait aşınma miktarı değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Ağırlıkça %100 PA12 ve %10 CaCO₃ ile hazırlanan kaplamaların aşınma miktarları sırasıyla; 20 \pm 0,5 μm ve 45 \pm 6,6 μm 'dur (Tablo 4.9). Kalsit katkısı kullanılarak hazırlanan kaplamanın aşınma direnci her iki cam bilye (ağ.%10) katkısından daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.13: Değişen UMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların renk değişim grafiği.

Teste maruz kalan kaplamalarda meydana gelen renk değişiminin gözle görülebilir olması için, tüm kaplamaların üst bölgeleri ısıya dayanıklı bant ile izole edilmiştir. Çözücüye maruz bırakılan kaplamaların test sonrasında ki görüntüleri Şekil 4.12’de görüldüğü gibidir. UMGB katkısı ile hazırlanmış kaplamaya ait renk değişim değerleri Tablo 4.10’da da görüldüğü üzere referans kaplamadan (%100 PA12) daha yüksektir. Bu demek oluyor ki; kimyasalla muamelesi sonucunda kaplama yüzeyinde meydana gelen renk değişim referans numuneden daha fazladır. ΔE ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazla demektir (Tablo 3.3).

%100 PA12 ile hazırlanan kaplamada meydana gelen renk değişimi, UMGB ile hazırlanan kaplamalardan daha az olduğu Şekil 4.12’de açıkça görülmüştür. Aynı zamanda %100 PA12 ve UMGB katkılı kaplamalar Arçelik kabul sınır değerleri içerisinde yer almaktadır.

Ağırlıkça %100 PA12 ile hazırlanan kaplamanın renk değişim (ΔE) değeri $0,82\pm 0,16$ olarak ölçülürken %10 UMGB katkılı kaplamanın renk değişim (ΔE) değeri $2,16\pm 0,63$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.13). Tablo 4.10’da da özetlendiği gibi UMGB katkısı ağ. %3’ten ağ. %10’a çıkarıldığında kaplamada meydana gelen renk değişiminin arttığı gözlemlendi. Artan renk değişimine rağmen, Tablo 4.10’da özetlenen değerler Tablo 3.3’deki değerler ile karşılaştırıldığında renk değişimi küçük olarak ifade edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, çözücüye maruz bırakılan kaplamalar Arçelik kabul sınırları dışında, renk değişim kontrolünün de yapıldığı belirtilmiştir ve Tablo 4.11’de özetlendiği gibi ağırlıkça PEMGB miktarı arttıkça renk değişim değeri artmıştır. Ağırlıkça %100 PA12 ile hazırlanan referans numunenin renk değişim değeri $0,82\pm 0,16$ ölçülmüşken ağ. %10 PEMGB ile hazırlanan kaplamanın renk değişimi $1,84\pm 0,20$ ölçülmüştür.

Ağırlıkça %10 PEMGB ile hazırlanan kaplamalar fiziksel olarak 9.güne kadar dayanım göstermiştir. Bu dayanım, %100 PA12 ve ağ. %10 UMGB katkılı kaplamanın dayanımından daha düşük olmasına rağmen, ağ. %10 kullanılarak hazırlanan UMGB ve PEMG katkılı kaplamaların renk değişim değerleri sırasıyla; 1,56 ve 1,84 olup, birbirine yakındır (Tablo 4.11).

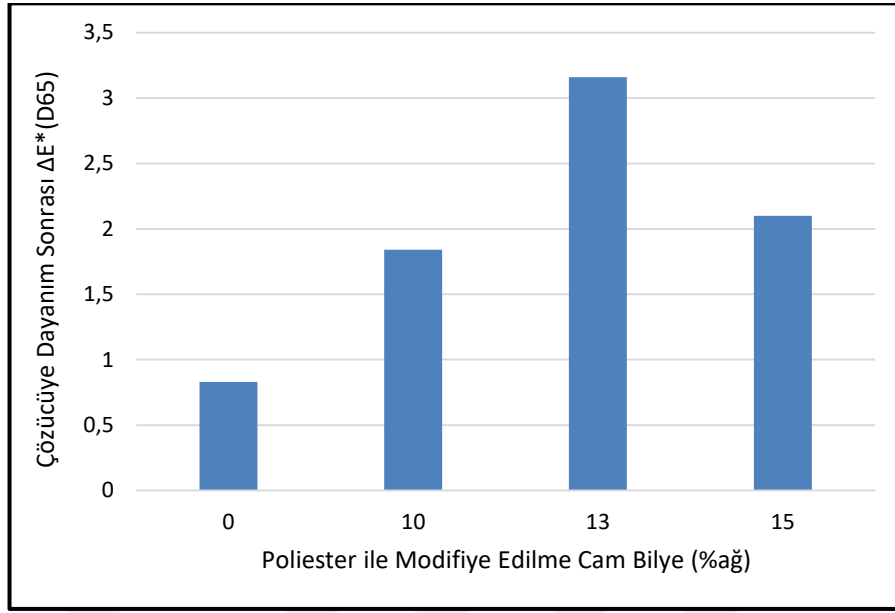
Tablo 4.11: Değişim PEMGB miktarına göre hazırlanan kompozit kaplamalarının çözücüye dayanım sonrası ΔE değerleri.

Komp. No	Ağ.% PEMGB	Çözücüye Dayanım Sonrası $\pm\Delta E$
1	0	$0,82\pm 0,16$
6	10	$1,84\pm 0,20$
7	13	$3,16\pm 0,86$
8	15	$2,10\pm 0,37$

%100 PA12, UMGB ve PEMGB katkılı kaplamaların çözücüye dayanım dirençleri değerlendirildiğinde %100 PA12 en yüksek dirence sahipken ağ. %13 PEMGB en düşük dirence sahip olduğu tespit edilmiştir.

PEMGB katkılı kaplamaların yüzeylerinde açılmaların görüldüğü gün sayısı düştükçe renk değişim değeri artmıştır. Ağırlıkça %13 PEMGB’li kaplama 3.günde açılmış olup ΔE değeri $3,16\pm 0,86$ ’dir. Ağırlıkça %10 PEMGB ile hazırlanmış kaplama ise daha geç açılmalar görülmüş olup daha düşük ΔE değerine sahiptir (Şekil 4.15).

Aynı oranda (ağ. %10) hazırlanmış UMGB ve PEMGB katkılı kaplamaların çözücüye dayanım dirençleri göz önünden bulundurulduğunda ağ. %10 UMGB katkı kompozit kaplamanın 240 saatlik çevrim sonunda açılmamış olması daha dirençli olabileceğini göstermektedir. Ancak durumu parlaklık, aşınma direnci ve çözücüye dayanım olarak değerlendirildiğinde ağ. %10 PEMGB katkılı kaplama performansının daha tercih edilebilir olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.15: Değişen PEMGB miktarına göre hazırlanmış kaplamaların çözücüye dayanım değişim grafiği.

4.3.2. Kalsitin Çözücüye Dayanıma Olan Etkisi

Cam bilyelerin dışında kullanılan katkı malzemesi olan kalsiyum karbonatın (kalsit) çözücü direncine etkisi değerlendirilmiştir. Kalsitin ve cam bilye miktarının parlaklık ve aşınma direnci değerlendirmelerinde olduğu gibi, çözücüye dayanıma olan etkisini karşılaştırabilmek için de ağ. %10 kalsit ile çalışılmıştır.

Kalsit katkılı kompozit kaplamaya ait çözücüye dayanım testi sonra kaplamanın durumu Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Ağırlıkça %100 PA12 ve %10 CaCO₃ ile hazırlanan kaplamaların renk değişim değeri ise sırasıyla; 0,82±0,16, 4±0,72'dir (Tablo 4.12). %100 PA12 ile hazırlanan kaplama yüzeyinde 240 saatin sonunda bir açılma gözlemlenmezken, kalsit katkısı kullanılarak hazırlanan kaplamalar 240 saatlik çevrimi tamamlayamamış olup 1. ve 3. günler açılmalar tespit edilmiştir (Şekil 4.16). Çözücüye dayanımı her iki cam bilye (ağ.%10) katkısından daha düşük olarak bulunmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstriyel olarak kullanılmakta olan PA12 kaplamalarına alternatif, daha ucuz ama kabul sınır değerlerinden ödün vermeden, kompozit kaplama formülasyonlarının geliştirilmesi için üç farklı katkı malzemesi ile çalışılmıştır. Poliester ile modifiye edilmiş (PEMGB), modifiye edilmemiş cam bilye (UMGB) ve kalsit katkıları kullanılarak PA12 esaslı kompozit kaplamalar hazırlanmıştır. Bu katkı malzemelerinin endüstriyel uygulanabilirliğinin değerlendirmek için %100 PA12 kaplaması ile parlaklık değeri, aşınma direnci ve çözücüye karşı dayanımı karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde ise; deneysel çalışmaların sonuçları özetlenmiş olup çalışmanın devamında ele alınabilecek noktalara dikkat çekilerek araştırmacılara ve uygulayıcılara yol göstermek amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

Deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- UMGB katkısı kullanılarak dört farklı oranda (ağ.%3-5-7-10) kaplama formülasyonu çalışılmıştır. Parlaklık değerleri esas alınarak yapılan karşılaştırmada ağ. %3UMGB katkılı kaplamanın, aşınma değerleri esas alınarak yapılan karşılaştırmada ise ağ. %10 UMGB katkılı kaplamanın en başarılı sonucu verdiği belirlenmiştir. Cam bilye ile poliamit 12'nin kimyasal yapısındaki farklılıklar ışık ile etkileşimlerinde de farklılığa neden olmaktadır. Ağırlıkça düşük miktarda UMGB kullanıldığında bu farklılık baskın olmamaktadır ve parlaklık değeri, ağırlıkça daha yüksek miktardaki çalışmalara göre daha yüksek bulunmuştur. Ağırlıkça %10 UMGB katkılı kaplamanın yüksek aşınma direnci yüzeye ya da yüzeye yakın bölgelerdeki cam bilye konsantrasyonunun artışına bağlıdır. UMGB katkısı ağ. %3'ten ağ. %10'a çıkarıldığında kaplamada meydana gelen renk değişiminin arttığı gözlemlenirken, kaplamaların yüzeyinde, 240 saatin sonunda, açılma ve paslanma ile karşılaşılmasıdır.

- PEMGB katkısı kullanılarak üç farklı oranda (ağ.%10-13-15) kaplama formülasyonu çalışılmıştır. Parlaklık değerleri ve aşınma değerleri esas alınarak yapılan karşılaştırmada ağ. %10 PEMGB katkılı kaplamanın en başarılı sonucu verdiği belirlenmiştir. Poliamit matrisine benzer bir yapıya sahip olan PEMGB ile hazırlanan kaplamanın ışık ile etkileşimi PA12'ye benzer bir davranış göstermiştir.

Bu benzerlilik sayesinde, kaplamaların hem aşınma hem de parlaklık değeri pozitif olarak etkilendiği bulunmuştur. Beklenen minimum parlaklık değeri %10 PEMGB ile hazırlanan kaplamalarda elde edilmiştir. Aynı parlaklık değeri %7 UMGB kullanımı ile de sağlanabilmektedir ancak ağırlıkça daha yüksek oranda kullanılan PEMGB ile daha yüksek maliyet avantajı sağlanabildiği tespit edilmiştir. Ağırlıkça düşük miktarda UMGB kullanıldığında bu farklılık baskın olmamaktadır ve parlaklık değeri ağırlıkça daha yüksek miktardaki çalışmalara göre daha yüksek bulunmuştur. Hem parlaklık değeri hem de aşınma direnci yüksek olan ağ. %10 PEMGB ile hazırlanan kaplama çözücüyeye karşı 240 saate değil 216 saate kadar dayanımı göstermiştir. Bu dayanım PEMGB katkısının ağ.%7 ile 10 arasındaki bir miktarın denemesi ile artırılabilir. Bu fiziksel bir kontrol olup, renk değişim (ΔE) değeri küçük olarak değerlendirilebilecek seviyededir.

- Kalsit katkısı kullanılarak sadece bir oranda (ağ.%10) kaplama formülasyonu çalışılmıştır. Ağırlıkça %10 kalsit kullanılarak hazırlanan kompozit kaplamanın parlaklık değerinin, cam bilye kullanımı ile elde edilenden değerlerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Aşınma değerleri esas alınarak yapılan karşılaştırmada ise; inorganik bir bileşik olan kalsitin poliamit matrisi içerisindeki uyumunun UMGB ve PEMGB'den daha düşük olduğu ve bu hazırlanan kaplamanın UMGB ve PEMGB ile hazırlanan kaplamalardan daha düşük aşınma direncine sahip olduğu ölçülmüştür. Bir diğer değerlendirme ölçütü olan çözücüyeye dayanım direncinde en düşük dirence sahip olan kaplamalar kalsit ile hazırlanan kompozit kaplamalar olarak karşımıza çıkmıştır. Poliamit matrisi içerisindeki uyumunun en düşük olması sebebiyle rijit bir kaplama hazırlanamamıştır ve bu tez kapsamında çalışılan, en düşük çözücü dayanımına sahip kompozit kaplama olarak tespit edilmiştir.

- Modifiye edilmemiş cam bilyelerin poliamit matrisinden farklı bir kimyasal yapıya sahip olmasından kaynaklı iki matrisin birbiri ile uyum seviyesinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle parlaklık değerindeki düşüş ve aşınma değerindeki artış bu farklılık ile açıklanabilmektedir. Cam bilye matrisinin poliamit matrisine uyumlaşmasını arttırmak için poliester ile modifiye edilmiş cam bilye kullanılmıştır. Poliester ve poliamitin kimyasal yapısının benzerliği ile yüksek parlaklık değeri ve yüksek aşınma direnci sağlanmıştır. Kaplamaların hem parlaklık değeri hem de aşınma direnci gözü önüne alındığında en uygun değerler, %10 PEMGB kompozit formülasyonu ile elde edilmiştir.

- Endüstriyel uygulama hedefi göz önüne alındığında parlaklık değeri ve aşınma direnci dışında maliyet avantajı da değerlendirilmelidir. Bu kapsamda ağ.%10 PEMGB katkılı kompozit kaplamanın akışkan yatak tekniği ile başarılı bir şekilde hazırlanabileceği ve %100 PA12 yerine kullanılabilmesi bu tez kapsamında gösterilmiştir.

Tüm elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak sonraki çalışmalara yön vermesi açısından aşağıdaki önermeler yapılabilir:

- Çalışmada kullanılan organik ve inorganikler farklı akışkanlaşma kinetiğine sahip olmasının homojen dağılıma sebep olmasını engellemek için, tozlar önden bir ısıtma işlemi ya da tozların camsı geçiş sıcaklığında sıcak hava ile akışkanlaştırılarak başka bir çalışma yürütülebilir. Böylece tozların önden birbirine tutunması ve birlikte hareket etmesi sağlanmış olacaktır. Bu da kaplama yüzey kalitesini katkı sağlayabilir.
- Çalışmalar kompozit kaplamaların aşınma miktarlarının mevcuttan (%100 PA12) daha yüksek olduğu göstermiştir. Aşınma direncini iyileştirmek için kullanılan tane boyutlarından daha düşük tane boyutlarına sahip organik ve inorganikler kullanılarak kompozit kaplamaların hazırlanıp karakterize edilebilir (Örn: mikronaltı kalsit, 1µm'lık cam bilye gibi.).
- Çalışmada kullanılan metot parametreleri (ön ısıtma sıcaklığı, daldırma süresi gibi) mevcut bulaşık makine sepetlerini kaplarken kullanılan parametrelerdir. Ancak başka bir çalışmada farklı parametrelerde kaplama yapılarak, özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Çalışmada kompoziti oluşturan malzemeler arasındaki yoğunluk farkının yatak içerisinde çökelmelere sebebiyet vermesini engellemek için akışkan yatak içerisinde hava kanalı sayısı artırılarak çalışılabilir.
- Yoğunluk farkının kaplama homojenliğini nasıl etkilediğini tayin etmek ve tozun homojen karıştığından emin olmak için tek bir çubuk akışkan yatağa daldırılarak, belli aralıklarda, çubuk boyunca kaplama profilinin gözlemlenerek çalışmaya yön verilebilir.
- Çalışmalara yüzey pürüzlülük tayini yapılamamıştır. Başka bir çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri tespit edilerek parlaklık ile ilişkilendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Brydson J. A., (1999), "Polyamides and Polyimides", Plastics Materials, 7th Edition, Oxford, UK.
- [2] Gökkurt T., (2007), "Farklı Yöntemlerle Kaplanan Termoplastiklerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [3] Leong K. C., Lu G. Q., Rudolph V., (1999), "A comparative study of the fluidized-bed coating of cylindrical metal surfaces with various thermoplastic polymer powders", Journal of Materials Processing Technology, 89 354-360.
- [4] Biron M., Marichal O., (2012), "Thermoplastics and Thermoplastic Composites", 2nd Edition, William Andrew, 31 December.
- [5] Web1, (2020), <https://studylib.net/doc/18502655/getting-the-most-out-of-powder-coatings-getting-the-most-...>, (Erişim Tarihi: 01/03/2020).
- [6] Audenaert M., Foucher B. M., Delahaye I., Achard B., Vitoux A., (2005), "Thermoplastic Polymer Based Powder and Its Use for Obtaining A Rough Coating", U.S. Patent 2005/0170179 A1.
- [7] Chuajiw W., Takatori, K., Fukushima Y., (2014), "Polymerization properties of polyamide in bottom-up prepared polyamide-calcium carbonate composites", Polymer Composites, 35, (6), 1132-1139.
- [8] Heinrich D., Scholten H., See H. A., (2007), "Polyamide Fluidized Bed Coating Powder for Thin Layer Fluidized Bed Coating", U.S. Patent 2007/0166451 A1.
- [9] Chung H., Das S., (2006), "Processing and properties of glass bead particulate filled functionally graded nylon-11 composites produced by selective laser sintering", Materials Science and Engineering: A, 437(2), 226-234.
- [10] Mousah A., (2011), "Effects of Filler Content and Coupling Agents on The Mechanical Properties and Geometrical Accuracy of Selective Laser Sintered Parts In Glass Bead Filled Polyamide 12 Composites", Doctoral Dissertation, Cardiff University, UK.
- [11] Athreya S., (2010), "Processing and Characterization of Carbon Black Filled Electrically Conductive Nylon 12 Nanocomposites Produced by Selective Laser Sintering", Doctoral Dissertation, Georgia Institute of Technology, USA.
- [12] Bai J., (2013), "Development of A Polyamide12/Carbon Nanotube Nanocomposite for Laser Sintering", Doctoral Dissertation, Loughborough University, UK.
- [13] Saçak M., (2008), "Polimer Kimyasına Giriş", 4.Baskı, Gazi Kitabevi.

- [14] Tanaka H., Watanabe K., (1999), "Shear viscosity of nylon 6 melts reinforced with microfibrinous calcium silicate hydrate", *Polymer Engineering&Science*, 39(5), 817-824.
- [15] Hesketh R. P., Slater C. S., Farrell S., Carney M., (2002), "Fluidized bed polymer coating experiment", *Chemical Engineering Education*, 36 (2), 138-143.
- [16] Takeshita Y., Sawada T., Handa T., Watanuki Y., Kudo T., (2012), "Influence of air-cooling time on physical properties of thermoplastic polyester powder coatings", *Progress in Organic Coatings*, 75 (4), 584-589.
- [17] Turi E., (2012), "Thermal Characterization of Polymeric Materials", 1st Edition, Elsevier, 237-564.
- [18] Wang W., Zhang X., Mao Z., Zhao W., (2019), "Effects of gamma radiation on the impact strength of polypropylene (pp)/high density polyethylene (HDPE) blends", *Results in Physics*, 12, 2169-2174.
- [19] Spyrou E., (2012), "Powder Coatings Chemistry and Technology", 3rd Revised Edition by Vincentz Network, 22-36.
- [20] Wicks J., Zeno W., Frank N. J., Passas S. P., (1999), "Powder Coatings: Part IV-Application Methods, Advantages and Limitations", *Journal of Coatings Technology, Educational Series*, 67-73.
- [21] Shibata K., Yamaguchi T., Hokkirigawa K., (2014), "Tribological behavior of polyamide 66/rice bran ceramics and polyamide 66/glass bead composites", *Wear* 317 (1-2), 1-7.
- [22] Ferreira T. R. M., Dias F., Da Silva A. B., (2016), "Mechanical properties evaluation of glass fiber and hollow glass bubble reinforced polyamide 6 composites", 22nd CBECIMat, Natal, Brasil, 6-10 November.
- [23] Unal H., Findik F., Mimaroglu A., (2002), "Mechanical behavior of nylon composites talc and kaolin containing", *Journal Applied Polymer Science*, 88, 1694-1697.
- [24] Imrek H., Demet S. M., (2014), "Experimental investigation of wear behaviors of bronze and carbon reinforced poly (tetrafluoroethylene) alloy pivot pin bearings", *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(10), 1187-1194.
- [25] Tjong S. C., Xu S.A., (2000), "Ternary polymer composites: PA 6,6/maleated SEBS/glass beads", *Journal of Applied Polymer Science*, 81, 3231-3237.
- [26] Unal H., (2004), "Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives", *Materials and Design*, 25, 483-487.

- [27] Bose S., Mahanwar P.A., (2005), "Effects of titanate coupling agent on the properties of mica-reinforced nylon-6 composites", *Polymer Engineering Science*, 45, 1479–1486.
- [28] Web2, (2019), www.pottersbeads.com, (Erişim Tarihi: 01/03/2020).
- [29] Mutua F. N., Lin P., Koech J. K., Wang Y., (2012), "Surface modification of hollow glass microspheres", *Materials Sciences And Applications*, 3, 856-860.
- [30] Bello J. O., Wood R.J.K., (2003), "Grooving micro-abrasion of polyamide 11 coated carbon steel tubulars for downhole application", *Wear*, 255, 1157–1167.
- [31] Amos S. R., Yalcin B., (2015), "Hollow Glass Microspheres for Plastics, Elastomers and Adhesives Compounds", 1st Edition, Elsevier, William Andrew by Matthew Deans.
- [32] 3M, (2012), "Introduces New Glass Bubble Filler for PP And PA Systems", *Additives for Polymers*, 6, 5-6, 30 April.
- [33] Delogu M., Zanchi L., Maltese S., Bonoli A., Pierini M., (2016), "Environmental and economic life cycle assessment of a light weight solution for an automotive component: a comparison between talc filled and hollow glass microspheres-reinforced polymer composites", *Journal of Cleaner Production*, 139, 548-560.
- [34] Aruniit A., Kers J., Majak J., Krumme A., Tall K., (2012), "influence of hollow glass microspheres on the mechanical and physical properties and cost of particle reinforced polymer composites", *Proceedings of The Estonian Academy of Sciences*, 61, 3, 160–165.
- [35] Chung D. D. L., (2017), "Processing structure-property relationships of continuous carbon fiber polymer-matrix composites", *Materials Science and Engineering, R*, 113, 1–29.
- [36] Dorhmi K., Morin L., Derrien K., Hadjem Z., Chevalier J. P., (2020), "A homogenization-based damage model for stiffness loss in ductile metal-matrix composites", *Journal of The Mechanics and Physics of Solids*, 137, 103812.
- [37] Şahin Y., (2000), "Kompozit Malzemelere Giriş", 1. Baskı, Gazi Kitapevi.
- [38] Mancic L., Osman R. F., Costa A. M., D'almeida J. R., Marinkovic B. A., Rizzo F. C., (2015), "Thermal and mechanical properties of polyamide 11 based composites reinforced with surface modified titanate nanotubes", *Materials&Design*, 83, 459-467.
- [39] Rotheron R., Paynter C., (2007), "Calcium Carbonate Fillers", *Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series*, 1-12.
- [40] Bonse B. C., Molina L. M., (2016), "Effect of calcium carbonate particle size and content on polyamide 6 processing and properties", *AIP Conference Proceedings*, 1779, Brazil, 31 October.

- [41] Bourell D. L., Beaman J. J., Marcus H.L., Barlow J. W., (1990), "Solid Freeform Fabrication an Advanced Manufacturing Approach", Solid Freeform Fabrication Symposium, Texas, USA, 6-8 August.
- [42] Kers J., Majak J., (2008), "Modelling a new composite from a recycled GFRP", Mechanics of Composite Materials, 44, 6, 623-624.
- [43] Park S. J., Jin F. L., Lee C., (2005), "Preparation and physical properties of hollow glass microspheres-reinforced epoxy matrix resins", Materials Science and Engineering, A, 402, 335-340.
- [44] Rotheron R. N., (2002), "Particulate Fillers For Polymers", Ismithers Rapra Publishing, 12, Manchester Metropolitan University, UK.
- [45] Turner S. L., Baskir J. N., Nunez C. M., (1999), "Powder Coatings: A Technology Review", Pollution Prevention Review, John Wiley&Sons Incorporated, New York, 7-21.
- [46] Barletta M., A.Gisario A., Guarino S., Tagliaferri V., (2008), "Fluidized bed coating of metal substrates by using high performance thermoplastic powders: statistical approach and neural network modelling", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21, 1130-1143.
- [47] Barlettat M., Tagliaferri V., (2005), "Electrostatic fluidized bed deposition of a high performance polymeric powder on metallic substrates", Surface and Coatings Technology, 200, 4282- 4290.
- [48] Prasad L. K., Mcginity J. W., Williams R. O., (2016), "Electrostatic powder coating: principles and pharmaceutical applications", International Journal of Pharmaceutics, 505, 289-302.
- [49] Spyrou E., (2008), "Fluidized bed sintering with novel low temperature curable polyurethane powder coatings", European Coatings Conference, Germany, 14-15 February.
- [50] Chutima D., (2004), "Particle Transport In Fluidized Beds", University Medical Center Groningen, Netherlands, Chapter 2, 7-28.
- [51] Barletta M., Simone G., Tagliaferri V., (2006), "Advance in fluidized bed coating: an experimental investigation on a performance polymer coating alloy", Journal of Materials Processing Technology, 178, 170-180.
- [52] TSE, (2014), "Boyalar ve vernikler- metalik olmayan boya filmlerinin 20°, 60° ve 85° açılarda parlaklık tayini", TS EN ISO 2813, Türk Standartları Enstitüsü.
- [53] Özcan A., (2008), "Kağıt yüzey pürüzlülüğünün L*a*b* değerler üzerine etkisinin belirlenmesi", İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 7, 14, 53-61.

[54] DIN, (1990), “Boya kaplamalarının kabarma derecesinin belirlenmesi”, DIN 53209, Alman Standardizasyon Enstitüsü.



ÖZGEÇMİŞ

Ceren SALMAN 1993 yılında İstanbul’da doğdu. Lise öğrenimi 2008-2011 yılları arasında Neşet Yalçın Lisesi’nde, lisans öğrenimini 2011-2016 yılları arasında Gebze Teknik Üniversitesi (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü) Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. Ardında 2016 yılında, Gebze Teknik Üniversitesi, FBE Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Eş zamanlı olarak, 2016 yılının Ekim ayında, Arçelik A.Ş./Malzeme Teknolojileri Ailesi’nde Ar-Ge Proje Mühendisi olarak başladı ve bu görevi Mart/2019’a kadar sürdürdü. Mayıs/2019 itibari ile Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi’de Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.