KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEFLON KAPLAMALARDA KULLANILAN FARKLI TÜRDEKİ DOLGULARIN KAPLAMANIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ONURHAN TOÇ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEFLON KAPLAMALARDA KULLANILAN FARKLI TÜRDEKİ DOLGULARIN KAPLAMANIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ONURHAN TOÇ

Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Mehmet KODAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Kemal KARADENİZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmam sırasında beni yönlendiren ve desteğini her zaman hissettiğim danışmanım Sayın Doç. Dr. Ayşe AYTAÇ'a,

Bu çalışmanın hayata geçmesine destek sağlayan Gizem Seramik Frit ve Glazür San. Tic. A.Ş. firması yöneticilerine ve çalışanlarına, Seramik AR-GE müdürü Sayın Bünyamin ÖZTÜRK'e, Fonksiyonel Kaplamalar AR-GE müdürü Sayın Oğuzhan ÇİMEN'e ve değerli iş arkadaşlarım Ahmet Nazım BİBİNOĞLU, Süleyman Önder VARIŞLI, Ceyhun BALIKCI, Enes AKGÜN'e

Çalışmaların sırasında sürekli yanımda olan arkadaşım Samet DURSUN'a
Başta sevgili annem, sevgili babam ve bana kendimi her zaman şanslı hissettiren ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Ecenur KOÇ'a,

Sonsuz Teşekkürler…

Temmuz – 2019 Onurhan TOÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Yapışmaz (Non-Stick) Malzemeler 3
1.2. Yapışmaz Malzemelerin Kullanım Alanları 3
1.2.1. Savunma sanayi 4
1.2.2. Gıda endüstrisi 4
1.2.3. Mutfak gereçleri 4
1.2.4. Rulman malzemeleri 5
1.3. Yapışmaz Kaplamaların Üretiminde Kullanılan Malzemeler 5
1.3.1. Bağlayıcılar 5
1.3.2. Reoloji ajanları 6
1.3.3. Yüzey aktif malzemeler (Surfactantlar) 7
1.3.4. Çözücüler 8
1.3.5. pH düzenleyiciler 9
1.3.6. Pigmentler 10
1.3.7. Mika 11
1.3.8. Kolloidal silika 11
1.3.9. Dolgu malzemeleri 11
1.3.9.1. Silisyum karbür (SiC) 12
1.3.9.2. Alümina 13
1.3.9.3. Karbon nanotüp (CNT) 13
1.3.9.4. Grafen 14
1.3.10. Politetrafloroetilen 16
1.4. Yapışmaz Malzemelerin Üretim Yöntemleri 18
1.4.1. Karıştırma 18
1.4.2. Öğütme 19
1.5. Yapışmaz Malzemelerin Yüzey Uygulamaları 19
1.5.1. Basınçlı sprey tabanca uygulamaları 20
1.6. Yapışmaz Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri 21
1.6.1. Termogravimetrik analiz (TGA) 21
1.6.3. Temas açısı ölçümü (CA) 23
1.6.3.1. Young denklemi 23
1.6.3.2. Wenzel denklemi 24
1.6.3.3. Islanabilirlik derecesi 24
1.6.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 25
1.7. Yapışmaz Kaplamalara Uygulanan Mekanik Testler 26

1.7.1. Aşınma testi 26
1.7.2. Yumurta testi 26
1.7.3. Kareleme testi 27
1.7.4. L-a-b Testi 27
1.8. Literatür Özeti 28
2. MALZEME VE YÖNTEM 33
2.1. Malzemeler 33
2.2. Yöntem 33
2.2.1. Örneklerin hazırlanması 33
2.2.2. Karakterizasyon 36
2.2.2.1. Termo gravimetrik analiz (TGA) 36
2.2.2.2. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) 36
2.2.2.3. Temas açısı ölçümleri (CA) 37
2.2.2.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 37
2.2.2.5. Aşınma testi 38
2.2.2.6. Yumurta testi 38
2.2.2.7. Kareleme testi 39
2.2.2.8. L-a-b testi 39
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 40
3.1. PTFE Katkılı Sıvı Solüsyonların Karakterizasyonu 40
3.1.1. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) 40
3.1.2. Termo gravimetrik analiz (TGA) 41
3.2. Yapışmaz Yüzey Kaplamalı Malzemelerin Karakterizasyonu 42
3.2.1. Temas açısı ölçümleri (CA) 42
3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 44
3.2.3. Aşınma testi 47
3.2.4. Yumurta testi 48
3.2.5. Kareleme testi 49
3.2.6. L-a-b testi 50
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 51
KAYNAKLAR 54
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 59
ÖZGEÇMİŞ 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Poliamid-imid sentezi. 6
Şekil 1.2. Yüzey aktif malzemelerin şematik gösterimi 8
Şekil 1.3. N-metil pirolidon kimyasal yapısı 9
Şekil 1.4. Kübik (a), Hegzagonal (b) kristal yapısı 12
Şekil 1.5. SiC üretim sürecinde kullanılan fırın görseli 13
Şekil 1.6. a)Zikzak tipi b)Koltuk tipi c)Chiral tipi nanotüpler 14
Şekil 1.7. Grafenin kimyasal yapıları 15
Şekil 1.8. Lerf teorisine göre grafen yapısı 16
Şekil 1.9. PTFE polimeri 17
Şekil 1.10. Diskli karıştırıcılar 18
Şekil 1.11. Gezegen tipi değirmen 19
Şekil 1.12. Basınçlı sprey uygulamaları 20
Şekil 1.13. Termo-gravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi 21
Şekil 1.14. Esneme ve eğilme titreşimleri 22
Şekil 1.15. Simetrik ve asimetrik esneme titreşimleri 22
Şekil 1.16. Wenzel modeli 24
Şekil 1.17. a) Yüksek b) Düşük c) Çok düşük yüzey enerjisi 25
Şekil 1.18. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünüşü 25
Şekil 1.19. L-a-b testi 28
Şekil 2.1. TGA cihazı 36
Şekil 2.2. FTIR cihazı 36
Şekil 2.3. Temas açısı ölçüm cihazı 37
Şekil 2.4. Taramalı elekton mikroskobu 37
Şekil 2.5. Aşınma testi 38
Şekil 2.6. Yumurta testi 39
Şekil 2.7. Plaka ve bant üzerindeki kareleme testi 39
Şekil 2.8. L-a-b ölçüm cihazı 39
Şekil 3.1. FTIR sonuçları 40
Şekil 3.2. TGA bozunma verileri 41
Şekil 3.3. Temas açısı ölçümleri 43
Şekil 3.4. Temas açısı değerleri 44
Şekil 3.5. x500 büyütmedeki silisyum karbür (SiC) yüzey görüntüleri 45
Şekil 3.6. x500 büyütmedeki alümina takviyeli yüzey görüntüleri 45
Şekil 3.7. Karbon nanotüp takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri 46
Şekil 3.8. Grafen takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri 46
Şekil 3.9. Aşınma testi verileri 48
Şekil 3.10. Yumurta testi sonuçları 48
Şekil 3.11. Kareleme testi sonuçları 49

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Silisyum karbürün genel özellikleri 12
Tablo 1.2. Grafenin genel özellikleri 16
Tablo 1.3. PTFE'nin genel özellikleri 17
Tablo 1.4. Karışım tiplerinin sınıflandırılması 18
Tablo 1.5. Temas açılarının sınıflandırılması 25
Tablo 1.6. Mikroskopların farklı özellikleri 26
Tablo 1.7. Kareleme testine göre referans değerler 27
Tablo 2.1. SiC tane boyutları 33
Tablo 2.2. Alt kat reçete bileşimi 34
Tablo 2.3. Dolgu malzemesi oranları 35
Tablo 3.1. Bozunma sıcaklıkları değerleri 41
Tablo 3.2. (CA) değerleri 44
Tablo 3.3. Aşınma testi verileri 47
Tablo 3.4. Tane boyutu ve katkı malzemelerin renk performansına etkisi 50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cP	: Centipoise
η	: Dinamik Viskozite
GPa	: Gigapascal
γK	: Katı Ara Yüzey Kuvveti (F)
γKH	: Katı-Hava Ara Yüzey Kuvveti (F)
γKS	: Katı-Sıvı Ara Yüzey Kuvveti (F)
γS	: Sıvı Ara Yüzey Kuvveti (F)
γSH	: Sıvı-Hava Ara Yüzey Kuvveti (F)
F/A	: Kayma Gerilimi (N/mm^2)
dV/dr	: Kayma Hızı
µL	: Mikrolitre
µm	: Mikrometre
θW	: Wenzel Temas Açısı
θY	: Young Temas Açısı

Kısaltmalar

CA	: Temas Açısı (θ)
CNT	: Karbon Nanotüp
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
IR	: Infrared
MPa	: Megapascal
MTP	: Mechanical Tiger Paw
MWNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
NMP	: N-Metil Prolidon
PAI	: Poliamid-Imid
PCC	: Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat
PMA	: Propilen Glikol Metil Eter Asetat
PTFE	: Politetrafloroetilen
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum Karbür
SiO_2	: Kuvars
TGA	: Termal Gravimetrik Analiz
TPa	: Telapascal

TEFLON KAPLAMALARDA KULLANILAN FARKLI TÜRDEKİ DOLGULARIN KAPLAMANIN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, ilk aşama olarak yapışmaz kaplamalarda dolgu malzemesi olan Silisyum Karbür'ün (SiC) farklı tanecik boyutunun kaplama özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Üretilen kaplamalarda SiC 1000, SiC 500, SiC 400 reçete içerisinde önce tek tek sonra da karışım olarak eklenmiştir. Karbon nanotüp ve grafen ise kaplama bileşiminde SiC 1000 ile karıştırılarak kullanılmıştır. Daha sonra karbon nanotüp (CNT) ve grafenin SiC ile karışımları yapışmaz kaplamaya eklenerek ilk bölümde yapılan karakterizasyon testleri, karışım kullanılarak üretilen kaplamalarda yapılmıştır. Üretilen kaplamalara öncelikle bant testi, yumurta testi ve aşınma testi uygulanmıştır. Elde edilen kaplamalı yüzeyler değerlendirildikten sonra Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Temas Açısı Ölçümü, Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR) ve Termal Gravimetrik Analiz (TGA) analizleri yapılarak sonuçlar desteklenmiştir. Yapılan çalışmalarda aşınmaya karşı direnç SiC 400 kullanılan reçetede en yüksek değere ulaşmıştır. Tane boyutunun azalmasıyla aşınmaya karşı dayanıklılığın azaldığı gözlemlenmiştir. Kaplamalara uygulanan temas açısı ölçümleri sonucu grafen ve CNT katkılı karışımların hidrofobik özellik gösterdiği görülmüştür. Kaplamanın yapışma performansı görsel bir test olan yumurta testi yapılarak değerlendirildi. CNT ve grafen takviyeli bileşimler olumsuz sonuç verirken, karışım olarak hazırlanan SiC 1000 ve SiC 400, en iyi sonucu veren bileşim olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Politetrafloroetilen, Silisyum Karbür (SiC), Temas Açısı, Yapışmazlık.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT TYPES FILLINGS ON THE PROPERTIES TEFLON COATINGS

ABSTRACT

In this study, firstly, the effects of different particle sizes of Silicon Carbide (SiC) used as fillers in nonstick coating compositions were investigated. Then, carbon nanotube (CNT) and graphite added SiC mixtures were added to the non-stick coating and characterization tests were performed in the first section. In the first stage experiments, SiC 1000, SiC 500, SiC 400 were added one by one in the recipe and then added as a mixture. Carbon nanotube and graphene were used in the coating recipe by mixing with SiC 1000. The prepared coatings were first subjected to quadrature test, egg test and abrasion test. After the coated surfaces were evaluated, Scanning Electron Microscopy (SEM), Contact Angle Measurement, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Thermal Gravimetric Analysis (TGA) analyses were performed to support the results. In the experiments, the abrasion resistance reached the highest value in the experimental formulation containing SiC 400. It has been observed that abrasion resistance decreases with decreasing particle size. The hydrophobicity performance of the coatings was evaluated by measuring the contact angle. Prescriptions containing graphene and carbon nanotube gave positive results.
The non-stick performance was evaluated by the egg test. Experimental formulations containing carbon nanotube and graphene gave negative results, while the best non-stick results obtained for SiC 1000 and SiC 400 containing recipes.

Keywords: Abrasion, Poly (tetrafluoroethylene), Silicon Carbide (SiC), Contact angle, Non-stick.

GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna paralel olarak, günlük yaşamda var olan yoğun iş tempoları özel hayata ayrılan zamanı kısıtlamaktadır. Bu nedenle hayatımızı kolaylaştıracak, zamandan tasarruf sağlayacak yenilikler günümüzde sıkça tercih edilmektedir. 1900'lü yıllarda mutfaklarda sıklıkla kullandığımız çelik tencerelerin yıkama zorluğu ve yemek artıklarının çok zor temizlenmesi bilim insanlarını daha kolay temizlenebilen mutfak gereçleri arayışına sürüklemiştir. 1938 yılında DuPont firmasında çalışan 27 yaşındaki kimyacı Dr. Roy J. Plunkett tarafından tesadüfen keşfedilen teflon, ilk olarak 2.dünya savaşında silah sanayisinde conta üretiminde kullanılmıştır. Savaşın devam ettiği 1940'lı yıllarda ise teflona şekil verme ve metal yüzeyleri kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. 1938 yılında keşfedilen bu ürün, 1960'lı yıllara doğru günlük hayatımıza girmeye başlamıştır (Akbulut, 2009).

Yapışmaz kaplamalar (non-stick coating) düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon direnci, dielektrik ve sıcaklık dayanımına sahip olmaları nedeniyle günümüzde farklı endüstriyel alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır. Yapışmaz kaplamalar, polimer esaslı kaplamalardır ve ana bileşenleri bağlayıcı (reçine), pigment (renk verici kimyasal), floropolimerler, katkılar ve taşıyıcılardır (su veya çözücü kimyasallar). Politetrafloroetilen (PTFE) içerikli malzemeler yapısal özellikleri gereğince kaplanmış olduğu yüzeye yapışmazlık özelliği kazandırır. Bu özelliğinin yanı sıra sürtünme katsayısının düşük olması, yüksek korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi özelliğinden dolayı da sıklıkla tercih edilen bir floropolimerdir.

Yapışmaz kaplamaların en büyük eksikliği ise aşınma dirençlerinin düşük olmasıdır. Teflon kaplamalar günümüzde özellikle mutfak gereçlerinin kaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Aşınma direncinin düşük olması, malzeme ömrünün kısa olmasına neden olmaktadır. Aşınma direnci, astar kat olarak tanımlanan alüminyum taban ile üst kat arasında bulunan ve yapıyı alüminyumdan gelebilecek zararlı etkilere karşı koruyan katman tarafından iyileştirilebileceği düşünülmüştür. Astar katın içerisinde bulunan dolgu malzemeleri yapının aşınma direncini belirlemektedir (Bozan, 2013).

Tez çalışmaları kapsamında Bölüm 1'de ilk olarak kullanılan kimyasallar hakkında genel bilgi verilmiş olup, literatürde yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Ayrıca üretim yöntemleri ve analizler için gerekli olan cihazlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bölüm 2'de ise deneysel formülasyonlar hakkında bilgiler verilmiş olup karakterizasyonları için yapılan yöntemler açıklanmıştır. 3. bölümde ise yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar derlenip yorumlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Yapışmaz (Non-Stick) Malzemeler

Yapışmaz kaplamalar yapıları gereği kolay temizlenebilir olmaları nedeniyle günümüzde oldukça fazla tercih edilmektedir. Doğada bulunan Lotus çiçeğinin kendi kendini temizleme özelliği bu çalışmalarda yol gösterici rol oynamıştır. Lotus çiçeği genellikle çamurlu bölgelerde yetişiyor olmasına rağmen yaprakları her zaman temiz kalabilmektedir. Bu çiçeğin yüzey yapısı incelendiğinde ise yapısının düz olmadığı aksine gözenekli yapıların fazla olduğu ve bu gözenekli yapıların süperhidrofobik yüzey oluşumunu desteklediği görülmüştür (Kibar, 2016).

Süperhidrofobik yüzeyler; nano boyuttaki girintiler ya da gözenekler içerisinde oluşan hava sayesinde su damlalarının yüzeyle temasını en aza indirerek damlaların yüzeye tutunmadan uzaklaşmasını sağlarlar. Su damlaları küresel bir şekil oluşturur ve içerisine hapsettiği kir ve tozları yüzeyden ayırır.

Yapışmaz yüzeyler aynı zamanda süperhidrofobik özellikler de taşımaktadır. Yapıda oluşan yapışmazlık özelliği floropolimer malzemeler tarafından sağlanmaktadır. Bu floropolimerler geniş çalışma sıcaklığı aralığı, kimyasal direnç ve düşük sürtünme katsayısı özelliklerinden dolayı endüstride sıkça kullanılmaktadır (Mehmetalioğlu, 2017).

1.2. Yapışmaz Malzemelerin Kullanım Alanları

Floropolimer türü olan PTFE geniş çalışma sıcaklığı sağlaması özelliğinden dolayı endüstride sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca düşük sürtünme katsayısına sahip oluşu birçok sektörde enerji verimliliğini arttırmıştır. Yapışmazlık özelliği ile mutfak gereçleri ve rulman malzemelerinde sıklıkla kullanılırken, düşük sürtünme katsayısına sahip olmasından dolayı da savunma sanayisinde ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır.

1.2.1. Savunma sanayi

İkinci dünya savaşı öncesinde DuPont firması tarafından tesadüfen keşfedilen teflon, Amerika Birleşik Devletleri tarafından 1942 yılında yürütülen atom bombası çalışmalarında, uranyumun zenginleştirilmesi işlemi sırasında kullanılmıştır (Akbulut, 2009). Uranyum; gaz halinde iken sistem içerisindeki bağlantı borularını eritme özelliğine sahiptir. Bağlantı noktalarında bulunan contalar, düşük sürtünme katsayısına ve yapışmaz özelliğe sahip olan teflon ile kaplanarak boruların aşınmasını engellemiştir. Savaşın olduğu senelerde teflon gizli bir kimyasal olarak tanıtılmış olup K-416 kodu ile ortaya çıkarılmıştır. 2. Dünya Savaşının bitmesi ile K-416 kodunun floropolimer esaslı bir polimer olan teflon olduğu açıklanmıştır.

1.2.2. Gıda endüstrisi

Yapışmaz özellikli malzemeler gıda sektöründe enerji ve zamandan tasarruf sağlamıştır. Peynir üreticilerinden olan Falbo Dairy Products Inc. firması teflon kullanmadan önce kalıplama aşamasında yüzeye yapışan peynirlerin kalıptan çıkarılmasının hem iş gücü, hem de zaman kaybı oluşturduğunu bildirmiştir. Proseslerinde kullandıkları malzemelerin yüzeyleri teflon ile kaplandıktan sonra yapışma problemi giderilmiş olup, firmanın üretimlerinde zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanmıştır.

Peynir üreticilerinin yanı sıra bisküvi - kek üreticileri ve fast-food restoranları aynı amaç doğrultusunda teflon kaplı malzemeler kullanmaktadırlar (Akıncı vd, 2017).

1.2.3. Mutfak gereçleri

Bilindiği gibi teflon, mutfak gereçlerinin kaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. İş ve günlük hayat tempolarının özel yaşantılara ayrılan süreyi kısıtlaması, birçok kişiyi zaman tasarrufundan dolayı teflon kaplamalı malzemelere yönlendirmiştir. Teflon malzemeler yapışmaz ve kolay temizlenebilir özelliği ile zamandan tasarruf sağlamıştır. Mutfak gereçlerinde ise en büyük eksikliği olarak kolay aşınabilir olmaları gösterilmektedir (Akıncı vd, 2017).

1.2.4. Rulman malzemeleri

Malzemelere kazandırmış olduğu yapışmazlık ve düşük sürtünme katsayısı özelliği sebebiyle floropolimerler sıklıkla tercih edilmektedir. Cıvata ve contaların yanı sıra otomotiv sektöründe debriyaj plakalarında kullanılırlar. Sıvı ve toz akışının fazla olduğu işletmelerde yüksek basınç zamanla borularda, özelliklede kıvrım ve dirsek kısımlarında sürtünmeden kaynaklı aşınmalar oluşmaktadır. Floropolimer esaslı malzemeler ise bu sürtünmelerden kaynaklı aşınmaları önlemektedir (Akıncı vd, 2017).

1.3. Yapışmaz Kaplamaların Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Yapışmaz özelliklere sahip kaplamalar polimerik esaslı malzemelerdir. Yapıda floropolimerlerin yanı sıra bağlayıcılar, pigmentler, dolgu malzemeleri ve çözücüler bulunur (Bozan, 2013).

1.3.1. Bağlayıcılar

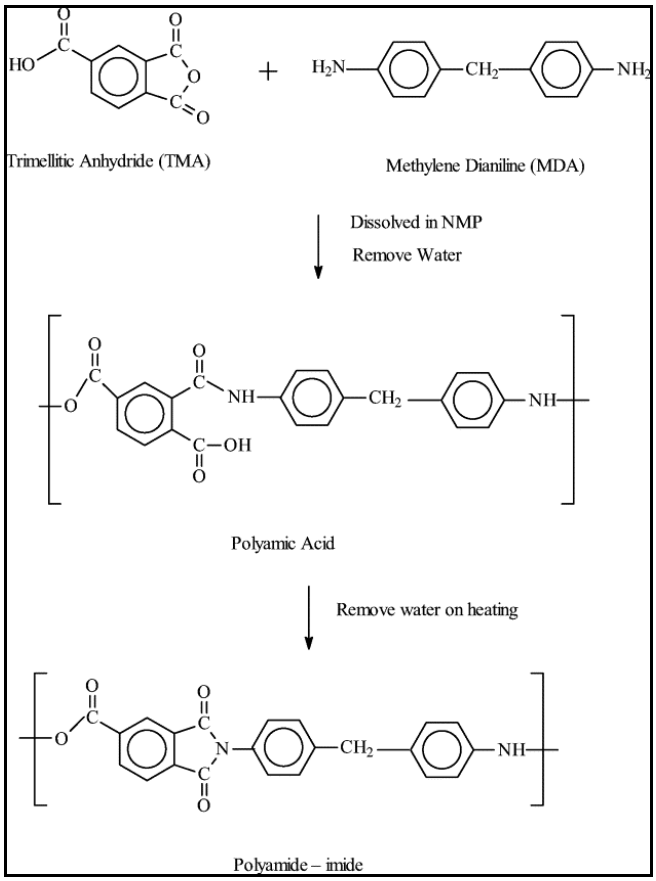
Bağlayıcılar; yapıda çözücüler uzaklaştığı andan itibaren katı bir film oluşumu sağlayan ve yüzeyler arası etkileşimi arttıran reçinelerdir (Bozan, 2013). Mutfak gereçleri kaplamalarında kullanılan bir bağlayıcı türü de poliamid imid'dir.

Poliamid imid (PAI) reçinesi, ilk olarak 1955 yıllarında DuPont firması tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra bu reçineler, 1970 yıllında kalıp malzemelerin sıkıştırılmasında kullanılmıştır. N-metil-pirolidon (NMP) çözeltisi ile birlikte kullanıldığında, mutfak gereçleri ve uygulamaları için dekoratif bir kaplama, uzay araçlarında bir yapıştırıcı ve laminasyon reçinesi olarak kullanılmıştır (Dawkins vd, 2014).

PAI'lar, metilen diamin gibi bir aromatik diaminin ve trimellitik asit klorür gibi bir anhidritin yoğunlaştırılmasıyla hazırlanan termoplastik amorf polimerlerdir. Şekil 1.1'de Poliamid-imid sentezi verilmiştir. PAI'lar mekanik, ısıl ve kimyasal direnç, yüksek dayanım, eriyik işlenebilirliği ve yüksek ısı kapasitesine sahiptirler. Enjeksiyon veya basınçla sıkıştırmalı kalıplanmış ürünler, kaplamalar, filmler, elyaf ve yapıştırıcılar gibi çeşitli formlarda işlenebilirler. PAI'nin mekanik özelliklerini iyileştirmek için genellikle takviyeler kullanılır. PAI'lar genellikle N-metil prolidon

(NMP) ve dimetil amin (DMA) gibi güçlü çözücülerde çözünürler. PAI yaklaşık olarak 275°C camsı geçiş sıcaklığına sahiptir ve düşük akışkanlık özelliği göstermektedir.

PAI yapısı gereği hidrofobik özelliği ve termo-oksidatif kararlılığı geliştirir. Isıl işlem sonrası PAI içeren karışımlar, büzülmenin en aza indirilebileceği çözücüler ve asitlere karşı direnç gösterebilmesinden dolayı film ve elyaf formlarında kullanılabilirler (Dawkins vd, 2014).



Şekil 1.1. Poliamid-imid sentezi (Dawkins vd, 2014).

1.3.2. Reoloji ajanları

Reoloji kelimesi ilk olarak 1920'li yıllarda Prof. Bingham tarafından kullanılmış olup, deformasyon ve akış bilimi olarak tanımlanmıştır.

Reoloji; sıvıların akış hızını, katıların ise şekil değişikliğini inceleyen bir bilim dalıdır. Reoloji ajanları, viskozitenin istenilen seviyelerde olmasını sağlamaktadır. Viskozite ise; molekül tabakalarının bağıl hareketlere karşı göstermiş olduğu sürtünme ya da

direnç olarak tanımlanmaktadır. Direnç ne kadar fazla ise viskozite değeri o kadar yüksek gelmektedir. Viskozite ölçümlerinde birim olarak centipoise (cP) kullanılmaktadır.

Newton'un akış özellikleri ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar sonucunda formül 1.1 elde etmiştir;

$$F/A = \eta (dv/dr) \quad (1.1)$$

Formülasyondaki F/A birim alandaki kuvvet veya kayma gerilimini, dv/dr sıvı tabakaları arasındaki kayma hızını, η dinamik viskozite katsayısını göstermektedir.

Akışkanlar üzerinde sıcaklığın etkisi oldukça fazladır. Sıcaklığın artması ile moleküller daha serbest bir yapıya geçer ve viskozite de azalma gözlemlenir. Gazlarda ise bu durum daha farklı yorumlanmaktadır. Moleküller arası hızların artmasıyla yapının kinetik enerjisinde artış gözlemlenir ve buna bağlı olarak viskozite değeri de artar (URL-3).

1.3.3. Yüzey aktif malzemeler (Surfactantlar)

Yüzey aktif malzemeler, düşük yoğunlukta kullanıldıklarında yapıları gereği güçlü bir etki göstermektedirler. Molekül yapılarında hidrofilik bir baş kısım ve hidrofobik kuyruktan oluşan bu yapılar uzun karbon zincirinden oluşmaktadır. Şekil 1.2'de apolar ve polar gruplarının yer aldığı bir yüzey aktif malzemenin şematik gösterimi verilmiştir. Hidrofil gruplar polar bir yapıda olup çeşitli fonksiyonel gruplar içerebilmektedir. Yüzey aktif malzemelerin belirli bir sıcaklıktan sonra çözünmelerinde değişiklikler gözlenir. Değişimin gözlemlendiği bu noktaya ise kraft noktası denir.

Yüzey aktif malzemelerin yapısı incelendiğinde, hidrofilik grup yapıları dört ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar anyonik, katyonik, noniyonik ve anfoterik yüzey aktif malzemelerdir.

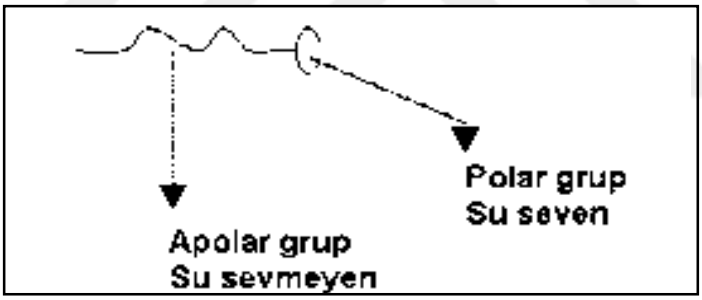
Anyonik yüzey aktif malzemeler yapılarında anyonik özelliğe sahip gruplar içerirken, katyonik yüzey aktif malzemeler yapılarında katyonik özelliklere sahip gruplar içerirler. Anyonik yüzey aktif malzemelere örnek olarak karboksilli asit, sülfonat grupları, sülfürik ester, fosforik asit ve fosfat grupları içeren yapılar

gösterilebilmektedir. Katyonik yüzey aktif malzemelere örnek olarak da amin tuzları, kuaterner amonyum bileşikleri, tersiyer oksonyum bileşikleri ve tersiyer sülfonyum bileşikleri gösterilmektedir.

Noniyonik yüzey aktif malzemeler üç başlık altında incelenebilir. Bunlar; etoksilatlar, alkol karışımlarının içerisindeki yağ asit esterleri ve yağ asidi alkanol amidlerdir.

Amfoter yüzey aktif malzemeler yapılarında anyonik ve katyonik grupları beraber bulunduran yapılardır (Aşçı, 1997).

Yüzey aktif malzemeler kullanım alanlarına göre incelendiğinde evsel-kişisel kullanım ve endüstriyel kullanım olmak üzere iki başlık altında toplanabilmektedir. Evsel-kişisel kullanım olarak yapısında bulundurduğu hidrofilik ve hidrofobik zincirler sayesinde deterjan ve sabun üretimlerinde kullanılırlar. Endüstriyel kullanımlarda ise ziraat, gıda, boya ve kaplama malzemeleri, polimer malzemeleri ve kâğıt endüstrisi gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır (Akın, 2009).



Şekil 1.2. Yüzey aktif malzemelerin şematik gösterimi

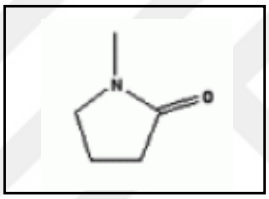
1.3.4. Çözücüler

Çözücüler; katı, sıvı ve gazları çözebilen organik ve inorganik bileşikler olarak tanımlanmaktadırlar. Bileşik içerisinde çözücünün kimyasal yapısını bozmadan fiziksel olarak dağılımını sağlarlar. Endüstride hemen hemen her alanda çözücüler kullanılmaktadır. Boya, kağıt, tekstil, metal, polimer endüstrisinde sıklıkla tercih edilmektedir. Çözücüler yapıya katılarak uygulama kolaylığı sağlarlar.

Boya endüstrisinde genel olarak viskoziteyi ayarlamak amacıyla kullanılırlar. Aynı zamanda yapıda bulunan reçineleri çözerek film oluşumunu sağlarlar. Çözücülerin

kaynama noktaları çok düşüktür ve yapıya katılmadan yapıdan uzaklaşırlar, geriye kalan kısım ise film oluşturarak yüzeye tutunur.

Çözücüler, uygulanacak malzemelerin istenilen viskozite ve uygulama parametrelerine ulaşmasını sağlayarak sürülebilir veya püskürtülebilir hale getirir. Bunun dışında çözücüler yapıda bulunan organik bileşikleri çözmek ve uygulama sonrası kuruma zamanını ayarlamak amacı ile kullanılır. Boya endüstrisinde kullanılan reçineler, çözücüler ile etkileşime girerler. Çözücü, reçine içerisindeki zincirlerin birbirinden ayrılmasını sağlar. Fazla miktarda kullanılmasıyla yapıdaki zincirler birbirlerinden iyice uzaklaşır ve viskozitenin iyice düşmesine neden olur. Örneğin, N-metil prolidon (NMP) kuvvetli bir çözücü olarak kullanılmaktadır. Kimyasal yapısı Şekil 1.3'de gösterilmiştir. Kimyasal adı 1-Metil 2-Pirolidon olup, kaynama noktası 202°C dir.



Şekil 1.3. N-metil pirolidon kimyasal yapısı (URL-12)

Bir diğer sıklıkla kullanılan çözücüde propilen glikol metil eter asetat (PMA)'dır. PMA, renksiz bir sıvı olup, kimyasal formülü $C_6H_{12}O_3$'tür. PMA çözücü olarak akrilik, nitroselüloz ve poliüretan boya reçinelerinde kullanılmaktadır. Selülozik sistemlerde ise yüzeyi düzenleyici rol oynayan PMA, aynı zamanda çözücülüğü çok yüksek olup çözücülerin yapıdan uzaklaşmasını dengeler. Kaynama noktası 146°C olup kuruma geciktirici özelliğe de sahiptir (URL-9).

1.3.5. pH düzenleyiciler

Endüstride sıklıkla kullanılan pH düzenleyiciler, sıvı solüsyon olarak hazırlanan malzemelerde istenilen pH seviyesinde kalmasını sağlarlar. Lateks boya üretimi, polietilen içeren karışımlar, su bazlı kaplamalar, metal işleme proseslerinde kullanılmaktadır.

1.3.6. Pigmentler

Renkler günlük yaşantımızda önemli bir yer kaplamaktadır. Geçmiş çağlardan günümüze renklerin antropolojik, psikolojik, estetik ve toplum üzerinde etkileri çok fazla gözlemlenmiştir. Renkler, boya ve pigmentler tarafından verilebilir. Son yıllarda, pigmentler önemli ticari potansiyeli olan bir sektör haline gelmiştir. Pigmentler renk vermek amacıyla kullanılmaktadır. Günümüzde renkli pigmentler, estetik ihtiyaçları karşılamak, iletişim kurmak, tanımlamak, ayırt etmek veya koruyucu olarak birçok endüstriyel ve tüketici sektöründe kullanılmaktadır. Renkli pigmentler estetik açıdan sanat, moda ve mimari alanda kullanılırken, endüstriyel alanda boya malzemeleri, otomotiv, mutfak gereçleri ve yapışmaz malzemelerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır.

Pigmentler genellikle toz ve granül halde tüketiciye ulaştırılır, ayrıca reçine içerisine dağılmış şekilde de tedarik edilebilir. Pigmentler katıldıkları yapının renk performansının yanı sıra reolojik davranışını da etkilemektedir. Bir pigmentin opaklığı ise emme katsayılarının, ışığın emme dalga boyunun, parçacık büyüklüğünün veya ışık saçılma katsayısının bir fonksiyonu olarak değerlendirilir (Hao vd, 1997).

Mavi pigmentler endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Bu pigment, mavi rengini kobalttan almaktadır. $CoAl_2O_4$, birlikte çöktürme, hidrotermal tepkimeler, sol-jel yöntemleri ve kompleks tepkimeleri gibi yöntemler ile sentezlenmektedir (Wen vd, 2018).

Siyah pigmentlere endüstriyel alanların dışında arkeolojik eserlerde ve geçmiş yıllardan kalan duvar resimlerinde rastlanılmaktadır. Siyah pigment karbon temelli malzemeler olup lastik, plastik, mürekkep ve boya sektöründe kullanılır. Karbon yapılı siyah pigmentler nispeten kolayca kırılabilen aglomeratlara bağlanabilmektedir. Küçük parçacıklar lastik endüstrisinde takviye malzemesi olarak kullanılırken, boya endüstrisinde daha büyük agregalara sahip karbon temelli siyah pigmentler kullanılır (Houptman vd, 2012).

1.3.7. Mika

Mika yapısı iğne şeklinde billurlar ve ya tabakalar şeklinde bulunur. Kolay bir şekilde küçültülerek yapraksı silikat grupları elde edilmektedir. Muskovit olarak adlandırılan kayaçlarda bulunan mika, genel olarak açık kahverengi ve yarı saydam yapraklardan oluşmaktadır. Mika, zayıf asitlere dayanıklılık gösterirken, kuvvetli asitlerden kolaylıkla etkilenmektedir. Genellikle feldspat yapılarında da mika bulunmaktadır. Mika tabakaları, çok yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve sert yapılı malzemelerdir (URL-2).

1.3.8. Kolloidal silika

Kolloidal ortam mikron boyutundaki heterojen karışımlara verilen genel isimdir. Kolloidal özellikteki ortamlara mikroskop ile bakıldığında homojen bir karışım olarak görülmelerine rağmen, ulta mikroskop ile bakıldıklarında heterojen yapıda olduğu gözlemlenmektedir. Kolloidal silika ise mikron boyutunda silikon dioksitlerden oluşmuş heterojen yapı olarak tanımlanır. Nano boyutlardaki kolloidal silika visko-elastik özellik göstermektedir. Bu dispersiyonlar belli bir kuvvet değerinden sonra viskozite artışı gösterirler. Kolloidal silika yapısı içerisinde bulunan kümelerin arasında oluşan kuvvetler daha geniş alanları kapsadığından, kesme kuvvetlerine bağlı olarak viskoziteleri artış gösterir. Bunun sebebi olarak kümelerin birbirleri arasındaki kayma hızları azalır ve viskozite artar (Çerkez vd, 2007).

1.3.9. Dolgu malzemeleri

Dolgu malzemeleri kullanıldığı ortamlarda çözünmeden kalarak yapının hacmini artırmaktadır. Yapının optik özelliklerini, aşınmasını ve dayanımını iyileştirmek amacıyla kullanılır. Dolgu malzemeleri kullanıldıkları formülasyonlarda kaliteyi ve performansı belirleyen önemli parametrelerden biridir.

Kaolen, kalsine kaolen, talk, dolomit, mika, silisyum karbür, alümina, kalsiyum karbonat, çöktürülmüş kalsiyum karbonat, baryum sülfat (barit) ve SiO_2 gibi maddeler kaplama ve boya endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Dolgular da pigmentler gibi işlenerek iyi dağılımı sağlanabilir (URL-2).

1.3.9.1. Silisyum karbür (SiC)

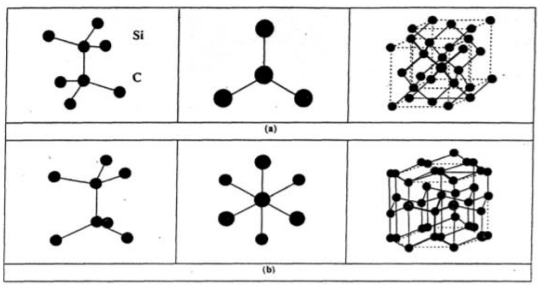
Silisyum karbür doğa da bileşik halde bulunmamasına rağmen ana malzemeleri olan karbon ve silisyuma oldukça fazla rastlanılmaktadır. Silisyum karbür sert bir malzeme olup yüksek sürünme dayanımına sahiptir. Ayrıca kimyasal korozyonlara karşı üstün performans göstermektedir. Silisyum karbür refrakter bir yapı özelliğine sahip olup genel özellikleri aşağıdaki Tablo 1.1'de verilmiştir (Turan, 2004).

Tablo 1.1. Silisyum karbürün genel özellikleri (Turan, 2004)

Özellikler	Değerler
Yoğunluk (g/cm^3)	3.1-3.22
Silisyum Karbür İçeriği (%)	97.80
Karbon İçeriği (%)	0.20-.080
Renk	Siyah
Eğme Mukavemeti (MPa)	
Oda Sıcaklığında	400-410
800°C'de	400-410
Sertlik, kg/mm^2, Vickers	3100

Silisyum karbürün endüstride sık olarak kullanılmasının sebebi sert bir malzeme olmasıdır. Silisyum karbür etkili aşındırıcılık özelliğine sahip malzeme olarak gösterilmektedir. Silisyum karbürün sertlik değeri kristalografik özelliğine, safsızlığına ve yüzeydeki değişkenliklere göre farklılık gösterebilmektedir (Turan, 2004).

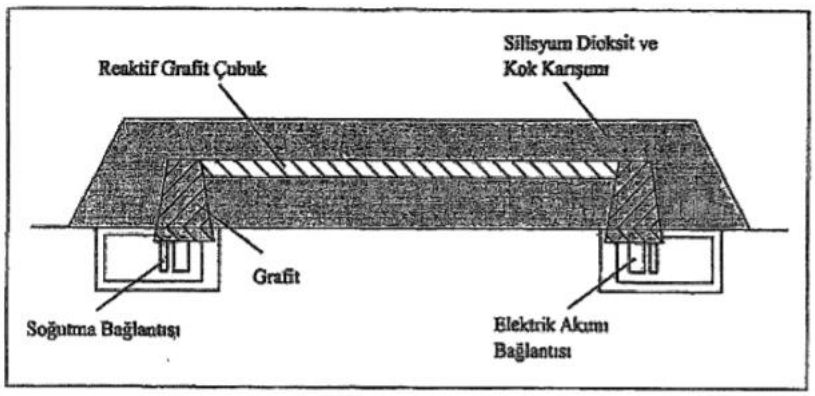
Silisyum karbür doğada bulunamamasından dolayı sentetik yollarda üretilmektedir. Hegzagonal ve kübik kristal yapılarına sahip olan SiC bileşiğinde hegzagonal yapı 2000°C'lerde elde edilebilirken, kübik yapı 1400-1800°C'lerde oluşmaktadır (Şekil 1.4). Mühendislik uygulamalarında kübik yapılı SiC tercih edilmektedir.



Şekil 1.4. Kübik (a), Hegzagonal (b)kristal yapısı (Turan, 2004)

Acheson yöntemi kullanılarak silisyum karbür üretimi gerçekleşmektedir. Üretim süreci incelendiğinde silika, karbon ve genel tuz karışımı (%50 Silika + %40 Kok+ %7 Silis tozu+%3 Genel tuz) hazırlanarak elektrikli fırının orta bölmesine ve grafit çekirdeğinin etrafına yerleştirilir (1.2). Şekil 1.5'de kullanılan elektrikli fırının görseli verilmiştir. Daha sonra, elektrikli fırın 2400°C ye kadar ısıtılarak yavaşça soğutulur.

$$SiO_2 + 3C \longrightarrow SiC + 2CO \qquad (1.2)$$



Şekil 1.5. SiC üretim sürecinde kullanılan fırın görseli (Turan, 2004)

Saflık derecesi yüksek olan SiC tozu elde edilen malzemenin renk performansını da etkileyebilmektedir. Renk olarak saflık derecelerine göre siyah renkten yeşil renge kadar farklı renklerde elde edilebilmektedir. SiC'ün saflık derecelerine göre kullanım alanları değişim gösterir. Seramik sektöründe yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra aşınma özelliğinin iyileştirilmesi için polimerlerde kullanılmaktadır (Turan, 2004).

1.3.9.2. Alümina

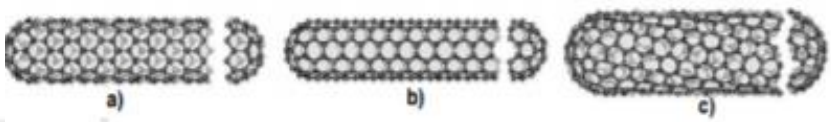
Vickers sertliği 2000 N/mm^2, yoğunluğu 3,987 g/cm^3, erime sıcaklığı 2050°C olan ve genellikle seramik sektöründe kullanılan sert bir malzemedir. Doğada alüminanın bol miktarda bulunmasından dolayı reçetelerde maliyet düşürücü olarak kullanılmaktadır. Alümina yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı sebebiyle sıkça tercih edilmektedir (Yıldırım, 2003).

1.3.9.3. Karbon nanotüp (CNT)

Hegzagonal karbon yapılarına sahip olan ve kristal grafitlerden oluşan nano yapılı malzemelere karbon nanotüp denir. Karbonların 60'lı gruplar halinde birbirleriyle

bağlanması sonucu nanotüpler oluşmaktadır. 1990'lı yılların başında nanotüpler ortaya çıkmaya başlamıştır. Nanotüpler üç farklı yapıdan oluşurlar. Bunlar; koltuk tipi, zikzak yapılı ve her iki tipten farklı bir yapıya sahip olan chiral tipi nanotüplerdir (Şekil 1.6). Dayanımın artması amacıyla, üst üste gelen nano yapılar çok duvarlı nanotüpleri (MWCNT) oluştururlar.

Karbon nanotüpler hafiflikleri ve elastik bir yapıya sahip olmalarından dolayı son yıllarda sıkça tercih edilen malzemeler sınıfına girmiştir (Küçükyıldırım, 2012).



Şekil 1.6. a)Zikzak tipi b)Koltuk tipi c)Chiral tipi nanotüpler (Küçükyıldırım, 2012)

Karbon nanotüplerin kullanım alanları ise elektron yayarak çalışan cihazlar, sensörler, katalizörler, üç boyutlu güneş hücreleri ve karbon elyaflar olarak verilebilir (Küçükyıldırım, 2012).

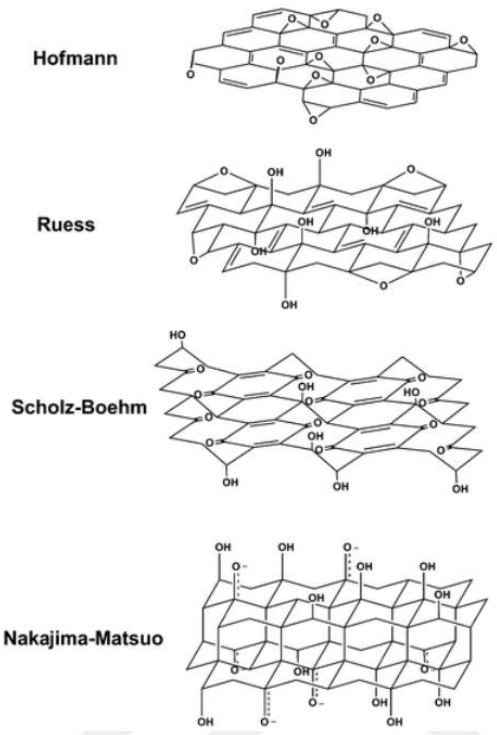
1.3.9.4. Grafen

Grafen, altıgen olarak dizilmiş bir yapıya sahip olup, iki boyutlu tek kat karbon atomudur. Karbon bağları sp^2 melezleşmesinden oluşmuştur. Benzersiz bir yapısal özelliğe sahip olan grafen hem bilimsel hem de mühendislik biliminde araştırma konusu olmuştur.

Bozulmamış grafen hidrofobik bir yapıya sahiptir ve yapıda çözünmeden kalabilmektedir. Grafenin yapıda çözünmesini sağlamak amacıyla dağıtıcı ajanlar kullanılmalıdır. Grafen iyi iletken yapısı, ısıl kararlılığı ve mekanik dayanımları nedeniyle polimerik malzemelerde dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir. Grafen-polimer kompozitlerinin özellikleri ve performansları sadece grafen dolgu malzemesine bağlı değildir. Aynı zamanda dolgu maddesinin yapıya homojen dağılımı, dolgu maddesi ile matris arasındaki bağa ve dolgu maddesinin matrise oranına da bağlıdır.

Grafen oksit geçmiş yıllardan günümüze kadar önemli bir araştırma konusu olmuştur. İlk yapısal özelliklerini inceleyen bilim insanları Hofmann, Ruess, Scholz-Boehm,

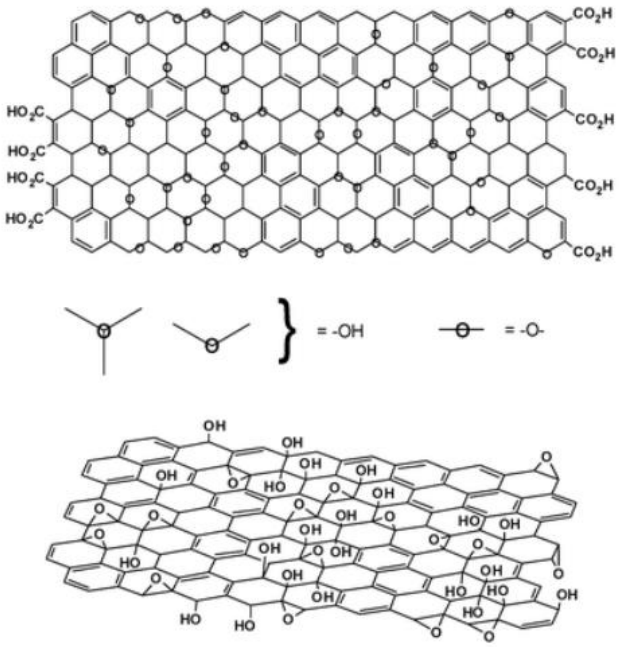
Nakajima-Matsuo grafen oksitin düzenli bir kafes yapısı olduğunu öne sürmüşlerdir. Grafenin kimyasal yapıları Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Grafenin kimyasal yapıları (Dreyer vd, 2010)

Son yıllarda yapılan araştırmalarda ise grafen oksitin düzenli bir yapısının olmadığı, aksine amorf bir yapıya sahip olduğu öne sürülmüştür. Lerf ve arkadaşları grafen oksitin kimyasal yapısını detaylı olarak incelemişlerdir (Dreyer vd, 2010). Lerf teorisi ile grafenin yapısı Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

Grafenin kimyasal yapısı hakkında yapılan çalışmalarda, kabul görebilen en yaygın teori Lerf-Klinowski modelidir (Dreyer vd, 2010). Grafenin genel özellikleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Lerf teorisine göre grafen yapısı (Dreyer vd, 2010)

Tablo 1.2. Grafenin genel özellikleri (Zhu vd, 2010)

Özellikleri	**Değerleri**
Özgül yüzey alanı (m^2g^{-1})	2630
Young modülü (TPa)	~1,0
Isıl iletkenlik ($Wm^{-1}K^{-1}$)	~5000
Optik geçirgenliği	~%97,7

1.3.10. Politetrafloroetilen

Politetrafloroetilen (PTFE) yapışmazlık özelliği sayesinde endüstride sıkça tercih edilen bir floropolimerdir. PTFE yüksek kimyasal direnç, yüksek erime sıcaklığı, düşük sürtünme katsayısı ve biyo uyumluluk özelliği sayesinde popüler bir malzeme olmuştur. Mutfak gereçlerinin yanı sıra rulman ve conta üretiminde kullanılır. En büyük dezavantajı olarak aşınma direncinin düşük olması gösterilmektedir.

Tetrafloroetilen monomeri 76°C'lerde gaz fazında bulunmaktadır. Politetrafloroetilen malzemesinin kristalleşme derecesi oldukça yüksektir. 327°C'de eriyen, çözücülere karşı oldukça dayanıklı, kimyasal direnci yüksek, nem tutmama özelliği bulunan bu malzeme son yüz yılda sıkça tercih edilen bir mühendislik polimeri haline gelmiştir.

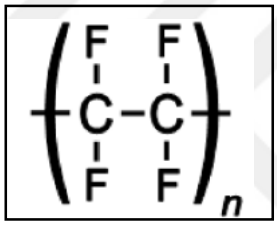
Tetrafloroetilen basınç altında ve 75°C – 80°C sıcaklıkta elde edilir. PTFE'nin monomeri tetrafloroetilenin üretim tepkimeleri aşağıda (1.3a, 1.3b, 1.3c) gösterilmiştir;

$$CaF_2 + H_2SO_4 \longrightarrow 2HF + CaSO_4 \quad (1.3a)$$

$$CHCl_3 + HF \longrightarrow CHClF_2 + 2HCl\ (700°C) \quad (1.3b)$$

$$2CHClF_2 \longrightarrow CF_2{=}CF_2 + 2HCI\ (\text{piroliz})\ [4] \quad (1.3c)$$

PTFE kristal bir zincir yapısına sahiptir. Ana zincir üzerinde karbon atomlarından oluşan bu yapının yan dallarında ise flor atomları bulunmaktadır (Şekil 1.9). Simetrik ve sürekli olan bu yan bağlar, yapının kolaylıkla kristallenmesine neden olmaktadır (Akıncı vd, 2017). PTFE'nin genel özellikleri Tablo 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.9. PTFE polimeri (Akıncı vd, 2017)

Tablo 1.3. PTFE'nin genel özellikleri (Bozan, 2013)

Özellikler	**Değer**
Özgül ağırlığı, ($g/cm^{3)}$	2,1 – 2,2
Kopma dayanımı (MPA)	14-32
Gerilme modülü (MPA)	420
Dielektrik kaybı	<0,0002
Çekme mukavemeti (kg/cm^2)	140-380
Basma mukavemeti (kg/cm^2)	45-50
Eğilme modülü (kg/cm^2)	3500-6300
Sürtünme katsayısı	0,06
Isı iletkenliği (cal/cm°C)	$5{,}5\text{-}6{,}6x10^{-4}$
Saf halde viskozitesi (MPa s)	1,00

1.4. Yapışmaz Malzemelerin Üretim Yöntemleri

1.4.1. Karıştırma

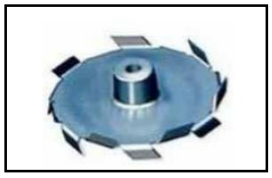
İki veya daha fazla malzemenin birleşerek yeni bir ürün elde edilmesini sağlayan yöntemlerden biride karıştırmadır. Karıştırma işlemlerinde en önemli husus yapı içerisinde homojenliğin sağlanabilmesidir. Hazırlanan karışımlar ile ilgili temel sınıflandırmalar Tablo 1.4'de gösterilmiştir.

Karıştırma işlemlerinde önemli parametrelerden biri olarak viskozitenin kontrolü gösterilmektedir. Katı malzemelerin sıvı solüsyonların içerisinde süspansiyon edilmesi de mümkündür. Bu durumda önemli kriterler kullanılan katı malzemenin tanecik boyutunun büyük olmaması ve sıvının viskozitesinin çok yüksek olmamasıdır (Tütüncükara, 2014).

Tablo 1.4. Karışım tiplerinin sınıflandırılması

Fiziksel Proses	**Uygulama Sınıfı**	**Kimyasal Proses**
Süspansiyon	Sıvı-katı	Askıda tutma
Süspansiyon	Sıvı-katı	Eriterek
Dispersiyon	Sıvı-gaz	Absorbe ederek
Emülsiyon	Birbiri ile karışmayan sıvılar	Ekstraksiyonla
Harmanlama	Birbirleri ile karışabilen sıvılar	Reaksiyonla
Pompalama	Akışkan hareketi	Isı transferi

Boya endüstrisinde diskli karıştırıcılar yaygın olarak sıvı-sıvı, sıvı-katı karışımlarda kullanılmaktadır (Şekil 1.10). Diskli karıştırıcılara testere tipi karıştırıcılarda denir. Boya üretiminde dispersiyon işlemi testere uçlu bir karıştırıcı uç kullanılarak çevresel hızı 15-30 m/s hıza ulaşabilen yüksek devirli karıştırıcılar ile yapılır (Tütüncükara, 2014).



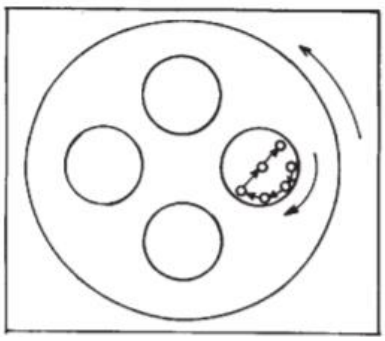
Şekil 1.10. Diskli karıştırıcılar (Tütüncükara, 2014)

1.4.2. Öğütme

Öğütme boyut küçültme işlemlerinin son basamağı olarak bilinmektedir. Öğütme işleminde homojen bir karışım olabilmesi için malzemeler arası transfere ihtiyaç duyulmamaktadır. Öğütme işleminin en büyük üstünlüğü sadece parçacık boyutunu küçültülmesi ve işlem süresinin kısa olmasıdır.

Homojen öğütme sağlayabilmek için birçok parametre vardır. Öğütme işlemini etkileyen en önemli parametreler ise öğütücü hızı, süresi ve tipidir. Karıştırıcının bilya ağırlığı, kap içerisindeki numune/bilye oranı ve bilye boyutu da öğütmeyi etkileyen diğer etkenler olarak verilmektedir (Yakar, 2010).

Gezegen tipi değirmenler ise numunelerin içerisinde bulunduğu kapların ve sistemin hareketini sağlayan bağımsız dönme hareketleri ile sistem içerisinde merkezkaç kuvveti oluştururlar (Şekil 1.11). Öğütme işlemi sırasında kapların içerisinde bulunan numune çeperlere ve taşlara çarparak numunenin öğütülmesi sağlanmaktadır (Yakar, 2010).



Şekil 1.11. Gezegen tipi değirmen (Yakar, 2010)

1.5. Yapışmaz Malzemelerin Yüzey Uygulamaları

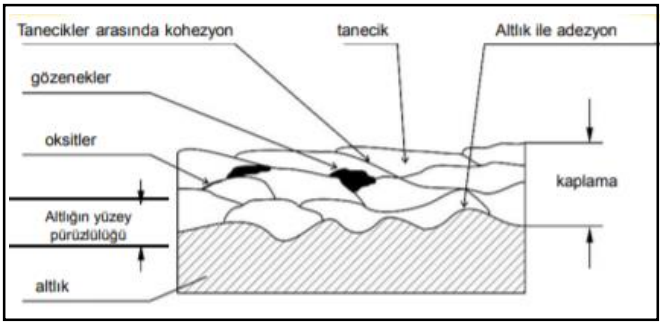
Yapışmaz malzemeler genellikle sıvı solüsyon halde hazırlanır. Hazırlanan sıvının yüzeylere uygulanması daldırma yöntemi, basınçlı sprey tabancası ve akıtma yöntemi gibi uygulama süreçleri ile gerçekleştirilir. En yaygın olan uygulama yöntemi ise basınçlı sprey tabancası kullanılarak yapılan uygulamalardır (Bozan, 2013).

1.5.1. Basınçlı sprey tabanca uygulamaları

Basınçlı sprey tabanca uygulamasıyla sıvı halde hazırlanmış olan malzemenin altlık ile tutunarak kaplanmasını sağlamaktadır. Basınçlı sprey tabancası ile gerçekleştirilen uygulamalarda, uygulama öncesi altlık olarak kullanılacak yüzeyin temiz olması çok önemlidir. Temizleme ile yüzeyde bulunan yağ, boya vb. yapılar yüzeyden uzaklaştırılır. Temizlenme yapılmayan altlıklarda kaplama kalitesi oldukça düşük gelmektedir.

Temizleme işleminden sonra yüzeyin pürüzlendirilmesi, malzemenin yüzeye tutunması açısından önemlidir. Yüzeyi pürüzlendirmek için genellikle kuru kumlama yapılmaktadır. Diğer kullanılan yöntemler ise makineleme veya makro pürüzlendirme, bağ kaplama uygulamasıdır. Uygulama yapılan altlıklarda yüzeyde nem olmaması amacıyla ön ısıtma yapılmalıdır. 100°C-150°C sıcaklıkta altlık etüvde bir süre bekletilerek yüzeydeki nem uzaklaştırılır.

Bu yöntemde sıvı olarak hazırlanan malzeme basınçlı sprey tabancası ile yüzeye püskürtülerek uygulama gerçekleştirilir. Endüstride mutfak gereçlerinin kaplanmasında bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Temizlenme ve kumlama işlemi yapılmış yüzeylere kaplama, spreyleme yöntemi ile en uygun kalınlık ve viskozite seviyesinde uygulama yapılmaktadır. Şekil 1.12'de kaplanan örnek yüzeyin kesiti verilmiştir (Bozan, 2013).



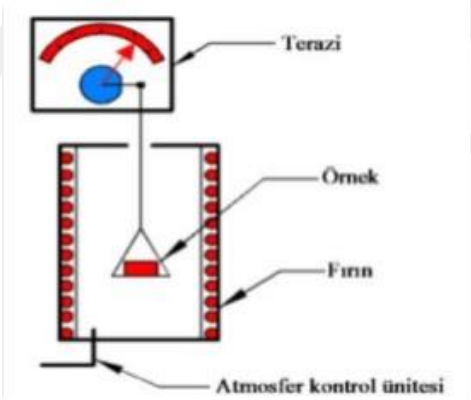
Şekil 1.12. Basınçlı sprey uygulamaları (URL-1)

1.6. Yapışmaz Malzemelerin Karakterizasyon Yöntemleri

1.6.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz yönteminde, kontrol edilen bir atmosferdeki bir maddenin kütlesi, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Analiz sonucunda elde edilen eğri termogram veya termal bozunma eğrisi olarak adlandırılır (Xanthos vd, 2005).

Termogravimetrik analiz, artan sıcaklık sonucu kütlede meydana gelen ağırlık değişimlerini kantitatif olarak veren bir yöntemdir. TGA sisteminin şematik gösterimi ise Şekil 1.13'te gösterilmiştir. Bozunma veya dehidrasyon sırasındaki ağırlık değişimlerini sıcaklık veya zamana bağlı olarak gözlemlenmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ağırlık değişimi kimyasal veya fiziksel bağların kopmasıyla meydana gelir (Xanthos vd, 2005).



Şekil 1.13. Termo-gravimetrik analiz sisteminin şematik gösterimi (URL-5)

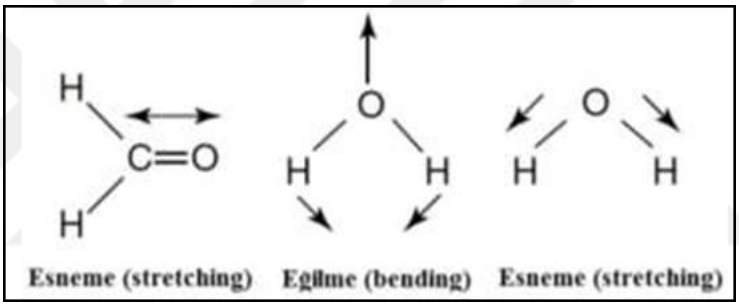
TGA analizinde kütle kaybı dehidrasyon, ısıl bozunma, piroliz, kimyasal tepkimeler ve uçucu bileşenlerin yapıdan buharlaşması sonucunda gerçekleşir. Analiz sonucunu gaz akışındaki değişim, numunenin partikül boyutu, ölçüm sırasındaki atmosfer ortamı, ısıtma hızı ve ısıl iletkenlik ise sonucu doğrudan etkileyen önemli faktörlerdir.

Termogravimetrik yöntemlerin en çok kullanıldığı alana polimerler ile ilgili çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Termogramlar, polimerler için bozunma mekanizmalarıyla ilgili bilgi verir. Polimer için bozunma sıcaklıkları karakteristik olduğundan,

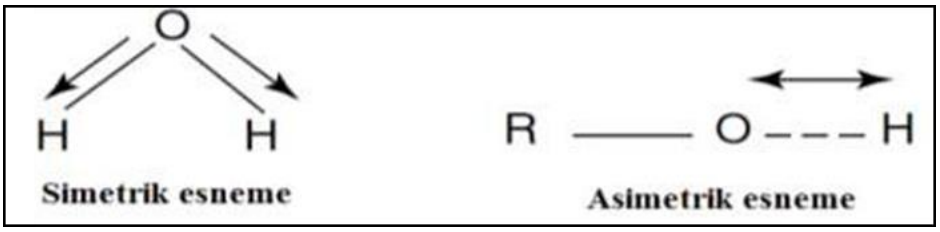
bilinmeyen bir polimerin tanımlanmasında TGA kullanılabilmektedir (Xanthos vd, 2005).

1.6.2. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR)

Fourier dönüşüm kızılötesi spektroskopisi IR spektrometrenin daha gelişmiş bir halidir. FTIR analizi, yapının moleküler yapısındaki titreşimlerin fonksiyonel grup türlerinin tanımlanmasında en etkin kullanılan analiz yöntemidir. FTIR cihazının çalışma prensibi incelendiğinde atomlar arasında meydana gelen titreşimden açığa çıkan elektriksel alan değerlendirilerek yorumlanır. Titreşimler bağ uzunluğundaki esnemelerden ya da bağlar arasında oluşan açıların eğilmelerinden kaynaklanır. Şekil 1.14'de esneme eğilme titreşimleri, Şekil 1.15'dede simetrik ve asimetrik esneme titreşimleri gösterilmiştir (Gündüz T, 1999).



Şekil 1.14. Esneme ve eğilme titreşimleri (Yazıcı, 2018)



Şekil 1.15. Simetrik ve asimetrik esneme titreşimleri (Yazıcı, 2018)

Bu teknik ile, moleküler bağın karakterizasyonu yapılıp; sıvı, katı, gaz veya çözelti durumdaki organik bileşiklerin yapısında bulunan fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin farklı olup olmadığı, yapıda bulunan bağların durumunu, bağlanma yerleri ve yapının alifatik yada aromatik olup olmadığı belirlenebilir. Ayrıca biyokimyasal olarak; fosfolipit, karbonhidrat, aminoasit ve proteinlerin yapılarının da belirlenmesinde kullanılır.

Kızılötesi ışınlar numeneden geçirilir ve belirli aralıkta soğurulan fraksiyon belirlenir ve bu yöntemle kızılötesi spektrum oluşturulur. Radyasyon frekansı ile titreşim frekansı aynı ise molekül radyasyonu soğurur. Bu soğurma işlemi sonucunda numunede görülen piklere karşılık gelen frekanslar belirlenir. Bütün dalga boyları numune üzerinden detektöre gelirler. Dedektör ise iletilen yoğunluğun değerini belirlemektedir (Kodal, 2015).

Oldukça hızlı bir tekniktir. Hızlı olmasının sağladığı üstünlük ile birlikte, organik malzemelerin yanı sıra, mineraloji uygulamalarında da büyük fayda sağlamakta, hidrojen ve karbon gibi elementleri içeren inorganik maddelerin çalışılmasında, mineral yapı içerisindeki uçucu bileşenlerin yoğunluklarının belirlenmesinde, doğal ve sentetik mineraller arasındaki izotopik değişimlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (URL-6).

1.6.3. Temas açısı ölçümü (CA)

Yüzeylerde minimum küresel enerjide görünür temas açılarının ölçülmesi için yüzeyin sabit tutulması, damlaların en iyi resimlerinin çekilmesi, damla yuvarlaklığının izlenmesi ve temas açısının damla çapından ve ağırlığından hesaplanması yapılır.

Temas açısı ölçümleri yüzeylerin hidrofobik ya da hidofilik olup olmadığının değerlendirildiği analiz yöntemidir. Bu ölçüm tekniği ile yüzey enerjisinin yanı sıra yüzey pürüzlülüğü ve heterojinetesi değerlendirilebilir. Temas açısı ölçümleri katı, sıvı ve gaz fazlarının kesişiminde, sıvı fazın katı yüzey üzerinde oluşturduğu açıya göre yorumlanmaktadır (Meiron vd, 2004).

1.6.3.1. Young denklemi

Damlacıklar katı-hava, sıvı-hava ve katı-sıvı ara yüzlerine uygun üç fazlı bir temas oluşturmaktadır. Ara yüzeyde yüzey gerilimiyle oluşturulan kuvvetler, katı yüzeyde oluşan damlaları çekmekte ve onların şeklini belirlemektedir (Wen vd, 2018). Young denlemine göre (1.4), denge durumunda bulunan su, sıvı-hava ara yüzey kuvvetiyle ters orantılıyken, temas açısının kosinüsü doğrudan katı-sıvı ve katı-hava birim uzunluğu başına ara yüzey kuvvetlerinin farkıyla orantılıdır (Shirtcliffe vd, 2010).

$$\cos\theta Y = (\gamma KH - \gamma KS / \gamma SH) \approx (\gamma K - \gamma KS / \gamma S) \quad (1.4)$$

(θY: Young temas açısı, γKH: Katı-hava ara yüzey kuvveti, γKS: Katı-sıvı ara yüzey kuvveti, γSH: Sıvı-hava ara yüzey kuvveti, γK: Katı ara yüzey kuvveti, γS: Sıvı ara yüzey kuvveti)

1.6.3.2. Wenzel denklemi

Wenzel, yüzey pürüzlülüğünün temas açısını önemli derecede değiştirebileceğini ortaya koymuştur (Wenzel vd, 1936). Wenzel denklemine göre (1.5) su, Şekil 1.6'da görüldüğü gibi yüzeydeki topografik çeşitlilikler izlenerek ilerlenir (Lee vd, 2010). Denklemde pürüzlü yüzeydeki ıslanma açısını bulabilmek için ise Young temas açısı kullanılmalıdır.

$$\cos\theta W = r . \cos\theta Y \quad (1.5)$$

(θW: Wenzel temas açısı, θY: Young temas açısı, r:pürüzlülük faktörü)

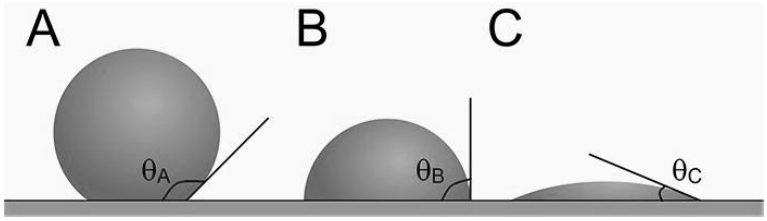


Şekil 1.16. Wenzel modeli
(Erayman vd, 2017)

Pürüzlülük faktörü (r), katı-sıvı temas alanının katı-sıvı ara yüzeyinin geometrik izdüşümüne olan oranı olarak bulunmaktadır. Eğer pürüzlülük faktörünün değeri bir'e eşitse, yüzey düz bir zemin olmakta ve Wenzel denklemi, Young denklemine dönüşmektedir. Fakat pürüzlü yüzeyler için bu faktörün her zaman bir'den daha büyük olduğu ve hidrofob yüzeylerin temas açısında artışa yol açtığı kabul edilmektedir (Sanjay vd, 2012; Sas vd, 2012).

1.6.3.3. Islanabilirlik derecesi

Katı yüzeyle temas halinde olan sıvı bir açı oluşturur. Bu açı temas edilen katının ve temas eden sıvının cinsine bağlı olarak değişir (Şekil 1.17). Temas açısı ıslanabilirlik derecesini ifade eder. Bu açının büyüklüğü adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne göre değişmektedir.



Şekil 1.17. a) Yüksek b) Düşük c) Çok düşük yüzey enerjisi (URL-7)

Islatma açısının derecesine göre yapılan sınıflandırmalar Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

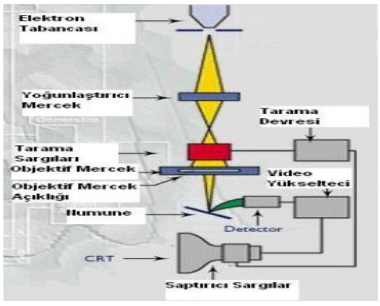
Tablo 1.5. Temas açılarının sınıflandırılması (Aydar vd, 2014)

Sınıflandırma	Temas Açısı Değeri
Hidrofobik,	$\theta > 90^0$
Hidrofilik,	$\theta < 90^0$
Süper Hidrofobik	$\theta > 140^0$
Süper Hidrofilik	$\sim 0^0$

1.6.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu, elektron demetini kullanan çok güçlü bir görüntülü analiz tekniğidir. SEM, yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturmak için vakum ortamında hazırlanan ve elektro-magnetik lenslerle inceltilen elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme olanağı sunmaktadır. Mikroskopta oluşan görüntüler, elektron demetinin malzemeyle olan etkileşiminde ortaya çıkan geri yansıyan ışımalar veya elektronlar sayılarak oluşturulur (Flegler vd, 1993). Şekil 1.18 SEM'in şematik görünüşü verilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobunda kullanılacak numunelerin yüzeyinin temiz ve iletken olmasına dikkat edilmelidir. Yapılan analizin görüntü kalitesinin istenen düzeylerde olabilmesi için de vakumlu bir ortam sağlanmalıdır.



Şekil 1.18. Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünüşü (URL-11)

SEM'de algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Ayırım gücü, odak derinliği, görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir. 1000X büyütmede optik mikroskobun odak derinliği yalnızca 0.1 μm iken taramalı elektron mikroskobunun odak derinliği 30 μm'dir (Flegler vd, 1993). Tablo 1.6'de ışın mikroskobu ile elektron mikroskobunun özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

SEM analizlerinde pürüzlü yüzeylerin görüntüleri yüksek çözünürlükte elde edilirken, kimyasal bileşenleri hakkında da yorumlar yapılabilmektedir (URL-4).

Tablo 1.6. Mikroskopların farklı özellikleri (URL-4)

	IŞIK MİKROSKOBU	ELEKTRON MİKOSKOBU
Aydınlatma Kaynağı	Görünür ışınlar (λ=550 nm)	Elektron demeti (λ=0.005 nm)
Çözünürlük	0.25μm	0.05nm
Maksimum Büyütme	1400X	300000X

1.7. Yapışmaz Kaplamalara Uygulanan Mekanik Testler

1.7.1. Aşınma testi

Su içerisinde %1'lik bulaşık deterjanı bulunan çözelti test edilecek yüzeye dökülür. Yüzeyi tarayacak olan hareketli cihaza sünger koyulur. Üst kısmına da toplamda 3,2 kg olacak şekilde ağırlık yerleştirilir. 500 döngüde cihazda bağlı olan sünger ters çevrilir. 1000 döngüye ulaşıldığında ise sünger değişimi yapılır. Taranan yüzeyin %10'unda alüminyum yüzey görüldüğünde ya da uygulamada yüzeyde çizgi gözlendiğinde teste son verilerek, toplam devir kaydedilir.

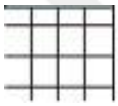
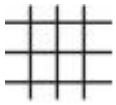
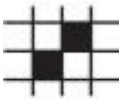
1.7.2. Yumurta testi

Tava sıcaklığı belirli bir dereceye ayarlanır. Sıcaklık belirlenen dereceye ulaştığında, yüzeye yumurta yavaşça kırılır. Yumurta üç dakika pişirildikten sonra yüzeyden spatula ile kolaylıkla alınıp alınamadığına göre kaplamanın yapışmazlık durumu değerlendirilir. Test beş defa tekrarlanır ve yüzeyin testi kaç kere geçtiği kaydedilir (URL-10).

1.7.3. Kareleme testi

Fırınlama yapıldıktan sonra, malzemeler fırından çıkarılır ve oda sıcaklığına ulaşması için beklenir. Yüzeyin farklı noktaları neşter/falçata yardımıyla kareleme yöntemine göre çizilir. Oluşturulan karelerin üzerine bant yapıştırılır ve banta bastırılarak altında hava boşluğunun giderilmesi sağlanır. Ucundan tutulan yapışkan bant, yüzeye dik olarak güçlü bir şekilde tek seferde çekilir. Farklı yönlerde beş kez bu işlem tekrarlanarak yapışma derecesi belirlenir. Yapışma derecesi ASTM D–3359 veya DIN 53151'e göre değerlendirilir (URL-10). Tablo 1.7'da yapışma sınıfının belirlendiği referans değerler verilmiştir.

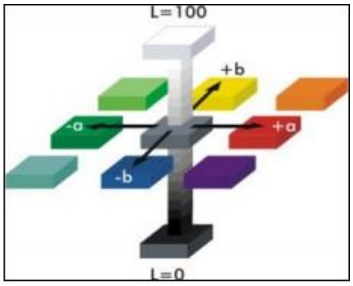
Tablo 1.7. Kareleme testine göre referans değerler

	DEĞER	AÇIKLAMA
	GT0/5B	Bıçağın kestiği yerler düzgündür. Kafesin karelerinden hiçbiri çıkmamıştır.
	GT1 / 4B	Karelerin kesişme yerlerinde küçük film parçacıkları çıkmıştır. Yaklaşık %5'i etkilenmiştir.
	GT2 / 3B	Boya parçacıkları, kesim kenarları ve kesişme yerleri boyunca zeminden ayrılmıştır. Kafes alanının yaklaşık %15'lik bölümü etkilenmiştir.
	GT3 / 2B	Boya parçacıkları, kare kenarları boyunca ve bazı karelerin tamamından dökülmüştür. Kafes alanının yaklaşık %15 - %35'lik bölümü etkilenmiştir.
	GT4 / 1B	Boya parçacıkları, kare kenarları boyunca şerit halinde çıkmıştır. Kafes alanının yaklaşık %35 - %65'lik bölümü etkilenmiştir.
	GT5 / 0B	Bütün kareler çıkmış ya da çıkma eğilimindedir. %65'lik ten daha büyük bir bölüm etkilenmiş ve yüzeyden çıkmıştır.

1.7.4. L-a-b Testi

L-a-b renk uzayı, ölçüm ve renk siparişi için en çok kullanılan yöntemdir. L-a-b renkleri, insan gözü algılamasına çok yakın olarak tasarlanmıştır. İnsan gözünün

algılayabileceği tüm renkleri tanımlar (Şekil 1.19). Tüm dünyada, boya, tekstil, kâğıt, plastik, basılı malzeme ve benzeri cisimlerde renk kontrolü yapmak için L-a-b çok sık kullanılır (Hutchings, 2010).



Şekil 1.19. L-a-b testi (Hutchings, 2010)

L-a-b renk uzayındaki, üç boyutlu renk koordinatları aşağıda sıralanmıştır;

- L Değeri açıklık koordinatıdır (L = 0 siyahı gösterir ve L = 100 beyazı gösterir).
- a Değeri kırmızı/yeşil koordinatıdır. (+a= kırmızıyı ve -a= yeşili gösterir).
- b Değeri sarı/mavi koordinatıdır. (+b= sarıyı ve -b= maviyi gösterir) (URL-5).

1.8. Literatür Özeti

Tez çalışmalarında yapışmaz kaplamalarda kullanılan dolguların, kaplamaların özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu bölümde bu konuda literatürde yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. PTFE'nin aşınma direncini arttırmak amacıyla PTFE- mika kompozit kaplama üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Damdhar ve ekibi yapışmış olduğu çalışmalar sonucunda PTFE-Mika kompozitinin kriyojenik işlemler sonucunda 12 saatte ve -185°C'de maksimum aşınma direncinin elde edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kriyojenik işlemlerin aşınma performansını arttırmada etkili bir teknik olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmada, daha az kararlı fazların oluşmasından dolayı sürtünme katsayısının azalma gösterdiği gözlemlenmiştir (Damdhar vd, 2015).

Alüminyum alt taban üzerine uygulanan floropolimer esaslı kompozitlerin aşınma performansları MTP (mechanical tiger paw) ve Nord testi kullanılarak yapılmıştır. Her iki test yönteminin amacı, nihai ürünün normal şartlar altında maruz kalacağı aşınma direncinin benzetimini yapmaktadır. Zhong ve ekibi yapmış oldukları çalışmalarda, kaplamanın mikro yapısını incelemiş olup yüzey işlemleri üzerindeki etkilerini

araştırmıştır. MTP ve Nord testleri kullanılarak, polimerik kaplamaların aşınma direncinin karakterizasyonu hızlandırılmış bir şekilde elde edilmiştir. MTP ve Nord testi sonuçlarına göre, inorganik malzemelerin yapıya takviye edilmesi sonucunda yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve aşınma direncinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir (Zhong vd, 1996).

Rossi vd tarafından yapılan bir çalışma da, tavada kullanılan yapışmaz kaplamaların fonksiyonel ve algısal özellikler incelenmiştir. Son zamanlarda "seramik" kaplamaların piyasaya sürülmesi ile koyu renkte tipik olan (PTFE) kaplamaların aksine, açık tonları ile tüketicilere yeni algı oluşmasına izin vermektedir. Bu yenilikler, yapışmaz alüminyum pişirme gereçlerine karşı olan ilgiyi azaltmıştır. PTFE'nin iddia edildiğinin aksine toksit özelliklere sahip bir malzeme olmadığı aksine mekanik ve kimyasal özelliklerinin seramik kaplı malzemelere göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu teoriye göre yapılan çalışmalarda, kaplamaların yapışmazlık özelliklerinin, tava üreticileri tarafından genellikle kabul edilen standartlara kıyasla daha teknik ve tekrarlanabilir bir şekilde test edilmesi için bir yöntem araştırılmıştır. Kaplamalar daha sonra yoğun bir kullanımı simüle etmek için mekanik olarak hasar görmüş ve aşınmış yüzeylerdeki yapışmaz özellikler incelenmiştir. Seramik kaplamalar, zarar görmüş numunelerde, yapışmaz özelliklerinin azaldığı PTFE kaplamalara kıyasla daha düşük özellikler sunmaktadır. Yapılan çalışmalara göre koyu ve açık renkli PTFE bazlı kaplamalar, seramik kaplı yüzeylere göre daha iyi yapışmazlık özelliğine ve aşınma dayanımına sahip olduğu görülmüştür (Rossi vd, 2014).

Bozan tarafından yapılan çalışmada ise nano boyuttaki gümüş katkısının aşınma direncini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Endüstriyel testler sonucunda gümüş takviyesinin kaplama yapılan yüzeyi dokusal olarak incelttiği ve sürtünme, aşınma gibi özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Bozan, 2013).

Yapışmaz(Non-Stick) malzeme üretiminde politetrafloroetilen(PTFE) floropolimerine grafen takviyesi edilerek yüzey aşınmasına etkisi Kandanur vd. tarafından araştırılmıştır. PTFE; endüstride yapışmazlık özelliğinden dolayı sıkça tercih edilmektedir. Ancak PTFE polimerinin yüksek aşınma oranı bu polimer malzemenin en büyük eksikliğidir. Bu tez çalışmasında grafen katkı malzemesi, deneysel

formülasyonda takviye edilerek aşınma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında grafen ile aynı ağırlık oranlarınca mikro-grafit dolgu malzemesi ile yapılan aşınma testlerinde grafen takviyeli formülasyonların, mikro-grafit takviyeli denemelere göre 10-30 kat daha iyi aşınma değeri verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi yapılarak desteklenmiştir. Deneysel formülasyon içerisindeki grafen miktarı ağırlıkça %5 ve %10 a yükseltildiğinde aşınmanın 1700-4000 kat azaldığı gözlemlenmiştir (Kandanur vd, 2012).

Bhargava vd. tarafından yapılan araştırmada grafenin değişik tane boyutlarının (1,25 nm, 1,6 nm, 8 nm, 12 nm, 60 nm) kaplama özelliklerine etkisi incelenmiştir. 1,25 nm ve 1,6 nm kalınlığa sahip grafenler, ağırlıkça %0,32 oranında reçeteye eklendiğinde aşınma direncini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Grafenin kalınlığı 8, 12 ve 60 nm değerlerine geldiğinde ise ağırlıkça %1,1 oranında yapıya eklendiğinde aşınma direncini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Grafen takviyesinin yapının sürtünme katsayısına olan etkisi incelendiğinde ise %4 oranında kullanıldığında, dolgu malzemesi içermeyen formülasyonlara göre daha düşük sürtünme katsayısı elde edildiği görülmüştür (Bhargava vd, 2012).

Karbon nanotüpün (CNT) PTFE ile oluşturduğu kompozit malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesini Chen vd. tarafından gerçekleştirmiştir. Çalışmada CNT'lerin PTFE polimeri ile aynı formülasyonda kullanıldığında, CNT yüzeyin sürtünme katsayısını azalttığı, %15 ve %20 oranında kullanılan CNT formülasyonların da ise aşınma direncinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Hacimce %2,5 ile %30 arasında yapıya eklenen CNT, kompozit içinde yükleme oranı arttıkça sürtünme katsayısını azaltıp, aşınma direncini arttırmıştır. Bileşime %20 oranında takviye edilen CNT en iyi aşınma direnci değerini verdiği bunun nedeni de CNT'nin yüksek dayanım değerinin olduğu belirtilmektedir (Chen vd, 2003).

Literatürde karbon nanotüpün (CNT) temas açısı üzerindeki etkilerini inceleyen Lau vd. floropolimer bazlı kaplama malzemesinin içerisine eklemiş oldukları CNT takviyesinin etkilerini incelemişlerdir. CNT takviyesinin yapıda nano ölçekli poroz bir yapı oluşturduğunu gözlemlenmiştir. Dikey olarak hizalanmış nanotüpler, su

damlalarının yüzeye tutmasını önleyerek yüzeyde süperhidrofobik özellik oluşturmuşlardır (Lau vd, 2003).

Burris vd. tarafından yapılan çalışmada, alümina takviyesi ile PTFE karışım formunda hazırlanmış, alümina takviyesiz reçetede bazı özelliklerde göre 600 kat iyileşme gözlemlenmiştir. Yapıya ağırlıkça %1 oranında takviye edilen alümina, standart reçeteye göre 3000 kat daha iyi sonuç vermiştir. Alümina dolgusu %5 oranında reçetede kullanıldığında ise sürtünme katsayısı diğer numunelere nazaran %30 oranında azaldığı gözlemlenmiştir (Burris vd, 2005).

Süt üreticilerinin üretim sırasında yaşadıkları kirlenmeler, ciddi enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu problemin çözümü için Rungraeng vd. , 2012 yılında yapmış olduğu çalışmada, plakalı ısı eşanjörlerin yüzeyleri süperhidrofobik bir film tabakası ile kaplanmışlardır. Çok duvarlı karbon nanotüplerin(MWCNT), politetrafloroetilen bazlı yapıların içerisinde dağılarak hazırlandığı formülasyonlarda yüzey üzerine tavlama teknikleri kullanılarak kaplamalar uygulanmıştır. Yapışmazlık özelliği temas açısı ölçümleri yapılarak değerlendirilmiş olup sırasıyla; standart paslanmaz çelik 71,2, PTFE kaplı malzeme 119,6, CNT ve PTFE polimerik kompozit malzeme ise 141,1 temas açısı değerlerine sahip olduğu ve CNT takviyesinin temas açısı değerlerinde en yüksek değerler gösterdiği görülmüştür. CNT-PTFE nanokompozit kaplamaların uygulanmasıyla, ısı eşanjör yüzeyinin yüzey enerjisi, standart yüzey enerjisi değerine göre %97 oranında azaldığı da gözlemlenmiştir. Enerji tüketimleri incelendiğinde ise hidrofobik yüzeylerin enerjiden net bir şekilde tasarruf sağladığı ve 141,1 temas açısına sahip olan CNT-PTFE nanokompozitlerin, standart kaplamalara göre tüketimi %10,2 oranında azaltığı raporlanmıştır (Rungraeng vd. 2012).

Nanokompozit malzemelerin gıda endüstrisinde kullanımının sağlık açısından etkileri Oberdörster vd. tarafından incelenmiş olup kullanılan deney fareleri 48 saat süreyle gözlemlenmiştir. Farelerde açığa çıkan fonksiyonel C60 fullerenlerinin yaklaşık olarak %98'i dışkı olarak, geri kalan %2'lik kısmı ise idrar yoluyla vücuttan atılmıştır. İlerleyen çalışmalarda; pastörizasyon veya benzeri çalışmalar sırasında, gıdalarda kontamine olmuş CNT'lerin kesin tespit yöntemleri ve nanotoksikolojik etkileri inceleneceği bu çalışmada bildirilmiştir (Oberdörster vd, 2005).

Floropolimer yapılı malzemelerden oluşan kaplamaların aşınma direncine karşı göstermiş oldukları direncin düşük olması, yapılan çalışmaların ortak problemi haline gelmiştir. Kadıoğlu'nun 2003 yılında yapmış olduğu çalışmada, bronz katkısının 5, 10, 20 ve 30 N yükler altında ve 0,32, 0,64, 0,96, 1,28 m/sn hızlarda analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kayma hızındaki artış ile birlikte kütlesel kaybın doğrusal olarak arttığı ancak yükün artmasının kütle kaybını çok fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. Uygulanan yük miktarındaki artış ile bronz takviyeli PTFE'nin sürtünme katsayısında azalmalara neden olduğu gözlemlenmiştir (Kadıoğlu, 2003).

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde denemelerde kullanılan dolgu malzemelerinin özellikleri ve üretilen reçete bileşimlerinin hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmalarda SiC, alümina, karbon nanotüp ve grafen dolgu olarak kullanılmıştır.

2.1. Malzemeler

Çalışmalarda kullanılan reoloji ajanı Merck, surfactant Dow Chemical, siyah ve mavi pigmentler Gemiciler, PTFE ise Inoflon firmalarından temin edilmiştir.

Dolgu malzemesi olarak Silisyum Karbür (SiC) F1000, F500 ve F400 kullanılmıştır. SiC tane boyutları ise Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. SiC tane boyutları

SiC Türü	Tanecik Boyutu (µm)
SiC 1000	1-10
SiC 500	5-25
SiC 400	8-32

Tez çalışmalarında kullanılan CNT, Grafen firmasından alınmış olup, dış çapı 10-30 nm, uzunluğu 13-30 mikron ve saflığı %90 oranından fazladır. Grafen oksit ise Zerre Graphene Derivatives firmasından temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Örneklerin hazırlanması

Yapışmaz kaplamalarda, aşınma direncini astar kat belirlemektedir. Tez çalışmasında kullanılan farklı türdeki dolgu malzemeleri astar kat bileşimine eklenmiştir. Astar kat reçetesi Tablo 2.2'te verilmiştir. Yapışmaz kaplama üretim sürecinde malzemenin karışım sırası, süresi ve yöntemi oldukça önem taşımaktadır.

Tablo 2.2. Alt kat reçete bileşimi

Hammadde	%Miktar
Reçine	18-22
Su	40-44
Reoloji Ajanı	1-3
Surfactant	0-4
Solvent	0-4
pH Düzenleyici	0,4
Mavi Pigment	1-3
Siyah Pigment	0-4
MIKA	0-4
Kolloidal Silika	0-4
Dolgu Malzemesi	1-5
PTFE	17-21
PMA	0-4

Alt kat reçeteleri hazırlanırken; ilk olarak su ve reoloji ajanı bir beher içerisinde diskli karıştırıcıda 20 rpm hızda 20 dakika boyunca karıştırılır. Karışıma sırasıyla reçine(PAI), surfactant, solvent ve pH düzenleyici ilave edilerek her bir takviyeden sonra 10 dakika karışımın homojen dağılımı için beklenir. Katı malzemeler karışıma ilave edilirken daha dikkatli hareket edilmelidir. Aksi takdirde katı malzeme karışımın alt tabanına yapışarak yapıya katılamayabilir. Mavi pigment, siyah pigment ve mika belirlendiği miktarlarda karıştırıcının altında 30 rpm hızda, yavaş bir şekilde ilave edilir. Malzeme homojen bir şekilde yapıya dâhil olduktan sonra hazırlanmış olan sıvı solüsyon öğütme işlemi için bir saat değirmende öğütülür.

İstenilen tane boyutunun(10 mikron) altına inen sıvı solüsyona çizilmeye karşı dayanımının artması için kolloidal silika diskli karıştırıcı altında 20 rpm hızda ilave edilerek 10 dakika karıştırılır.

Tez çalışmaları kapsamında; dolgu malzemesi Tablo 2.3'te ki oranlarda yavaş bir şekilde sıvı solüsyona dâhil edilmiştir. PTFE yapıya dâhil edilmeden önce karışım karıştırıcıdan alınmalıdır. Yüksek hızlar altında PTFE'nin polimer zincirinde kopmalar gerçekleşerek yapının bozulmasına neden olabilir. Yapıya PTFE dâhil edilirken karıştırıcı başlığı değiştirilerek kanatlı karıştırıcı tercih edilmelidir. PMA çözeltisi de kanatlı karıştırıcı altında eklenmelidir.

Tez çalışmaları kapsamında hazırlanan dolgu malzemesi formülasyonları Tablo 2.3'de gösterilmiştir. Dolgu malzemesi olarak SiC 1000 içeren reçete standart kabul

edilmiştir. Çalışmalarda dört farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır. İlk olarak farklı tanecik boyutundaki SiC reçeteleri hazırlanmış, ikinci aşamada alümina takviyesi, üçüncü aşamada karbon nanotüp, son aşamada ise yapıya grafen takviyeli yapışmaz kaplamalar üretilmiştir.

Tablo 2.3. Dolgu malzemesi oranları

Numuneler	SiC	Alümina 4 mikron	Karbon nanotüp	Grafen
STD	SiC 1000 %3	-	-	-
R1	SiC 1000%1,5 SiC 500 %1,5	-	-	-
R2	SiC 500 %3	-	-	-
R3	SiC 400 %3	-	-	-
R4	-	%3	-	-
R5	SiC 1000%1,5 SiC 400 %1,5	-	-	-
R6	SiC 500 %1,5 SiC 400 %1,5	-	-	-
R7	SiC 1000%1,5	%1,5	-	-
R8	SiC 1000%2,85	-	%0,15	-
R9	SiC 1000%2,55	-	%0,45	-
R10	SiC 1000%2,85	-	-	%0,15
R11	SiC 1000%2,55	-	-	%0,45

Hazırlanan numuneler, 25°C de oda sıcaklığı altında 45 saniyelik viskozite değerine sahip olmasından sonra, basınçlı sprey tabancası ile yüzeye uygulanır. Uygulama kaynaklı oluşabilecek hataların minimize edilebilmesi için uygulama yapılan astar katın 7 mikron kalınlığında olması gerekmektedir. Uygulama yapılan plakalar 130°C de 4 dakika süre ile kurutulur.

Üst kat uygulaması için Gizem Seramik Frit ve Glazür San. Tic. A.Ş şirketinden tedarik edilen yapışmaz kaplama uygulanmıştır. Üst kat uygulanan malzeme ilk olarak 130°C de 4 dakika etüvde tekrar kurutulduktan sonra 430°C de 5 dakika pişirilmiştir.

2.2.2. Karakterizasyon

2.2.2.1. Termo gravimetrik analiz (TGA)

Hazırlanmış olan numuneler Perkin Elmer TGA 4000 cihazı ile analiz edilmiştir (Şekil 2.1). TGA analizi 30°C ile 800°C aralığında, dakikada 30°C ısıtma hızıyla ve azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1. TGA cihazı

2.2.2.2. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR)

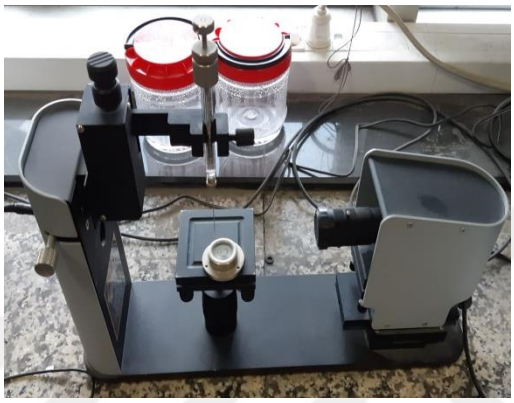
Yapıya eklenen dolgu malzemelerin bağ yapısına yapmış olduğu değişikler Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR) kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.2). Standart numuneye silisyum karbür, alümina, karbon nanotüp ve grafen takviye edilmiş numuneler sıvı fazda Perkin Elmer Spectrum Two cihazında analiz edilmiştir. Örneklerin elmas kristal kullanılarak 450-4000 cm^{-1} aralığında FTIR spektrumları elde edilmiştir.



Şekil 2.2. FTIR cihazı

2.2.2.3. Temas açısı ölçümleri (CA)

Çalışmalar kapsamında hazırlanmış olan yüzeyler üzerine saf su damlatılarak Şekil 2.3 te gösterilen temas açısı cihazı ile temas açısı analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler numune yüzeyinin üzerine 0,05 µl saf su damlatılarak alınmıştır. Ölçüm hatalarını minimize etmek amacıyla her bir numune için dört defa test tekrarlanarak ortalama değer elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Temas açısı ölçüm cihazı

2.2.2.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

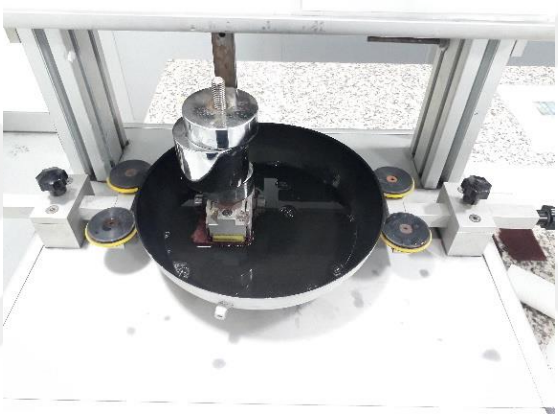
Tez çalışmaları kapsamında farklı boyutta ve türde dolgu malzemelerin kullanılmasının yüzey morfolojisi üzerindeki etkileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Yüzeyler QUANTA 400F Field Emission cihazında analiz edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Taramalı elektron mikroskobu (URL-8)

2.2.2.5. Aşınma testi

Aşınma testleri Şekil 2.5'te gösterilen SET-AT-360 Abrasion Tester cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler alüminyum tava yüzeyine uygulanmış kaplamalar üzerinde yapılmıştır. Tavalar cihaza uygun bir şekilde konumlandırıldıktan sonra 3,2 kg ağırlığında saniyede 1 tur atacak şekilde cihaz ayarlanmıştır. Yüzey işlem kolunun ucuna 3M firmasından tedarik edilen Scotck-Brite 7447 Hand Pads süngeri yerleştirilmiştir. Süngerin üstünü kapatacak şekilde %1 deterjan içeren çözelti tava yüzeyine uygulanmıştır. Tava yüzeyinde çizilme gözlemlendiğinde test sonlandırılmış ve çizilmeye kadar kaç tur döndüğü not edilmiştir.



Şekil 2.5. Aşınma testi

2.2.2.6. Yumurta testi

Tez çalışmaları kapsamında hazırlanmış olan farklı türde ve oranda dolgu içeren teflon kaplı tavalar, günlük yaşantımızda sıklıkla kullanmış olduğumuz yapışkanımsı bir sıvı olan yumurta kullanılarak kaplama malzemesinin yapışmazlığı değerlendirilmiştir (Şekil 2.6). Testler ev tipi ocak kullanılarak yapılmıştır. Yüzey uygulaması yapılacak tavalar 150°C sıcaklığa ulaştığında her bir yüzey üzerine beş defa yumurta kırılarak yapışma oranı gözlemlenmektedir. Yumurtalar üç dakika boyunca pişmesi beklendikten sonra spatül yardımıyla yüzeyden ayrılmış ve ayrılma davranışı yorumlanmıştır.



Şekil 2.6. Yumurta testi

2.2.2.7. Kareleme testi

Teflon kaplamalı malzemelerin yüzeye tutunmasının değerlendirildiği test yöntemi kareleme testidir. Her bir plaka keskin uçlu bir bıçak ile iki mm aralıklarla çizilmiştir. Bu çizgileri dik kesecek şekilde çizme işlemi tekrarlanmış ve özel bir bant ile yüzeye tutunmaları hem plaka yüzeyi hem de bant üzerinde kalan parçalar yorumlanarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Plaka ve bant üzerindeki kareleme testi

2.2.2.8. L-a-b testi

L-a-b testi yüzeyde gözlemlenen renk değişimlerinin değerlendirildiği bir analiz yöntemidir. Analizler Şekil 2.8'de gösterilen KONİCA MINOLTA cihazı kullanılarak alt kat yüzeyinin üzerinden gerçekleştirilmiştir.



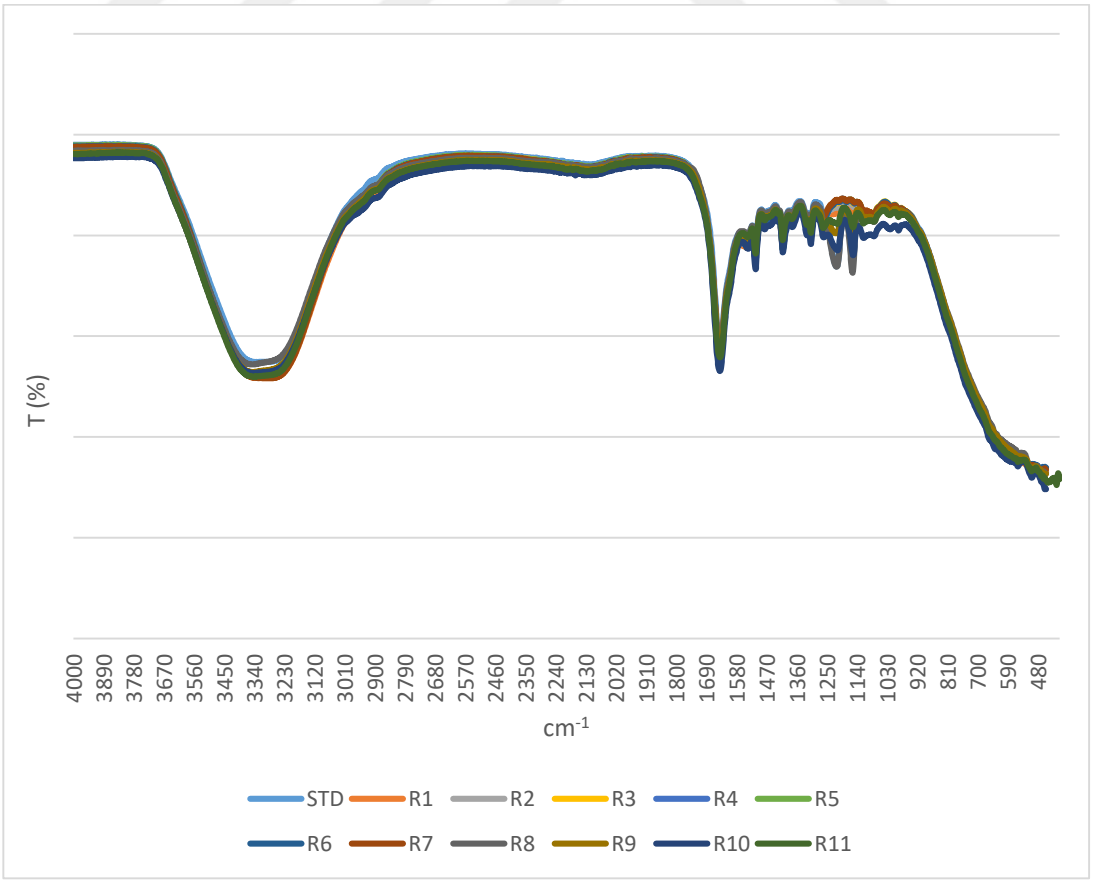
Şekil 2.8. L-a-b ölçüm cihazı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. PTFE Katkılı Sıvı Solüsyonların Karakterizasyonu

3.1.1. Fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR)

Şekil 3.1'de tüm reçetelere uygulana FTIR analizi sonucu elde edilen spektrumlar verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde SiC, alümina, karbon nanotüp, grafen eklenmesiyle yeni bir bağ oluşumu gözlemlenmemiştir. Analizler sıvı formda yapılmıştır. Şekil 3.1 de gözlemlenen ilk pik 3250-3310 cm^{-1} aralığındaki OH bağlarını göstermektedir. 2.pik ise 1635-1640 cm^{-1} aralığında NH bağları gösterir. Bütün numunelerde CF bağını temsil eden 1000-1400 cm^{-1} dalga boyları, parmak izi bölgesi olarak tanımlanan 667-1250 cm^{-1} aralığında görülmüştür (Rossi vd, 2014; Kılıç ve Karahan, 2010; Bozan 2013).



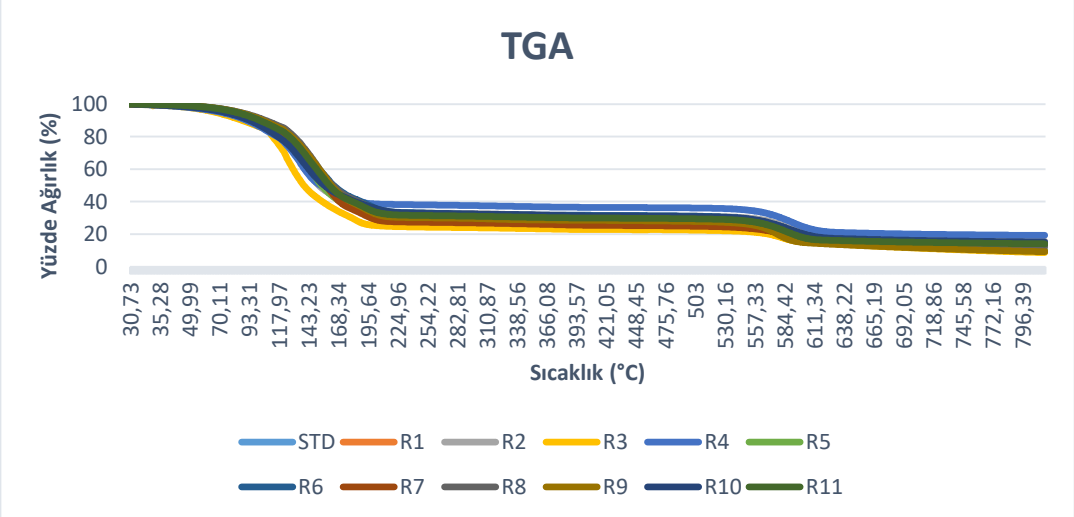
Şekil 3.1. FTIR sonuçları

3.1.2. Termo gravimetrik analiz (TGA)

Standart reçeteye ve diğer tüm reçetelere TGA yapılmıştır. TGA analiz sonuçları Tablo 3.1 ve TGA grafikleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Reçeteler Şekil 3.2 de gözlemlendiği gibi üç basamaklı bozunma göstermiştir. Uygulama sırasında 120°C kurutma, 430°C pişirmeye tabii tutulan yapışmaz malzeme sıvı solüsyonları, ikinci bozunmaya kadar olan tepkimelerini uygulama esnasında gerçekleştirir ve yapı içerisindeki su, çözücü, yüzey aktif malzemeler yapıdan uzaklaşır. PTFE'nin bozunma sıcaklığının 470-600°C aralığında bozunduğu bilinmektedir (Santos vd, 2009). Bu kapsamda yapılan TGA test analiz sonucunda, 500-620°C aralığında üçüncü bozunma piki PTFE'nin bozunma sıcaklığını göstermektedir.

Tablo 3.1. Bozunma sıcaklıkları değerleri

	1.Bozunma (°C)	2.Bozunma (°C)	3.Bozunma (°C)	Kül Miktarı (%)
STD	145	206	586	14,88
R1	158	201	585	15,38
R2	128	202	585	15,61
R3	127	188	582	8,73
R4	138	180	586	19,25
R5	150	189	577	10,00
R6	160	202	587	11,01
R7	158	190	586	13,66
R8	137	191	610	12,31
R9	157	192	576	9,23
R10	140	180	587	15,16
R11	146	197	576	14,10



Şekil 3.2. TGA bozunma verileri

3.2. Yapışmaz Yüzey Kaplamalı Malzemelerin Karakterizasyonu

3.2.1. Temas açısı ölçümleri (CA)

SiC farklı tane boyutlarında yapıya takviye edildiğinde, karışım formda hazırlanan R5 (SiC 400 ve SiC 1000) reçetesi en iyi sonucu vermiştir. Yüzeye su damlasının temas ettiği görseller Şekil 3.3'te gösterilmiştir. SiC dolgu malzemelerinin tane boyutundaki farklılıklar STD, R2 ve R3 reçetelerinde karşılaştırılmıştır. Tane boyutu (1-10 μm) en küçük değere sahip olan STD reçetesi yapıya daha homojen şekilde dağıldığından en yüksek temas açısı değerine sahip olmuştur. Farklı tane boyutuna sahip olan SiC dolgu katkılı reçetelerde SiC 1000 ve SiC 400 içeren karışım formundaki R5 reçetesi yüzeyde oluşturduğu pürüzlü yapı sayesinde yüksek temas açısına ulaşmıştır. Bölüm 1.6.3.2'de Wenzel vd. pürüzlü yüzeylerin temas açısını arttırdığı bildirmiştir (Wenzel vd. , 1936)

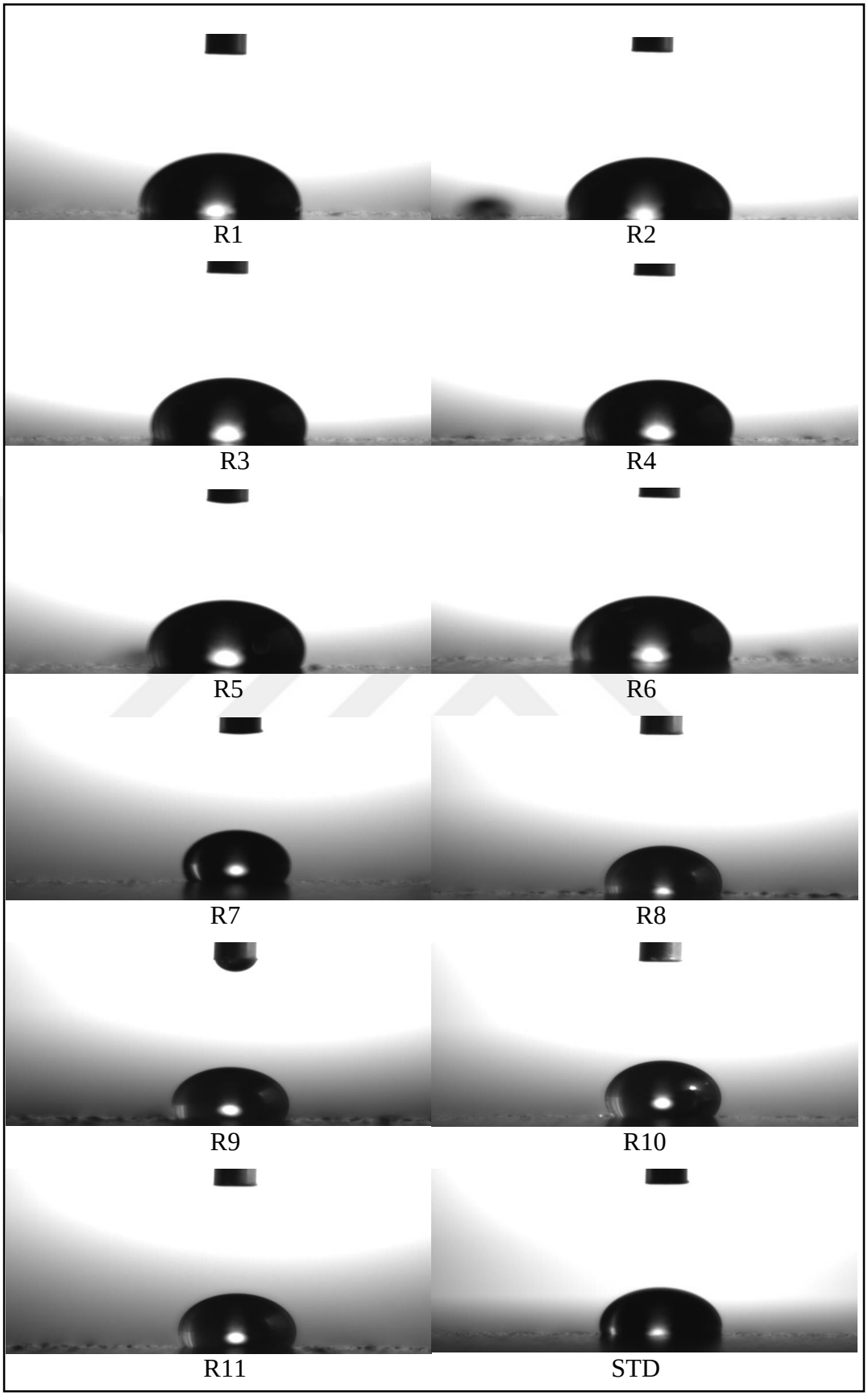
Silisyum karbür ile karışım olarak kullanılan alümina (R7), yapıda tek olarak kullanılan alüminaya (R4) göre daha yüksek bir temas açısına sahiptir.

Karbon nanotüp takviyesi yapının temas açısını standartta göre arttırmış olmasına rağmen miktarı arttıkça (R9), temas açısının azaldığı gözlemlenmiştir.

Grafen ilavesi yapılan denemelerde, grafen miktarı arttıkça (R11) doğrusal olarak temas açısının arttığı gözlemlenmiştir. Bhargava vd. yapmış olduğu araştırmalarda grafen dolgusunun yapıya ilavesi ile aşınma direncinin arttığı açıklanmıştır (Bhargava vd, 2012).

Tüm sonuçlar yorumlandığında grafen takviyesinin temas açısını standart olarak kullanılan SiC 1000 malzemesi içeren reçeteye göre 15,5 derece arttığı gözlemlenmiştir. Grafen takviyeli malzemenin yüzey porozitesinde gözlemlenen artış temas açısının artışına sebep olmuştur (Şekil 3.3). Literatürde yüzey pürüzlülüğünün, temas açısını olumlu yönde etkilediğini bildiren çalışmalarda bulunmaktadır (Wenzel vd. , 1936).

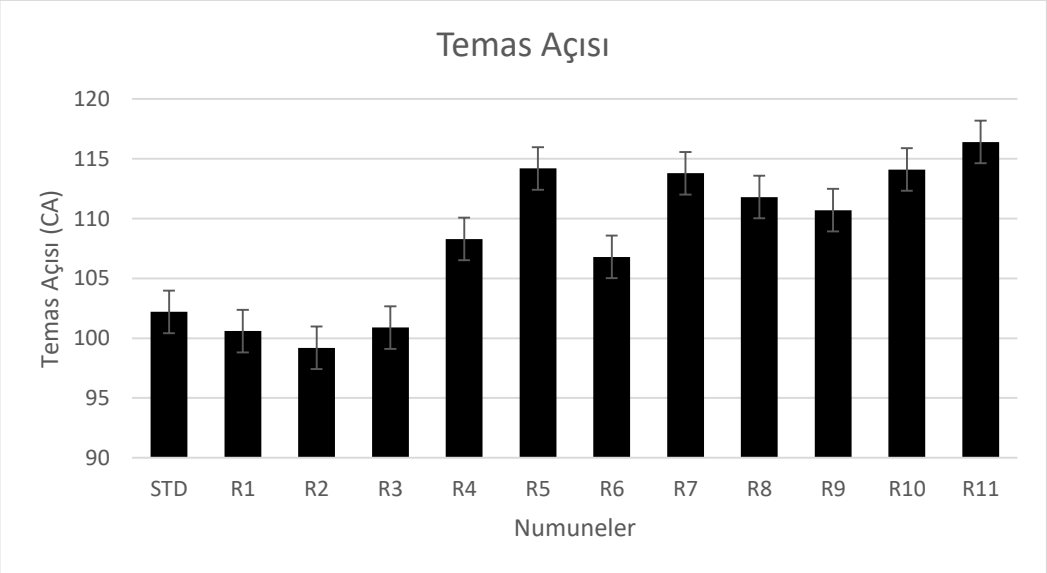
Reçetelerin temas açısı değerleri Tablo 3.2 ve grafiksel gösterimi de Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Temas açısı ölçümleri

Tablo 3.2. (CA) değerleri

Numuneler	Temas Açısı (CA)
STD	102,2
R1	100,6
R2	99,2
R3	100,9
R4	108,3
R5	114,2
R6	106,8
R7	113,8
R8	111,8
R9	110,7
R10	114,1
R11	116,4



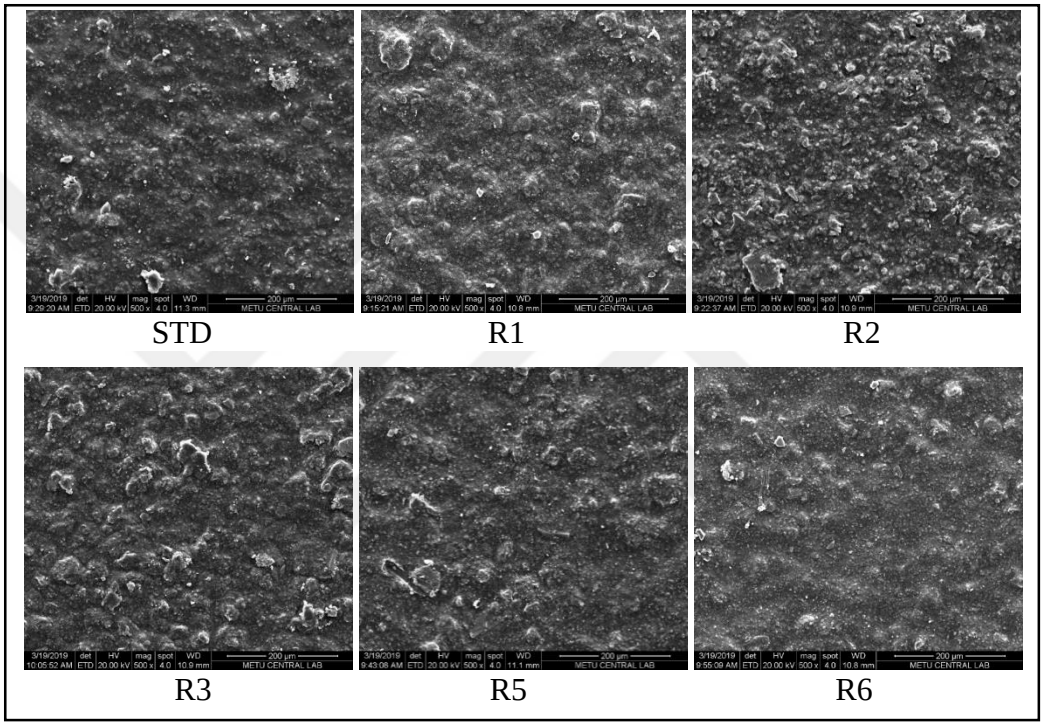
Şekil 3.4. Temas açısı değerleri (Grafik)

3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi üst kat uygulaması yapılmayan sadece alt katlar üzerinden yapılmıştır.

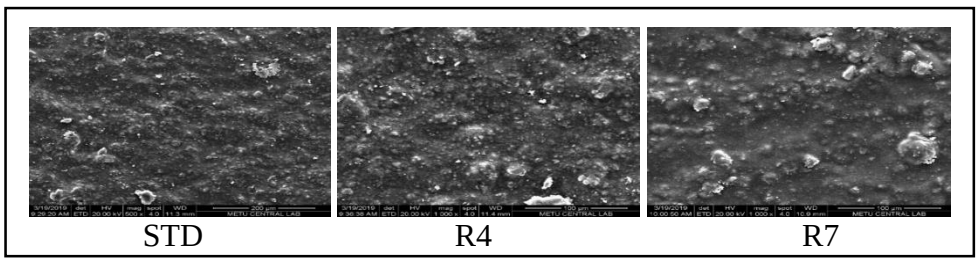
Tez çalışmaları kapsamında kullanılan silisyum karbür (SiC) tane boyutundaki farklılıklar SEM analizinde gözlemlenmiştir. Çalışmalar kapsamında en büyük tanecik

boyutuna sahip olan SiC 400 dolgu malzemesi içeren yüzeyde iri taneler net olarak görülmektedir. Ölçümler 500, 1000 ve 1500 büyütmede yapılmış olup 500 büyütmedeki görüntüleri gösterilmiştir. 500 büyütmedeki SiC'ün tane boyutu farklılıkları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. STD, R2 ve R3 reçetelerinde kullanılan tek tip SiC dolgu içeren yüzeylerin homojen olarak dağıldığı, R1, R5 ve R6 reçetelerinin ise farklı tane boyutuna sahip dolgulardan dolayı daha heterojen bir dağılım sergilediği görülmüştür.



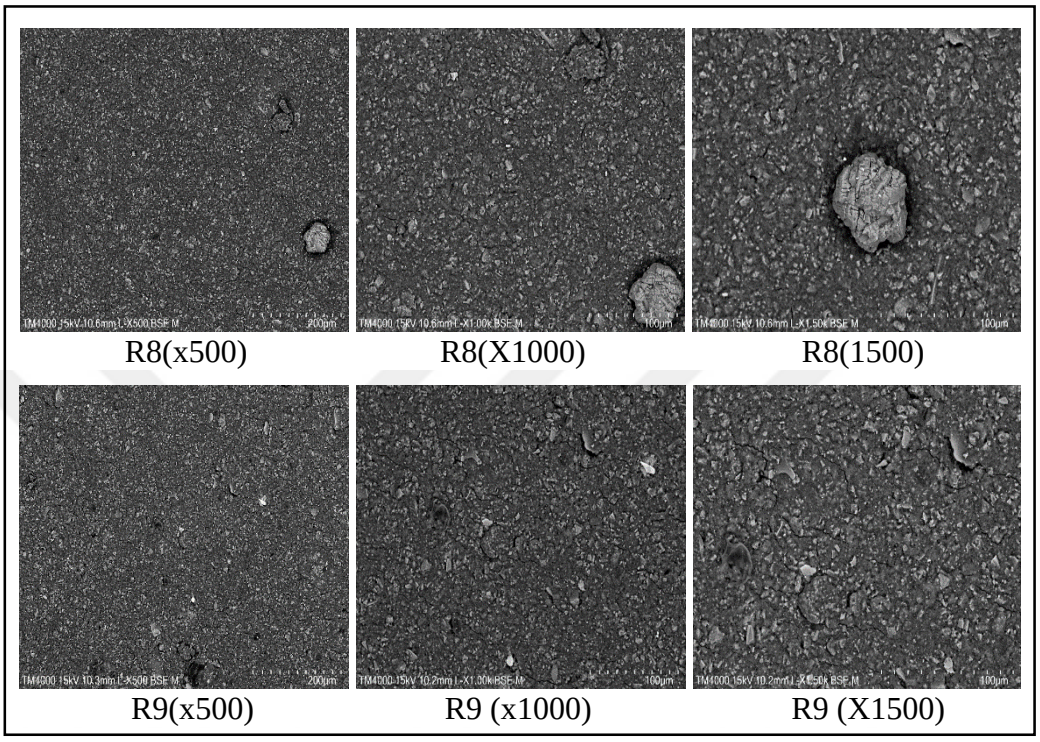
Şekil 3.5. x500 büyütmedeki silisyum karbür (SiC) yüzey görüntüleri

Dolgu malzemesi olarak kullanılan alümina, SiC 1000 dolgulu yüzeye göre daha pürüzlü bir yapıya sahip olup, alümina miktarı azaldıkça pürüzlü yapının azaldığı görülmüştür. Şekil 3.6'da 500 büyütmedeki SEM görüntüleri gösterilmiştir.



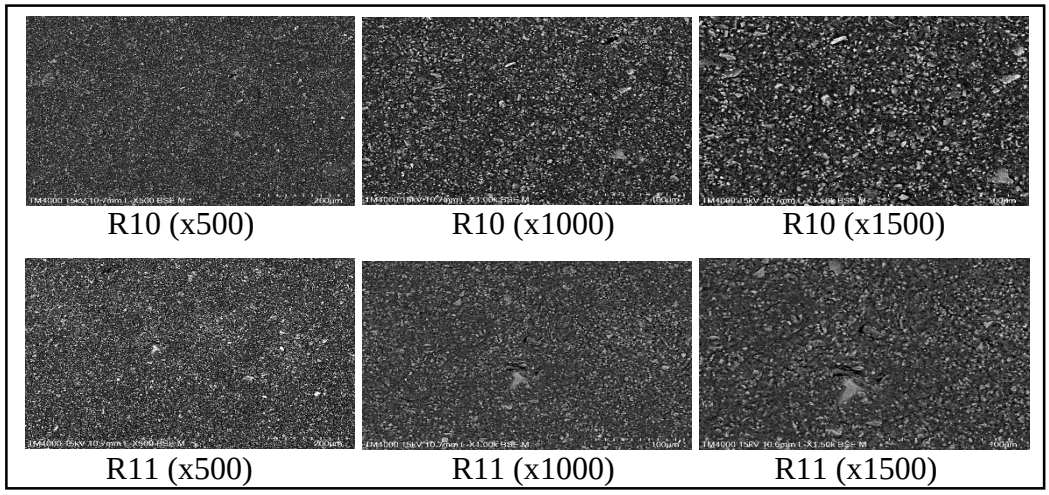
Şekil 3.6. x500 büyütmedeki alümina takviyeli yüzey görüntüleri

CNT takviyeli reçetelerin SEM görüntüleri farklı büyütme oranlarında Şekil 3.7'de gösterilmiştir. İncelenen CNT takviyeli yüzeylerde aglomerasyon gözlemlenmiştir. CNT miktarının artmasıyla yapıda gözlemlenen aglomerasyon azalmış olup yüzey pürüzlülüğü her iki reçetede görülmüştür.



Şekil 3.7. Karbon nanotüp takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri

Grafenin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı reçetelerin SEM görüntüleri Şekil 3.8 de gösterilmiştir. Grafen katkısının yüzeylerde çok sayıda ince taneli parçacıklar oluşturduğu gözlemlenmiş olup, grafen miktarındaki artış parçacıkların azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 3.8. Grafen takviyeli malzemelerin SEM görüntüleri

3.2.3. Aşınma testi

Dolgu malzemelerinin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç değerleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Dolgu malzemesi olarak SiC'lerin tek tip olarak hazırlandığı reçeteler değerlendirildiğinde, astar katta bulunan SiC'ün tane boyutunun artmasıyla aşınmanın azaldığı, en iri taneli olan SiC 400'ün STD reçeteye göre yirmi kat daha aşınmaya karşı dayanaklı olduğu görülmüştür. Karışım formundaki reçetelerde ise, ince taneli ve iri taneli SiC içeren yapılar, 1-10 μm tane boyutuna sahip SiC 1000'e göre minimum yedi kat arttığı gözlemlenmiştir.

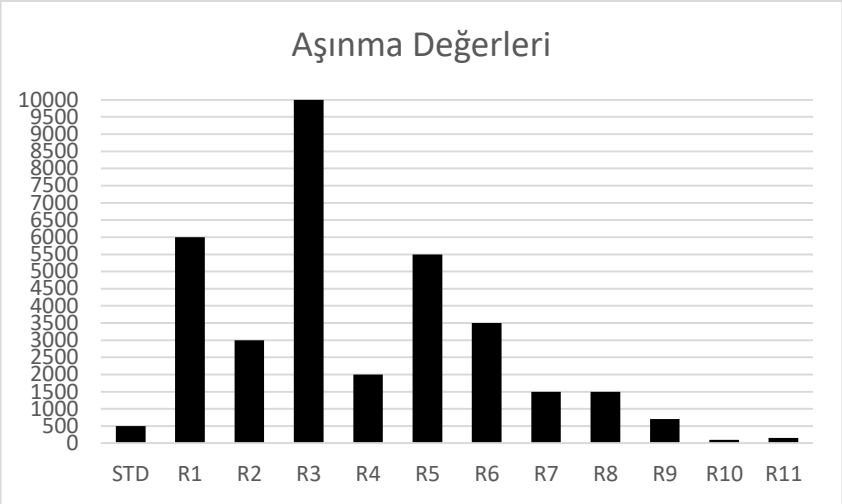
Alümina miktarında ki artış aşınmaya karşı olumlu sonuç vermiştir. Alüminanın sert bir malzeme olmasından dolayı yüzeyde oluşturduğu sert katman aşınmaya karşı direnci arttırmıştır.

CNT takviyesinin yapıldığı yüzeylerde aşınmanın STD reçeteye göre olumlu sonuç verdiği gözlemlenmiştir. CNT miktarındaki artış (R7-R8), aşınmanın artmasına sebep olmuştur.

Yapıya dolgu malzemesi olarak katılan grafen, yüzeyde pürüzlülük oluşturmuş olup yapıya dâhil olamamışlardır. Grafen dolgusunun yapıldığı reçetelerde, aşınma testi sırasında yüzeyden parçaların ayrıldığı ve bu ayrılan parçaların aşınmaya neden olduğu görülmüştür.

Tablo 3.3. Aşınma testi verileri

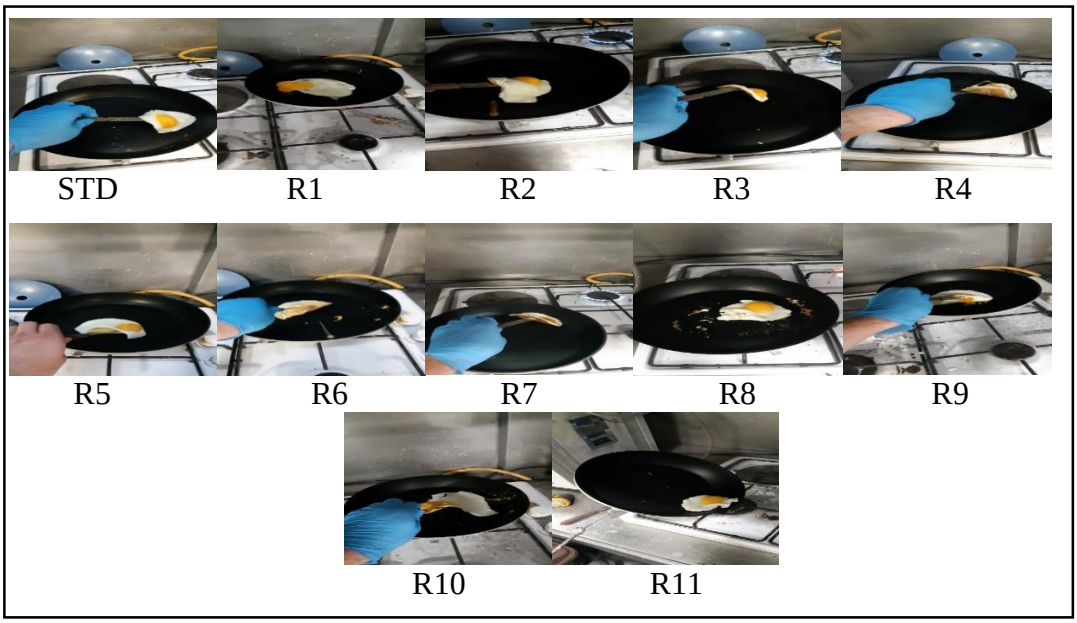
Reçeteler	**Aşınma Değeri (devir sayısı)**
STD	500-
R1	6000-
R2	3000-
R3	10000+
R4	2000-
R5	5500-
R6	3500-
R7	1500-
R8	1500-
R9	700-
R10	100-
R11	150-



Şekil 3.9. Aşınma testi verileri

3.2.4. Yumurta testi

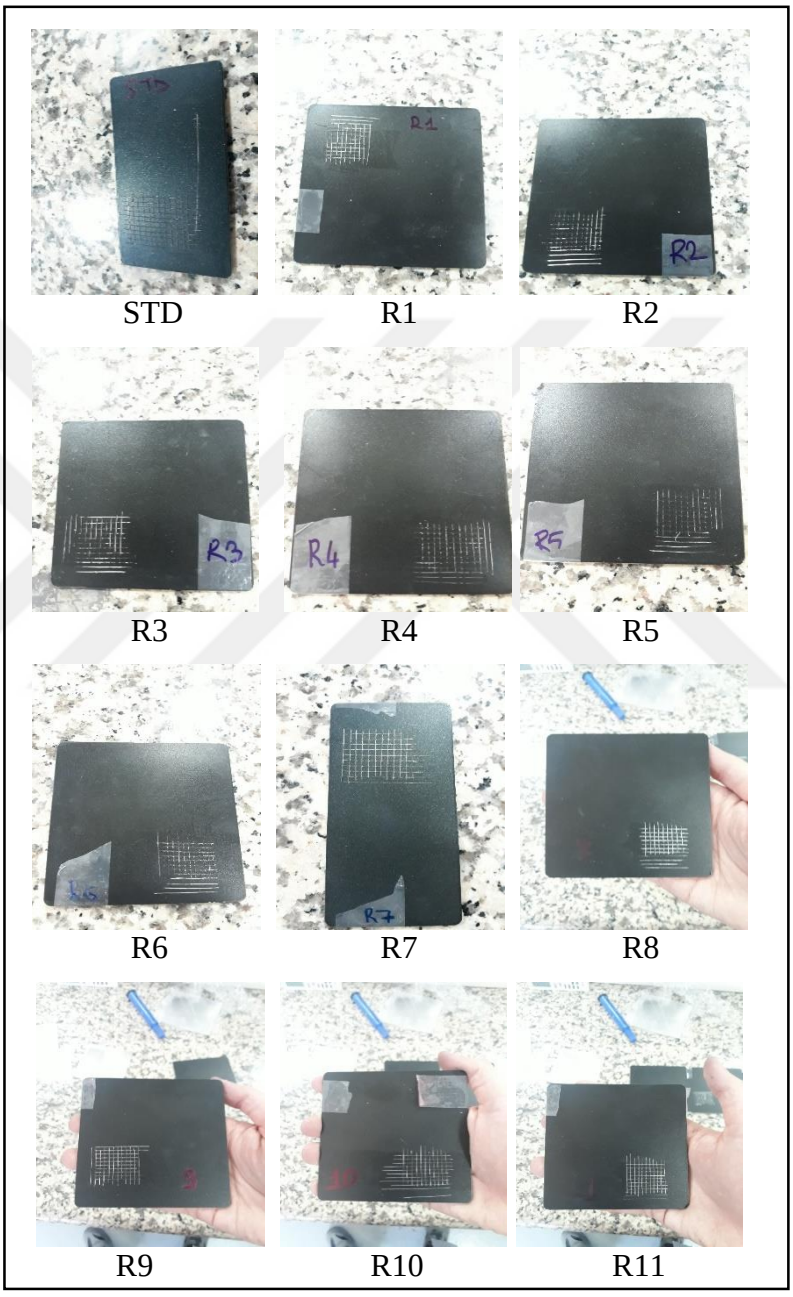
Görsel bir test olan yumurta testinde amaç, yüzeylerin yapışmazlık özelliğinin değerlendirilmesidir. Görsel değerlendirmeler sonucunda karışım olarak hazırlanan R5 reçetesinde yapışmazlık özelliği olumlu sonuç vermiştir (Şekil 3.10). Yapılan diğer reçetelerde SiC tane boyutundaki değişim ve alümina takviyesi gözle görülebilen olumsuz bir etki göstermezken, CNT ve grafen takviyeli yüzeylerde yapışma gözlemlenmiştir.



Şekil 3.10. Yumurta testi sonuçları

3.2.5. Kareleme testi

Tez çalışmaları kapsamında yapılan kareleme testi sonuçlarında hiçbir reçetede tutunmama problemi gözlemlenmemiştir. Sonuçların hepsi olumlu gelmiş olup Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kareleme testi sonuçları

3.2.6. L-a-b testi

Uygulanan alt katmanların renk performansı değerlendirildiğinde, SiC tane boyutunun artması ile siyah ve beyazlığının ölçütü olan L değerinde azalma gözlemlenmiştir. Turan vd. bahsettiği üzere SiC'ün tane boyutundaki değişim yüzeydeki renk performansını etkilemiştir (Turan. , 2004). Karbon nanotüp ve grafen takviyesinde ise L değerini düştüğü görülmüştür. Bu L değerindeki düşüş yapıda karbon miktarının artmasından kaynaklıdır. Yapılan analizler sonucunda ise a ve b değerlerinde farklılıklar gözlemlenmemiştir. Tane boyutu ve katkı malzemelerinin renk performansı üzerindeki etkileri ise Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Tane boyutu ve katkı malzemelerin renk performansına etkisi

	SiC 1000	SiC 500	SiC 400	Alümina	CNT	Grafen
L	25,09	24,41	23,29	23,00	18,92	20,07
a	0,02	0,04	0,02	0,1	0,02	0,21
b	-0,81	-0,87	0,87	-0,83	-0,81	-0,51

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında günlük yaşantımızda sıklıkla kullandığımız floropolimer esaslı teflon kaplamaların aşınma direncinin arttırılması hedeflenmiştir. Teflon malzemelerin hidrofobik özelliği uygulama yapılmış tavanın üst katmanına yapılan katkılar sonucunda, aşınma dayanımı ise alt katmana yapılan değişiklikler ile iyileştirilebilmektedir. Bu noktadan hareketle, alt kat formülasyonunda bulunan silisyum karbür (SiC) dolgu malzemesinin ilk olarak tanecik boyutu farklılıkları incelenmiştir. Üç farklı tanecik boyutuna sahip SiC'ler yapı içerisinde tek tek değerlendirildikten sonra karışım formlarında da denemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda standart olarak belirlediğimiz SiC F1000 en küçük tanecik boyutuna sahiptir. Tez çalışmasında belirlenen tanecik boyutu farklılıklarının yanı sıra farklı dolgu malzemesi türü olarak alümina(4 mikron), karbon nanotüp ve grafen yapıya takviye edilmiştir.

Toplam 11 tane farklı dolgu içeren reçeteler hazırlanmış ve kaplamalar yapılmıştır. Kaplamaların karakterizasyonu için SEM, temas açısı ölçümleri, kareleme testi, aşınma testi, FTIR, TGA ve renk testleri yapılmıştır.

SEM sonuçlarına göre SiC'ün tane boyutu farklılıkları 500, 1000, 1500 büyütmelerde karşılaştırılmıştır. Alümina, karbon nanotüp ve grafen takviye edilen yüzeylerde pürüzlü bir yapının oluştuğu SEM görüntülerinde ise bu pürüzlü yapının oluşumu belirlenmiştir. Pürüzlü yapının oluşumu; dolgu olarak kullanılan malzemelerin yapıya homojen dağılmayıp, yapı içerisinde topaklanmalara neden olduğunu göstermektedir.

Karışım olarak hazırlanan SiC, alümina, karbon nanotüp ve grafen takviyeli malzemelerinin temas açısı değerlerine göre, standart olarak belirlenen 1-10 µm tane boyutuna sahip SiC'ün, tek tür SiC kullanımında tane boyutundaki artışın temas açısını düşürdüğü görülmüştür. Dolgu malzemesi olarak kullanılan alüminanın miktarı arttıkça temas açısının arttığı gözlemlenmiştir. Karbon nanotüp ve grafen takviyelerinde ise, yüzeylerde oluşan pürüzlülüğün temas açısını arttırdığı belirlenmiştir.

Alt kat ve üst kat uygulamaları tamamlanmış yüzeyler mekanik testlere tâbi tutulmuştur. Mekanik testlerde amaç, son ürün olarak hazırlanan numunelerin günlük yaşantımızda kolay kullanımı ve uzun ömürlü oluşu değerlendirilmiştir. İlk olarak kareleme testleri yapılan yüzeyler TSE (ISO 2409:2007) standartına göre değerlendirilmiş olup hiçbir numunede tutunma problemi gözlemlenmemiştir.

Bir diğer mekanik test olan yumurta testinde amaç kaplamanın yapışmazlık performansının değerlendirilmesidir. Görsel yorumlamalar sonucunda karbon nanotüp ve grafen takviyeli reçetelerde çok fazla gözlemlenen pürüzlülük, yapışma problemi oluştururken, 1-10 μm ile 8-32 μm aralığında tane boyutuna sahip SiC türlerinin karışım olarak hazırlandığı R5 reçetesinde ise ideal yüzey pürüzlülüğünün gözlemlendiği ve yapışmanın en az seviyelerde olduğu görülmüştür.

Tez çalışmaları kapsamında aşınma direncindeki değişim SET-AT-360 Abrasion Tester cihazı kullanılarak Gizemfrit laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre SiC'ün tane boyutundaki artış, aşınma direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak optimum yüzey porozitesinin SiC F400 katkılı formülasyonda oluştuğu yorumlanmıştır. Karbon nanotüp ve grafen dolgu malzemeleri ise yapıya homojen bir şekilde dağılmadığından yapı içerisinde topaklanmalara neden olmaktadır. Bu sebeple aşınmaya karşı direnç gösterememişlerdir.

Hazırlanmış olan sıvı numunelerin, yapılan dolgu malzemesi takviyeleri ile bağ yapılarında ki değişim FTIR analizi yapılarak yorumlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yapılan değişimler bağ yapılarında herhangi bir değişim oluşturmamıştır.

Yapıda oluşabilecek bozunmalar ise TGA analizi yapılarak yorumlanmıştır. Bütün denemeler üç basamaklı bozunma göstermiş olup dolgu malzemelerindeki değişim bozunma sıcaklıklarında önemli farklılıklarına sebep olmamıştır. Gözlemlenen üç bozunma piki yorumlandığında, ilk iki bozunma su, solvent ve yüzey aktif maddelerin yapıdan uzaklaştığı 200°C'lerde gözlemlenmiştir. Üçüncü bozunma piki ise 580°C-600°C'lerde gözlemlenmiş olup bu pik PTFE'nin bozunmasını temsil etmektedir.

Renk performansları değerlendirildiğinde ise, SiC tane boyutu azaldıkça yüzeylerdeki beyazlık oranı artar. Karbon nanotüp ve grafen dolgularında ise içerisindeki karbon

atomundan gelen siyah renk karakteri standartta göre L değerinin düşmesine sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında STD reçetede dolgu olarak kullanılan 1-10 µm tane boyutundaki SiC'in aşınma direncinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Aşınma testi sonuçları yorumlandığında ise tek tip SiC kullanımında tane boyutundaki artışların yüzey aşınmasını iyileştirdiği, R3 reçetesinde kullanılan 8-32 µm tane boyutundaki dolgu malzemesi ise standarta göre 20 kat daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Grafen ve CNT dolgu malzemelerinde gözlemlenen pürüzlü yüzeyler temas açısı değerini yükseltirken, yapıya dâhil olamayan dolgular aşınma testi sırasında yapıdan ayrılarak yapışmaz kaplamaların çizilmelerine neden olmuştur. Grafen ve CNT ile ilgili yapılan araştırmalarda ağırlıkça miktar artışlarının yüzey özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda SiC içerisinde CNT ve grafen oranının arttırılmasıyla farklı reçetelerin üretilip kaplama özelliklerin incelenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

Akbulut U. , Teflon Nasıl Keşfedildi? Mutfağımıza Nasıl Girdi? , ODTÜ Kimya Bölümü, www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/Teflon-nasil-kesfedildi.doc-15Hqaziran.pdf (Ziyaret tarihi: 31.05.2019).

Akın A. , Bir Tekstil Yüzey Aktif Maddesinin H_2O_2/UV-C Prosesiyle Artırılabilirliğinin Yanıt Yüzey Yöntemleriyle Modellenmesi ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

Akıncı A. , Akbulut H. , Yılmaz F. , Floropolimer (TEFLON) Kaplamaların Yapı ve Özellikleri, *Metalurji Dergisi*, Sakarya Üniversitesi, 2017.

Aydar A. Y. , Bağdatlıoğlu N. , Yemeklik Yağların Yüzey Gerilimi ve Temas Açılarının Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler, *Akademik Gıda,* **12**(1); 108-114, 2014.

Aşçı B. , Yüzey Aktif Maddelerin Kromatografik ve Spektrofotometrik Yöntemlerle Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.

Bhargava S. , Koratkar N. , Blanchet T.A. , Effect of Platelet Thickness on Wear of Graphene–Polytetrafluoroethylene (PTFE) Composites, *Cross Mark,* DOI: 10.1007/s11249-**15**-0533-2, 2015.

Bozan U. , Nano Partikül Takviyeli Teflon Kaplamaların Üretilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2013.

Burris D.L. , Sawyer W.G. , Improved Wear Resistance in Alumina-PTFE Nanocomposites with Irregular Shaped Nanoparticles, *Wear,* **260** 915–918, 2006.

Chen W.X. , Li F. , Han G. , Xia J.B. , Wang L.Y. , Tu J.P. , Xu Z.D. , Tribological Behavior of Carbon-Nanotube Filled PTFE Composites, *Tribology Latters* , Vol. 15, No. 3, October 2003.

Çerkez I. , Ulcay Y. , Kolloidal Silika Dispersiyonunun Polietilen Dokusuz Yüzeyin Enerji Absorbsiyonuna Olan Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* **12**-Say-2, 2007.

Damdhar V.S. , Pande K.N. , Peshwe D. R. , To Investigate The Wear Mechanism On Cryogenic Treatment Of PTFE-Mica Filled Composite Coatings In Cookware, *Cross Mark,* DOI: 10.1007/s12666-014-0491-7, 2015.

Dawkins B.G. , Qın F. , Gruender M. , Copeland G.S. , Polybenzimidazole (PBI) High Temperature Polymers and Blends, *PBI Performance Products Inc USA*, DOI:10.1533/978085709913.174, 2014.

Dreyer D.R. , Park S. , Bielowski W. , Ruoff R. S. , The Chemistry of Graphene Oxide, *Chemical Society Reviews*, DOI: 10.1039/b917/03g, 2010.

Erayman Y. , Korkmaz Y. , Süperhidrofob Tekstil Yüzeylerin Florsuz Bileşikler Kullanılarak Sol-Jel Yöntemiyle Modifikasyonu, *Journal of Textiles and Engineer*, **24**, 105, 2017.

Flegler S. L. , Heckman J. W. , Klomporens K. L. , Scanning and Transmission Electron Microscopy, *Oxford University Press*, ISBN #0-19-510751-9, 1993.

Gündüz T. İnstrümental Analiz. 5. baskı. Ankara: Gazi Kitapevi; 1999.

Hao Z. , Iqbal A. , Some Aspects Of Organic Pigments, *Chemical Society Reviews*, 1997.

Houptman N. , Vesel A. , Ivanovski V. , Gunde M. K. , Electrical Conductivity Of Carbon Black Pigments, Dyes and Pigments, 2012, **95**, 1-7, 2012.

Hutchings I. , Inkjet Printing For The Decoration Of Ceramic Tiles; Technology And Oppotunites, *Qualicer 2010 (Ed: Molinov O.)*, Catello, İspanya, 1-16, 2010.

Kadıoğlu Ü. , Bronz Katkılı PTFE'nin Kuru Kayma Halinde Sürtünme ve Aşınma Davranışları, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **7**.Cilt, 1.Sayt (Mart 2003).

Kandanur S.S. , Rafiee M.A. , Yavari F. , Schrameyer M. , Yu Z. , Blanchet T.A. , Koratkar N. , Suppression of Wear in Graphene Polymer Composites; SciVerse ScienceDirect, *Carbon **50**(2012)*, 3178-3183.

Kılıç G.B. , Karahan A.G. , Fourier Dönüşümlü Kızılötesi(FTIR) Spektroskopisi ve Laktik Asit Bakterilerinin Tanısında Kullanılması, *Gıda*,**35** (6): 445-452, 2010.

Kibar A. , Süperhidrofobik ve Hidrofobik Yüzeyler Üzerinde Sıvı Damlası Gaz Kabarcığı ve Sıvı Jeti Dinamiğinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, DOI: 10.5505/pajes.2016.07088, 2016.

Kodal M. Plastikleştirilmiş Poli(laktik asit) Temelli Nanokompozitlerin Fiziksel Özellikleri ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi. Kocaeli Üniversitesi, 2015.

Küçükyıldırım B. O. , Akdoğan Eker A. , Karbon Nanotüpler Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları, *TMMOBMMO Mühendis ve Makine Dergisi,* 2012, Cilt 53 Sayı 630,34-44.

Lau K.K.S , Bico J. , Teo K. B. K. , Chhowalla M. , Amaratunga G. A. J. Milne W. I. , McKinley G. H. , Gleason K. K. , Superhydrophobic Carbon Nanotube Forests, *Nano Letters,* Vol 3, No. **12** 1701-1705, 2003.

Lee H. J. , Owens J. R. , Design of Superhydrophobic Ultraoleophobic Nyco, *Journal of Materials Science,* 45, **12**, 3247-3253, 2010.

Mehmetalioğlu C. , Özüyağlı A. , Akcan E. , Şen Ş. , Olgun U. , Şen U. , Akıncı A. , Nano TiO_2 Dolgulu Polimer Esaslı Hidrofobik Kaplamanın Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* DOI: 10.16984/saufenbilder.296793, 2017.

Meiron T. S. , Mermur A. , Saguy I. S. , Contact Angle Measurements On Rough Surfaces , Colloid And İnterface Science , **274**, 637-644, 2004.

Oberdörster G. , Castranova V. , Asgharian B. , Sayre P. , Inhalation Exposure to Carbon Nanotubes (CNT) and Carbon Nanofibers (CNF): Methodology and Dosimetry, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B,* 18:3-4, 121-212, 2015.

Rossi S. , Gai G. , Benedetto R. D. , Functional and Perceptive Aspects Of Non-Stick Coatings For Cookware, *Materials and Design,* 2014,**53**, 782-790.

Rungraeng N. , Chu Y. , Yoon S. H. , Jun S. , Carbon Nanotube-Polytetrafluoroethylene Nanocomposite Coating for Milk Fouling Reduction in Plate Heat Exchanger, *Journal of Food Engineering,* **111** (2012) 218–224.

Sanjay S. L. , Annaso B. G. , Chavan S. M. , Rajiv S. V. , Recent Progress in Preparation of Superhydrophobic Surfaces; A Review, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology,* 2012.

Santos J.L. , F.C Felinto M.C. , Characterization Of Poliytetrafluoroethylene Membranes Impregnated With Calix[n] Arenes (n=4, 6 And 8) And Acetatecalix[n] Arenes For Use In Treatment Of Radioactive Waste Using The Supported Liquid Membrane Technıque, *2009 International Nuclear Atlantic Conference-INAC 2009,* ABEN- September 27 to October 2,2009.

Sas I. , Gonga R. E. , Joines J. A. , Thoney K. A. , Literature Review on Superhydrophobic Self-Cleaning Surfaces Produced by Electrospinnig , *Journal of Polymer Science Part B-Polymer Physics,* 50, **12**, 824-845, 2012.

Shirtcliffe N. J. , McHale G. , Atherton S. , Newton M. I. , An Introduction to Superhydrophobicity, *Advandes in Colloid and Interface Science*, **161**, 1, 124-138, 2010.

Turan E. , Bor Karbür- Silisyum Karbür Kompozitlerinin Sıcak Presleme İle Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 151262.

Tütüncükara M. M. , Endüstriyel Karışımların Kullanım Alanları ve Boyutlandırma Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.

Wen W. , Yao J. C. , Luo Y. , Loi L. L. Wu J. M. , Synthesis Of An Intensive Blue Pigments With Low Cobalt Content, *Ceramic International,* 2018.

Wenzel R. N. , Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water, *Industrial & Engineering Chemistry*, 28, **8**, 988-994, 1936.

Xanthos M, Todd DB. Plastic Processing. Encycl. Polym. Sci. Technol. 3. baskı, New York: John Wiley and Sons Inc; 2005, s. 7489–517.

Yakar S. S. , ZnO Tozunun Yüksek Enerjili Öğütme Davranışlarının İncelenmesi ve Bu Tozlardan Hareketle ZnO Katkılı Polimer Kompozitlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

Yazıcı N. , Fonksiyonel Hibrit Nanoparçacıklar İle Takviye Edilmiş Doğal Kauçuk Harmanlarının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018.

Yıldırım İ. , Alümina ve Silisyum Karbürün Mukavemet Özellikleri Üzerine Üretim Şartları ve Bileşimin Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 143074.

Zhong M. Q. , Friedrich K. , Batzar K. , Thomas P. , Abrasive Wear Mechanisms Of Fluoropolymer Based Composite Coatings On Aluminum Substrates, *Wear*, 1996, **200**, 122-136.

Zhu Y, . Murali S. , Ca, W. , Li X. ; Suk J. W. , Potts J. R. , Ruoff R. S. , Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties and Applications, *Advanced Materials,* DOI: 10.1002/adma.201001068.

(URL-1) blog.aku.edu.tr/evcin/files/2019/03/surface-coating.pdf (Ziyaret tarihi: 30.05.2019).

(URL-2) http://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/2e64676b5be4266_ek.pdf (Ziyaret Tarihi: 31.05.2019).

(URL-3) https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/67626/mod-resource /content / 0/ 5:Hafta_Reoloji.pdf (Ziyaret tarihi: 31.05.2019).

(URL-4) https://www.researchgate.net/profile/Semih_Taskaya/publication/ 326250872_SERAMIK_MALZEMELERIN_KARAKTERIZASYONU_SEM_ve_TEM_Cihaz_Analizleri/data/5b40e4380f7e9bb59b11bb4f/SEM_ve_TEM_Cihaz_Analizleri.pdf (Ziyaret tarihi: 01.06.2019).

(URL-5) https://www.coatsindustrial.com/tr/information-hub/apparel-expertise /colour-by-numbers (Ziyaret tarihi: 02.06.2019).

(URL-6) http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/ftir (Ziyaret tarihi: 31.05.2019).

(URL-7) https://inovatifkimyadergisi.com/sivilarin-islatma-yetenekleri-ve-temas-acisi (Ziyaret Tarihi: 31.05.2019).

(URL-8) merlab.metu.edu.tr/tr/taramali-elektron-mikroskobu (Ziyaret tarihi: 30.05.2019).

(URL-9) https://www.mikroteknik.com.tr/propilen-glikol-metil-eter-asetat-pma--s92.html (Ziyaret tarihi: 01.06.2019).

(URL-10) https://therna.com.tr/test-metodlari/therna-test-metodlari-elkitapcigi.pdf (Ziyaret tarihi: 30.05.2019).

(URL-11) https://www.metalurjik.net/taramali-elektron-mikroskobu-sem (Ziyaret tarihi: 01.06.2019).

(URL-12) https://www.kansaialtan.com/terms/ara/n-%20Metil%20pirolidon (Ziyaret tarihi: 31.05.2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Toç O. , Aytaç A. , Farklı Tanecik Boyutundaki Silisyum Karbürlerin Yapışmaz Kaplamaların Özellikleri Üzerine Etkileri, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Kocaeli, Türkiye 26-28 Nisan 2019

Toç O. , Aytaç A. , Yapışmaz Malzemelerde Kullanılan Dolgu Malzemelerinin Yüzey Özellikleri Üzerindeki Etkileri, VI. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, Ankara, Türkiye 13-15 Haziran 2019

ÖZGEÇMİŞ

Onurhan TOÇ, 1994 yılında Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ahmet Akkoç İlköğretim Okulunda, Lise öğrenimini ise Adapazarı Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında girdiği Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.