

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ TEFLON
KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Utku BOZAN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ - MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatih ÜSTEL

Ağustos 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANO PARTİKÜL TAKVİYELİ TEFLON
KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

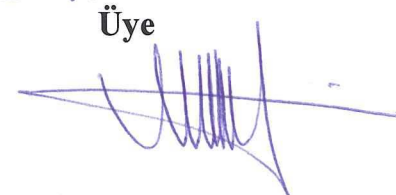
Utku BOZAN


Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ - MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME

Bu tez 06 / 08 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih ÜSTEL
.....
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Nil TOPLAN
.....
Üye


Urd Doç. Dr. Ekrem
.....
Üye
Altınca


ÖNSÖZ

Günümüzde kaplama sektörünün hızlı gelişimi, mühendisler için vazgeçilmez bir kaplama malzemesinin üretilmesi için araştırmalara yol açmıştır. Yüksek korozyon dayanımı, düşük sürtünme katsayısı ve geniş çalışma sıcaklığı aralığına sahip olan non-stick (yapışmaz) teflon kaplamalar, bu eşsiz özellikleri sebepleriyle özellikle mutfak endüstrisinde tercih edilmektedir. Bu çalışmada, teflon kaplamaların yapı özellikleri ve gelişimi örnekler verilerek açıklanmaya çalışılmaktadır.

Değerli hocam Sn. Prof. Dr. Fatih ÜSTEL'e, çalışmalarımızın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli bilgi, fikir ve tecrübeleriyle destek gösterdiği için teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve tecrübeleriyle çalışmalarımıza katkı sağlayan, bana ayırdığı değerli zaman ve sağladığı destek için Yrd. Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU'ya, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını benden esirgemeyen, gösterdiği ilgi, özen ve katkılarından dolayı Uzman Metalurji ve Malzeme Mühendisi Garip ERDOĞAN ve Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Araştırma Görevlisi Fatih Erdem BAŞTAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, karşılıksız ve sonsuz sevgi, saygı ve hoşgörülerini ile sürekli yanımda olan, çalışmalarımın başlangıcından bitimine kadar gösterdiği sabır ve destek için aileme ve sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

Sevdiklerinizle birlikte sağlıklı ve mutlu uzun bir hayat dilekleriyle...

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
YAPIŞMAYAN (NON-STICK) KAPLAMALAR VE TAKVİYE PARTİKÜLLERİ	2
2.1. Yapışmaz (Non-stick) Kaplamaların Bileşenleri.....	2
2.2. Yapışmaz Kaplama Özellikleri.....	3
2.3. Yapışmaz Kaplamaların Kullanım Alanları.....	5
2.4. Yapışmaz Kaplama Türleri	8
2.4.1. Halar ® Etilen – Klorotrifloroetilen (ECTFE)	8
2.4.2. Teflon ® Floroetilen-Propilen (FEP).....	9
2.4.3. Teflon ® Perfloroalkoksi (PFA).....	9
2.4.4. Teflon ® Etilen – Trifloroetilen (ETFE).....	10
2.4.5. Polivinilidenflorür (PVDF)	10
2.4.6. Klorotrifloroetilen (CTFE)	11
2.4.7. Teflon ® PTFE	11
2.4.8. Silikon	12
2.5. Yapışmaz Kaplamaların Seçim Kriterleri.....	12
2.6. Yapışmaz Kaplamalara Takviye Edilen Nano Partiküller	13
2.6.1. TiO2 nano partikülleri.....	14

2.6.2. ZnO nano partiküller ve nano çubuklar.....	14
2.6.3. Bakır (Cu) nano partiküller.....	14
2.6.4. Nano-kil ve değiştirilmiş türleri.....	15
2.6.5. Nano tüp (CNT) partiküller	15
2.6.6. Nano altın (Au) partikülleri	15
2.6.7. Galyum (Ga) esaslı anti-bakteriyel ajanlar	15
2.7. Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Tozlar	16
2.8. Gümüş (Ag) Nano Partiküller Ve Etkisi	17

BÖLÜM 3.

TEFLON (PTFE) KAPLAMALAR VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ	23
3.1. PTFE (Politetrafloroetilen) Üretimi.....	25
3.2. Teflonun Sağlık Açısından Etkisi.....	26
3.3. Teflon Kaplama Yöntemleri.....	27
3.3.1.Rulo kaplama	29
3.3.2.Perde kaplama.....	30
3.3.3.Sargı kaplama	31
3.3.4.Termal sprey kaplama yöntemi	32
3.3.5.Basınçlı hava sprey ile kaplama sistemi.....	32
3.4. Teflon Kaplamalara Uygulanan Endüstriyel Testler	34
3.4.1. Yapışmazlık (süt) testi.....	35
3.4.2. Kareleme ve tırnak testi.....	36
3.4.3. Aşındırma testi.....	36

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMA.....	38
4.1. Deneysel Çalışma Planı.....	38
4.2. Karışım Hazırlama ve Ön hazırlık İşlemleri	39
4.3. Basınçlı Sprey Tabancası İle Yapışmaz Kaplama Üretimi	40
4.4. Makro inceleme	41
4.5. Yüzey Profil İnceleme	43
4.6. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kesit İnceleme ve Element (EDX) Analizi.....	46

4.6.1. Takviyesiz teflon kaplama numunesinin (referans numune) SEM ile kesit incelemesi ve EDX analizi.....	47
4.6.2. Nano Ag partikülü takviyeli teflon kaplama numunesinin SEM ile kesit incelemesi ve EDX analizi.....	51
4.7. XRD ile Faz Analizi.....	54
4.8. Infrared Spektrokopisi (FTIR) ile Yapı Analizi	57
4.9. Korozyon Testi	59
4.10. Tribolojik Davranışlar ve Aşınma Performansı.....	61
4.11. Endüstriyel Testler	67
4.11.1. Kareleme testi	67
4.11.2. Aşındırma testi.....	70
4.11.3. Yapışmazlık testleri (süt testi ve yumurta testi).....	72
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	: Kimyasal Buhar Çökeltme
PTFE	: Politetrafloraetilen
FEP	: Floroetilen-Propilen
PFA	: Perfloroalkoksit
ETFE	: Trifloroetilen
PVDF	: Polivinilidenflorür
CTFE	: Klorotrifloroetilen
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDX	: X-ışını kırınım yöntemi ile element analizi
XRD	: X-ışını difraksiyonu yöntemi ile faz analizi
FTIR	: Dönüşümlü Infrared (Kızılötesi) Spektroskopisi Analizi
UV	: Ultraviole
Cu	: Bakır
Ag	: Gümüş
Hg	: Civa
Cr	: Krom
Au	: Altın
Pb	: Kurşun
Fs	: Sürtünme Kuvveti
Zn	: Çinko
Co	: Kobalt
Fe	: Demir
Mn	: Mangan

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Teflon kaplama uygulama örnekleri	7
Şekil 2.2. Floropolimerin özellikleri.....	13
Şekil 2.3. Metal iyon katkılı antimikrobiyal toz için Halo Test sonucu	20
Şekil 2.4. Kaplama kalınlığının elektriksel iletkenliğe katkısı	21
Şekil 2.5. Nano Ag konsantrasyonunun elektriksel iletkenliğe katkısı	22
Şekil.3.1. PTFE polimer ve kovalent bağ yapısı.....	23
Şekil 3.2. Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi	28
Şekil 3.3. Rulo kaplama makinesi	29
Şekil 3.4. Perde kaplama ünitesi	30
Şekil 3.5. Rulo kaplama makinesi	31
Şekil 3.6. Sprey kaplama sistemi.....	33
Şekil 3.7. Yapışmazlık (süt) testi uygulaması.....	35
Şekil 3.8. Kareleme ve tırnaklama testi uygulaması	36
Şekil 4.1. Alüminyum disk	39
Şekil 4.2. Numunelerin makro yüzey görüntüsü.....	42
Şekil 4.3. Nano partikül takviyesiz (üst) ve takviyeli (alt) teflon kaplama numunesi üst yüzeyi	43
Şekil 4.4. Nano partikül takviyeli/ takviyesiz teflon kaplama numuneleri üst yüzey profilleri	44
Şekil 4.5. Nano partikül takviyeli/siz teflon kaplama yüzeyinde girinti ve çıkıntı derinlikleri	45
Şekil 4.6. Nano partikül takviyeli/siz teflon kaplama numunesi üst yüzeyi.....	46
Şekil 4.7. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi kesiti	48
Şekil 4.8. Teflon kaplama numunesi kesiti-kaplama kalınlığı tespiti.....	49
Şekil 4.9. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi EDX analizi.....	50
Şekil 4.10. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti.....	51

Şekil 4.11. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti-kaplama kalınlığı tespiti	52
Şekil 4.12. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi EDX analizi.	53
Şekil 4.13. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti.....	54
Şekil 4.14. Referans teflon kaplama numunesi XRD faz analizi	55
Şekil 4.15. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi (6 dk kütleme) XRD faz analizi.....	56
Şekil 4.16. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi (8 dk kütleme) XRD faz analizi.....	57
Şekil 4.17. Nano partikülü takviyesiz teflon kaplama numunesi (referans numune) FTIR analizi	58
Şekil 4.18. Nano partikül (Ag) takviyeli teflon numune (kaplama haliyle) FTIR analizi.....	58
Şekil 4.19. FTIR analizi ile kütleli PTFE ve kaplama PTFE karşılaştırması	59
Şekil 4.20. Takviyesiz teflon kaplama numunesi OCP eğrisi.....	60
Şekil 4.21. Nano gümüş takviyeli teflon kaplama numunesi potansiyel eğrisi	61
Şekil 4.22. Partikül takviyesiz referans teflon numunesi aşınma yüzeyi ve sürtünme katsayısı değişimi	62
Şekil 4.23. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi SEM incelemesi ve EDX analizi.....	63
Şekil 4.24. Nano gümüş takviyeli teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi.....	64
Şekil 4.25. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi SEM incelemesi ve EDX analizi.....	65
Şekil 4.26. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi aşınmış yüzey mesafe ölçümü	65
Şekil 4.27. Abrazif aşınma yüzeyi görüntüleri.....	66
Şekil 4.28. Abrazif aşınma testi verileri	67
Şekil 4.29. Test öncesi teflon numuneler.....	68
Şekil 4.30. Test sonrası takviyesiz referans numune ve yüzeyden kopan teflon partikülleri.....	68
Şekil 4.31. Test sonrası referans numuneden kopan teflon partiküller	69
Şekil 4.32. Test sonrası nano gümüş takviyeli (6 dk kütleme) teflon kaplama numunesi ve kopan teflon partikülleri.....	69

Şekil 4.33. Test sonrası nano gümüş takviyeli (8 dk kürleme) teflon kaplama numune sonucu ve kopan teflon partikülleri	70
Şekil 4.34. Aşınma testi düzeneği	71
Şekil 4.35. Aşınmış takviyesiz referans teflon kaplama numunesi yüzeyi.....	71
Şekil 4.36. Aşınmış nano gümüş takviyeli teflon numune kaplama yüzeyi	72
Şekil 4.37. Test düzeneği	73
Şekil 4.38. Test sonrası takviyesiz teflon numunesi yanmış yüzey görüntüsü	73
Şekil 4.39. Test sonrası referans numune yüzey temizleme	74
Şekil 4.40. Test öncesi nano gümüş takviyeli teflon numune (6 dk kürleme).....	75
Şekil 4.41. Test sonrası nano gümüş partikülü takviyeli teflon numune yüzeyi (6 dk kürleme)	75
Şekil 4.42. Test sonrası nano gümüş takviyeli teflon numune (6 dk kürleme) yüzey temizleme	76
Şekil 4.43. Test sonrası nano gümüş takviyeli teflon numune (8 dk kürleme) yüzey temizleme	76
Şekil 4.44. Yumurta testi	77
Şekil 4.45. Yumurta testi sonrası yüzey temizleme	78

ÖZET

Anahtar kelimeler: Teflon, nano gümüş, tribolojik davranış, karakterizasyon

Yapışmaz (non-stick) kaplamalar, floro polimerik bazlı kaplamalardır. Yapışmaz kaplamalar daldırma, silindirik (rulo) kaplama, termal sprej, perde kaplama ve daha birçok yöntemle gerçekleştirilmektedir. En yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemi ise basınçlı sprej yöntemi ile yapılan uygulamalardır.

Yapışmaz kaplamalar, malzemelere yapışmayan, hidrofobik yüzeyler kazandırmalarının dışında özellikle düşük sürtünme katsayıları, yüksek korozyon dirençleri, yüksek dielektrik mukavemetleri, diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılırlar. En önemli dezavantajları ise düşük aşınma dirençleridir.

Genelde aşınma, çizilme direncini yükseltmek için teflon kaplamalara nano boyutlu seramik ve/veya metalik esaslı nano boyutlu tozlar karıştırılmaktadır. Bu çalışmada teflon yapısı içine ayrıca anti bakteriyel özelliği ile bilinen nano gümüş (Ag) partiküller (% 0.5 oranında) ilave edildi. Bu kaplama yüzeyi önceden hazırlanmış alüminyum altlık üzerinde sprej yöntemi ile kaplandı ve sonrasında 400 oC de 6 ve 8 dakika sürelerinde kütleme yapıldı. Elde edilen kaplamaların makro ve mikro yüzeyleri OM, SM, SEM ile incelenmiş, yapıda Ag katkısının varlığı EDX, XRD, FTIR, Potansiyostat testleri ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Ag katkısının kaplamanın yüzey dokusunu inceltici etki yaptığı ve buna bağlı olarak tribolojik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Endüstriyel test sonuçları doğrultusunda da ev ve el araçlarında başarılı bir şekilde kullanılabilir bir kaplama kompozisyonu ortaya çıkarılmıştır.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF NANO PARTICLE REINFORCED TEFLON COATINGS

SUMMARY

Key Words: Teflon, Nano Silver, Characterization

Non-Stick coatings are polymeric based coatings. Non stick coatings are coated by dip coating, roller coating, thermal spray, curtain coating and many more methods. The most widely used method of coating is compressed air spray coating.

In addition, non stick coatings is widely used in many industries because of having low coefficient of friction, high corrosion resistance, dielectric strength, high temperature resistance according to other polymers and a wide operating temperature range characteristics. But the most important disadvantage is the low abrasion resistance.

Generally to increase the abrasion resistance, non stick components are mixed with nano the ceramic and metallic powders. In this study, nano silver powder (%0.5), for its antibacterial property. The coating surface was covered by the spray method previously prepared substrate of aluminum and then with 6 and 8 minutes at 400 ° c curing was done. Coating surface was examined by using OM, SM and SEM. Nano silvers were researched in the coating by using EDX, XRD and FTIR Analysis methods.

As results, nano silver particles reinforced the non-stick coating has thinner texture and improved its tribological properties. Industrial test results in accordance with the home and hand tools can be used in the composition of a coating successfully was formed.

BÖLÜM 1 . GİRİŞ

Sürtünme nedenli problemlerin azaltılması kelime anlamı yapışmaz (non stick) kaplama olarak tanınan kaplamalara ilginin artmasına neden olmuştur. Birçok endüstriyel uygulamada yapışmaz kaplamaların kullanım yaygınlaşmaktadır. Yapışmaz kaplamalar genellikle polimerik esaslı kaplamalardır ve iki temel bileşenden meydana gelirler: Floropolimer (floroplastik), silikon olmak üzere. Bu bileşenler kaplamaya yapışmazlık özelliğini sağlayan temel bileşenlerdir. Floropolimerler silikona nazaran daha iyi bir yapışmazlık sağlar, fakat silikonun ucuz oluşu ve pratik olarak uygulanabilirliği sebebiyle uygulamalarda tercih edilmektedir. yapışmaz kaplama malzemeleri çözelti şeklinde veya toz olarak kullanılabilir. Yapışmaz kaplamalar daldırma, silindirik kaplama, PVD, CVD, Perde kaplama ve daha birçok yöntemle kaplanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemi ise basınçlı sprey tabancası ile kaplama tekniğidir.

Yapışmaz kaplamalar, yapışmazlık ve hidrofobik özellikler kazandırmanın yanında özellikle düşük sürtünme katsayıları, yüksek korozyon dirençleri, dielektrik mukavemetleri, diğer polimerlere göre yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle de birçok sektörde yaygın olarak kullanılırlar. En zayıf yönleri ise abrazif çalışma koşullarında düşük aşınma dirençleridir. Bu durum yapışmaz kaplamaların kullanım ömrünü sınırlamaktadır. Problemin çözümü için katı partikül takviyeli yapışmaz kaplama kompozisyonları geliştirilmekte ve bu konuda yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Partikül takviyeli kompozit kaplamaların üretiminde genellikle seramik/ metalik esaslı katkı malzemesi floropolimer matris içerisine belirli oranlarda karıştırılmaktadır. Yapışmazkaplama yapısı içine nano partikül takviyesi, yapışmaz kaplamaların aşınma dayanımı gibi bazı olumsuz özelliklerini geliştirebilmektedir.

BÖLÜM 2 . YAPIŞMAYAN (NON-STICK) KAPLAMALAR VE TAKVIYE PARTİKÜLLERİ

Non-stick, kelime anlamı olarak yapışmaz demektir. Non stick coating terimi ise Türkçe literatürde yapışmaz kaplamalar veya yapışmayan kaplamalar olarak kullanılmaktadır. Bu kaplama türü 1938 yılı 6 Nisan'ında kimyager Roy Plunkett tarafından DUPONT laboratuvarlarında yürütülen bir çalışma sırasında tesadüfen politetrafloroetilen (PTFE)'nin bulunması ile ortaya çıkmış ve hızla gelişim göstermiştir. Başka hiçbir kaplama malzemesinin bir arada sahip olamadığı kimyasal direnç, nem ve ortam şartlarından etkilenmeme, esneklik, geniş çalışma sıcaklığı aralığı, düşük sürtünme katsayısı, yapışmayan yüzey ve üstün dielektrik kararlılığı özelliklerine sahip olan yapışmaz kaplamalar kısa sürede uzay araçlarından insan vücuduna kadar bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır [1]. Yapışmaz kaplamalar farklı amaçlarda farklı çalışma koşullarında performans gösterecek şekilde üretilmektedir. Bugün sektörde beş farklı kalitede yapışmaz kaplama türü yer almaktadır. En çok kullanılan yapışmaz kaplama türü ticari ismi DUPONT firması tarafından verilen Teflon türü olan floropolimer kaplamalardır.

Dünya'daki başlıca üretici firma ve kullanılan ticari isimleri sırasıyla şöyledir : Du Pont (Teflon®), Withford (Xylan®, Halar®, Quantitanium®), ICI (Fluon®), Hoechst (Hostaflon® TF), Rhone-Poulenc (Doneflon®), Montecatini (Algoflon®), Nitto Chemical-Japan (Tetraflon®) ve Daikin Kogyo-Japan (Polyflon®), Akzo Nobel (Duraflex®) [2].

2.1. Yapışmaz (Non-stick) Kaplamaların Bileşenleri

Yapışmaz kaplamalar, polimerik bazlı kaplamalardır ve 5 ana bileşenden meydana gelirler: a) Floropolimer (floroplastik), b) Reçine, c) Pigment, d) Katkılar ve e) Taşıyıcılar.

- a) Floropolimerler (PTFE, PFA, vb.) ya da silikon, kaplamanın yapışmayan (Non stick) bileşenini sağlar
- b) Bağlayıcı (reçine), malzemenin yüzeyine bağlanan. yapıştırıcı olarak davranır, yapışmayı sağlar. Aynı zamanda da kaplamanın temel özelliklerini belirler. Kaplamanın bağlanma ve dayanımını sağlar.
- c) Pigment (renk verici kimyasal), kaplamaya renk verir. Altlık malzemeyi saklama veya gizleme vazifesi görür.
- d) Katkıları, kaplamayı güçlendirir ve koruyuculuğunu artırır.
- e) Taşıyıcılar (su veya çözücü kimyasallar), kaplama tabakası oluşturulduğunda buharlaşan ve kaplama sistemini terk eden malzemeler ve dolgulardır [3].

2.2. Yapışmaz Kaplama Özellikleri

PTFE, FEP, PFA ve silikon yapışmaz kaplamalar nem absorbe etmez ve diğer hava şartlarından etkilenmez. Ayrıca yanmazlık özelliğine sahiptir. Non Stick kaplama türleri tek katmanlı veya çok katmanlı (tek kattan 5 kata kadar uygulamalar) olarak istenilen altlığa uygulanabilir. Metal enjeksiyon döküm parçalara, levha alüminyum ürünlere, çelik sac ve paslanmaz çelik iş parçalarına, ağaç ürünlerine ve plastiklere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Kütleme sıcaklıkları kaplama kompozisyonuna bağlı olarak 360°C - 400°C aralığında değişmektedir. Bunlar beyaz, siyah, gri, yeşil tonlarında olabilmektedir. Kaplama kalınlığı; kullanılan altlık malzemesine, istenilen performansa, kaplama yöntemine, kaplama parametrelerine ve altlığa uygulanan yapışmaz kaplama kompozisyonuna göre değişebilir. Örnek olarak: Dupont firmasının Teflon kaplamaların kalınlıkları 6-40 mikron değerleri arasında değişmektedir [4].

Yapışmaz kaplamalar içerdikleri bileşenlere bağlı olarak farklı özellikler kazanabilmektedir:

- a) Yapışmazlık özelliği: İlk yapışmaz kaplamaların hemen hemen hepsi floropolimer esaslı olup en bilineni PTFE içeren ve en düşük sürtünme katsayısına sahip olan malzemelerdir.

Yapışmaz kaplamalarda flor içeriği, polimer-hava ara yüzeyinde yüzey enerjisini düşürür. Çok küçük atomik yarıçapa ve yüksek elektronegatiflik özelliğe sahip olan florin, etrafındaki karbonlar ile güçlü kovalent bağ oluşturarak yüzey enerjisini düşürür. Böylece kaplama yüzeyi süperhidrofobik özellik kazanır.

- b) İslanmazlık: Yapışmaz kaplamalar ile yüzey kaplandığında hem olophobik (yağı sevmeyen yüzey) hem de hidrofobik (suyu sevmeyen yüzey) olmakta ve ıslanmazlık özelliği kazanmaktadır. Kolay ve mükemmel şekilde temizlenebilmekte hatta birçok uygulamada yüzeyler kendi kendini temizlemektedir.
- c) Düşük sürtünme katsayısı: Yapışmaz kaplamaların sürtünme katsayısı uygulanan yüke kayma hızına ve kısmen kullanılan yapışmaz kaplama tipine bağlı olarak genellikle 0,05 ile 0,20 aralığında olmaktadır.
- d) Kimyasal inertlik : Kimyasallara karşı yüksek dayanım ve direnç; su, buhar, kızgın yağ, asitler, alkaliler, solventler, gazlar ve her tür kimyasalın bulunduğu ortamlarda özelliklerini kaybetmez. Bunun tek istisnası floropolimer bazlı endüstriyel kaplamaları etkileyen erimiş alkali metaller ve yüksek reaktif flor katkılarıdır [1].
- e) Yüksek korozyon dayanımı: Bu kaplamalar kimyasal olarak inert ve elektriksel olarak yalıtkan olmalarından dolayı çok korozif ortamlarda bile korozyona uğramazlar [1].
- f) Geniş sıcaklık aralığında özelliklerini koruma: Bir çok Non-stick kaplama fiziksel özelliklerinde değişim meydana gelmeksizin geniş bir sıcaklık (-70°C / +260°C) aralığında kullanılabilir .
- g) Yüksek dielektrik mukavemeti: Geniş bir frekans aralığında, Teflon tipi Non Stick kaplamalar, yüksek dielektrik mukavemete, düşük yayılma faktörüne ve

çok yüksek yüzey direncine sahiptir. Özel teknikler kullanılarak elektriksel olarak yalıtkan olduğu kadar, yeterli anti-statik özelliğe de sahip bir kaplama üretilebilmektedir [5].

- h) Yağlayıcılık özelliği: Non Stick kaplamalar özellikle PTFE bazlı Non Stick kaplamalar kendinden yağlayıcı özelliğe sahiptir. Kompozit kaplamalarda grafitte alternatif olarak kullanılır [1].
- i) Flexible oluşu: Hareketli yüzeylere uygulanabilen esnek kaplamalardır. Otomotiv sanayisinde geniş bir kullanım alanı mevcuttur.
- j) Yanmama özelliği: Floroplastiklerin oksijen indisleri 30'dan büyüktür. Bu nedenle bu maddelerden yapılan ürünler yanmayı artırıcı yönde etki göstermedikleri gibi yakıldıkları zaman alev almamaktadırlar [2].

Bu genel özelliklerinin yanında ses ve titreşim absorpsiyonu, sıcaklık direncini artırması ve ısıyı sabitlemesi, düşük sesle çalışması, hava şartlarından etkilenmemesi diğer üstün özellikleri olarak sayılabilir. Yapışmaz kaplama türleri tek katmanlı veya çok katmanlı (tek kattan 5 kata kadar uygulamalar) olarak istenilen altlığa uygulanabilir. Halojenlerle çözeltiliye alınarak sıvı halde ve toz olarak kaplama yapılır. Cam fiber gibi katkılarla modifiye edilebilmekte ayrıca seramik ve metal tozlar floropolimer tozlarla harmanlanıp birçok kompozit yapışmaz kaplama uygulaması yapılmaktadır [6].

2.3. Yapışmaz Kaplamaların Kullanım Alanları

Yapışmaz kaplamalar günümüzde birçok sektörde çok çeşitli parçalarda kullanılmaktadır. Yapışmazlık özelliği nedeniyle mutfak araç ve gereçlerinin kaplanması, gıda imalat sektöründe, kimyasal inertliği ve korozyon direnci sebebiyle kimya sanayinde, roket, helikopter, uçak ve uzay sanayide, düşük sürtünme katsayısı sebebiyle tekstil sanayi aparatlarının kaplanması, boru iç yüzeylerinin kaplanması (sıvı veya gaz akışını kolaylaştırmak için), hidrofobiklik özelliği sebebiyle dış cephe kaplamaları ve biyomedikal araçların kaplanması (kir

tutmaması özelliği kazandırır), dielektrik mukavemeti ve yalıtım özelliği sebebiyle elektronik sanayinde çeşitli parçaların kaplanması, yanmama ve kimyasal inertlik özelliği sebebiyle petrokimya sanayinde de kullanılmaktadır [7].

PTFE'nin en büyük avantajları, mükemmel kimyasal direnci ve düşük sürtünme katsayısıdır. En büyük uygulama alanlarının rulmanlar olması sürpriz değildir. Yalıtım bantları, contalar, pompalar, pişirmede yapışmayan yüzey kaplamaları (tepsi, tava, tencere gibi mutfak eşyası yapımında) kullanım alanlarından bazılarıdır. Yine, jeneratör ve transformatörlerde, yalıtım amacıyla elektrik malzemelerinde ve bazı parçaların dökümünde de kullanılmaktadır [7]. Kimyasal inertliği endüstride bazı süzgeçlerin (lif haline getirilerek) yapımında kullanılmasını olanaklı kılmaktadır. Laboratuvar araç ve gereçlerde de kullanılması yaygındır. Debriyaj, subaplar, somun yatağı gibi kompleks otomobil parçalarının da kaplanabilmesi mümkün olmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıpları, yapışmayı ve kalıp aşınmasını önlemek için Teflon ile kaplanmaktadır. Teflon endüstriyel kaplamaların yüksek performansı, birçok endüstri tarafından seçilmesine sebep olmaktadır. Özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde özel uygulamalar için Teflon kaplamalar tercih edilmektedir. Görüldüğü üzere, üstün özellikleri sebebiyle çok sayıdaki sektörde kullanım alanı olan Teflonun tercih edilmesi çok şaşırtıcı olmamaktadır [3].

Teflon kullanımından önce, peynir üretiminde kullanılan ve peynirin kalıplara gitmeden önce geçtiği ekstrüderlerde yapışma problemi olmaktadır. Ekstrüder vidası olarak, paslanmaz çelik kanat kullanılmakta ve peynir bu kanatlara yapışmaktadır. Bu problem Teflon PFA kaplama uygulamasıyla çözülmüştür. Yüzey kaplanmadan önce, alüminyum oksit tozu kullanılarak aşındırılmış ve 477 °C de bir pişirme işlemine tabi tutularak, yüzeyin yabancı maddeden temizlenmesi sağlanmıştır. Daha sonra yüzeye bir kat daha kaplama yapılmış ve kür sıcaklığına ısıtılmıştır. En son Teflon toz, elektrostatik olarak yüzeye püskürtülmüş ve tekrar kür sıcaklığına ısıtılmıştır. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 60–100 µm aralığında elde edilmiştir [4]. Kek ve bisküvi kalıpları, hızlı dönen büyük silindirlere meydana gelmektedir. Teflon kaplama kullanımından önce, üreticiler silindirleri ve kalıpların yüzeylerini silikon kaplayarak yapışmayı önlemekteydiler. Fakat silikon kaplamaların fiziksel özellikleri, hızla dönen silindirleri ve kalıpları korumada yeterli olamıyordu. Üretim

sırasında makineler her 8 saatte bir durdurulup su/buhar veya sabun/çözücüler kullanılarak temizlenmeleri gerekmektedir. Silikon kaplamaların her temizlemeden sonra uygulanmasına karşılık, Teflon kaplamalar yılda sadece 3 veya 5 kez yapılmaktadır. 35,5 cm çapında ve 91,5 cm uzunluğundaki silindirler alüminyum oksit aşındırıcılarla temizlenmekte ve tekrar dönen yüzey üzerine, sprey tabancayla kaplanmaktadır. PTFE maddesi o kadar emniyetlidir ki, tıpta kalp stimülatörlerini, atardamar yerine kullanılan küçük boruların kaplanmasında kullanılır. Ayrıca PolyDyn® gibi yapışmaz kaplamalarla jet motorları ve gaz tribünlerinde uygulamalar mevcuttur [7].



Şekil 2.1. Teflon kaplama uygulama örnekleri [3].

PTFE, FEP ve PFA, Silikon kaplamalar; kek tavaları, tost tavaları, simit tavaları, ekmek tavaları, sandviç tavaları, endüstriyel mutfak ürünleri, ısıtıcı plakaları, otomotiv sanayi için miller, contalar, yaylar, kimya ve petrol sektörü için çeşitli civata, valf ve klapeler, boru kaynak makinesi lokma takımları ve üniteleri, çeşitli ayakkabı kalıpları, savunma sanayi için şarjörler ve çeşitli parçalar için

kullanılmaktadır. Bunun yanında FEP ve PFA kaplamalar; tekstil sektöründe sevk silindirleri, dok silindirleri, barabanlar, hasil silindirleri, MCS boya tekneleri, lastik ve kauçuk sanayisinde her türlü lastik kalıpları, filtre kalıpları, arıtma sektöründe paket arıtma tankları, silindir ve haznelar, ambalaj sanayi ve büro ekipmanlarında helezonlar, folyolar, ısı plakaları, konikler, yapıştırma çeneleri huniler, süt sanayisi için daha öncede örneklendiği gibi kaşar makineleri, dolun pistonları, kaşar kalıpları, helezonlar, eritme kazanları, petrokimya endüstrisinde vanalar, klapeler, dolun tankları ve ayrıca asit sanayisi içinde kullanılmaktadır [5].

Teflon kaplı elektrikli ev aletleri; tost makineleri, ızgara ve griller, mini tost grilleri, krep grilleri, dumansız ızgara grilleri ve su tepsileri, kasarol ve ocak set üstü griller, tost tepsileri, fırın tepsileri, krep tavaları, pres ütü tabanları, el ütüsü tabanları, buhar jeneratörlü ütü tabanları, fritöz kazanları, kahve makinesi hazneleri, elektrikli alüminyum fırın tepsileri, elektrikli rezistanslar, fondü makinesi gibi ürünlerdir [6].

2.4. Yapışmaz Kaplama Türleri

Genel olarak yapışmaz kaplama türleri ana matris yapısına göre sınıflandırıldığında floropolimer matrisli ve silikon matrisli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Floropolimerler reçine bileşenlerden meydana gelmiştir. Zehirsiz olan bu plastik polimerler yapışmaz bir yapıya sahiptirler. Floropolimer kaplamalar yapışmazlık kalitelerini uzun müddet koruyabilirler. Silikon esaslı kaplamalar ise zehirsiz toksit olmayan sentetik reçinelerle özel olarak hazırlanmış metal yüzeylere fırınlama sistemiyle uygulanırlar. Malesef karakteristik özelliklerini floropolimerlere göre daha kolay kaybederler. Kullanım nedeni; silikon kaplamalar daha ucuzdur, öncelikle fırın ve mutfak araç gereçlerinde kullanılırlar [1].

2.4.1. Halar ® Etilen – Klorotrifloroetilen (ECTFE)

1971 yılında ALLGED CHEMICALS tarafından ilk defa HALAR adı ile üretilmiş olan ECTFE, etilen ve klorotrifloroetilenin eşit molekül sayısıyla bünyesinde yer aldığı bir kopolimerdir. Çok düşük gaz geçirgenliğine sahip olan ECTFE tüm floroplastikler arasında aşınma dayanımı en yüksek olanıdır. ECTFE 120 °C'ye kadar aynı özelliği gösterir, fakat daha yüksek sıcaklıklarda klorlanmış çözücülerin

etkisi altında kalır. ECTFE kaplamalar endüstride çok geniş bir alanda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [1].

2.4.2. Teflon ® Floroetilen-Propilen (FEP)

PTFE'nin kullanıcı için mükemmel özelliklere sahip olması, ancak şekillendirilmesinde mevcut metodların birçoğunun kullanılmaması, hammadde üreticilerini ona bir ikiz yaratma yoluna gitti. Gerçekten de FEP ve PTFE gerek fiziksel ve kimyasal özelliklerin benzerliği, gerekse bünyelerinde yalnızca karbon ve flor atomları bulunması nedeni ile bu benzetmeyi hak etmektedirler. 1956'da Du Pont tarafından bulunan FEP floroetilen ile floropropilenin kopolimerleşmesi ile elde edilmektedir. Bu yapı benzerliği nedeni ile FEP, PTFE'nin kullanıldığı hemen her yerde başarı ile kullanılabilen, gerçekte malzeme olarak daha pahalı olmasına rağmen işleme kolaylığı ve firenin azalması nedeni ile sonuçta daha ekonomik olmaktadır. 200 °C sıcaklığa kadar PTFE'nin kullanılabildiği hemen her yerde kullanım alanı bulması ayrıca PTFE'ye göre daha şeffaf olması nedeni ile FEP'in geleceğinin oldukça parlak olduğu görülmektedir. FEP (Fluorinated Ethylene Propylene kopolimeri), malzeme yüzeyinde porozitesiz kaplama tabakası oluşturmaktadır. Gıda sektöründe gerekli olan özelliklerden birini, pişirme sırasında ürünün erime ve akmasına izin vererek yapışmayan bir yüzey oluşturmaktadır. Bu tip kaplamalar, mükemmel kimyasal dirence ilave olarak, düşük sürtünme katsayısına ve mükemmel bir yapışmayan yüzeye sahiptir. Maksimum kullanım sıcaklığı, 250 °C'dir. FEP, su-bazlı sıvı ve toz olarak temin edilebilmektedir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon sıcaklık aralığı 300-380 °C'dir. Elektriksel ve kimyasal dirençli kalıplar, korozyon dirençli kaplamalar ve kablo yalıtımı uygulamaları kullanım alanlarından bazılarıdır [2].

2.4.3. Teflon ® Perfloroalkoksi (PFA)

FEP'in sıcaklık dayanımının PTFE'ye göre sınırlı kalması araştırmacıları yeni bir malzeme aramaya itmiştir. Yapılan çalışmaların meyvesi olarak Dupont tarafından 1972 yılında bulunan bir polimerdir. PFA, mükemmel kimyasal dayanım, şeffaflık, düşük sürtünme katsayısı ve mükemmel dielektriksel özellikleri ile PTFE'nin

kullanımının teknik açıdan zorluklar getirdiği uygulamalarda geniş şekilde kullanılabilir [1].

2.4.4. Teflon® Etilen – Trifloroetilen (ETFE)

1972 yılında Du Pont tarafından bulunan bir malzemedir. ETFE'nin molekül yapısının ağırlık olarak % 75'inin PTFE olması, buna karşılık hem daha hafif hem de daha kolay şekillendirilebilir. Yüksek aşınma, radyoaktiviteye ve darbe direnci PTFE'den daha iyidir [1].

2.4.5. Polivinilidenflorür (PVDF)

Yüksek molekül ağırlığına sahip bir homopolimer olan PVDF'nin fevkalade yorulma, abrazyon ve soğuk akma mukavemeti vardır. Ayrıca tüm floroplastik reçineler arasında en tok olanıdır. PTFE ve FEP ile karşılaştırıldığında, PVDF'nin yalıtkan özelliği ve kimyasal inertliği daha düşüktür; genellikle +150°C ila -40°C arasında kullanılabilir. Bu reçine halojen, asit, alkali ve kuvvetli oksitleyicilerle kullanılabilir, ancak keton, ester, amin ve bazı organik asitlerle kullanılması tavsiye edilmez. Pratikte PVDF ekstrüzyon ve kaplama için granül ve korozyona dayanıklı kaplamalar için toz veya dispersiyon şeklinde bulunur. Mekanik, kimyasal ve termal dayanımı bir arada sağlayabilen PVDF, tüm floroplastikler içinde yük altında deformasyon sıcaklığı en yüksek olanıdır. Bu dayanım, malzemenin formülünde yer alan etilenin yarı yarıya flor ile doymuş olmasına bağlıdır. Böylelikle PVDF polietilenin mekanik dayanımı ile PTFE'nin kimyasal dayanımını belli ölçülerde birleştirmektedir. PVDF ısı dayanımı yüksek, zamanla özelliklerini kaybetmeden, yüksek kimyasal dayanıma sahip; mor ötesi (UV) ışıklardan, β ve γ radyasyonlarından etkilenmeyen, aşınmaya dayanıklı, yüksek dielektrik dirence sahip, yanmayan, zehirli olmayan mükemmel bir malzemedir. 0.5 mm kalınlıkta PVDF'in gaz geçirgenliğinin pratik olarak ihmal edilebilir düzeydedir. PVDF kimyasal ya da fiziksel açıdan problemlili ortamlarda koruyucu kaplama olarak da kullanılmaktadır. PVDF bilhassa kimyasal proseslerde kullanılan boru, valf ve diğer kalıplı parçaların yapımında ve havada bulunan metalik paneller için kaplama malzemesi olarak kullanılır. Rijit tüp şeklinde elde edilebilen tek floroplastiktir.

Renklendirici maddelerle karıştırılan PVDF, alüminyum ve galvanize çeliğin kaplanmasında kullanılır [1].

2.4.6. Klorotrifloroetilen (CTFE)

PTFE'nin flor atomu ile doymuş olmasına karşın CTFE'den bir flor atomu klor atomu ile yer değiştirmiştir. Böylece sıcaklık ve kimyasal dayanımı daha düşük ancak darbelere daha dayanıklı ve sert bir floroplastiğin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. CTFE'in şekillendirmesi ancak enjeksiyon yoluyla sağlanabildiği ve diğer yöntemler kullanılmadığı için genellikle kullanımı, aşınma dayanımı ve kimyasal dayanımın birlikte istendiği uygulamalarla sınırlı kalmaktadır. PTFE, FEP VE PFA florokarbon reçineleri ile karşılaştırıldığında, CTFE plastiği daha sert, sürünmeye daha dayanıklı ve daha az geçirgendir. Ergime noktası düşük ve sürtünme katsayısı oldukça yüksek olan CTFE, diğer florokarbonlardan çözücü içinde şişmeye daha az mukavimdir. Ayrıca orta çekme ve darbe mukavemeti, soğuk akmaya karşı iyi direnci, yüksek basma mukavemeti ve iyi abrazyon mukavemeti vardır. Düşük olan boyut kararlılığı gerilme-giderme işlemleri ile iyileştirilebilir. Bunun yanı sıra bu plastikler, kimyasal bakımdan inert, termik bakımından kararlı ve iyi elektriksel özelliklere sahiptirler; kullanma alanları +200°C ila -200°C arasındadır. 3 mm kalınlığına kadar optik bakımından berrak olan bu malzemenin ultraviyole absorpsiyonu düşüktür [1].

CTFE plastiği değişik katkı malzemelerle takviye edilir. Cam elyafı ile kuvvetlendirildiğinde daha sert, daha gevrek ve çok iyi yüksek sıcaklık özelliklerine sahip olur. Toz halinde kompozit kaplamalar oluşturularak çeşitli malzemelerin kaplanmasında kullanılmaktadır [1].

2.4.7. Teflon® PTFE

Teflon, politetrafloroetilen (PTFE) polimerin ticari adıdır. Teflon, florlanmış etilen polimeri olan bir politetrafloroetilendir. Bir termoplastik floropolimerdir. Flor atomlarıyla doymuş uzun ve düz bir karbon zincirinden meydana gelmiş moleküler yapı, atomlar arasındaki kuvvetli bağlar sebebiyle oldukça inert özelliklere sahiptir. Isıya, kimyevi maddelere, neme, elektrik atlamasına (dielektrik), sürtünmeye

dayanıklı olan Teflon hiçbir maddeye yapışmaz, sürtünme katsayısı bütün katı cisimlerinkinden küçüktür. Teflon 260°C üzerindeki sıcaklıklarda bozulmaya başlar; 350°C civarında tamamen yapısı bozulur.

2.4.8. Silikon

Polisiloksan olarak da bilinir, iskeletinde karbon (C) yerine ardışık olarak dizilmiş silisyum (Si) ve oksijen (O) atomları bulunan polimerlerin ortak adıdır. Silikon moleküllerinin çoğunda silisyum atomlarına bağlı metil ya da fenil grupları yer alır. Silikonlar en çok sıvı, reçine veya elastomer biçiminde üretilir. Silikon sıvılar oldukça kararlı maddelerdir. Su, ısı ve yükseltgenlerin etkisiyle bozunmazlar. Çok iyi elektrik yalıtkanı olmalarının yanı sıra hidrolik sıvılarda ve emülsiyon kırıcı maddelerde, ayrıca dokuma ve kağıt gibi çeşitli malzemelerinin su geçirgenliğini azaltmakta kullanılır. Silikon kauçuklar da elektriği yalıtma, kimyasal dayanıklılık ve geniş bir sıcaklık aralığında esnekliği korumak gibi özellikleri bakımından çok önemlidir. Bunlar en çok koruyucu kılıflarda, kaplama ve yalıtkan verniklerde kullanılır [4].

2.5. Yapışmaz Kaplamaların Seçim Kriterleri

Yapışmaz bir kaplama seçileceği zaman, kaplama üreticisi veya tedarikçisi olarak ne özellikte bir kaplama istediğinizi, kaplamanın maliyetini, nerede kullanılacağını, kaplamanın üretim prosesini ve kaplamanın kullanım süresini bilmek başarılı bir kaplama yapmak için gereklidir [4].

Yapışmaz kaplamanın kullanım yerine göre belirlenen gereksinimlerini karşılamak amacıyla en ideal malzeme seçimi önem arz etmektedir. Başlıca floropolimerler Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

Malzeme	Yoğunluk (kg/m ³)	Termal İletkenlik (W/m.k)	Termal Genleşme Katsayısı (µm/m /°C)	Cam Geçiş Sıcaklığı Tg (°C)	Max. Çalışma Sıcaklığı (°C)	Sürtünme Katsayısı		Aşınma Oranı
						Statik	Din.	
PTFE	2150	0,25	140	-113	290	0,04	0,05	-
PVC	1300	0,14	140	80	50	-	-	-
Naylon	1140	0,24	90	56	90	0,2	0,28	33
PC	1150	0,2	65	149	125	0,31	0,38	420
PP	905	0,20	100	-10	100	-	-	-
Pas. Çelik	7855	90	10	-	800	-	-	-
Çinko	7,35	111	39	-	-	-	-	-
Bakır	8940	400	16	-	-	-	-	-

Şekil 2.2. Floropolimerin özellikleri [4]

Bilinmesi gereken en önemli bilgiler;

- Kategorize etme (yemek pişirme malzemeleri, fırın gereçleri, küçük aparatlar, otomotiv parçaları...)
- Kullanılan altlık cinsi (alüminyum, çelik, paslanmaz çelik, vb)
- Kalınlık/Çap oranı
- Alt uygulama (Kaplama tavanın alt yüzeyini saracak)
- Pazar konumu (fiyatı, ölçüsü, vb)
- Uygulama (şekil, dekoratiflik, renk)
- Kaplama için kaplama metodu tercihi (silindirik kaplama, perde kaplama, spre, sargı, vb)
- Kaplamanın gerçekleştirilmesi için gerekli düzenleyiciler (FDA, ECC, Prob 65, vb)
- Doğru kaplamayı uygulamak için gereken standart testler
- Kaplamadan nasıl bir performans beklendiği [4].

2.6. Yapışmaz Kaplamalara Takviye Edilen Nano Partiküller

Endüstriyel ihtiyaçlar doğrultusunda yapışmaz kaplamaların performanslarını geliştirmek amacıyla kaplama yapısına nano partikül takviyesi yapılmaktadır. Genelde yapışmaz kaplamaların aşınma, çizilme direncini yükseltmek için kaplama yapısına nano boyutlu seramik ve/veya metalik esaslı tozlar takviye edilmektedir. Aşınma direncini artırma ve mikroorganizmalardan arınmak amacıyla en çok

takviye edilen inorganik nano yapılı malzemeler şöyle sınıflandırılabilir: TiO₂ ve nano-kompozit, gümüş ve nano yapılı malzemeler, ZnO nano parçacıklar, Cu nano parçacıklar, altın esaslı nano-partiküller, Galyum esaslı anti-bakteriyel ajanlar, karbon nanotüpler (CNT), nano-kil ve nano-kil içeren kompozitler.

2.6.1. TiO₂ nano partikülleri

TiO₂ nano parçacıklar, bir multi-fonksiyonel malzeme olarak dikkat çekici uygulamalar için yeni bir yaklaşım oluşturmaktadır. TiO₂ nano parçacıklar daha yüksek stabilite, uzun, güvenli ve geniş spektrumlu koruma gibi benzersiz özelliklere sahiptir. TiO₂ nano parçacıklar kendi foto-katalitik aktiviteleri için özellikle merkezi partikül olmuştur. Kendi kendini temizleme gibi pek çok alanda uygulanabilir olarak TiO₂ nano parçacıklar kullanılır. Anti-bakteriyel ajan; UV koruyucu, çevre-su hava temizleyici etki yapar. Foto-aktivite özelliği güçlü yapısı, mikro yapı ve toz arıtma ile ilgilidir [8].

2.6.2. ZnO nano partiküller ve nano çubuklar

Son zamanlarda ZnO, güneş pilleri, sensörler, video görüntüleri, gaz sensörleri, piezoelektrik cihazlar, elektro-akustik dönüştürücüler, foto diyotlar ve UV ışık altında dikkate değer uygulama potansiyeli nedeniyle dikkat çekicidir. Güneş ekranlar; gaz sensörleri, UV emiciler, yansımaya önleyici kaplama, foto kataliz ve katalizör etki gösterir [8].

2.6.3. Bakır (Cu) nano partiküller

Yapılan araştırmalar bakır nano parçacıkların anti-bakteriyel aktivitesi, gümüş nano-parçacıklardan daha az etkili olduğunu gösterir. Magnetron poli propilen üzerinde sputter (PP) yönetimiyle Cu nano parçacıklar birikimi UV koruma özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılır [8].

2.6.4. Nano-kil ve değiştirilmiş türleri

Polimerik kil nano kompozitlerin üstün avantajları şöyledir: mukavemet, HDT, gaz bariyer özelliği, saydamlık, alev geriliği ve boyutsal artışı gibidir. Anti-bakteriyel verimlilik, toksinler ve membran kaplama ile sterilizasyon ile potansiyel biyomedikal uygulamaları işaret etmiştir [9]. Kil, ilk zamanlar yara üzerine sıva lapa olarak kullanılmıştır. Bakteri, virüs ve organik maddelerin fiziksel emmesini sağlayarak yara üzerine iyileştirici özelliğe sahiptir. Ancak, kil ve bakteriler arasındaki kimyasal etkileşimin mekanizması tam olarak bilinmemektedir [8].

2.6.5. Nano tüp (CNT) partiküller

Karbon nano tüp (CNT)'nin olağanüstü özellikleri sürekli büyük araştırmalar için ilgi çekmiştir. Aslında, iyi elektriksel iletkenlik gibi çok özel niteliklerinin yanı sıra polimerik yapı içerisinde CNT düşük miktarda kullanarak yüksek sertlik ve yüksek mukavemet ve UV koruma sağlar. Bakteri hücrelerinin CNT ile doğrudan temas sonucu hücre zarı hasar görüp, son derece güçlü antibakteriyel koruma mekanizması gösterir. CNT/TiO₂ nano yapı kullanarak anti-bakteriyel etkisi artırılır [10]. Eşsiz mimarisi, yüksek boy oranı ve CNT elektriksel özellikleri sayesinde bir fotokatalizör ile temas sırasında elektronların üzerinden kolayca akabilir. Sonuç olarak, CNT yüksek boy oranı ile yüksek ara yüzey alanı verimliliğin artmasına neden olur [8].

2.6.6. Nano altın (Au) partikülleri

Nano Altın yapılar yeni bir biyomedikal uygulama olarak bilinir. Siville veya kepek gibi diğer cilt sorunları için antibiyotik etki göstererek antibakteriyel sabun ve kozmetik endüstrisinde ticari kullanıma neden olmuştur. Nano yapı ile büyüme ve değişik mikropların çoğaltılmasını engelleyen etki gösterir [8].

2.6.7. Galyum (Ga) esaslı anti-bakteriyel ajanlar

Çeşitli konsantrasyonlarda ile Ga₂O₃ katkılı PBG ve anti-bakteriyel özellikleri incelenmiştir. Onlar 1mol% Ga₂O₃ bir konsantrasyon yeterli bir antibakteriyel

etkinlik sağlayabilir Patojen bakteriler için iyi bir potansiyel ümit verici bir tedavi ajanı olduğunu gösterdi [8].

2.7. Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Tozlar

Bilindiği üzere Ag^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} gibi bazı metal iyonları bakterilerin metabolizmalarına girmekte ve enzimlerini etkisiz hale getirmektedirler. Diğer bazı sistemler ise hidrojen peroksit oluşturarak bakterilerin ölmesine sebep olmaktadır. Ancak bu mekanizmalarda açıklanması gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Metal iyonlarının mikroorganizmalara karşı gösterdikleri direnç sıralaması;

$Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn$ şeklindedir [10].

Gümüş metalinin diğer metallere göre daha sık kullanılması bakterilere karşı en dirençli metal olmasına, vücuda karşı zararlı etkilerinin bulunmamasına, çoğu malzemeye göre daha ucuz olmasına ve kolay üretim işlemine bağlıdır. Tıbbi klinik ürünlerde en çok kullanılan gümüş bileşimi gümüş nitrattır. Çünkü gümüş nitrat gümüş iyonlarını en çabuk serbest bırakabilen maddedir. Gümüş iyonlarının antimikrobik etki mekanizması onların enzim ve proteinlerindeki tiyol (sülfidril, -SH) gruplarıyla yakın ilişkisine bağlıdır. Bununla birlikte muhtemelen başka hedef yerleri de vardır. *Pseudomonas aeruginosa*'nın bölünmesini inhibe eder; hücre zarı ve içeriğini bozar. Virüsid etki -SH gruplarına bağlanma sonucudur. Mantar gruplarına bağlanarak bunlar üzerine etkili olur [10].

Gümüş, mikroorganizmalardan K^{+} salınımına neden olur; sitoplazma ve sitoplazma membranındaki pek çok enzim gümüş etkisinin hedef yeridir. Gümüş iyonları nükleik asitlerle de ilişkiye girer. Antibakteriyel seramiklerde bir taşıyıcı bünyenin bulunması ve metal iyonlarının yapıya kolay katılması gereklidir. Antibakteriyel seramikler, taşıyıcı bünye baz alınarak; amorf silika, zeolit ve kalsiyum fosfat bünyeli olarak sınıflandırılabilirler. Bu malzemelerin ortak özelliği geniş kristal yapısına sahip olmalarıdır. Böylece metal iyonları sisteme girebilmekte ve bakteriler

üzerinde etkin olabilmektedirler . Bu tür seramikler doğrudan insanla temas halinde olabileceklerinden biyolojik uyumluluk göstermelidirler.

Daha önce yapılan çalışmalar hidroksiapatitin biyoyumluluğunun yüksek olduğunu belirlemiştir. Ameliyatla yapılan birçok implantasyonlarda insan vücudunun çeşitli yerlerinde hidroksiapatit kullanılmaktadır. Ayrıca, hidroksiapatitin Ag^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} vb. metal iyonları ile kation değişim hızı çok yüksektir. Kimyasal arınma yöntemlerinden çoğunun insan sağlığını tehdit edecek yönde zararları olduğu düşünülerek hazırlanan metal iyon katkılı antimikrobiyal toz üretiminde kullanılan metal iyonu gümüş, taşıyıcı bünye ise bu tür malzemelerin insanla temas halinde olabileceklerinden dolayı kalsiyum fosfattır [10].

Nanoteknoloji çalışmaları, mikrop tutmayan yüzeylerin ucuza üretilmesinin yolunu açtı. Nano Teknoloji Araştırmacıları, zeolit madeni ile gümüşü nanoteknolojik yöntemlerle işleyip polimerlere katarak kompozit malzemeler elde edildi [10].

2.8. Gümüş (Ag) Nano Partiküller Ve Etkisi

Çeşitli anti-mikrobiyal ajanlar arasında eski zamanlardan beri Gümüş nano-partikülleri kapsamlı incelenmiştir. Enfeksiyonlara karşı mücadele etmek ve önlemek için kullanılır. Günümüzde çok fonksiyonlu anti-bakteriyel özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Çeşitli yöntemlerle nano-gümüş üretimi sağlanmıştır [10]. Fotokatalitik indirgeme, foto-kimyasal ya da radyasyon, metalik tel patlama, kimyasal azalma süreci, biyolojik gümüş nano-parçacıkların hazırlanması üretim yöntemlerindedir. Gümüş, bazı organik anti-mikrobiyal ajanlar ile karşılaştırıldığında diğerlerinin insan vücudundaki zararlı etkileri sebebiyle daha güvenli bir anti-mikrobiyal ajan olmuştur [11]. Gümüşün anti-mikrobiyal etkinliği ve düşük toksisite üzerine bakterisidal etki uygulama kabiliyeti sayesinde insan hücrelerinin 'oligo-dinamik' davranış göstermesini sağlar. Düşük konsantrasyonlarda bile olsa vücutta 650 hastalığa neden olan organizmalar üzerinde tedavi edici özelliği kanıtlanmıştır. Gümüş nano parçacıklar kullanarak birim alan başına partikül sayısı arttırmak, anti-bakteriyel etkileri maksimize etmemizi sağlar. Anti-mikrobiyal mekanizmasının açıklanması şu şekildedir: Genellikle metal iyonlarının hücre

zarından geçmesi ve hücresele enzimlerin çalışması için engel değildir. Enzimatik aktivite sonucu metabolizmal savunma artarak mikro-organizmaların büyümesini engeller [9]. Metal iyonları mikro-organizmaların çoğalmasını engeller. Fazla miktardaki Gümüş iyonları, protein nükleofilik amino asit ile reaksiyonu nedeniyle protein ve hücre ölümüne yol açabilir [12].

Antibakteriyel özellik gösteren metal iyonları içeren kaplamaların antibakteriyel etkinliğinin AB-Sağlık Merkezi'nde yürütülen araştırmalarla da ispatlandığı ve bu özellikteki elementlerin üretiminde nanoteknolojinin uygulanabileceği alanlar oldukça fazladır. Dolayısıyla bu tip malzemeler, toplumun kalabalıklar halinde gittiği yerlerde, örneğin hastane döşemelerinde, okullarda, kütüphanelerde bulunan bilgisayar klavyelerinde kullanılabilir. Su ve deterjan kullanmadan buralarda hijyen sağlanabilir [13]. Araştırmalara göre gümüş iyonunun (Ag^+) antibakteriyel özelliği metal halinden (Ag) çok daha etkilidir. Dolayısıyla antibakteriyel özelliği olan bir malzeme hazırlayabilmek için gümüşün iyon halinde bulunabileceği bir sistem hazırlamak gerekir. Canlı bir hücreden daha küçük olan nano gümüş'le temas eden, bakteri, virüs veya mantar hücrelerinin metabolizması bozulmakta ve elektrolit dengesi yok olmakta ve enzimleri etkisiz hale gelerek ölmekte, vücuttan bağışıklık sistemi vasıtasıyla atılmaktadır [10].

Gümüş, bakterilerin $-SH$ grubuna bağlanarak onların enzim metabolizmasını bozar, enzimatik aktivitesi sona eren hücrenin ölmesine ve mikroorganizmanın etkisiz hale gelmesine neden olur. Gümüş iyonları, insan vücudundaki membran nedeni ile hiçbir hücre ile reaksiyona girmemekte ve zarar vermemektedir. Dolayısıyla, nano gümüş'ün insan sağlığına, evcil hayvanlara, bitkilere, diğer bir deyişle çok hücreli canlılara zarar vermediği kabul edilmektedir. İşlev esnasında, nano gümüş herhangi bir şekilde kimyasal reaksiyona girmedeği için, şekli bozulmamakta ve işlevindeki süreklilik devam etmekte, bu nedenle sisteme sürekli gümüş ilavesi gerekmemektedir. Zaman içerisinde, virüs ve bakteriler savunma mekanizmalarını geliştirmekte, antibiyotikleri etkisiz kılmaktadır. Ancak, nano gümüş, virüs ve bakterilerin metabolizmalarını bozduğundan, herhangi bir savunma ve bağışıklık sistemi geliştirme imkanları bulunmamaktadır [64].

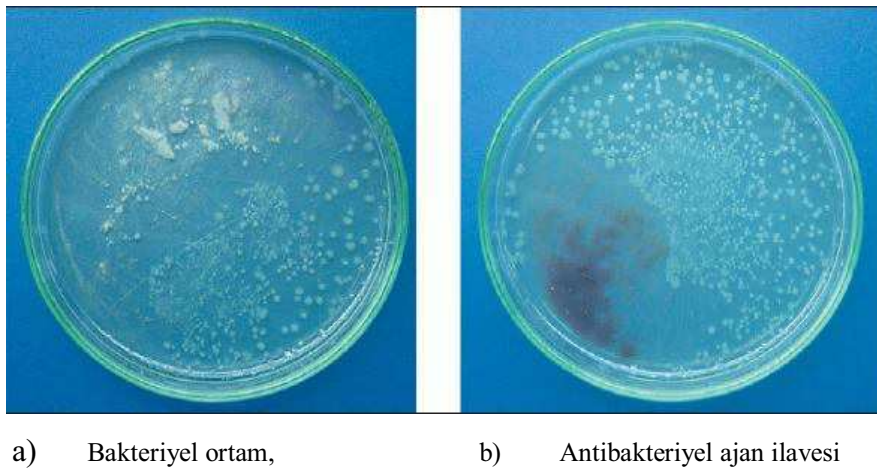
Gümüş'ün nano boyuta indirgenmesi onun, bakteri, virüs, mantarlar üzerindeki yok etme ve uzun süre koruma aktivasyonunu inanılmaz derecede arttırmaktadır. Nano parçacıklar herhangi bir maddenin yüzeyinde kaplı olduğunda, yüzey alanı birkaç milyon kat artarak, çok güçlü antibakteriyel etki sağlar [15].

Laboratuar testlerinde halı, kilim gibi tekstil ürünleri üzerindeki bakteri sayısının 24 saat içerisinde, 2000'den 144.000'e çıktığı görülmüştür. Karanlık, sıcak, nemli, hava dolaşımının az olduğu; özellikle camiler, oteller, okullar, kreşler, toplu taşıma araçları, hastaneler, evler, her türlü hayvan barınakları gibi yerler, mantar, küf, bakterilerin, virüs ve benzeri mikro organizmaların hızla üremesine uygun ortamlardır. Temas ve solunum yoluyla bulaşan virüs ve bakteriler, grip, mide bulantısı, yüksek ateş, tifo, ishal, mantar vb. gibi birçok hastalığa sebebiyet vermektedir [10]. Halen uygulanan hijyen yöntemlerinin çoğu, alkol ve antibiyotik içerikli kimyasallardır. Bu kimyasallar, kısa bir süre içerisinde buldukları yüzeylerden uçarak, uygulama sonrası etkinliğini kaybedince, virüs ve bakteriler tekrar üremeye başlamakta ve birçok antibiyotiklere dayanabilecek yapıda olmaları nedeni ile çok kısa süreli hijyen sağlayabilmektedirler [14, 16]. Nano gümüş katkılı solüsyonlar bilinen 650'nin üzerinde bakteri, virüs, mantarlar ve küflerin hücre yapılarını bozarak, %99,9 oranında yok ettiği ve bakteri oluşumunu uzun süreli olarak engellediği, organik kokuları yok ettiği, insan sağlığına, hayvanlara ve bitkilere zarar vermediği, alerji yaratmadığı belgelenmiştir. Uzun süreli hijyen sağlamanın en etkili yoludur [13].

Metal iyon katkılı antibakteriyel tozun uygulandığı ürünlerde antibakteriyel etkinliğinin saptanması için yeni test metotları geliştirilmiştir. Bu metotlar; Halo test metodu, Kontakt test metodu ve Shake Flask test metotlarıdır. Bu metotlar "American Society for Testing and Materials (ASTM)" ve "Japanese Industrial Standards (JIS)" standartlarına uygundur. Halo test metodu yüzeyi pürüzlü ve gözenekli numuneler için uygulanmaktadır. Numuneler petriyelerin, içine yerleştirildikten sonra steril edilir, besiyer malzemeler üzerinde ince bir film tabakası oluşturacak şekilde dökülür ve yüzeye yayma yöntemi ile ekim yapılır. 37°C'de 24 saat inkübe edildikten sonra sonuçlar gözlemlenir [11].

Kontakt test metodu yüzeyi pürüzsüz ve yoğun numuneler için hazırlanan dilüsyonlardan bakteri ekimi petri tabanına yapılır ve numune yüzeyi ile temas edecek şekilde numune petri tabanına yerleştirilir [15]. Numunelerin üzerine alüminyum folyolardan hazırlanmış ve steril edilmiş küvetler yerleştirilir ve küvetler steril su ile doldurulur. Küvetler petri iç ortamında nem dengesini sağlamak ve sıvı seviyesinin azalmasını en aza indirmek amacıyla kullanılmaktadır. Petri kapları kapatılarak etrafı parafilm ile sarılır. Petriler 25°C’de 24 saat süre ile inkübe edilir. 24 saat sonunda numuneler petrilerden alındıktan sonra petride kalan örnek steril katı bir besiyerine ekilir. Ekim yüzeye yayma yöntemi ile yapılır. Petriler 37°C’de 24 saat süre ile inkübe edildikten sonra sonuçlar gözlemlenir [11]. Shake Flask metodu küçük boyutlarda, girintili şekle sahip veya granül halindeki numuneler için uygulanmaktadır. Numuneler erlenlere yerleştirildikten sonra, erlen içine hazırlanan dilüsyon ilave edilir ve 25°C’de 24 saat çalkalamalı inkübatörde inkübe edilir. Yirmidört saat sonunda erlenlerden örnekler alınarak petri kaplarına yüzeye yayma yöntemi ile ekim yapılır. Petri kapları 37°C’de 24 saat inkübe edildikten sonra sonuçlar gözlemlenir [11].

Örnek olarak Halo test metodu kullanılarak yapılan mikrobiyolojik analiz ile metal iyon katkılı tozun, *Escherichia coli* bakterisine karşı antibakteriyel etkinliği saptanmıştır (Şekil 2.3).

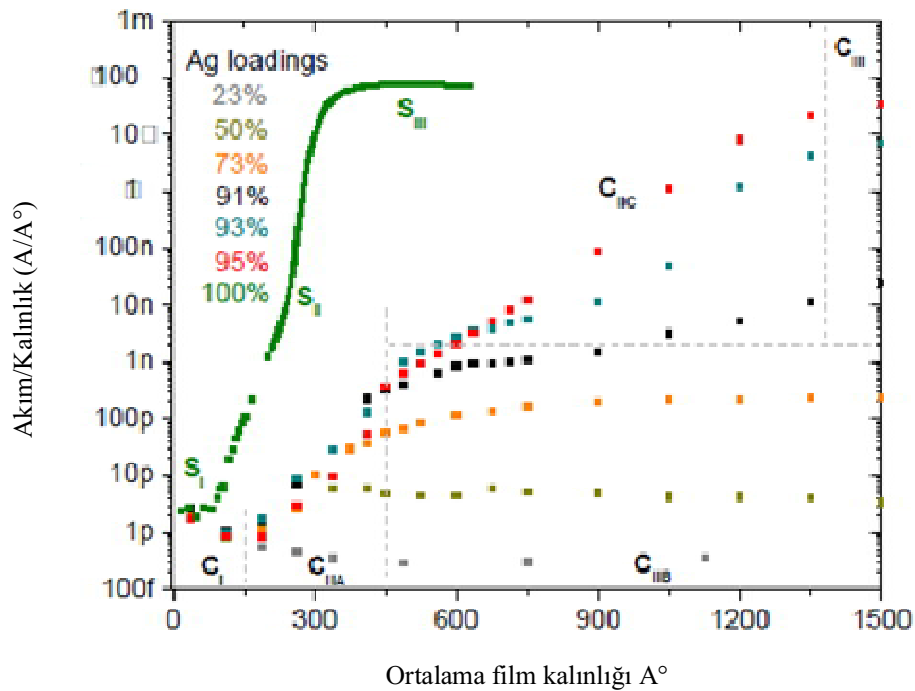


Şekil 2.3. Metal iyon katkılı antimikrobiyal toz için Halo Test sonucu [11]

Test sonuçları bize gümüşün bilinen ve beklenen antibakteriyel özellikte olduğunu göstermiştir. Şekil 2.3.a'da görüldüğü üzere *Escherichia coli* bakterisinin deney düzeneği içindeki dağılımı homojen durumda iken, Şekil 2.3.b'de deney düzeneğine ilave edilen metal iyonu bakterilere karşı antimikrobiyal özellik göstermiştir. Ayrıca bu test gümüş katkılı metal kaplamalarda denenmiştir. Sonuçlara göre kaplama kalınlığı arttıkça antibakteriyel özellik %99,9'a çıkmıştır [11].

Nano gümüş takviyeli teflon kaplamaların elektriksel iletkenlik özelliklerinin araştırılması için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar gösterir ki, elektriksel iletkenliğe etki eden en önemli özellikler, matriks içindeki gümüşün konsantrasyonu ve teflon kaplamanın kalınlığıdır [16].

Teflon kaplama kalınlığı arttıkça nano partikülün difüzyon kabiliyeti artar, böylece iletkenlik olumlu yönde etkilenir. Şekil 2.4'te görüldüğü üzere farklı konsantrasyonlarda takviye edilen nano gümüş takviyeli teflon kaplama kalınlığı arttıkça elektriksel iletkenliği artmaktadır [16].

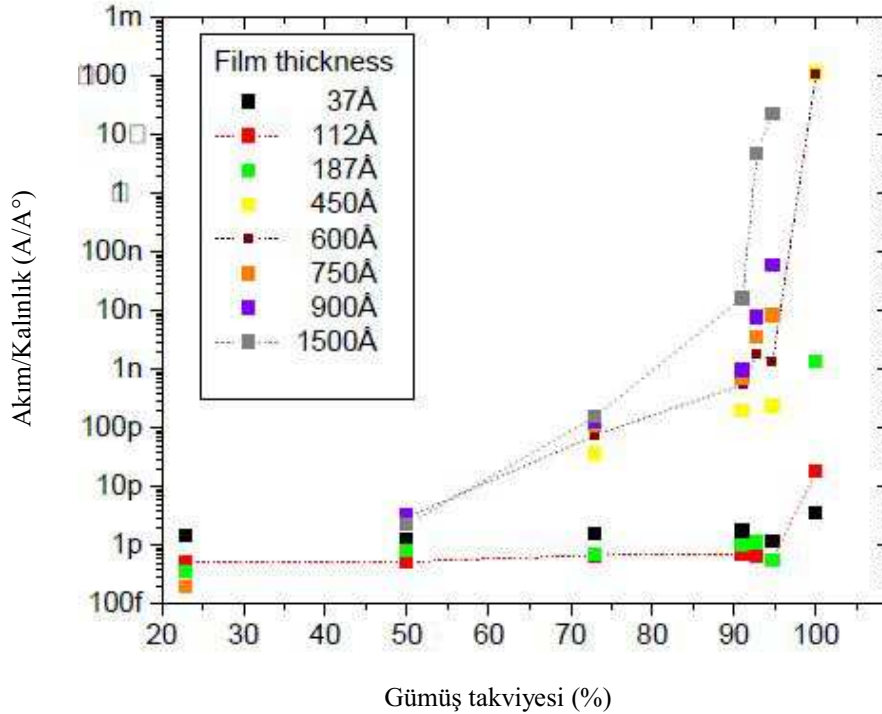


Şekil 2.4. Kaplama kalınlığının elektriksel iletkenliğe katkısı [16]

Elektriksel özellikler, teflon içine gömülen gümüşün morfolojisine bağlıdır. Düşük konsantrasyonda gümüş takviyesi matris iyi dağılır. Böylece gümüşün etrafını çevreleyen polimerik yapı dielektrik özellik göstermesine neden olur. Ancak artan gümüş konsantrasyonu ile matris içinde gümüş kümeleşmeleri oluşur ve bu kümeleşmeler arasında iletim yolları kolaylıkla kurulurak elektriksel iletkenliğin artışına neden olur [16].

Ayrıca gümüş takviyesi yapının kabalaşmasını engelleyerek, yapının ince yapılı kalmasını sağlar. Böylece elektriksel yüklerin kolay iletimi sağlanarak, iletkenlikte artış gözlenir [16].

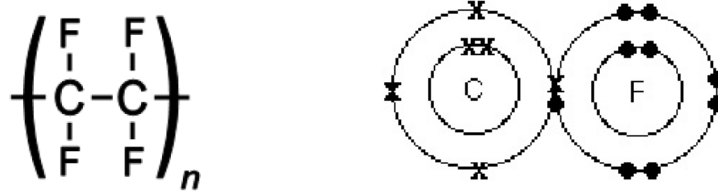
Şekil 2.5'te teflon matris içindeki nano gümüş konsantrasyonu değişiminin, teflon kaplamanın elektriksel iletkenliğine olan etkisi görülmektedir. Artan gümüş konsantrasyonu ile teflon yapı içinde kümeleşmeler artmakta ve böylece elektriksel iletkenlik artmaktadır [16].



Şekil 2.5. Nano Ag konsantrasyonunun elektriksel iletkenliğe katkısı [16]

BÖLÜM 3 . TEFLON (PTFE) KAPLAMALAR VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

DUPONT laboratuvarlarındaki bulunuşunun ardından Teflon adı verilen ve günümüzde de daha çok bu adla tanınan PTFE, flor atomları ile doymuş uzun bir lineer karbon zincirinden oluşan molekül yapısı ve flor atomlarının karbon atomları ile çok kuvvetli bağlar oluşturması nedeni ile diğer plastiklerin hiçbirinde bir arada bulunmayan mükemmel özelliklere sahiptir (Şekil 3.1). Bütün mühendislik plastikleri arasında en geniş çalışma sıcaklık aralığına (-260 °C, +270 °C) sahiptir [7].



Şekil.3.1. PTFE polimer ve kovalent bağ yapısı [7]

Başlıca özellikleri;

- Özgül ağırlığı 2,1 – 2,2 gr/cm³
- Kopma dayanımı (MPA) 14 – 32
- Gerilme modülü (MPA) 420
- Dielektrik kaybı <0,0002
- Çekme mukâvemeti: 140-380 kg/cm²
- Basma mukâvemeti: 45-50 kg/cm²
- Eğilme modülü: 3500-6300 kg/cm²
- Sürtünme katsayısı (dinamik): 0,06
- Isı iletkenliği: 5,5-6,6 x10⁻⁴ cal/cm °C
- Saf halde viskozitesi: 1,00 MPa s

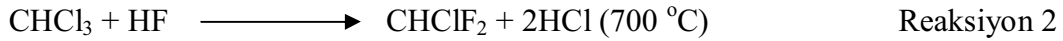
PTFE plastikleri opak, kristalin ve sünektirler. 340 °C sıcaklığın üzerine ısıtıldığında, saydam ve amorf olurlar, ancak soğutulduğunda tekrar normal halini alırlar. Sanayide kullanılan bütün kimyasal maddelere, neme ve ortam şartlarına tam süresiz dayanıklılığının yanı sıra bilinen bütün katılar içinde en düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısına sahip oluşu, üstün dielektrik dayanımı, yüzeyine hiçbir malzemenin yapışmaması, yanmama ve yeterli mekanik özelliklere sahip olması nedeni ile PTFE birçok kaplamada diğer malzemelere tercih edilmektedir. Ancak PTFE nin aşınma dayanımı ve yük altında deformasyona karşı direnci düşük, ısıl genişleme katsayısı ise yüksektir. Bu özelliklerini iyileştirmek, iletkenliğini artırmak ve benzeri özellikler kazandırabilmek için PTFE nin içine belli oranlarda cam elyaf, karbon, grafit, bronz, alumina, molibden disülfür ilave edilebilmektedir [7]. Bu şekilde PTFE'nin aşınması 1000 katına kadar azaltılabilmekte, ısı iletkenliği 4 kat artırılabilir, iletken olması sağlanabilmektedir. Bu şekilde elde edilen PTFE, plastikler arasında en iyi yatak malzemesidir. PTFE nin statik ve dinamik sürtünme katsayıları incelendiğinde statik katsayının dinamikten daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle sızdırmazlık elemanları ve yatak uygulamalarında ilk hareket için gereken gücün fazla olmasına gerek kalmaz. PTFE nin sürtünme katsayısı yük arttıkça azalır, hız arttıkça artar, ancak sıcaklık ve çevre koşullarından hemen hemen hiç etkilenmez. Kompozit bir kaplama olarak kullanılmayan PTFE'de sürtünme özelliği kayma hızı tarafından etkilenmektedir; ancak sıcaklığın etkisi çok azdır. Bu plastiklerin nadir rastlanan bir ısıl genişleme özelliği vardır, 18°C'de %1 hacim büyümesi görülmektedir [1]. PTFE çok iyi elektriksel özelliği vardır. Dielektrik sabiti 60 Hz'den 109 Hz'e kadar 2,1'dir. PTFE yanma faktörü 108 Hz'e kadar 0,0003'ün altında kalır. PTFE kaplamalar, 290 °C' ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilir [2].

PTFE (Polytetrafluoroethylene) yapışmayan kaplamalar, ara kaplama ve son kaplama olmak üzere iki kat kaplama tabakasından oluşmaktadır. Düşük sürtünme katsayısı dolayısıyla aşınma direncine ve kimyasal dirence sahip bir malzemedir. PTFE su bazlı sıvı formda bulunmaktadır. Kimyasal formülü, $\sim(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_n\sim$ şeklindedir. Molekül ağırlığı açısından incelendiğinde, yaygın kullanılan polimerik malzemelerin molekül ağırlığı yaklaşık 400.000-9.000.000 arasındadır. ICI firmasının bildirdiği PTFE molekül ağırlığı 500.000-5.000.000 aralığında ve %94' den daha fazla

kristalleşme oranına sahiptir. Düşük molekül ağırlığına sahip malzemeler daha fazla kristalleşmektedir. Aynı zamanda yavaş soğuma sırasında kristalleşme oranı artmaktadır [7].

3.1. PTFE (Politetrafloroetilen) Üretimi

Tetraflor etilenin yüksek basınçlarda serbest radikal başlatıcılarla 75 - 80 °C sıcaklıklarda polimerleşmesinden oluşur. Tetraflor etilen -75 °C'de kaynayan bir gaz olup teknikte daha çok aşağıdaki tepkimelerden elde edilir [1].



PTFE sulu dağıtıcılar metal altlıklar üzerine spreyle, daldırmayla, akıtmalı kaplamayla, elektro kaplama veya pıhtılaşmayla kimyasal dirençli, yapışmaz ve az sürtünmeli yüzeyleri sağlamak için uygulanırlar. Kaplamadan sonra kaplanan parçalar kurutulur ve sinterlenir. Non stick mutfak malzemeleri ve fırın malzemelerindeki dağıtıcılar kullanılma esasları ve uygulandıkları metalin yapısına göre formüle edilirler. PTFE lifleri sulu dağıtıcılardan döndürülerek elde edilirler, ana fazla karışık haldeyken bir güçle iplik memeciğinden geçerek pıhtılaştırma banyosuna alınırlar. Ana malzeme ve fiberler (lifler) eriyik safhada maksimum dayanıklılığı kazanmaları için ısıtılarak, sinterlenerek yönlendirilirler. Diğer PTFE dağıtıcı uygulamaları bileşimlerin çeşitlerinin; mineral dolgular, birlikte pıhtılaştırmayla elde edilmiş polimer tozları gibi malzemelerle hazırlığıdır. Diğer bileşenlerin dağıtıcıları PTFE dağıtıcılarla harmanlanmış ve pıhtılaştırılmıştır. Bu bileşimin sonuçlandırılması ekstrüzyonla kayganlaştırıcılarla ya da basınçlı kalıplamayla işlenir [8].

3.2. Teflonun Sağlık Açısından Etkisi

Perfloroizobutan (PFIB) için en önemli etkisi solunum sistemi üzerinedir. Yüksek konsantrasyonlar gözlerde, burun ve boğazda irritasyona sebep olmaktadır. Akciğerler hedef organdır. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, sistemik etkilerin, yalnızca akciğer hasarı olanlarda görüldüğü belirlenmiştir. PFIB'nin kanserojen, genotoksik ve mutajenik etkileri hakkında yeterli veri bulunmamaktadır. PTFE gazlarının solunmasıyla alınan çok küçük parçacıklara bağlı akciğerde inflamatuvar yanıt geliştiğini gösteren çalışmalar vardır. PTFE'in fazla ısıtılması, toksik gazların açığa çıkmasına ve insanların solunum yollarında ciddi sağlık tehlikelerine yol açmaktadır [7]. 1960 yılında gıdayla teması olan yüzeylerde ve mutfak kaplarında kullanımına başlanan teflonun, kolay ve çabuk temizlenmesi, pişirme sırasında az yağ kullanmayı sağlaması nedeniyle mutfaktaki kullanımı hızla artmıştır. Teflon uzun süre, yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında reçinesi (resin) ayrılmaktadır. 1959 yılında, FDA'in izninden önce yapılan bir çalışma, teflonun ısınmasıyla ortaya çıkan gazların, diğer mutfak kaplarından çıkan gazlardan daha az toksik olduğunu göstermiştir [7].

Günümüzde yemek pişirme sırasında, yüksek sıcaklıkla gaz ortaya çıkarmayacağı düşünülen kaplamalar üzerinde çalışmalar sürmektedir. Bu kaplamalar, teflon yapımında kullanılan malzemelerden yapılmaktadır. Mutfakta kullanılan kaplar/tavalar ocakta bırakıldığında ve aşırı ısındığında (280°C üzerinde) toksik etkilere neden olan ürünler açığa çıkmaktadır. Ocakta boş olarak bırakılan bir teflon kabın 400°C sıcaklığa ulaşabildiği gösterilmiştir. Polimer kaplamanın ısınmasıyla zararlı asidik ve uçucu gazların ortaya çıktığı bilinmektedir. Çalışmalar, Teflonun aşırı sıcaklıkta florürlü polimerlerine ayrıştığını ve tetrafloroetilen (TFE), hegzafloropropan (HFP), oktaflorosiklobütan (OFGB), perfloroizobütan (PFIB), karbonilflorür, karbondetraflorür (CF₄), trifloroasetikasit (TFA), trifloroasetik asit florür, perflorobütan, silikon tetraflorür (SiF₄), hidroflorikasit (HF) gibi toksik gazların ortaya çıkmasına neden olduğunu göstermiştir. Bu gazların en az dördü oldukça toksiktir. Bunlar: PFIB, Karbonilflorür (COF₂), Monofloroasetikasit (MFA), Hidroflorikasit (HF)'dir [7].

3.3. Teflon Kaplama Yöntemleri

Kaplama uygulaması öncesi kaplama tabakası ile altlık malzeme arasında kuvvetli bir bağ oluşması için bir takım hazırlık işlemleri (yüzey temizleme, ön ısıtma) yapılır. Kuvvetli bir bağın oluşturulması için optimum şartlar sağlanmalı; yüzeydeki oksit filmlerin, nemin, organik veya inorganik maddelerin ortadan kaldırılması, yüzeye belirli bir pürüzlülüğün verilmesi gereklidir [17].

Yüzey hazırlama aşaması, kaplama yönteminin en önemli kademelerinden birini oluşturmaktadır. Kaplamanın ana malzemeye gerektiği şekilde bağlanması, ancak kaplanacak yüzeyin iyi bir şekilde hazırlanmasıyla mümkündür. Bu mekanik bağlanma yanında, partiküllerin ana malzeme ile mikro kaynaması ve kimyasal bağ oluşumu gibi diğer bağlanma mekanizmaları da mevcuttur. Bütün bu bağlanma mekanizmaları, temas alanının artırılmasını ve yüzeyin aktivasyonunu gerektirir. İyi bir yapışma için, yüzey üzerindeki nem, yağ, kir ve oksit filmlerinin kaldırılması ve uygun bir yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi gerekmektedir. Metalik yüzeylerde iyi bir yapışma, yüzeyin temizliği ile doğru orantılıdır. Üretimi veya kullanılmaları sonucu yüzeylerinde yağ ve gres bulunan makine parçalarının kaplanmasında birçok problemle karşılaşılır. Ana malzemenin gözenekli bir yapıya sahip olduğu durumlarda ise, gözeneklere dolan yağ, kaplama işlemi esnasında buharlaşır ve kaplama tabakalarının yapışma mukavemetini önemli ölçüde düşürür. Bu yüzden bu tür parçalarda kimyasal malzemelerle temizleme ile istenen yüzey temizliği sağlanır. Asit ve alkali çözeltilerle altlık üzerindeki yağ ve paslar giderilir [17].

Yüzeylerde mevcut olan yağ, gres ve paslardan temizlenmiş ana malzeme yüzeyleri, bir aşındırıcı kullanılarak kumlama ile pürüzlendirilir. Spreylenme öncesi 4-5 mikrometrelik veya daha fazla yüzey pürüzlülüğüne sahip yüzeylerin hazırlanması için kullanılan en yaygın teknik ana malzeme yüzeyine abrasif partiküllerin püskürtülmesidir. Abrasif partiküller hem yüzeydeki istenilmeyen film ve tabakaları ortadan kaldırmakta hem de yüzeyi pürüzlendirmektedir. Şekil 3.2 'de yüzey pürüzlülüğünün ıslatma açısına katkısı görülmektedir. Kullanılan püskürtme basıncı ve abrasif partikül türü ana malzemenin yapısına bağlı olarak belirlenmektedir. Kumlama işleminde aşındırıcı malzeme olarak dökme demir veya çelik griti, SiC ve

Al_2O_3 kullanılır. Yumuşak ana malzemeler için çelik veya dökme demir gritler yeterli olurken, sert ana malzemeler için SiC ve Al_2O_3 gritler kullanılır. Kumlama işleminde kullanılan havanın ve kumlama malzemelerinin kuru olması gerekmektedir. Ayrıca kumlama malzemelerinin daha önce başka bir işlemde kullanılmamış, yağsız ve temiz olması gerekmektedir [17].



Şekil 3.2. Pürüzlendirilmiş yüzey ile ergimiş partiküllerin etkileşimi [17]

Kaplama işleminden önce altlık malzemenin ön ısıtılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için başlıca üç neden mevcuttur; a. altlık malzeme yüzeyinden nemin ve yağın uzaklaştırılması, b. yüzeydeki bağlanma koşullarının iyileştirilmesi, c. altlık malzeme ile kaplama malzemesi arasındaki farklı ısıl genleşmelerin dengelenmesi [17].

Yapışmayan kaplama üretiminde birçok kaplama yöntemi kullanılır. Kullanılan kaplama yöntemi uygulanacak kaplama türüne, üretim miktarına, ekonomiklik ve kaplamadan istenen özellikler gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Kaplama bileşenlerinin kaplama tabakasını oluşturmasını tipik bir üç katmanlı yapışmaz kaplamaları kısaca izah edecek olursak;

İlk kaplama tabakası esas olarak bağlayıcıdan oluşur ve asıl işlevi kaplanacak olan altlığa kaplama tabakasının tutunmasını sağlamaktır (orta ve üst kaplama için altyapı oluşturur, yani bir astar vazifesi görür). Orta kaplama tabakası daha çok dolguları ve pigmenti içermeye yöneliktir, mükemmel bir gizleme gücünü (alt tabakayı maskelemek) sağlar ve kaplamanın kalınlığını belirler. Üst kaplama katman zengin floropolimer içerir. Buda yapışmazlığı sağlayan ana etkidir. Tavalara uygulanan non-stick (yapışmaz) kaplamalar sayesinde daha uzun ömürlü ve daha kullanışlı hale gelirken bu kaplamanın genellikle güvenli olduğu da söylenebilir [4].

Başlıca kaplama yöntemleri;

- Rulo Kaplama,
- Perde Kaplama,
- Sargı Kaplama,
- Termal Sprey Kaplamaları,
- Basınçlı Sprey Kaplama Sistemi'dir.

3.3.1. Rulo kaplama

Bir ofset yazıcının modifiye edilerek düz bir metal diske kaplama yapmasını sağlayan baskı sistemidir (Şekil 3.3). Aralarında kurutma fırınları olan 5 kaplama istasyonu vardır. Final uygulamadan sonra kaplanmış diskler istenilen forma biçimlendirilir [4].



Şekil 3.3. Rulo kaplama makinesi [4]

Bu yöntemin özelliklerine göre başlıca avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

Avantajları;

- %95 kaplama performansı, aşırı sprej yok
- Yüksek üretim kapasitesi
- Homojen kaplama uygulaması (uniform kaplama eldesi)

- Daha az çevre kirliliği (daha az kaplama israfı)

Dezavantajları;

- Kaplama yüzeyi pürüzsüz değildir. Rulolar tavuk izi denilen kalıntılar bırakırlar.
- Düşük performans (final kaplaması incedir)
- Yüksek ekipman maliyeti ve çok yer kaplaması.

3.3.2. Perde kaplama

İki paralel kemer yakın bir şekilde ayarlanmıştır. Bu kemerler arasında birinden diğerine ince bir perde şeklinde kaplayan ve bırakan makinenin başı bulunur (Şekil 3.4). Bu parçalar son halini aldıktan sonra kurutulur, yeniden kaplanır ve sonra da iyileştirilir [4].



Şekil 3.4. Perde kaplama ünitesi [4]

Bu yöntemin özelliklerine göre başlıca avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

Avantajları;

- %98 kaplama performansı, aşırı sprey kullanımı yok
- Daha az iş gücü
- Homojen, pürüzsüz kaplama uygulaması
- Makine izi yok

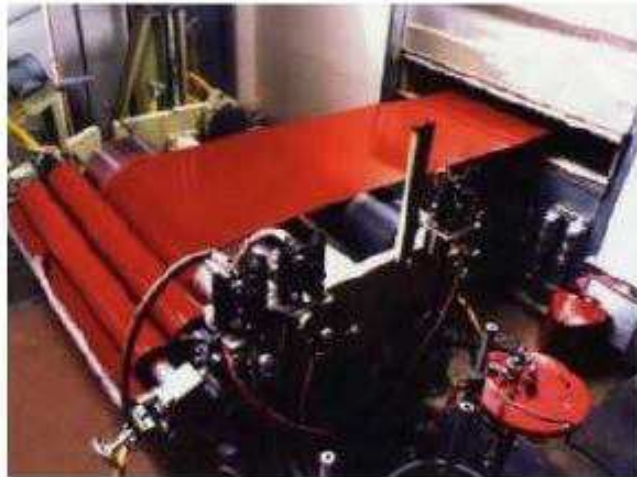
- Daha az çevre kirliliği (daha az kaplama israfı)

Dezavantajları;

- Özelleştirilmiş ekipman gerekliliği
- Kaplama çeşitliliği yok

3.3.3. Sargı kaplama

Bir rulo metal sarılmamış bir şekilde tambur makaralar ile baskıya gider ve bu işlem sürekli bir şekilde devam eder. Gazete basımı sistemi gibi iyileştirmeden sonra bu rulo geri sarılır ve basılır (Şekil 3.5). Üretici ye ulaşımından sonra son şekil verilir [4].



Şekil 3.5. Rulo kaplama makinesi [4]

Bu yöntemin özelliklerine göre başlıca avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

Avantajları;

- %98 kaplama performansı; aşırı sprey kullanımı yok
- Minimum insan gücü
- Homojen (uniform), pürüzsüz kaplama uygulaması

- Kapalı diskler üzerinde üretim izi yok
- Üretim için daha az yatırım

Dezavantajları;

- Çok yüksek ekipman maliyeti
- Azda olsa bir kıymık israfı
- Renk homojenitesi zordur.

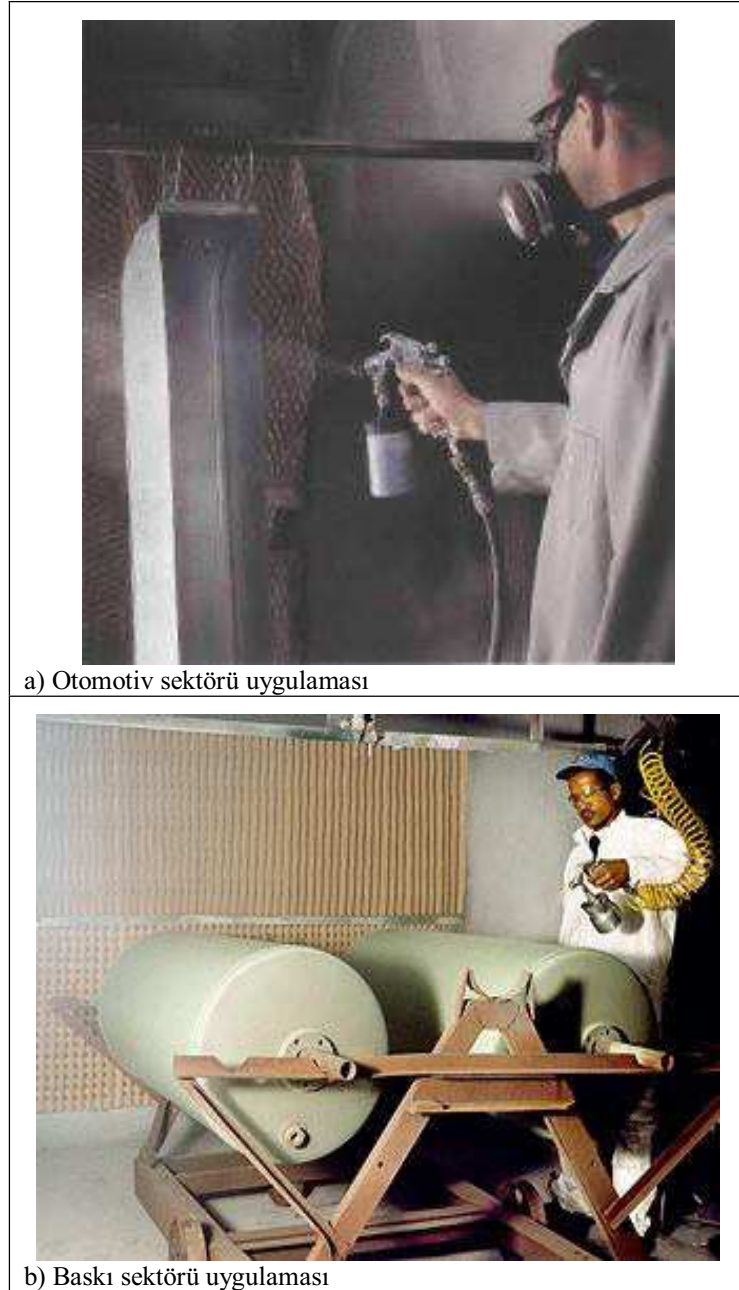
3.3.4. Termal sprej kaplama yöntemi

Termal sprej teknolojisi, sert kaplama tekniklerinden biri olup gerek proses çeşitliliği gerek kullanılabilen malzeme çeşitliliği ve gerekse üreticiye ekonomik katkı sağlayan bir yüzey işleme tekniği olduğundan endüstride geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Termal sprej teknolojisi, korozyon ve aşınma performansını geliştirmek için kaplama malzemelerinin yüzeye kaplanması için çok elverişli proseslerden biridir. Bunların yanında malzemeler için limiti olmayan ve birkaç mikrometreden onlarca milimetreye kadar olan kalınlık aralığı ile malzemelerin kaplanabilmesi mümkün olan bir prosesdir. Termal sprej tekniğinin ikinci bir önemli avantajı ise kaplanacak malzemeye az ısı vererek onu düşük sıcaklıklarda koruyabilmesidir. Bu özellik kaplanacak malzemenin ısıl çarpılmasını, oksidasyonunu ve diğer metalurjik özelliklerinin değişmesini önler. Ayrıca termal sprej ile kaplanan parçalara daha sonra kaynak, ısıl işlem gibi yüksek sıcaklık işlemleri uygulanabilir [4].

3.3.5. Basıncı hava sprej ile kaplama sistemi

En çok uygulanan kaplama metodlarından biridir. Bu sıvı kaplama yönteminde kaplama çözeltisi hava basıncı ile püskürtülerek kaplamayı atomize eden bir sprej tabancasının içine konur (Şekil 3.6). Tabancanın bu yapısı sürekli bir film tabakası uygulamasına olanak sağlar. Sprej kaplama yöntemi pişirme kaplamalarının kaplanmasında en dayanıklı ve sağlıklı yöntem olarak tanınmaktadır. Kaplanacak yüzey özel yıkama sistemlerinde her türlü kir ve yağdan arındırıldıktan sonra özel bir yöntemle aşındırılır. Bu işlemden sonra da aşındırılmış yüzey üzerine kaplama özel

bir spreyleme yöntemiyle çok katmanlı olarak tatbik edilir. Sonrada optimum ısı eğrisinde sertleştirilir. Bu yöntemle kaplama malzemesi yüzeyde çok iyi bir tutunma ve yapışama özelliği göstermektedir. Buda kaplamanın uzun ömürlü olmasını ve gıdalarla temasta oluşabilecek olumsuz etkileri (eser miktarda kalan PFOA'nın malzemedan uzaklaştırılması) tamamen ortadan kaldırmaktadır [4].



Şekil 3.6. Sprey kaplama sistemi [4]

Bu yöntemin özelliklerine göre başlıca avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

Avantajları;

- Pürüzsüz, sürekli kaplama.
- Uzun ömürlü ve çok iyi performans
- Aşınma ve çizilmeye karşı yüksek direnç
- Mükemmel kayganlık

Dezavantajları;

- Aşırı sprej israfı; %35-%50 kaplama kaybı ama bu kaplamayı yapanın kabiliyetine göre değişir.
- Yavaş üretim

Püskürtme mesafesinin ve püskürtme açısının ayarı istenen bir mikroyapı (porozite ile ilgili, kaplamada polimerlerin dağıtımı) elde etmek ve biriktirme verimliliği için gereklidir. Çok zayıf bir püskürtmede partikül etkileşimi mesafenin kısalması ile azalır. Püskürtme parametrelerinin optimize edilerek kullanılmasına rağmen, bazı yazarlar seramik/polimer kaplamaların oranını başlangıçta mekanik olarak karıştırılan tozların oranı ile karşılaştırmaktadır [4].

3.4. Teflon Kaplamalara Uygulanan Endüstriyel Testler

Non stick kaplamaların özellikleri incelenirken diğer kaplama incelemelerinde de kullanılan pürüzlülük ölçer cihazlarla ölçülen yüzey pürüzlülüğü, optik mikroskop incelemeleri (mikroyapı görüntüleri), SEM (taramalı elektron mikroskobu) de kimyasal analiz; farklı tür bileşenlerin tespitini ve EDX (enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisiyle bileşen miktarını tayin etmek ve dağılımlarını ortaya koymak amacıyla elementel analiz ve çizgi analizi yapılmaktadır. Islatma açısı ölçümünün birçok metodu (direkt geometrik ölçüm, moleküler arası kuvvetlerden hesaplamalar, vb) vardır. Kendine has özellikleri itibariyle yapışmaz kaplamaları incelemede kullanılan bazı özel inceleme yöntemleri de mevcuttur. Non stick kaplamaların başlıca özelliği yapışmazlıktır. Yapışmazlık özelliği pratik olarak aşağıda anlatılan

yapışmazlık (süt) testi ile tespit edilebilir. Genelde kaplama içeriğinde yüksek oranda non stick bazlı bileşenler (floropolimerler , silikon) bulunan non stick kaplamaların incelenmesinde kullanılan yapışmazlık (süt) testi anlatıldı. Tava kaplamalarının yapışmazlık testinde yapışmazlık (süt) testi, kareleme tırnak testi ve aşındırma testleri kullanılmaktadır. Bu bölümde bu 3 test yönteminden bahsedilecektir [4].

3.4.1. Yapışmazlık (süt) testi

Bir miktar yağlı süt kullanarak yapışmaz yüzeyin yeterliliğini değerlendirmek için yapılan bir testtir. Test yaklaşık 20 cc. tam yağlı sütün tamamen karbonlaşana (yanana) kadar bir ocakta ısıtılması ile gerçekleştirilir (Şekil 3.7). Test sonrasında yanmış süt tabakasının bir miktar su yardımıyla yüzeyden ayrılma kolaylığı yapışmazlık kalitesi olarak belirlenir. Aşağıdaki durumlara göre yapışmazlık tanımlanır [4].

- 1.derece: Yanmış süt filmi yüzeyden kolayca ve tamamen ayrılıyor.
- 2.derece: Film tabakası yüzeyden tamamen değil parçalı ayrılıyor.
- 3.derece: Film tabakası yüzeyden bir sünger yardımıyla kolayca ayrılıyor.
- 4.derece: Film tabakası yüzeyden bir sünger yardımıyla zorla ayrılıyor.



Şekil 3.7. Yapışmazlık (süt) testi uygulaması [4]

Diğer bir yapışmazlık testi de Yumurta Testi'dir. Süt testi ile aynı şartlarda yapışmaz yüzey üzerine eklenen yumurta yanana kadar bir ocakta ısıtılması ile gerçekleştirilir.

Yumurta karardıktan sonra teflon yüzeyden temizlenme kolaylığı yapışmazlık kalitesini verir.

3.4.2. Kareleme ve tırnak testi

Yapışmaz yüzeyin alüminyum malzemeye olan tutunma (ayrılmama) ve kalkmama kabiliyetini değerlendirmek için yapılır. Test öncesinde numune parça bulaşık makinesinde en az bir kez yıkanmalı ya da kaynama kazanında en az 20 dakika tutulmalıdır. Keskin uçlu bir bıçak (falçata-maket bıçağı) ile yanmaz yapışmaz yüzey üzerine birbirini dik olarak kesen 2 mm mesafede çizgiler çizilir. Bu çizme işlemi esnasında alüminyum malzeme yüzeyine inmekten kaçınılması gerekir. Kare olarak çizilmiş yüzey üzerine özel bir yapışkan bant yapıştırılır ve bant hızlıca çekilerek bant üzerinde herhangi bir kalıntı olup olmadığına bakılır (Şekil 3.8). Aynı karelenmiş yüzey üzerinde 90°'lik açılarla ve yeni bantlarla işlem 3 defa tekrarlanır. Kareleme işlemi numune ürün yüzeyi üzerinde 3 farklı bölgede tekrarlanır. Tırnak testi kareleme yapılan test numunesi üzerine yapılır. Keskin bir bıçağı yan tutarak düz bir çizgi halinde baz malzeme yüzeyine inmek suretiyle gerçekleştirilir. Daha sonra tırnak ile bu çizgi dik yönde çekilerek uzama olup olmadığı kontrol edilir [4].



Şekil 3.8. Kareleme ve tırnaklama testi uygulaması [4]

3.4.3. Aşındırma testi

Yapışmaz yüzeyin aşınmaya karşı göstereceği direnci değerlendirmek için yapılır. Test makinesi evde yapılacak olan bulaşık yıkama işleminin hızlandırılmış benzerini

sert bir sünger yardımıyla gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Test edilecek numune parça test düzeneğine uygun bir şekilde sabitlenir. Aşındırıcı sünger test yüzeyi üzerinde 15 Newton'luk bir baskı kuvveti ile hareket etmektedir. Bu yüzey üzerine %5 oranında bulaşık deterjanı içeren su dökülmektedir. Sert bir sünger kullanarak yanmaz yapışmaz yüzeyin kaç gitme-gelme hareketi ile aşındığı kontrol edilir. Alüminyum malzeme yüzeyinde en az iki çizik oluştuğunda test sonlanmış kabul edilir. Roller (Silindirik) kaplama için 800-1400 çevrim, spreycaplama için 2000 çevrim yeterli sayılır [4].

BÖLÜM 4 . DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deneysel Çalışma Planı

Nano partikül takviye ederek yapışmaz kaplamaların olumsuz özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan bu deneysel çalışmanın planı, 4 aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama kaplamada kullanılacak malzemelerin temini ve hazırlık aşamasıdır. Burada deneylerde kullanılacak altlık malzeme ve teflon malzeme belirlenmiştir. Kompozit Ag nano partikül takviyeli teflon kaplama karışımının hazırlanması ve karışım oranlarının belirlenmesi tanımlanmaktadır. İkinci aşamada farklı kalınlıklarda kaplamaların üretiminin nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Üçüncü aşamada; kaplamaların karakterizasyonu ve son aşamada ise kaplam testleri ve sonuçları tartışılmaktadır.

Deneysel çalışma aşamaları:

- Nano partikül takviyeli teflon karışımı ve altlık ön hazırlıkları
- Nano partikül takviyeli teflon kaplama üretimi,
- Makro inceleme,
- Yüzey profili inceleme,
- SEM ile mikro inceleme,
- EDX elementel analiz,
- XRD faz ve kristal yapı analizi,
- FTIR ile yapı analizi,
- Tribolojik özelliklerin incelemesi,
- Korozyon testi,
- Aşınma kaybı incelemesi,
- Endüstriyel testler

4.2. Karışım Hazırlama ve Ön hazırlık İşlemleri

Kaplama malzemesi olarak mutfak eşyaları sektöründe tercih edilen PTFE teflon malzemesi; takviye edilecek nano partikül olarak ise ilave edildiği malzemelerin aşınma direncini ve iletkenliğini arttırıp, antibakteriyel koruma sağlayan nano gümüş partikülü seçilmiştir. Böylece 1990 ml PTFE teflon sıvısı içine olan 10 ml % 0,05 'lik Ag^{+2} iyonu katkılı su bazlı solüsyon ilave edilip, havalı otomatik karıştırıcı yardımı ile sprej tabancasının haznesinde 3 dk süre ile karıştırıldı.

Takviye öncesi ASTM D2196 test metoduna göre 1,0 MPa s ölçülen saf teflon viskozitesi, takviye sonrası ise 1,42 MPa s ölçüldü ve böylece nano partikülün teflon sıvısının viskozitesini arttırdığı tespit edildi.

Atlık olarak mutfak eşyaları (tencere, tava, tepsi vs.) yapımında iyi derin çekilebilirlik özelliği ve iyi bir ısı iletken olması nedenleri ile tercih edilen 2 mm kalınlıkta 340 mm çapındaki H0 kondüsyonuna sahip 1050 alaşım alüminyum disk malzeme olarak seçilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Alüminyum disk

Kullanılan malzemeler;

- Altlık : 2 x 340 mm 1050 alaşım (% Fe: 0.32, Si: 0.12, Al: 99.52) / H0 temper alüminyum disk (Şekil 6.1)
- Teflon : Siyah sıvı PTFE
- Nano Gümüş : 10 ml Ag^{+2} (su bazlı) solüsyon (% 0.05 Ag^{+2} , distilize edilmiş su 97.12, nano parça konsantrasyonu 0.91×10^{-3} mol/dm³)

Kaplama prosesi öncesinde alüminyum altlık malzeme yüzeyi hazırlandı. Alüminyum yüzeydeki oksit tabakası, fırçalama prosesi ile kazınarak kaplamanın tutunma kolaylığını sağlamak için yüzey pürüzlendirildi. Fırçalama prosesi sonrasında yüzeydeki toz, kir gibi kalıntılar yıkama prosesi ile giderildi.

4.3. Basınçlı Sprey Tabancası İle Yapışmaz Kaplama Üretimi

Bu yöntem kullanılarak altlık malzeme üzerine floropolimer ve Ti_2O içerikli astar kaplama gerçekleştirildi. Astar tabakası 5 μ m ve 10 μ m olmak üzere 2 farklı kalınlıkta kaplanmıştır. Daha sonra hızlı kurutma işleminin ardından nano partikül takviyeli teflon sıvısı yüzeye spreyle edilerek kaplama prosesi gerçekleştirildi. Teflon tabakasının 15 μ m olması hedeflendi. Proses sonrasında 15 μ m ve 25 μ m olmak üzere 2 farklı kaplama kalınlığına sahip numuneler elde edilmiştir.

Proses Parametreleri;

- Basınçlı hava : 5 bar
- Sprey mesafesi : 35 cm
- Sprey hızı : 300 m/sn
- Sprey Açısı : 90°

Son olarak numuneler 6 dk ve 8 dk olmak üzere 2 farklı sürede 400 °C sıcaklığa maruz kalarak teflonun kürlenmesi sağlandı. Nano partikül takviyesinin etkisini kıyaslamak amacıyla partikül takviyesi olmayan saf teflon sıvısı yine aynı işlemleri takip ederek alüminyum altlık malzeme üzerine kaplaması gerçekleştirildi ve son olarak kaplama kürlenme işlemine tabi tutuldu.

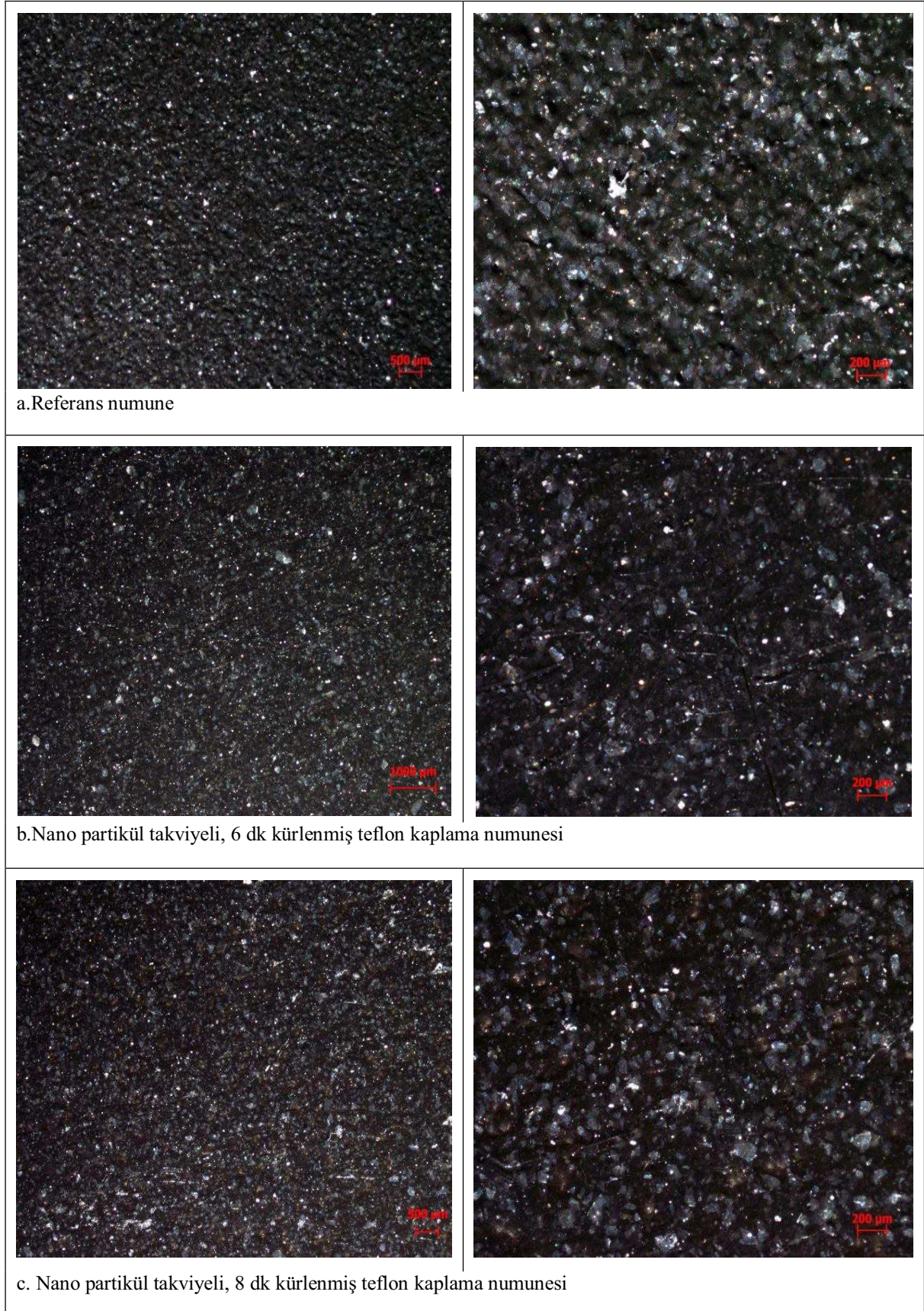
Böylelikle nano partikül takviyeli ve takviyesiz olmak üzere tüm numuneler karakterizasyon uygulamaları için hazır duruma getirildi.

Numunelerin sınıflandırılması:

- Grup: Referans Numune (Nano partikül takviyesiz, standart teflon kaplama numunesi, 6 dk kürlenme) iki farklı kalınlıkta (15/ 25 μ m)
- Grup: Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi (6 dk kürlenme) iki farklı kalınlıkta (15/ 25 μ m)
- Grup: Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi (8 dk kürlenme) iki farklı kalınlıkta (15/ 25 μ m)

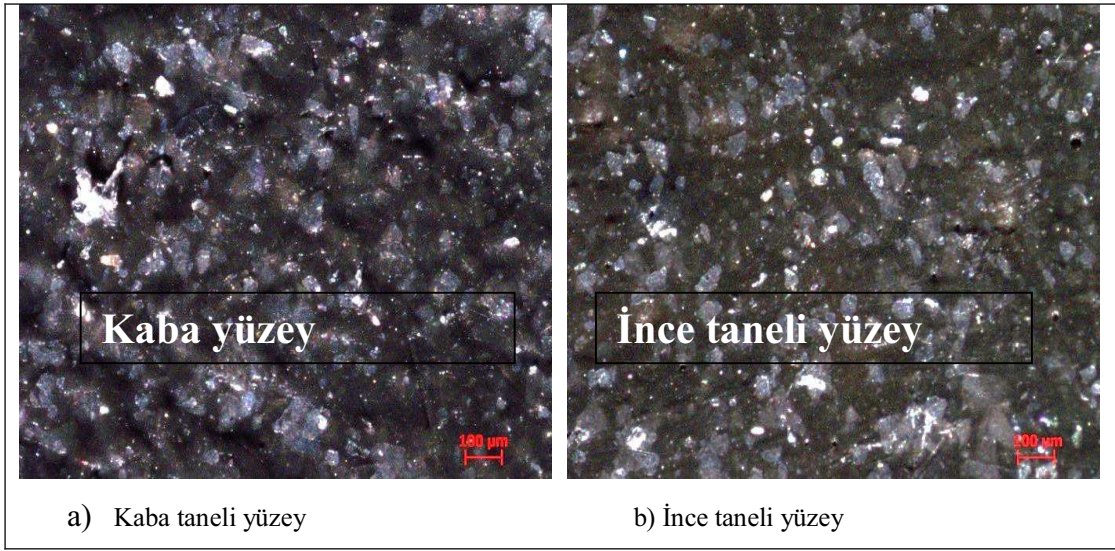
4.4. Makro İnceleme

Numuneler üzerinde sırasıyla farklı büyütme oranları ile makro incelemeler stereo mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Numune grupları üzerinde yapılan makro incelemeler esnasında alınan aynı büyütme görüntüleri numune grupları arasında kıyaslanmıştır. Şekil 4.2' de alınan üst yüzey makro görüntüleri incelenerek kıyaslanmaktadır. Görüntülerde her iki numune yüzeyinde de taneli bir yapı gözlenmektedir. Siyah renkli yüzeylerde pürüzlülük farklılığı el ile hissedilebilmektedir. Bu görüntülerden nano partikül takviyesiz (referans) teflon kaplama numunesinin nano partikül takviyeli teflon kaplama numunelerine göre daha kaba taneli yüzey profiline sahip olduğu izlenimi vermektedir. Bunun daha iyi algılanabilmesi için objektif büyütme oranları artırılarak yeniden mikroskobik görüntü alınmıştır. Şekil 4.3' te daha büyük büyütme oranlarında alınan makro görüntülerden nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesinin nano partikül takviyeli teflon kaplama numunelerine göre daha kaba taneli yüzey profiline sahip olduğu açıkça gözlenebilmektedir. Bu durum nano gümüş takviyesinin teflon matrise bir etkisi olarak düşünülmektedir. Farklı kürlenme sürelerinde uygulanan kaplamalarda belirgin bir farklılık gözlenmemesine karşın referans numuneye göre takviyeli her iki kaplama yüzeyinin de daha ince taneli bir yapıya sahip olduğunu görülmektedir.



şekil 4.2. Numunelerin makro yüzey görüntüsü

Şekil 4.3'deki görüntülerde numune yüzeylerine ait detaylar daha net olarak kolaylıkla görülebilmektedir. Referans numunede kaba yapı takviyeli kaplama yüzeyine göre daha fazla girinti ve çıkıntı sergilemektedir. Tanesel yapılar arasında karşılaştırmada çukurların boyutu daha fazladır.



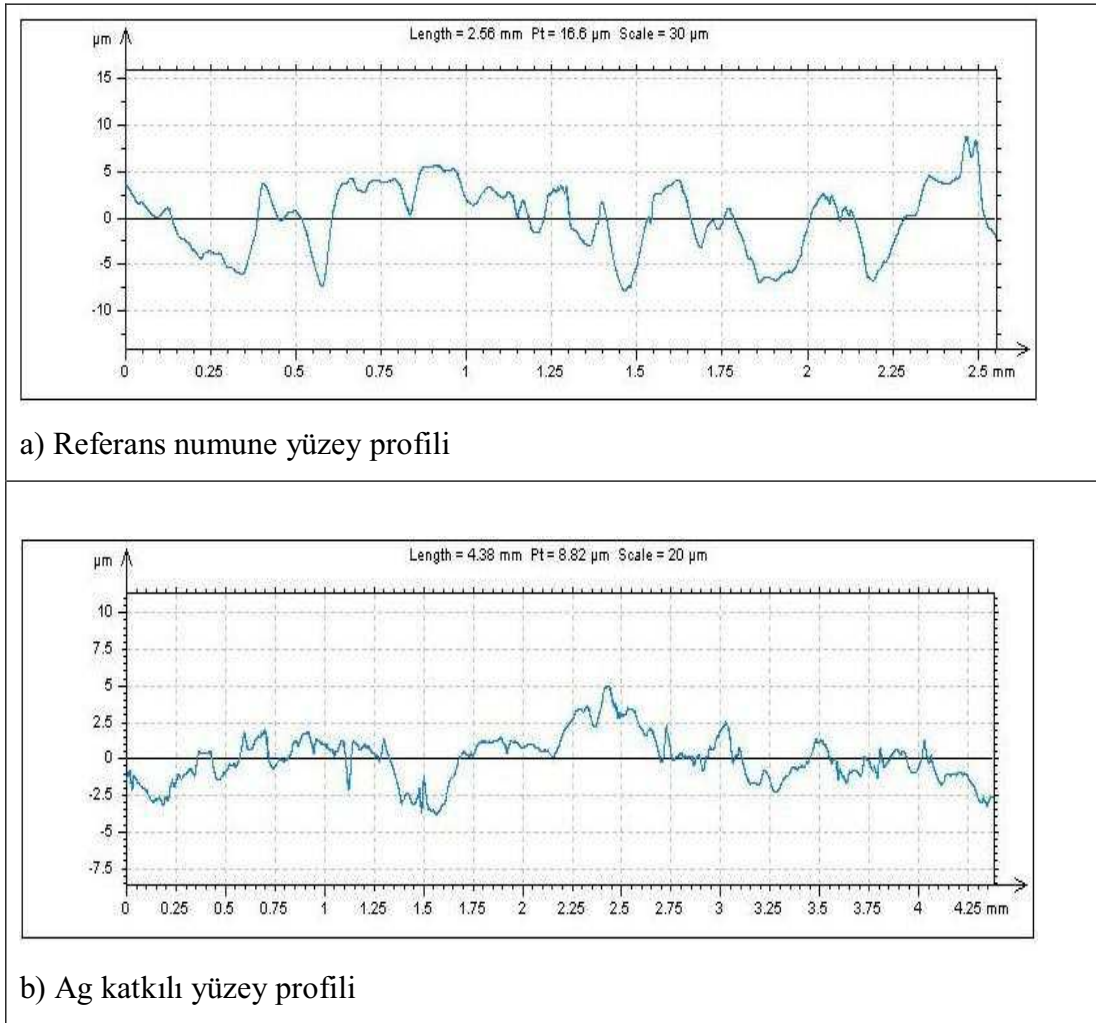
Şekil 4.3. Nano partikül takviyesiz (üst) ve takviyeli (alt) teflon kaplama numunesi üst yüzeyi

Sonuç olarak; makro görüntüleme tekniklerinin uygulandığı takviyeli/takviyesiz teflon kaplama numune yüzeylerinde homojen dağılım olduğu gözlenmiştir. Makro yüzey görüntülerinden anlaşılacağı üzere yüzey topolojisi açısından bir farklılaşmanın olduğu tespit edildi. Bu farklılaşma; partikül takviyesi olmayan teflon kaplamanın (referans), nano partikül takviyeli teflon kaplamaya göre daha kaba taneli yapılaşma oluşturmaktadır.

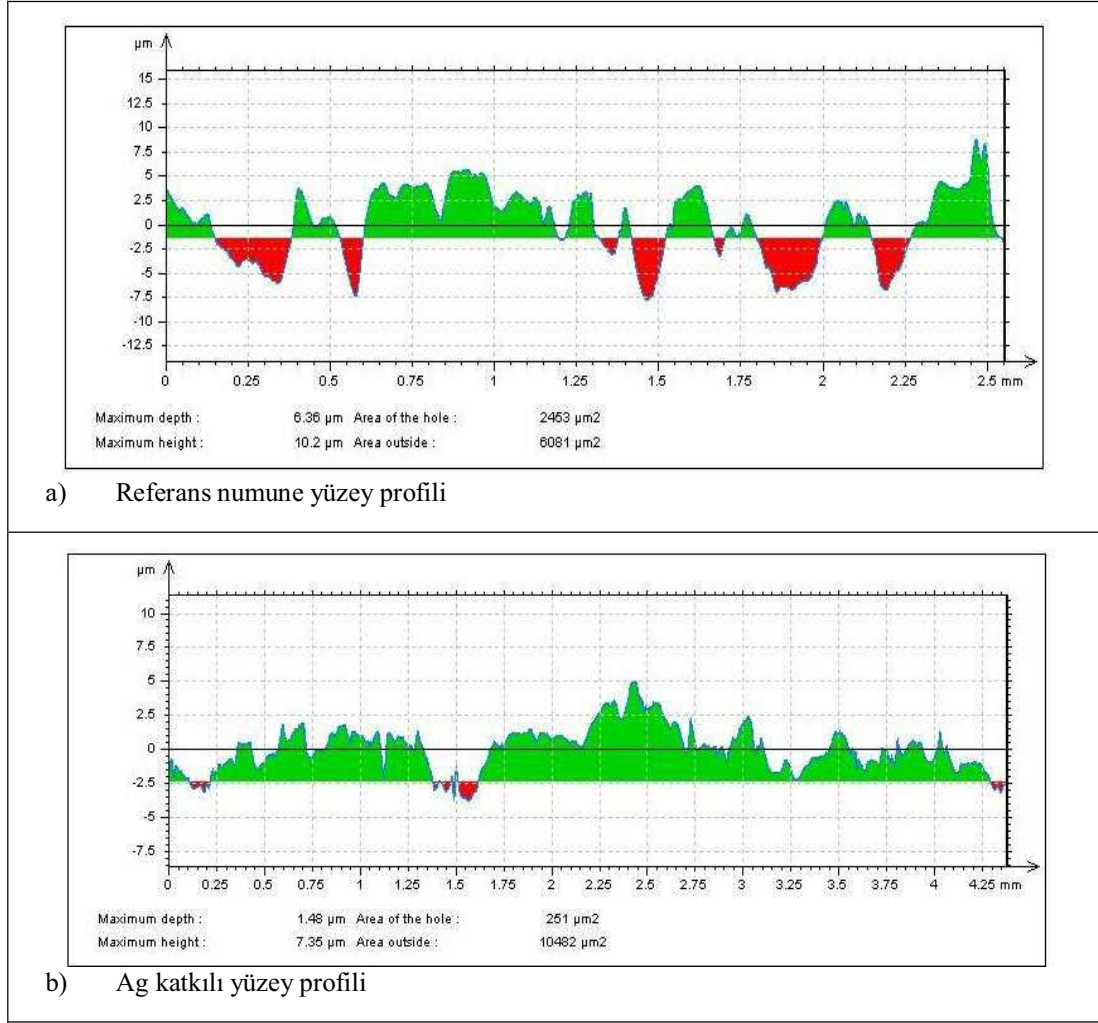
4.5. Yüzey Profil İnceleme

Makro inceleme sonucuna göre numunelerin topolojik özellikleri incelenerek, yüzey profilleri incelendi. Şekil 4.4 ile numuneler arasında yüzey pürüzlülük grafikleri karşılaştırılmaktadır. Grafiklere göre nano partikül takviyesi olmayan referans teflon numune yüzey pürüzlülüğünün, nano partikül takviyeli teflon numuneye göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Referans numune yüzeyindeki girinti ve

çukurcuk seviyeleri takviyeli yüzeye göre daha fazla ve derindir. Şekil 4.5’de numunelere ait yüzey profilinde tespit edilen maksimum yükseklik ve derinlik değerlerini gösteren grafikler karşılaştırılmaktadır. Grafiklere göre nano partikül takviyesi olmayan referans teflon numune maksimum yüzey profili noktalarının, nano partikül takviyeli teflon numuneye göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

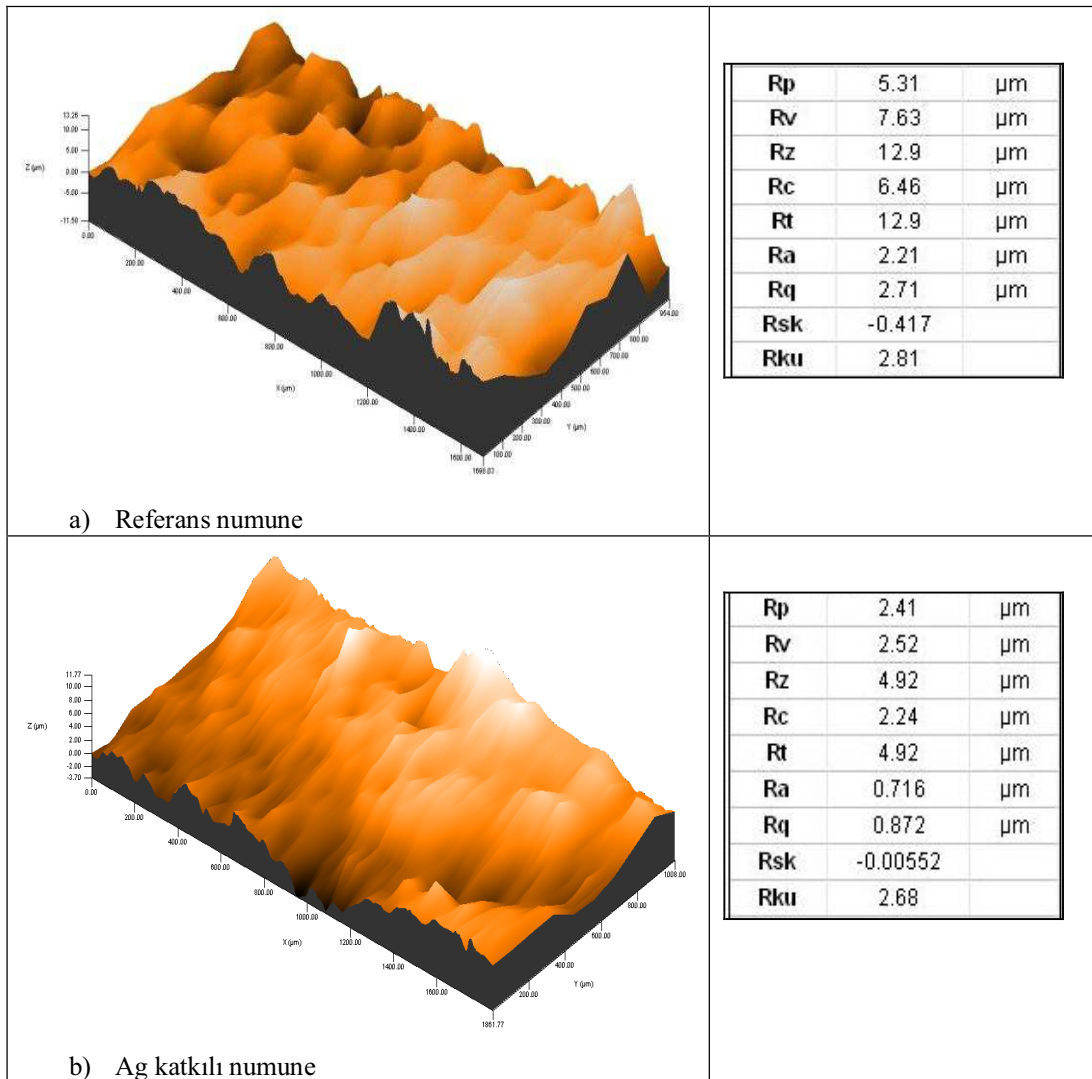


Şekil 4.4. Nano partikül takviyeli/ takviyesiz teflon kaplama numuneleri üst yüzey profilleri



Şekil 4.5. Nano partikül takviyeli/siz teflon kaplama yüzeyinde girinti ve çıkıntı derinlikleri

Şekil 4.6'da numunelere ait yüzey profili üç boyutlu olarak ortaya çıkarıldığında farklılık daha da belirginleşmiştir. Numunelere ait üç boyutlu görüntüler karşılaştırıldığında görüntülere göre nano partikül takviyesi olmayan referans teflon numune yüzey profilinin, nano partikül takviyeli teflon numuneye göre daha kaba yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Nano partikül takviyeli/sız teflon kaplama numunesi üst yüzeyi

Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere nano gümüş partikülü takviyesi, teflon kaplama yüzeyinde tane inceltici ve yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı rol oynamaktadır. Bu durum, nano Ag takviyesi teflon sıvısının viskozitesini arttırması sonucu kütleme işlemi esnasında buharlaşma hızının azaldığı ve böylece yüzey pürüzlülüğünün azalma yönünde davrandığı şeklinde yorumlanmaktadır.

4.6. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kesit İnceleme ve Element (EDX) Analizi

Tarama Elektron Mikroskobu ile mikroyapı ve kaplama kalınlık incelemesi yapılması amacıyla metalografik numune hazırlama yöntemleri işlemlerine tabi

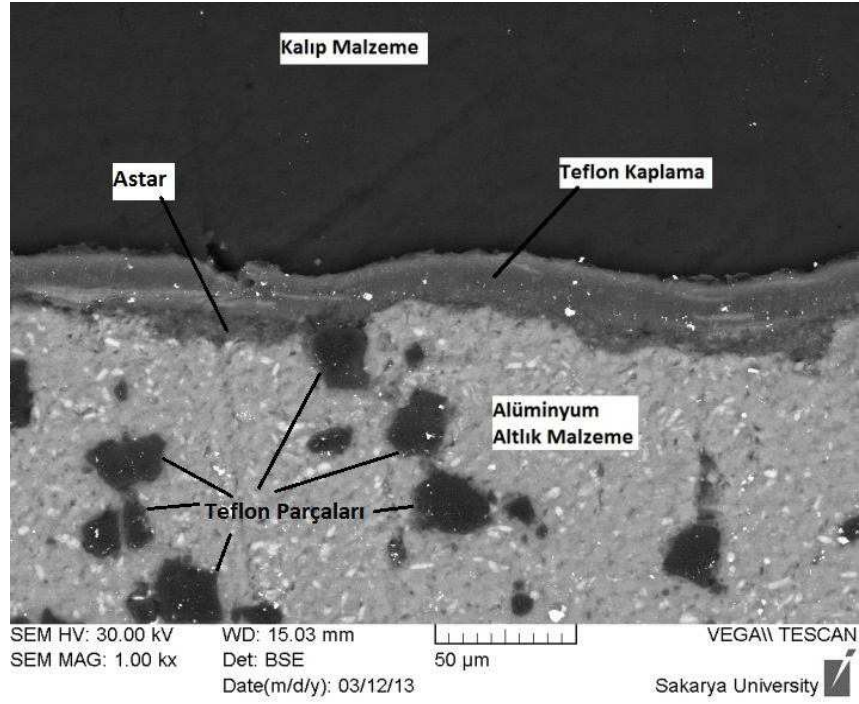
tutulmuştur. Öncelikle her bir numuneden alınan temsili parçalar, kesitten inceleme yapılacak şekilde reçine içinde soğuk kalıplama yöntemi ile kalıplandı. Bu işlem sonrasında 160, 320, 600 ve 1000 mesh numaralı zımparalar kullanılarak yüzey zımparalama işlemi gerçekleştirildi. Son olarak parlatma kumaşı üzerinde aşındırıcı elmas sıvı yardımı ile yüzey parlatılarak mikroyapı incelemesi için hazır duruma getirilmiştir. Tarama Elektron Mikroskobu'nun (SEM) 'Backscatter' modu kullanılarak alınmış ve kesit yüzeyi başarı ile incelenmiştir.

Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile numunelerin kesitinde yapılan mikroyapı incelemesinde alınan görüntüler alüminyum altlık malzeme üzerine yapılan astar kaplama ve teflon kaplamayı belirtmektedir. Basınçlı hava ile spreycaplama yönteminin avantajı olan pürüzsüz sürekli yapı, dezavantajı olan kontrolsüz kalınlıktaki kaplama kesiti tespit edildi.

Metalografik numune hazırlama aşaması olan zımparalama işlemi esnasında teflon kaplama tabakasından kopan parçaların, alüminyum altlık malzeme kesiti üzerine sıvandığı görülmektedir.

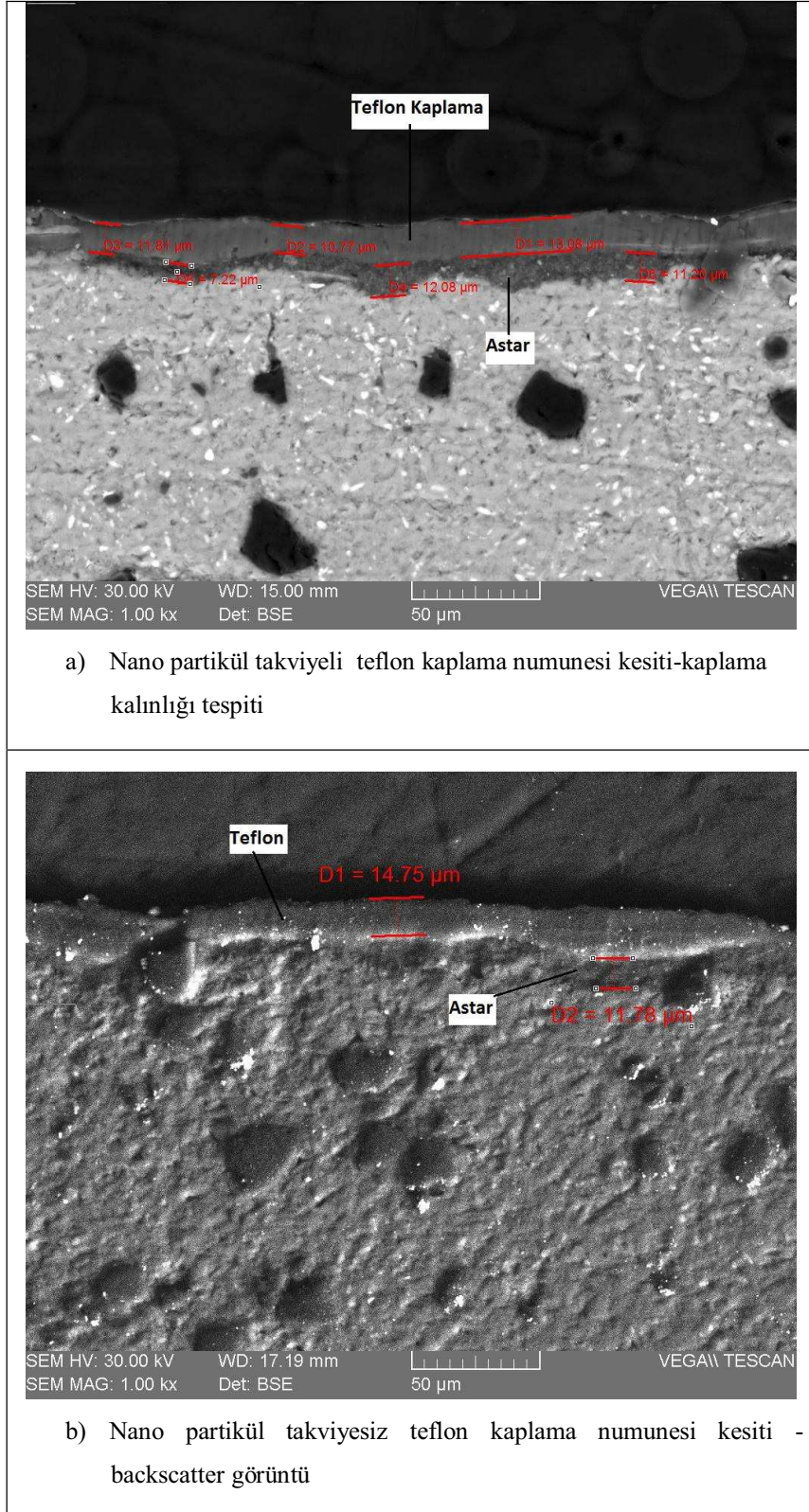
4.6.1. Takviyesiz teflon kaplama numunesinin (referans numune) SEM ile kesit incelemesi ve EDX analizi

SEM ile takviyesiz teflon kaplama numunelerin kesitinde yapılan mikroyapı incelemesinde alüminyum altlık malzeme, altlık üzerine numune hazırlama işlemleri sırasında sıvanan kopmuş teflon parçaları, altlık üzerine yapılan astar kaplama (TiO_2), teflon (PTFE) kaplama kesitleri görülmektedir (Şekil 4.7).



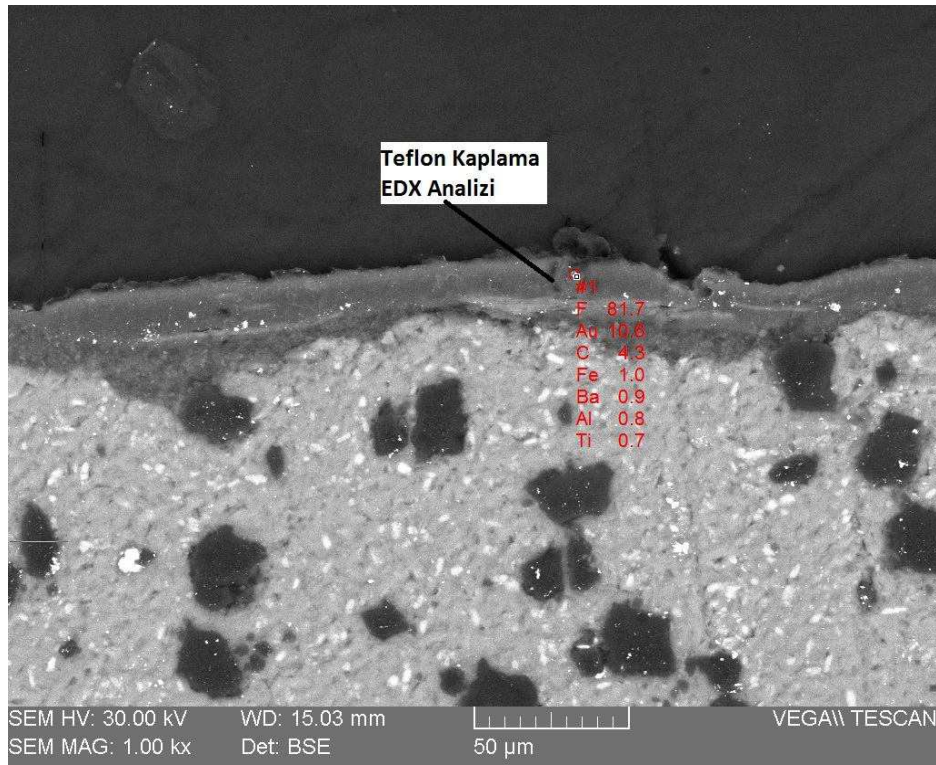
Şekil 4.7. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi kesiti

Şekil 4.8’de astar ve teflon kaplama kalınlıkları tespit edilmiştir. Astar kaplama kalınlığı 7-12 μm , teflon kaplama kalınlığı 10-15 μm arasında değişmektedir. Böylece altlık malzeme üzerinde toplamda 20-25 μm kalınlığında kaplama tabakası bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Teflon kaplama numunesi kesiti-kaplama kalınlığı tespiti

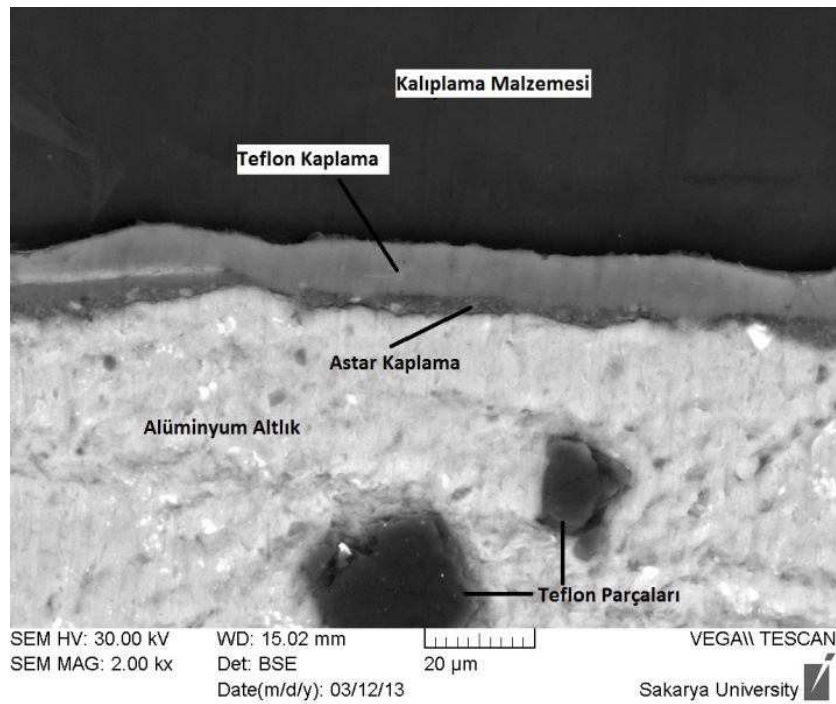
Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile numunelerin kaplama kesitinde Enerji Dağılımlı X-ışını Analizi (EDX) yapılarak teflon kaplama element analizi gerçekleştirildi. Yapılan element analizinde teflon kaplama bileşenlerine ait % 81.7 F, % 4.3 C elementleri tespit edilmiştir. Kaplamanın iletkenliğini artırmak ve elektron mikroskobunda daha net görüntü elde etmek amacıyla yüzeye ince bir film tabakası şeklinde Au kaplanmıştır. EDX analizinde elde edilen değerler kaplama ana malzemesi teflon (PTFE) yapısındaki F ve C elementleri olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi EDX analizi

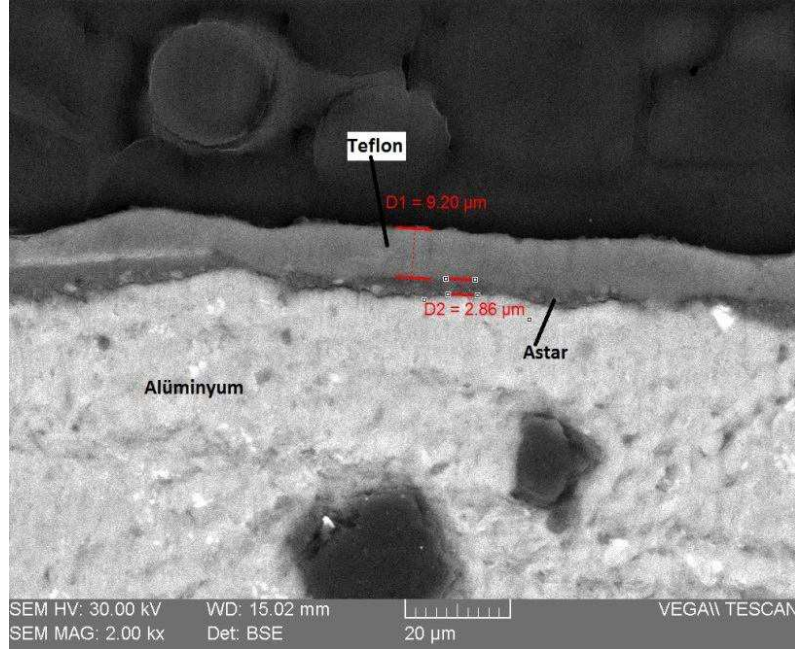
4.6.2. Nano Ag partikülü takviyeli teflon kaplama numunesinin SEM ile kesit incelemesi ve EDX analizi

SEM ile nano gümüş partikülü takviyeli, 6 dk kürleme yapılmış teflon kaplama numunelerinin kesitinde yapılan mikroyapı kesit incelemesinde alüminyum altlık malzeme, altlık üzerine numune hazırlama işlemleri sırasında sıvıya kopmuş teflon parçaları, altlık üzerine yapılan astar kaplama, teflon kaplamayı ve kalıplama malzemesi tespit edildi (Şekil 4.10).



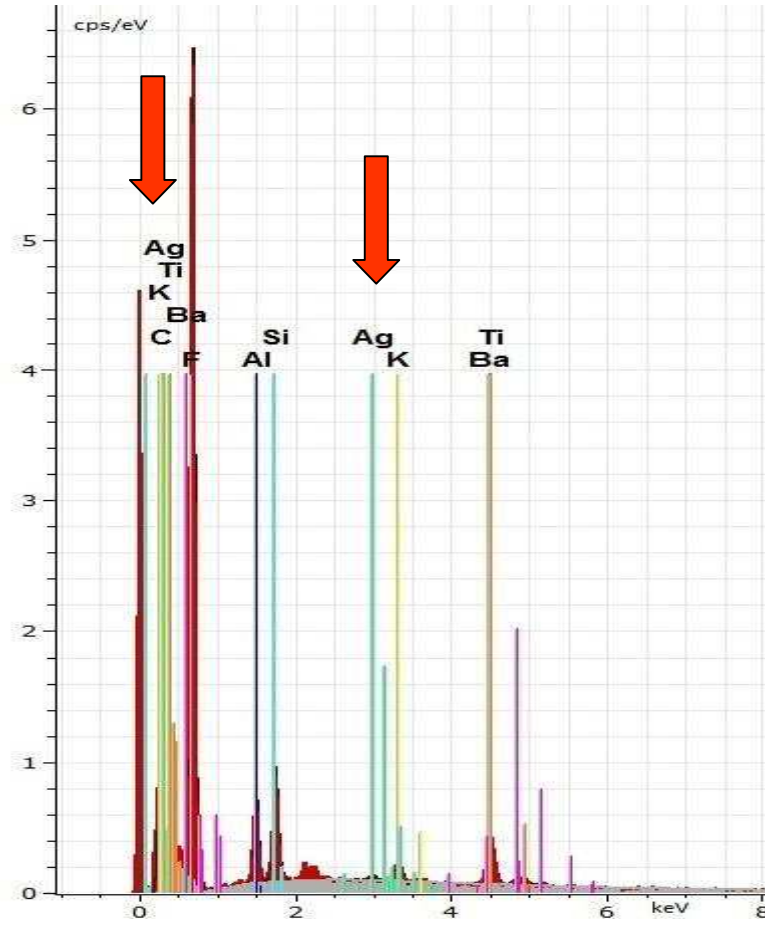
Şekil 4.10. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti

Şekil 4.11’de astar ve teflon kaplama kalınlıkları tespit edildi. Astar kaplama kalınlığı en ince olduğu noktada 2,86 μm , teflon kaplama kalınlığı 9,2 μm ölçülmüştür.



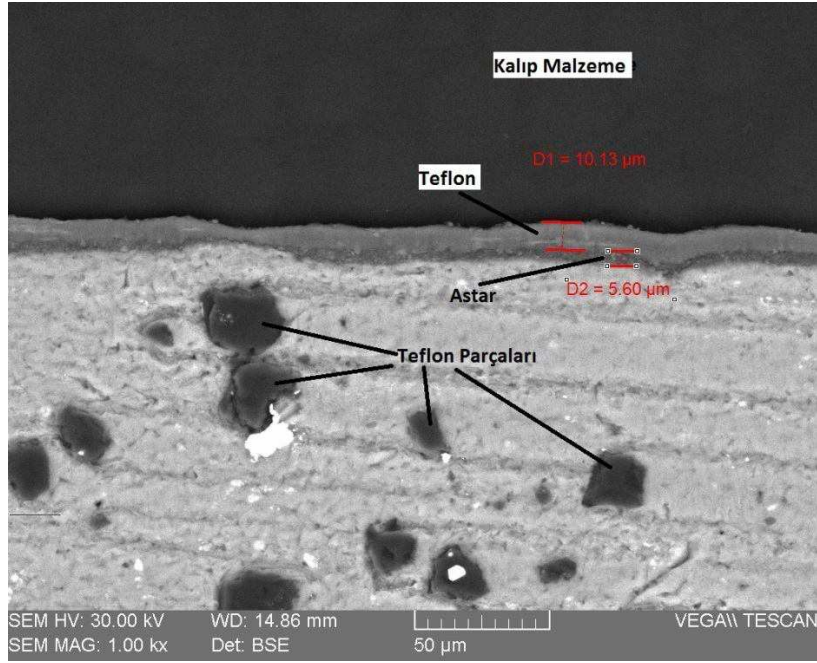
Şekil 4.11. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti-kaplama kalınlığı tespiti

Ag takviyeli teflon kaplama kesitinde EDX analizi yapılarak nano gümüş partikül takviyesini varlığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan element analizinde teflon kaplama bileşenlerine ilaveten takviye edilen gümüş (Ag) elementinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi EDX analizi

SEM ile nano gümüş partikülü takviyeli, 8 dk kürleme yapılmış teflon kaplama numunelerinin kesitinde Şekil 4.13’de astar ve teflon kaplama kalınlıkları ölçülerek Astar kaplama kalınlığı 5,6 μm , teflon kaplama kalınlığı 10,1 μm olmak üzere toplam 15-20 μm kaplama tabaka kalınlığı belirlenmiştir. Altlık, astar ve teflon kaplama ara yüzlerinde iyi bir yapışma olduğu, kesit bölgelerinde çatlama olmadığı tespit edilmiştir.

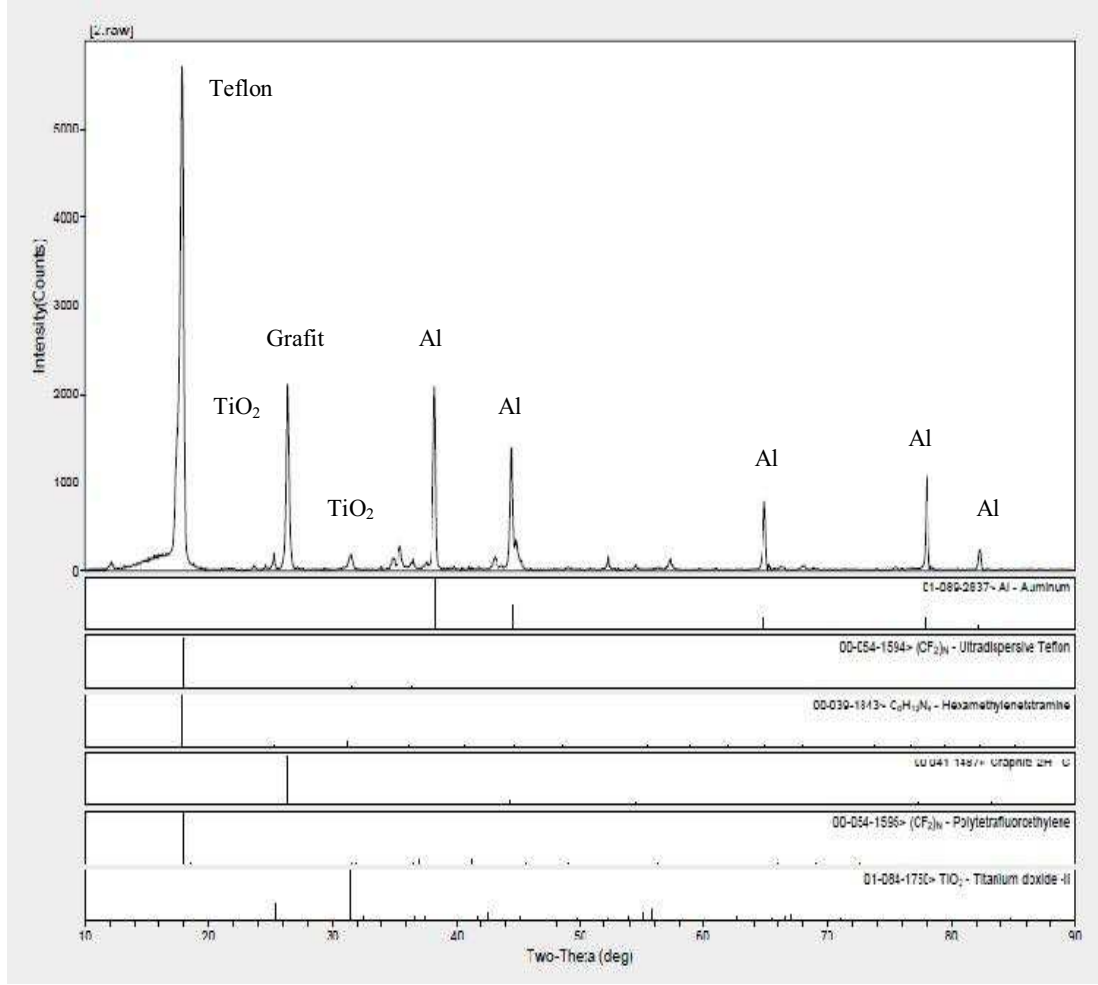


Şekil 4.13. Nano partikül takviyeli teflon kaplama numunesi kesiti

4.7. XRD ile Faz Analizi

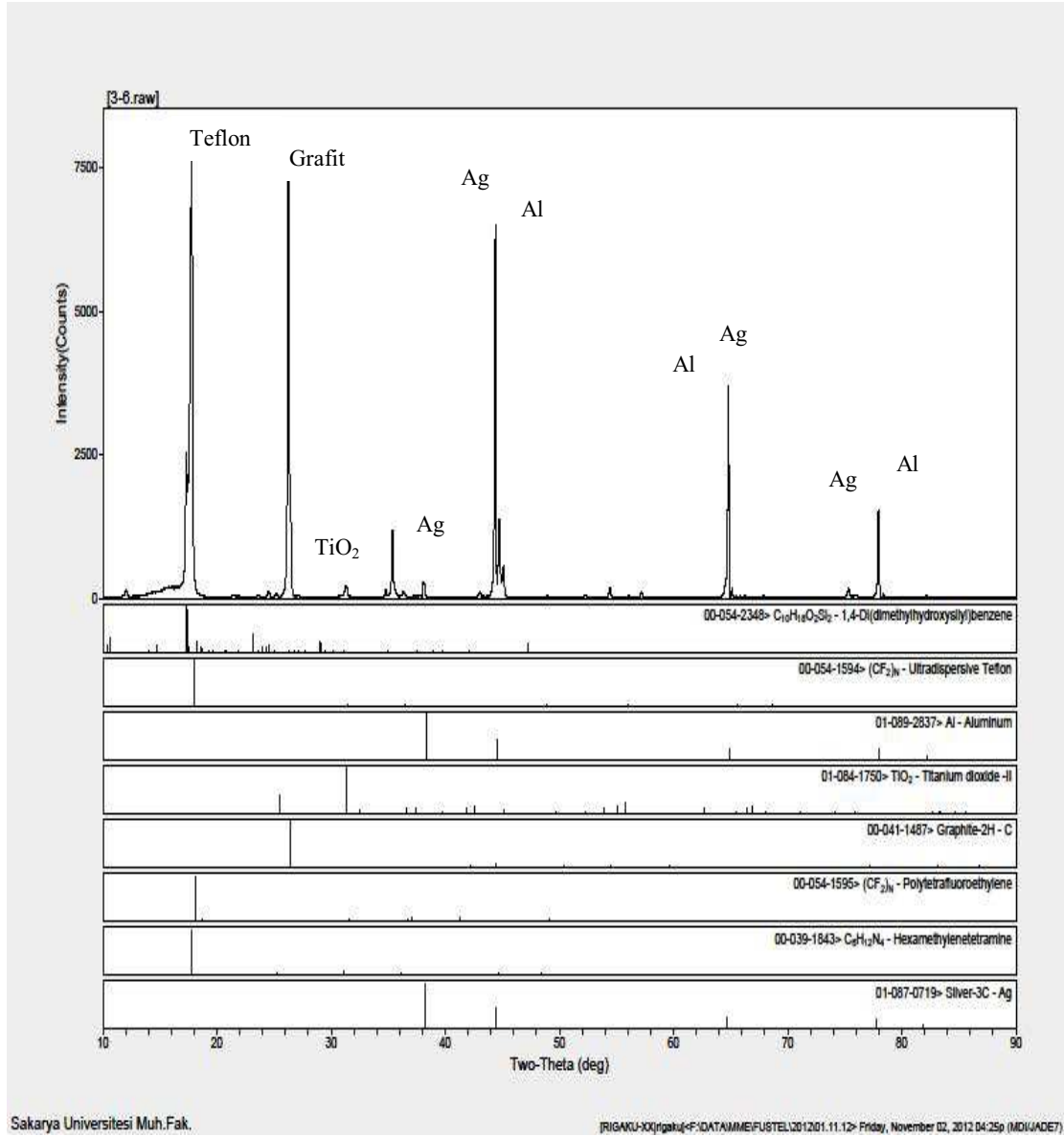
Takviyesiz Teflon Kaplama (Referans numune) ve nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunelerine X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak faz analizi gerçekleştirildi. Takviyesiz teflon kaplama numunesi ait faz analizi sonucu Şekil 4.14'de verilmektedir. Görüleceği üzere yapı kristalin bir faz yapısına sahiptir. Amorflaşma gözlenmemiştir. Teflon kristalin fazı piki analizde 10-20o aralığında gözlenmektedir.

Teflon kaplama bileşeni PTFE fazı ile astar kaplama bileşenleri diğer floropolimer fazları birleşik pik ile gösterilmektedir. Diğer astar kaplama bileşenleri grafit (C) ve TiO_2 'dir. Bu bileşenlere ait faz pikleri görülmektedir. Ayrıca XRD analiz paternlerinde görülen alüminyum (Al) fazı varlığı ise; ince teflon tabakasından dolayı X-ışınlarının altlık malzemeye ulaştığı şeklinde yorumlanmıştır.



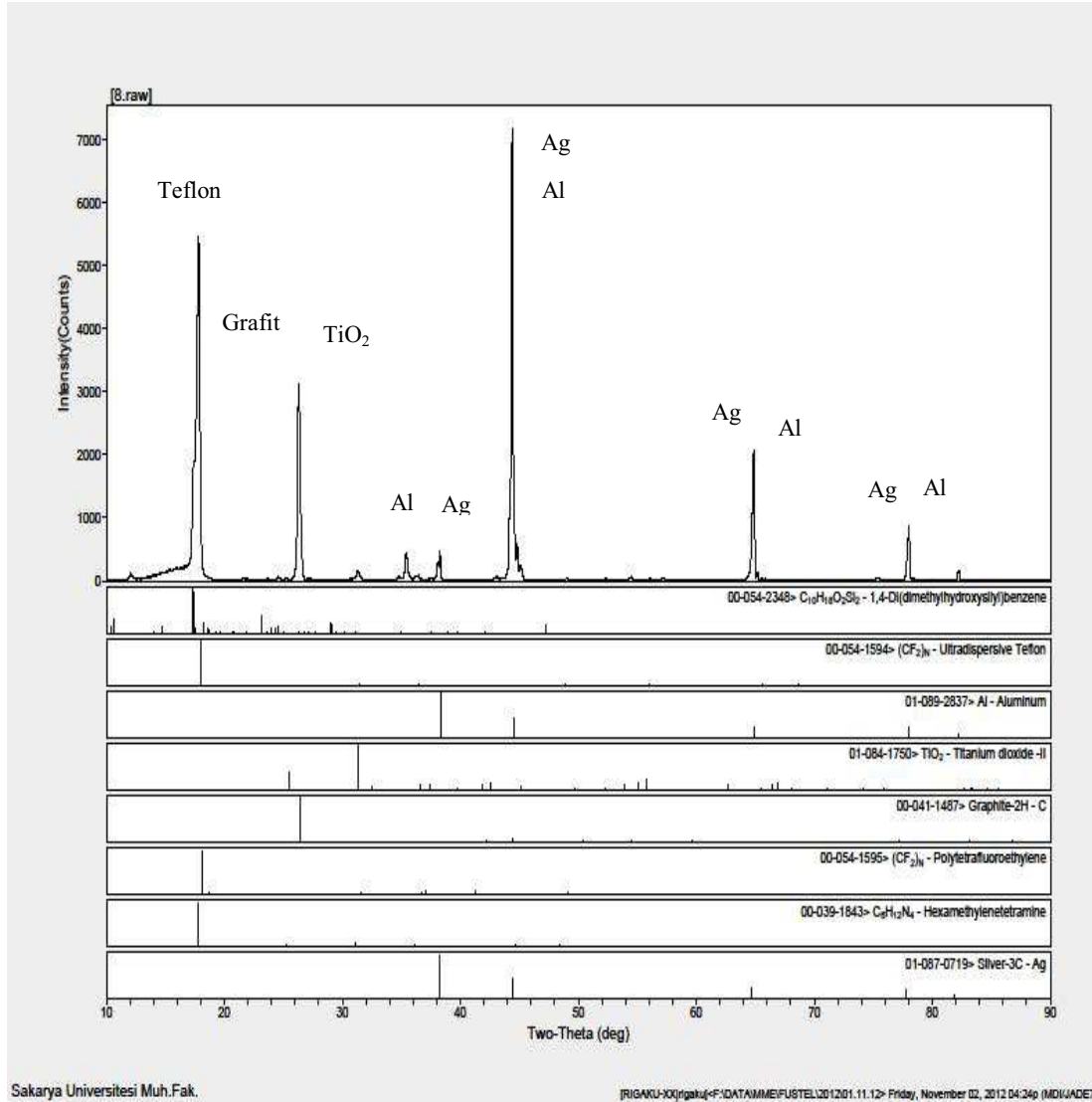
Şekil 4.14. Referans teflon kaplama numunesi XRD faz analizi

Nano gümüş (Ag) partikülü takviyeli teflon kaplama numunelerinin faz analizi sonuçlarında ise takviyesiz teflon kaplama numunesinden farklı olarak takviyeli teflon kaplamalarda kristalin kısmen farklı faz yapıları gözlenmiştir. Ana yapıda Ag dope elementlerinin mevcudiyeti gözlemlenebilmektedir. Yapı tümüyle kristalin bir faz yapısına sahiptir. Gümüş (Ag) fazı, alüminyum fazı ile aynı kırınım enerjisine sahip olması sebebi ile analiz paternlerinde birbirine yakın veya birleşik pik olarak görülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi (6 dk kürlenme) XRD Faz Analizi

Kürleme süresinin faz dönüşümüne etkisi de XRD paternlerinde gözlenmektedir. Kürleme süresinin artışı kaplama yapısında kristalin teflon faz piklerinin seviyesinin kısmen düşmesine yol açmıştır (Şekil 4.16).

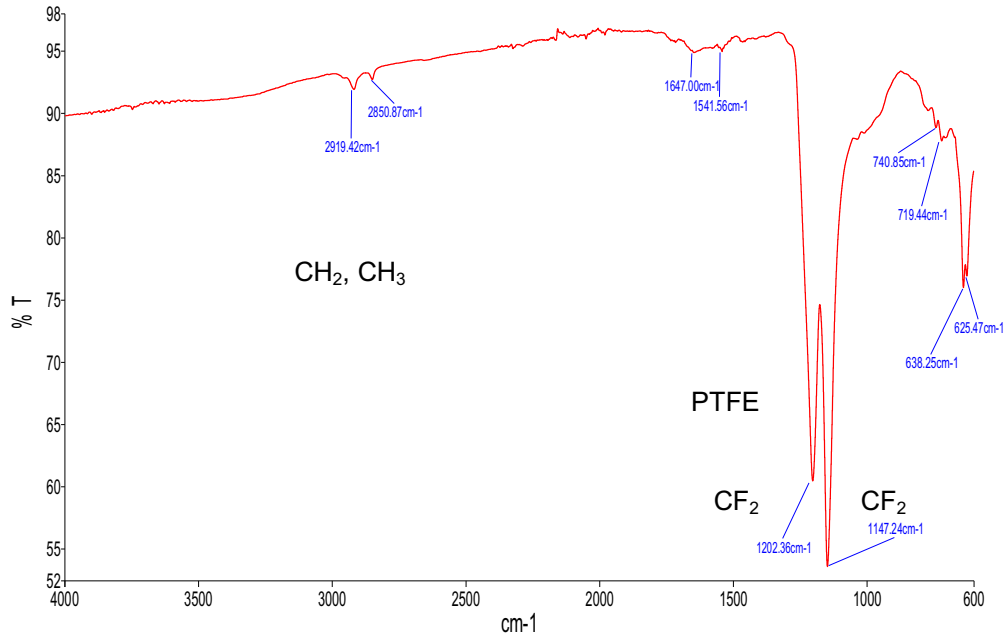


Şekil 4.16. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi (8 dk kürleme) XRD Faz Analizi

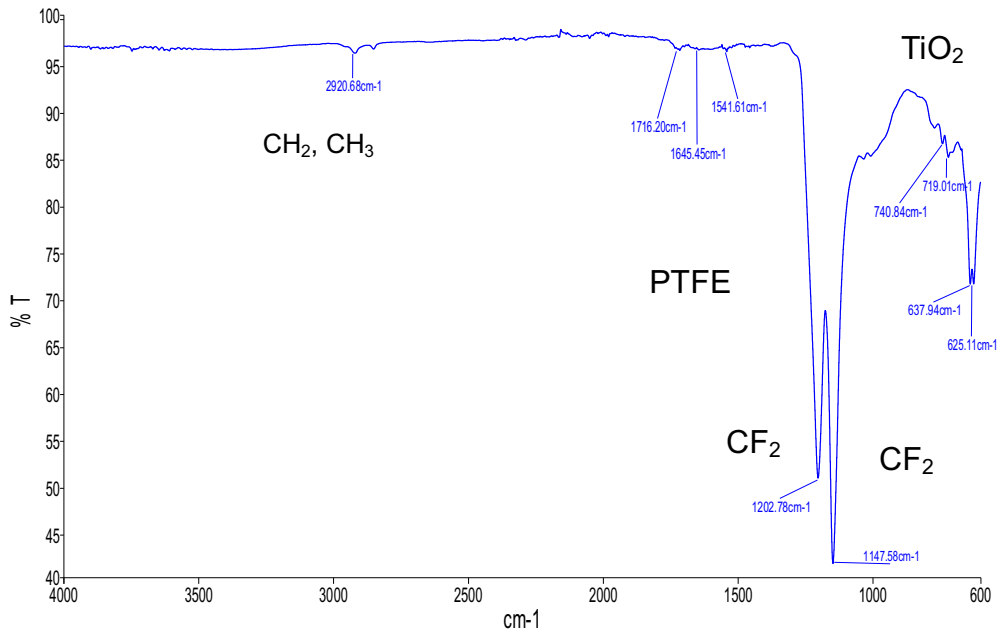
4.8. Infrared spektrokopisi (FTIR) ile yapı analizi

Ag Takviyeli ve takviyesiz teflon kaplama numunelerinin infrared (IR) spektrumunu ile Ag metali ile teflon arasında bir bağ oluşup oluşmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanında yapılan incelemelerde kaplama yapısında hangi fonksiyonel grupların bulunduğunu ve molekül içindeki bağ türlerinin belirlemek amacıyla ATR-FTIR analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde kaplamanın kızıl ötesi (infrared) ışınları absorblanma kabiliyetine bağlı olarak yapısal özellikleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır.

IR bölgesi 2500–15000 nm (4000 – 650 cm^{-1}) aralıdır. IR bölgesinin 4000 – 1300 cm^{-1} arasındaki bölgede karşılaşılan pikler moleküldeki çeşitli fonksiyonel gruplara ait belirgin teflon pikleridir (Şekil 4.17). Ag katkıli kaplamada da benzer alanda gözlenmiştir (Şekil 4.18). [18]

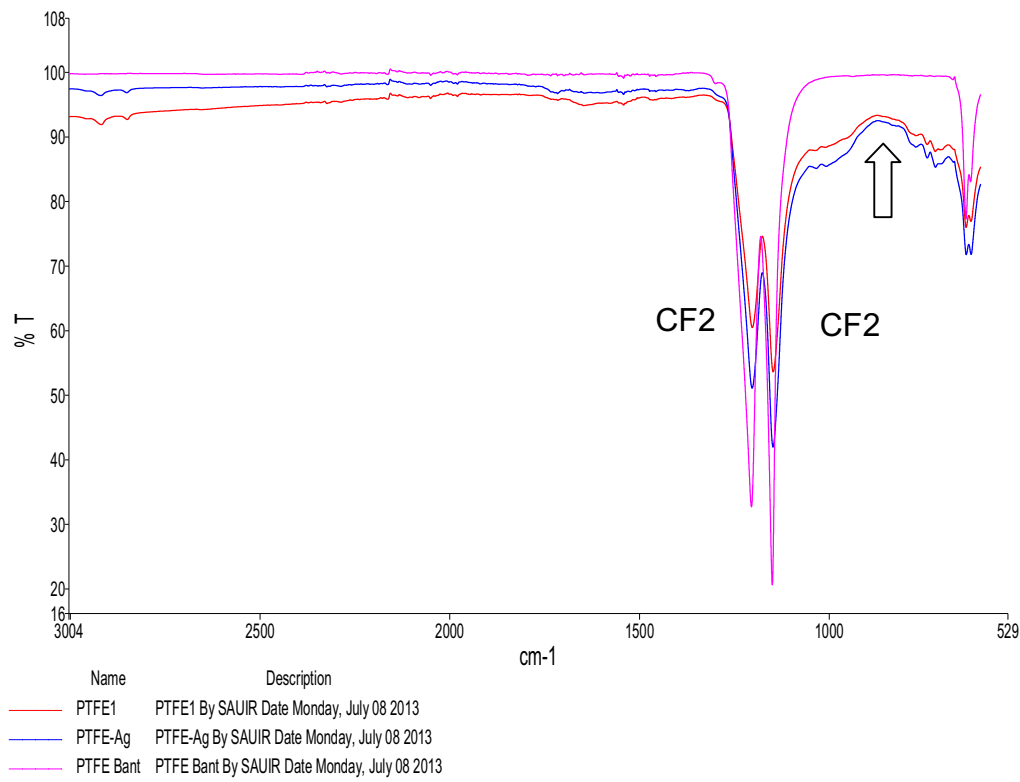


Şekil 4.17. Nano partikülü takviyesiz teflon kaplama numunesi (referans numune) FTIR analizi



Şekil 4.18. Nano partikül (Ag) takviyeli teflon numune (kaplama haliyle) FTIR analizi

Şekil 4.19'da FTIR analizi sonuçları aynı diyagram üzerinde karşılaştırma yapmak üzere konumlandırılmıştır. En üst eğri saf- PTFE bantın analizidir. Hemen altındaki eğri Ag katkılu kaplamanın, onun altında ise referans numunenin grafiğini sergilemektedir. Teflon pikleri,tüm eğrilerde hemen hemen aynı noktalarda yer almıştır. Ok ile gösterilen bölge teflon banttan farklı bir boyun vermiştir. Bu bölge genellikle oksit esashı astar yapısının varlığından meydana geldiği belirlenmiştir. Ag takviyesinin teflon ile bir bağ yapısı gözlenmemiştir. Bu durumda polimer zincirleri ile Ag metal iyonları arasında bir kimyasal bağ oluşmadığını göstermektedir. [18]

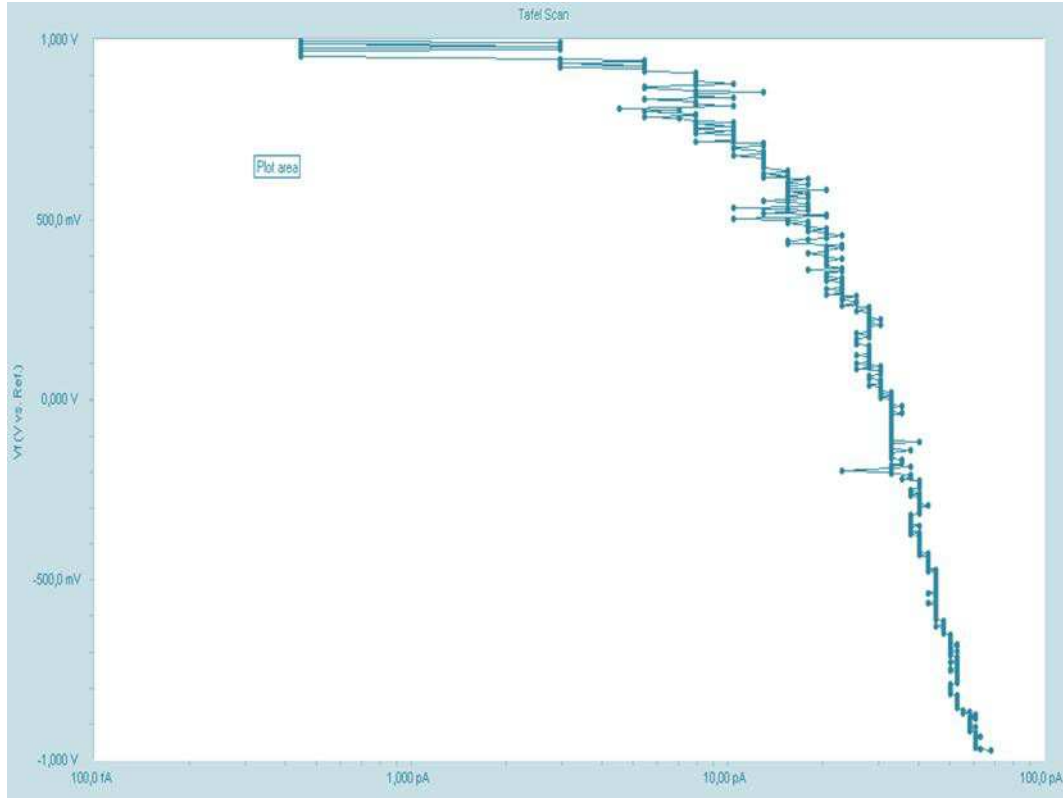


Şekil 4.19. FTIR analizi ile kütsel PTFE ve kaplama PTFE karşılaştırması

4.9. Korozyon Testi

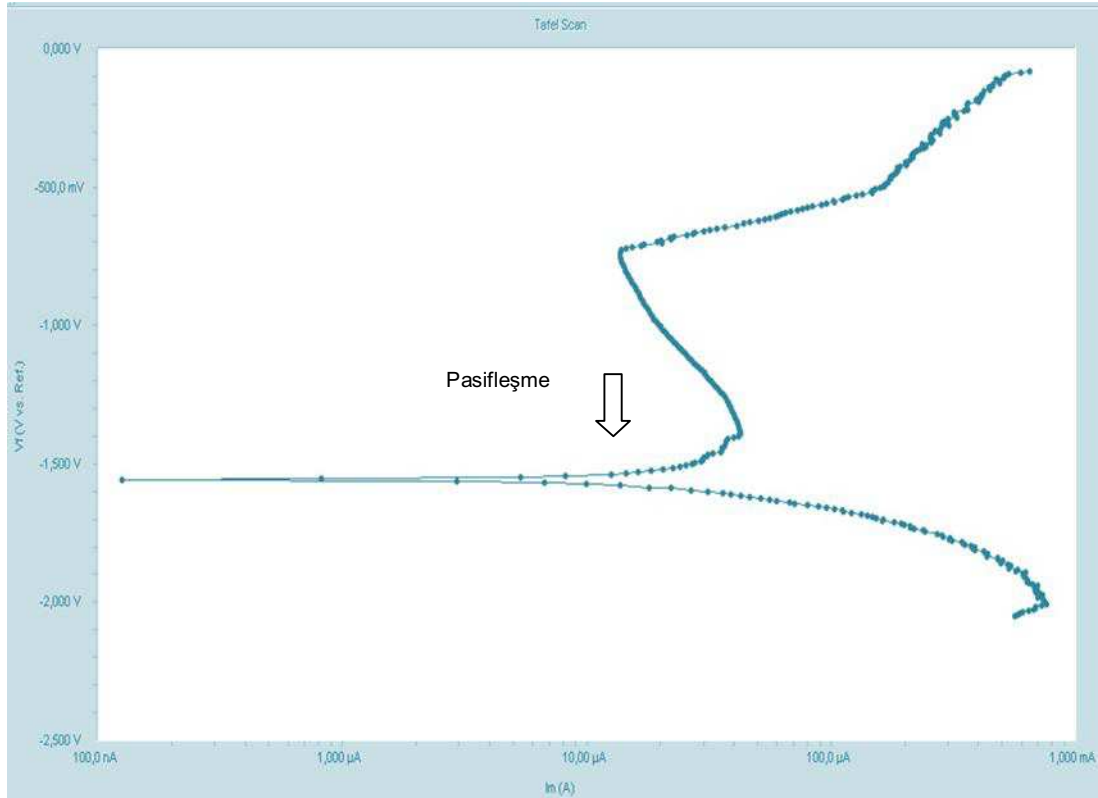
Teflon kaplı numunelerin korozyon dayanımının incelenmesi ve Ag katkısının etkisini belirlemek amacıyla elektrokimyasal korozyon testi uygulanmıştır. Test düzeneği olarak; 0.5 mol NaCl tuz ile saf su karıştırılarak 2000 ml karışım elde edildi ve elektrolit olarak kullanıldı. Korozyon hücresinde referans elektrot olarak KCl çözeltisinde doymuş Ag/AgCl elektrot, katot görevindeki yardımcı elektrot olarak ise

grafit kullanıldı. Anot görevine ise teste tabi olan numuneler yerleştirildi. Karışımın etki edeceği numune yüzeyi 2 cm^2 olarak ayarlandı. Test başlangıç gerilimi -1 V , bitiş gerilimi $+1 \text{ V}$ uygulandı. Tarama hızı olarak 5 mV/s sabit tutuldu. Korozyon testi her bir numuneye 1200 s uygulandı. Test sonrasında elde edilen potansiyel eğrileri aşağıda verilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Takviyesiz teflon kaplama numunesi OCP eğrisi

Şekil 4.20’de referans numunenin potansiyel eğrisi görülmektedir. Belirli bir akım seviyesine kadar eğri sabit akım ve voltaj eğrisi göstermiş akım şiddetinin artması ile birlikte potansiyelin düştüğü görülmektedir. Takviyesiz teflon kaplama numunesi yalıtkanlık ve inertlik özelliğinden dolayı bir polarizasyon göstermemiştir. Kaplama yapısının inert karakteri tuzlu su ortamına karşı dayanıklı olduğunu açıklamaktadır.



Şekil 4.21. Nano gümüş takviyeli teflon kaplama numunesi potansiyel eğrisi

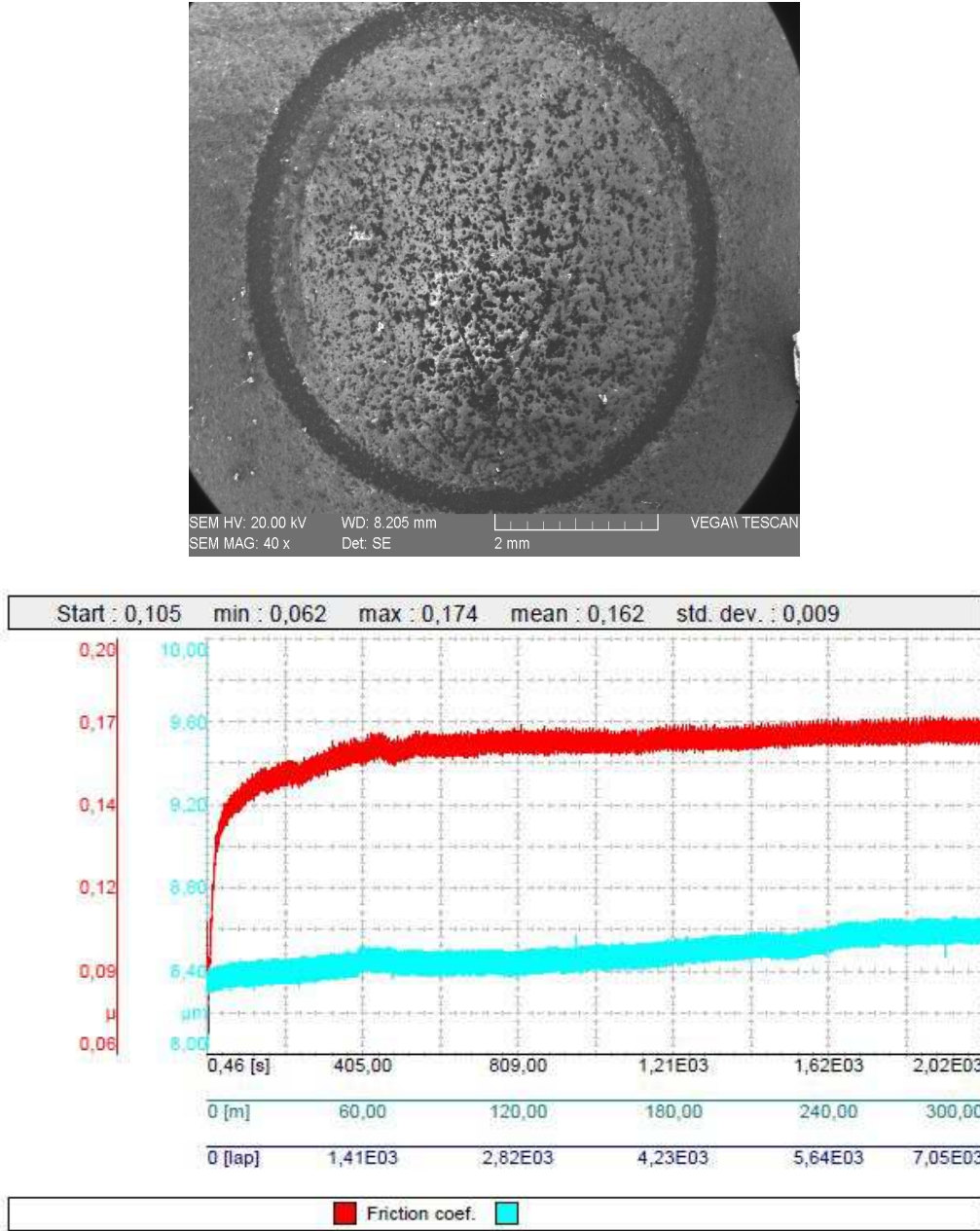
Nano gümüş takviyeli teflon kaplama numunesinde 1,560 V gerilim altında korozyon ürünü birikerek pasifleşme tespit edildi (Şekil 4.21). Sonuç olarak; gümüş iyonunun elektrik iletkenliği sağlaması sonucunda nano gümüş takviyeli teflon kaplamalarda korozyon testi uygulanabildiği tespit edilmiştir. Bu durum Ag katkısının kaplama yapısında varlığını da işaret etmektedir. Element analizinde yeterli sonuç vermeyen Ag varlığı, potansiyostat testlerinde iletkenlik artışı ile kendini göstermiştir.

4.10. Tribolojik Davranışlar ve Aşınma Performansı

Teflon kaplı numunelerin sürtünme katsayısının tespiti, aşınan yüzeylerin mikro görüntüleme ile incelenmesi ve aşınma kayıplarının değerlendirilmesi amacıyla ASTM G133 ve G65 Ball on aşınma testi metotları uygulanmıştır. Bu şekilde kaplamanın tribolojik özellikleri ball on disk testi ile incelenmeye çalışılmıştır.

Aşındırıcı olarak 10 mm çapında alümina kürenin kullanıldığı ball on disk test düzeneğinde diğer parametreler; radius 6,78 mm, test hızı: 0,15 m/s, normal yük 5 N olarak ayarlanmıştır. 25 °C'lik kuru ortam şartlarında gerçekleşen aşınma testi

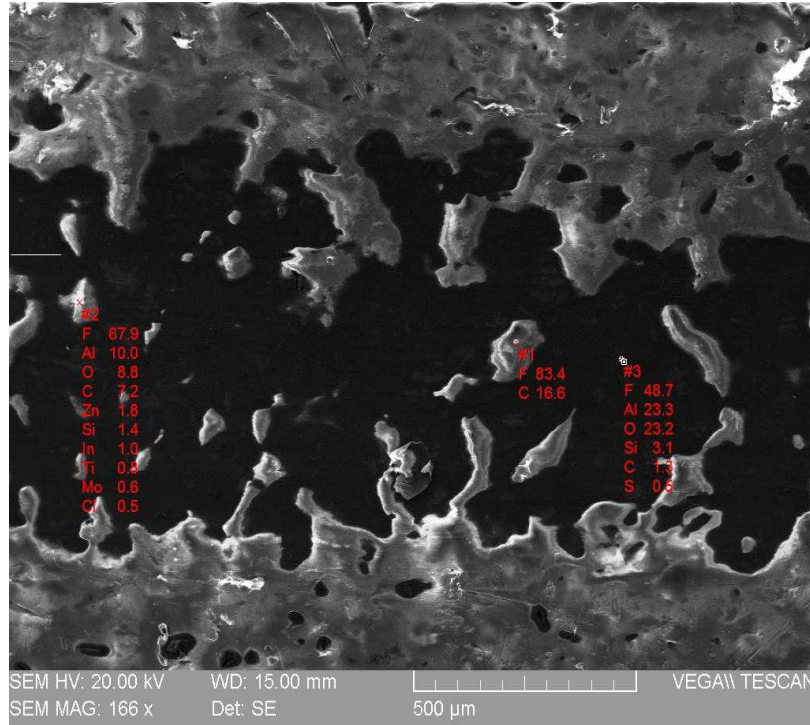
sonrası takviyesiz referans teflon numunesinde elde edilen aşınmış yüzey Şekil 4.22'de sergilenmektedir. Aşınma testi sonrası nano partikül takviyesiz referans teflon numune sürtünme katsayısı 0,162 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.22. Partikül takviyesiz referans teflon numunesi aşınma yüzeyi ve sürtünme katsayısı değişimi

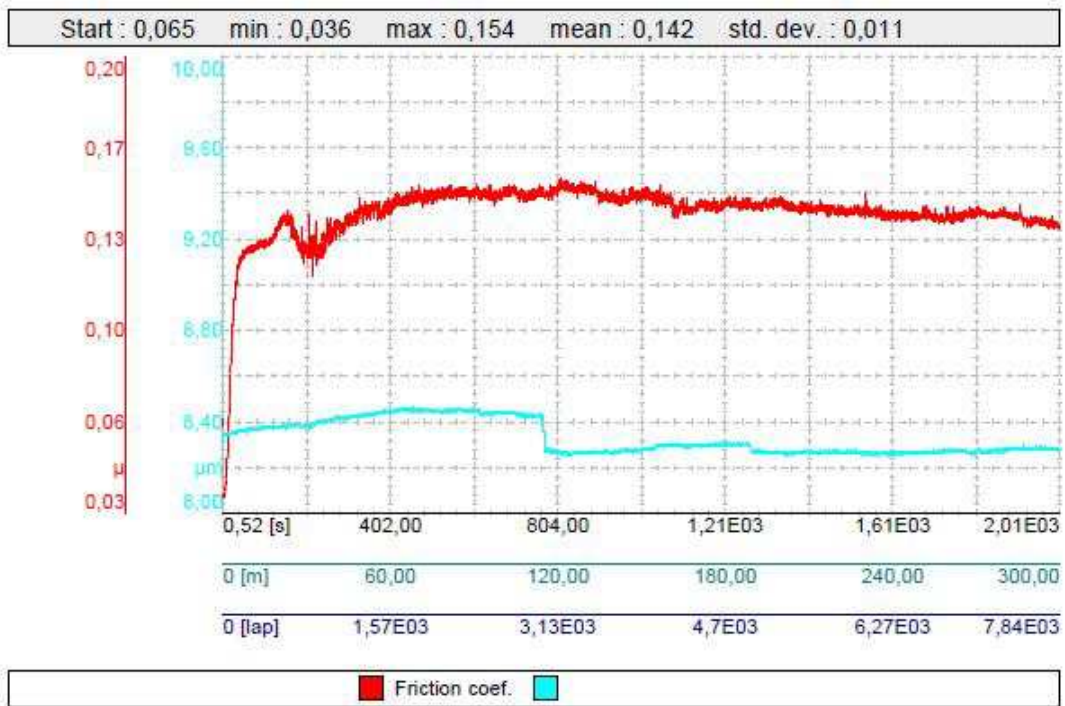
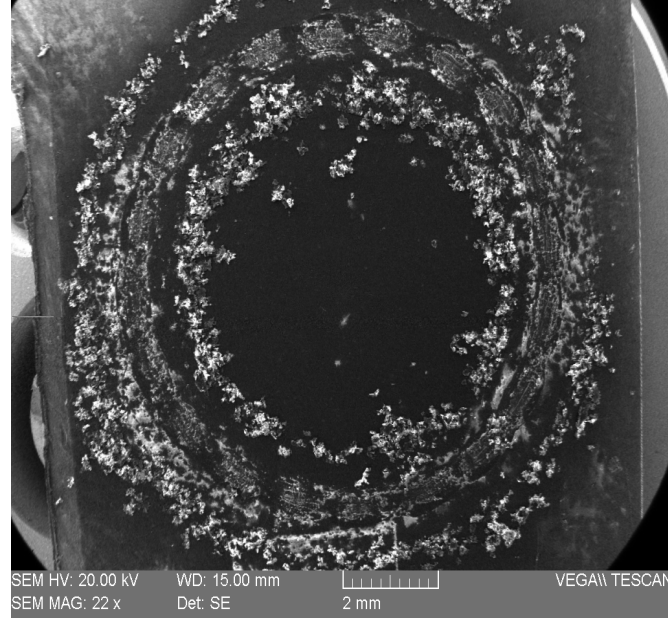
Aşınma yüzeyi tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelendiğinde (Şekil 4.23) aşınan yüzeylerde polimerik matrisin yırtılarak aşınma gösterdiği ve artan aşınma ile birlikte düzgün bir hat boyunca aşınma izi kesintisiz olarak görülmektedir. Yapılan

EDX analizinde kaplama yapısından ve aşındırıcı alümina bilyadan eser miktarda yüzeyde kalıntı kaldığı tespit edilmiştir. Element analiz sonucunda F: %67.9, Al: %10, C: %7.2, O: 8,8 olarak tespit edilmiştir.



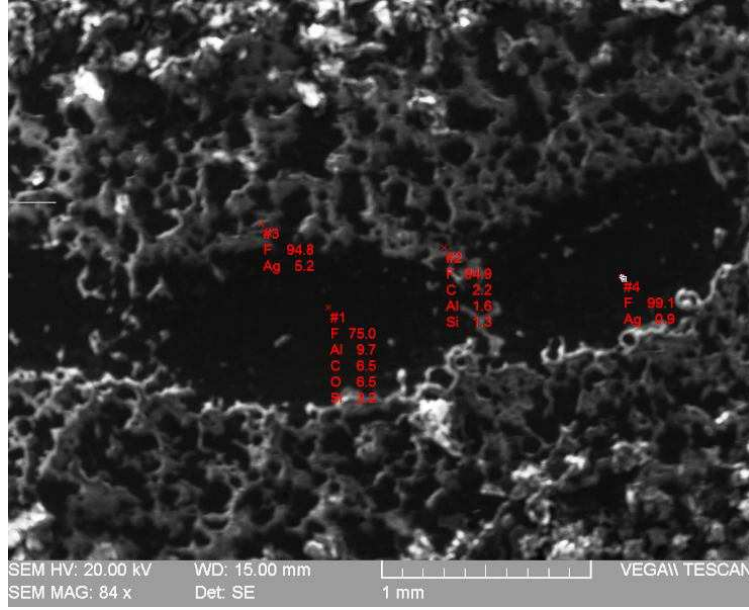
Şekil 4.23. Nano partikül takviyesiz teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi SEM incelemesi ve EDX analizi

Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesinde elde edilen aşınmış yüzey Şekil 4.24de verilmektedir. Aşınma testi sonrası nano gümüş partikül takviyeli teflon kaplama numunesi sürtünme katsayısı 0,142 olarak tespit edilmiştir. Görüleceği üzere kısmen daha düşük bir sürtünme katsayısı görülmektedir. Metal gümüş takviyesinin etkisi ile yüzeyde aşınma düşmesine karşın aşınma izinden görüleceği üzere 120m test mesafesi sonrasında aşınma derinliğinde kısmen bir değişim belirlenmiştir. Referans numune de aşınma derinliği artarken takviyeli yapıda düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir.



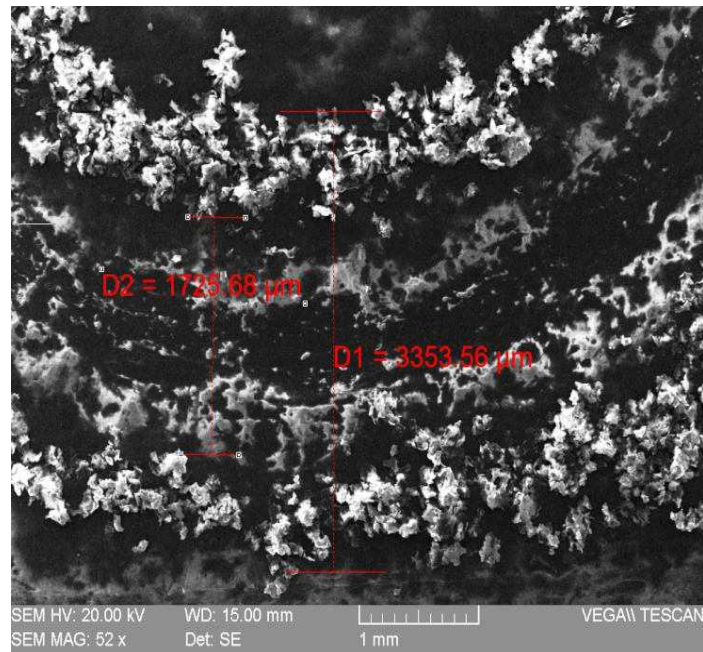
Şekil 4.24. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi

Takviyeli kaplamanın aşınma yüzeyi tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelendiğinde Şekil 4.25'te görüntüde aşınan yüzeylerin farklı olduğu görülmektedir. Aşınma genişliği daha dar ve yırtılma daha seyrek gözlenmektedir. Yüzeylerde yapılan EDX analizinde F: % 84.9, Al: % 1.6, C: %2.2, Ag : 0,9 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. Nano gümüş partiküllü takviyeli teflon kaplama numunesi aşınma yüzeyi SEM incelemesi ve EDX analizi

Aşınma patikası bölgelerinin genişliği SEM ile yapılan incelemede 1725,68 μm ve 3353,56 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.26) .



Şekil 4.26. Nano gümüş partiküllü takviyeli teflon kaplama numunesi aşınmış yüzey mesafe ölçümü

Metal partiküller ile modifiye edilmiş teflon kaplamalar, tane yapısının incilmesi ve katmanlar arasındaki iyi dağılım mekanik ve tribolojik özelliklerinin gelişmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda sürtünme katsayısının azaldığı tespit edilmektedir [19].

Teflon numunelerin katı partikül abrazif aşınma kayıplarını karşılaştırmak amacıyla ASTM G65 aşınma test sistemi kullanılmıştır. Bu test cihazında tane boyutu 250 μm olan alümina tozu aşındırıcı partikül olarak kullanılmıştır. Ayrıca test 45 N kuvvet altında 400 ve 2000 olmak üzere 2 farklı devirde uygulanmıştır. Test sonrası teflon kaplama numunelerine ait yüzey görüntüsü Şekil 4.27 de verilmektedir.



Şekil 4.27. Abrazif aşınma yüzeyi görüntüleri

Farklı devirlerde tekrarlanarak gerçekleştirilen abrazif aşındırma testi sonrası elde edilen veriler aşağıda verilmiştir (Şekil 4.28). Test verilerinden anlaşılacağı üzere nano partikül takviyesi olmayan referans teflon kaplama numunelerinde, nano partikül takviyeli teflon kaplama numunelerine göre aşınma kaybı kısmen daha fazladır. Bu sonuçlara göre nano partikül takviyesi, teflon kaplamaların aşınma direncini kısmen arttırmaktadır.

Başlıklar	Numune test öncesi ağırlık (gr)	Numune test sonrası ağırlık (gr)	Aşınma kaybı (gr)	Aşınma oranı %
Takviyesiz Referans Numune	3,856	3,711	0,145	3,760373
Ag takviyeli numune	4,769	4,728	0,041	0,859719
a) Test-1: 400 devir				
Başlıklar	Numune test öncesi ağırlık (gr)	Numune test sonrası ağırlık (gr)	Aşınma kaybı (gr)	Aşınma oranı %
Takviyesiz Referans Numune	5,715	4,708	1,007	17,6203
Ag takviyeli numune	5,681	4,859	0,822	14,46928
b) Test-2: 2000 devir				

Şekil 4.28. Abrazif aşınma testi verileri

Metal partiküller ile modifiye edilmiş teflon kaplamalar, tane yapısının incelenmesi ve katmanlar arasındaki iyi dağılım nedeni ile yüksek mekanik ve tribolojik davranış göstermektedir [20].

4.11. Endüstriyel Testler

Karakterizasyon testlerinin yanısıra endüstriyel firmalarda pratik olarak uygulanan endüstriyel testler, teflon numuneler üzerinde uygulandı.

4.11.1. Kareleme testi

Teflon kaplamanın alüminyum altlık malzemeye olan tutunma ve kalkmama kabiliyetini değerlendirmek için Kareleme Testi gerçekleştirildi. Test öncesinde numune parçalar kaynar suda 20 dakika bekletildi. Keskin uçlu maket bıçağı ile teflon üzerine birbirini dik olarak kesen 2 mm mesafede çizgiler çizildi. Bu çizme işlemi esnasında alüminyum altlık malzeme yüzeyine temastan kaçınıldı. Kare olarak çizilmiş 4 cm² 'lik yüzey üzerine özel bir yapışkan bant yapıştırılıp, bir süre beklendikten sonra bant hızlıca çekildi. Son olarak bant üzerinde herhangi bir kalıntı olup olmadığı gözlendi. Aynı karelenmiş yüzey üzerinde 90 derecelik açılarla ve yeni bantlarla işlem 3 defa tekrarlandı. Kareleme işlemi 3 farklı numune parçasında tekrarlandı. Test yöntemi Şekil 4.29'da gösterilmektedir.

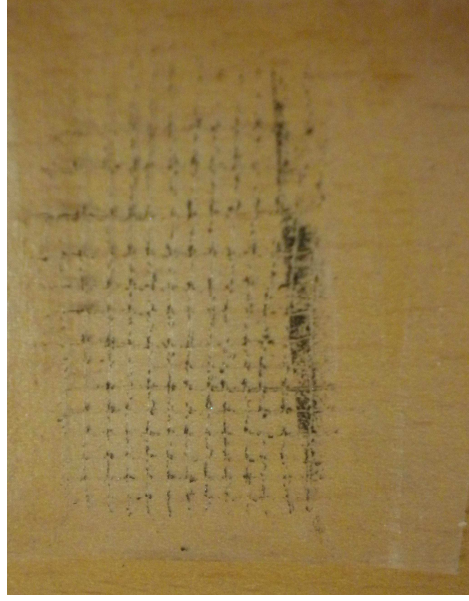


Şekil 4.29. Test öncesi teflon numuneler

Nano partikül takviyesiz teflon kaplamaya uygulanan kareleme testi sonrası, yüzeyden kopup banta yapışan teflon parçacıkları Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de gözlenmektedir.

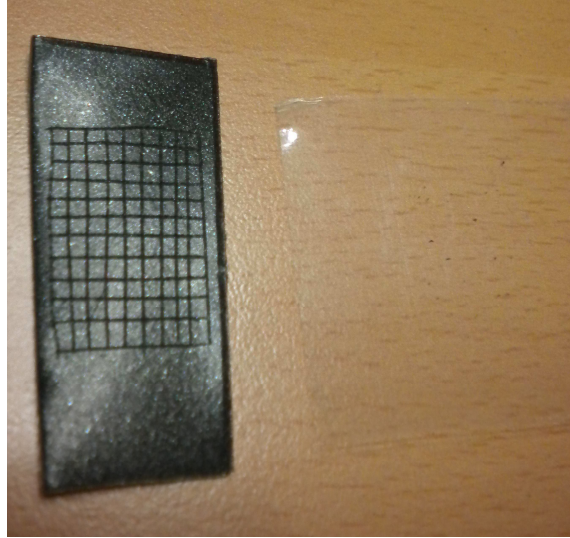


Şekil 4.30. Test sonrası takviyesiz referans numune ve yüzeyden kopan teflon partikülleri

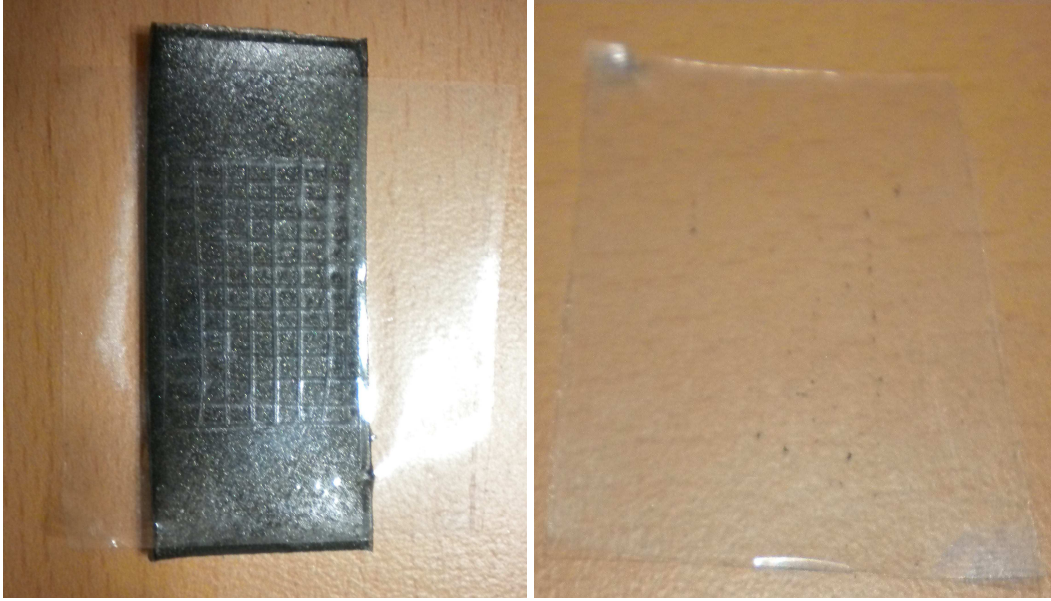


Şekil 4.31. Test sonrası referans numuneden kopan teflon partiküller

Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplamaya uygulanan kareleme testi sonrası, yüzeyden kopup banta yapışan teflon parçacıkları Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gözlenmektedir.



Şekil 4.32. Test sonrası nano gümüş takviyeli (6 dk kütleme) teflon kaplama numunesi ve kopan teflon partikülleri

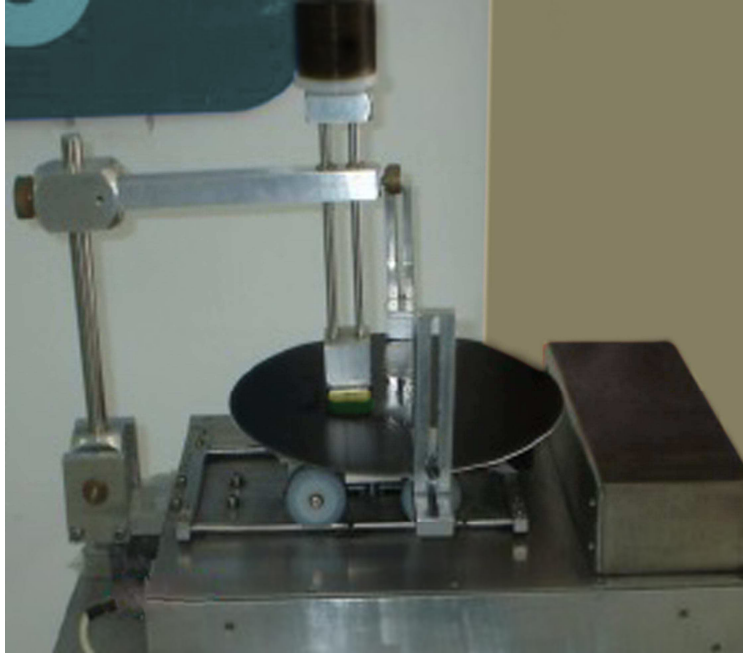


Şekil 4.33. Test sonrası nano gümüş takviyeli (8 dk kütleme) teflon kaplama numune sonucu ve kopan teflon partikülleri

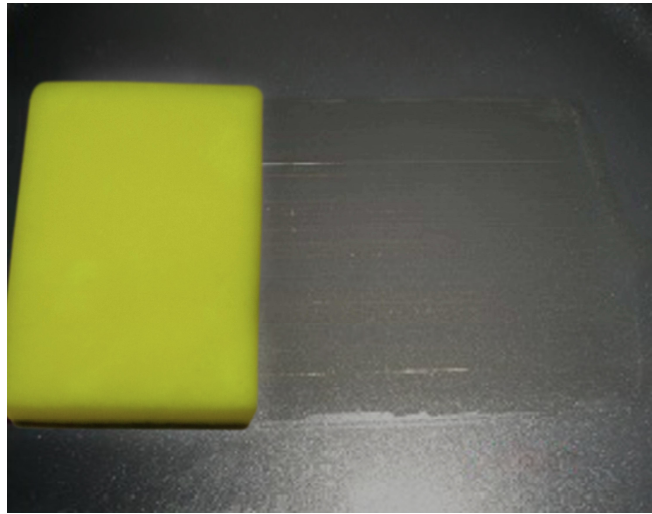
Test sonuçlarına göre nano partikül takviyesi olmayan referans numune test sonrasında bant üzerinde kalan teflon miktarı (Şekil 4.30 ve Şekil 4.31), nano gümüş takviyeli teflon kaplı numunelerde kalan miktara (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33) göre daha fazladır. Buradan anlaşılan nano gümüş takviyesi, teflon kaplamaların altlık malzemeye tutunma kuvvetini arttırmaktadır. Bu sonuç, teflon kaplama uygulaması gerçekleştiren endüstriyel şirketler için önem arz etmektedir.

4.11.2. Aşındırma testi

Teflon yüzeyin aşınmaya karşı göstereceği direnci değerlendirmek amacıyla bu test gerçekleştirildi. Test düzeneği Şekil 4.34 ile görülmektedir. Test edilecek numune parçaları test düzeneğine uygun bir şekilde sabitlendi. Aşındırıcı bulaşık süngerinin test yüzeyi üzerinde 15 newton'luk bir baskı kuvveti oluşturarak hareketi sağlandı. Ayrıca numune yüzeyi ile sünger arasına %5 oranında bulaşık deterjanı içeren su ilave edildi. Test düzeneği çalıştırılarak bulaşık süngerinin, teflon numune yüzeyleri üzerinde gitme-gelme hareketi ile yüzeylerin aşınması sağlandı. Alüminyum malzeme yüzeyinde iki çizik oluştuğunda test sonlandırıldı.



Şekil 4.34. Aşınma testi düzeneği



Şekil 4.35. Aşınmış takviyesiz referans teflon kaplama numunesi yüzeyi

Referans numune yüzeyinde 1860 çevrim sonrasında aşınmış yüzey belirtisi referansı olan 2 adet çizik tespit edildi ve test sonlandırıldı (Şekil 4.35).



Şekil 4.36. Aşınmış nano gümüş takviyeli teflon numune kaplama yüzeyi

Nano gümüş takviyeli teflon numune (6 dk kürleme) yüzeyinde 2480 çevrim sonrasında aşınmış yüzey tespit edildi ve test sonlandırıldı (Şekil 4.36). Nano gümüş takviyeli teflon numune (8 dk kürleme) yüzeyinde 2565 çevrim sonrasında aşınmış yüzey tespit edildi ve test sonlandırıldı.

Test sonuçlarından anlaşılacağı üzere nano gümüş takviyeli teflon kaplı numuneler, nano partikül takviyesi olmayan teflon kaplamalı referans numuneye göre aşınmaya daha uzun süre ile direnç gösterdi. Buradan anlaşılan nano gümüş takviyesi, teflon kaplamaların aşınma direcini arttırmaktadır.

4.11.3. Yapışmazlık testleri (süt testi ve yumurta testi)

Bir miktar yağlı süt kullanarak teflon yapışmaz yüzeyin kalitesini değerlendirmek için yapışmazlık testi gerçekleştirildi (Şekil 4.37). Test yaklaşık 20 cc. tam yağlı sütün tamamen karbonlaşana kadar (yaklaşık 3 dk) bir ocakta ısıtılması ile sonlandırıldı (Şekil 4.38). Test sonrasında yanmış süt tabakasının bir miktar su yardımıyla yüzeyden ayrılma kolaylığı gözlenerek teflon yüzeylerin yapışmazlık kalitesi değerlendirildi. Değerlendirme tanımlamaları aşağıda verilmektedir.

- 1.derece: Yanmış süt filmi yüzeyden kolayca ve tamamen ayrılıyor.
- 2.derece: Film tabakası yüzeyden tamamen değil parçalı ayrılıyor.
- 3.derece: Film tabakası yüzeyden bir sünger yardımıyla kolayca ayrılıyor.
- 4.derece: Film tabakası yüzeyden bir sünger yardımıyla zorla ayrılıyor.



Şekil 4.37. Test düzeneği



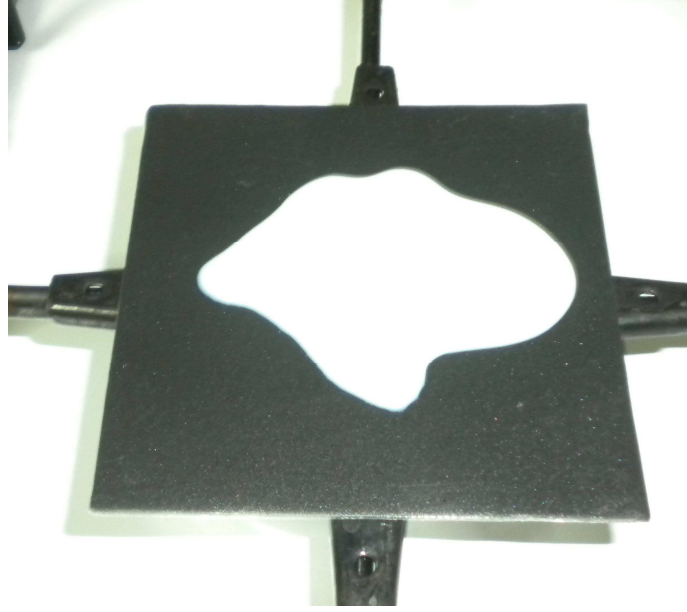
Şekil 4.38. Test sonrası takviyesiz referans teflon numunesi yanmış yüzey görüntüsü

Nano gümüş takviyesi olmayan referans teflon numune'ye eşdeğer özellikte olan aynı seri malzemedan yapılmış tava numunesinde süt testi gerçekleştirildi (Şekil 4.38). Test sonrasında yüzey temizleme işleminde yüzeyde oluşan yanık tabakası yüzeyden su yolu ile ayrılmadığı, ancak bir sünger yardımıyla kolayca ayrılmakta olduğu değerlendirildi (Şekil 4.39).

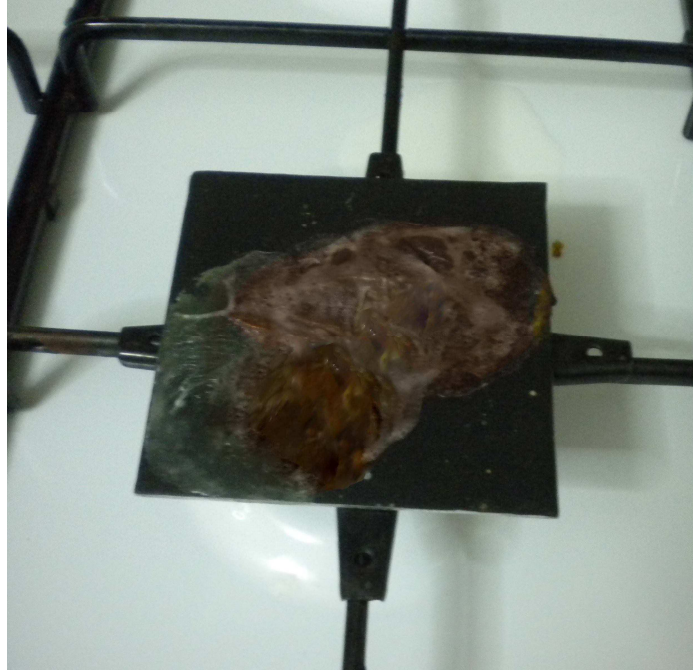


Şekil 4.39. Test sonrası referans numune yüzey temizleme

Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numune ile aynı şartlar altında süt testi gerçekleştirildi (Şekil 4.40). Test sonrasında yüzeyde oluşan yanık tabakası Şekil 4.41'de gözlenmektedir.



Şekil 4.40. Test öncesi nano gümüş takviyeli teflon numune (6 dk kürleme)



Şekil 4.41. Test sonrası nano gümüş takviyeli teflon numune yüzeyi (6 dk kürleme)

Nano gümüş partikülü takviyesi olan teflon numunelerin test sonrası yüzey temizleme işleminde yüzeyde oluşan yanık tabakaları yüzeyden su yardımıyla tamamen değil, parçalı olarak ayrılmakta olduğu gözlemlendi (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43).



Şekil 4.42. Test sonrası nano gümüş takviyeli teflon numune (6 dk kütleme) yüzey temizleme

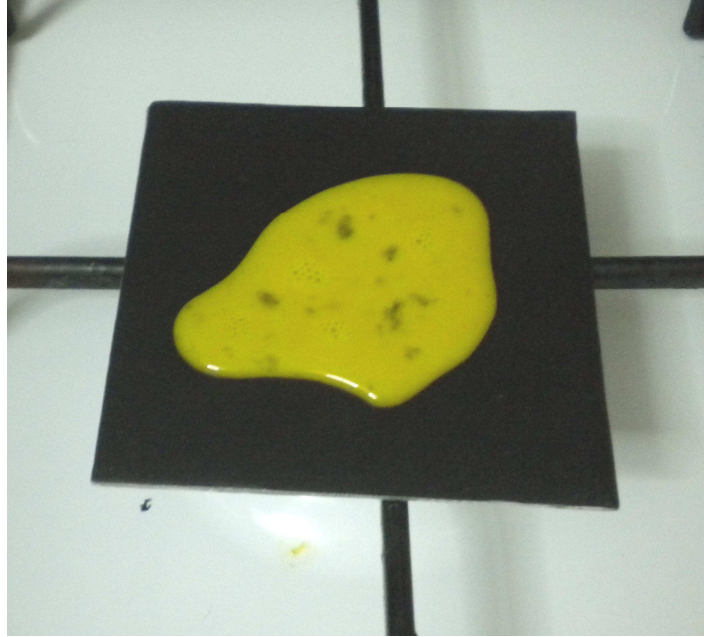


Şekil 4.43. Test sonrası nano gümüş takviyeli teflon numune (8 dk kütleme) yüzey temizleme

Sonuç olarak; nano gümüş partikül takviyeli teflon kaplı numuneler, nano partikül takviyesi olmayan teflon kaplamalı referans numuneye göre daha kaliteli yapışmazlık özelliği gösterdi. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama 2.derece yapışmazlık kalitesine sahipken, nano gümüş partikül takviyesi olmayan teflon kaplama 3.derece yapışmazlık kalitesine sahip olduğu değerlendirildi. Bu sonuç,

teflon kaplama uygulaması gerçekleştiren endüstriyel şirketler için önem arz etmektedir.

Yapışmazlık kalitesini ölçmenin diğer bir yolu olan Yumurta Testi de gerçekleştirildi. Test, yaklaşık 20 cc. yumurta sıvısı yağsız teflon kaplı malzeme üzerinde yanana kadar (yaklaşık 8 dk) bir ocakta ısıtılarak uygulandı (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Yumurta testi

Test sonrasında yanmış yumurta tabakası bir miktar su yardımıyla yüzeyden ayrılma kolaylığı gözlenerek teflon yüzeylerin yapışmazlık kalitesi değerlendirildi.



Şekil 4.45. Yumurta testi sonrası yüzey temizleme

Süt testi sonucunda nano gümüş takviyeli teflon kaplı numuneler ve nano gümüş takviyesi olmayan teflon kaplamalı referans numune arasında gözle görülen bir fark olmadığı tespit edildi. Tüm numunelerde yanmış yumurta teflon yüzeye yapışmayıp, su ile kolaylıkla temizlenebildi (Şekil 4.45).

BÖLÜM 5 . SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Endüstriyel uygulamalarda teflon esaslı kaplamaların yaygınlaşması birçok tasarımda vazgeçilmez bir kaplama malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür floropolimerik esaslı kaplamalar yüzeye yapışmayan “hidrofobik” yüzeylerin elde edilmesi dışında özellikle çok düşük sürtünme katsayıları, yüksek korozyon dirençleri, yüksek dielektrik mukavemetleri, diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları sebebiyle tercih edilmektedir. Birçok tasarımda artan uzun ömür, yüksek performans ve anti bakteriyel direnç talepleri karşısında araştırmacılar teflon kaplamalara nano boyutlu takviyeler ile özellikleri geliştirmek için kapsamlı araştırmalar sürdürmektedirler. Artan devir hızları, artan gerilmeler, agresif çalışma ortamı koşullarından kaynaklı teflon kaplamaların kullanım ömrü; aşınma, çizilme, sürtünme, kaplamanın zamanla yüzeyden ayrılması ile altlık yüzeyinin açığa çıkarak korozyon etkisi nedeniyle zehirleyici etki oluşturması nedeniyle sınırlanmaktadır. Yapılan araştırmalarda teflon kaplamalara gümüş katkısının anti bakteriyel özellikler kazandırdığı belirlenmiştir. Bunun yanında nano boyutlu gümüş katkısının teflon kaplamanın tribolojik özelliklerine katkısı üzerine etkisi yeterli düzeyde incelenmemiştir. Bu tez çalışması kapsamında nano Ag katkısının teflon kaplamaların sürtünme ve aşınma davranışına etkisi detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Yapılan deneysel ve endüstriyel test çalışmalarından elde edilen bulgular maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

1. Nano katkılı kompozit bir kaplama üretimi için ticari olarak temin edilen teflon ile nano-Ag katkısı 10 ml Ag^{+2} / 2000 ml teflon oranında bir karışım olarak hazırlanmıştır. Karışım 2 saat süre ile manyetik karıştırıcıda karıştırılarak homojen bir dağılım elde edilmeye çalışılmıştır.
2. Kaplama karışım çözeltilerinin viskozite ölçümlerinde farklı viskozite değerleri belirlenmiş olup standart çözeltinin viskozite değeri: 1 MPa/s olarak

ölçülürken nano-Ag katkılı çözeltinin viskozite değeri 1.42 MPa/s olarak ölçülmüştür.

3. Karışım solüsyonu endüstriyel uygulamalarda kullanılan 6 bar basınçlı püskürtme tabancası yüzeye 25cm mesafeden plaka üzerine yüzeyi tarama hareketi ile 2 paso şeklinde manuel olarak püskürtülmüştür. Toplam 6 adet kaplamalı plaka (10x10 cm) üretilmiştir. 2 adet ticari teflon kaplanmış plaka, 2 adet Ag- katkılı teflon 6dak kürleme ile, 2 adet Ag- katkılı teflon 8 dak kürleme ile elde edilmiş plaka deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

4. Altlık plaka yüzeyleri kaplama işlemi öncesinde ultrasonik temizleme sonrasında Alumina ile kumlanarak kaplamanın yapışması için yüzeyler pürüzlendirilmiştir. Pürüzlülük seviyeleri tekrarlanabilir kalite seviyesinde sabit tutulmuştur.

5. Yüzeye pürskürtülen nan boyutlu kompozit kaplamalar farklı iki kürleme (6 dak ve 8 dak) süresinde kürleme (400 °C) ısıl işlemine tabi tutularak katı formda kaplama yapısı elde edilebilmiştir.

6. Üretilen kaplamaların kesit kalınlıkları: Referans standart teflon kaplamalar için: 25-30 μ m olarak ölçülmüştür. Ag katkılı kaplamalar için ise 10-15 μ m aralığında ölçülmüştür. Kaplama kalınlığında astar katmanı ise ortalama 5 μ m arasında olduğu tespit edilmiştir.

7. Kaplamalı plaka yüzeylerinde yapılan makro incelemelerde yüzey pürüzlülükleri arasında farklılık tespit edilmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri arasında fark gözlenmiştir. Referans numunenin Rz: 12.9 μ m, katkılı numunenin Rz:4.92 μ m olarak tespit edilmiştir. Bu durum nano katkılı kaplamaların yüzey profilinin daha ince bir dokuya sahip olduğunu göstermiştir. Ag katkısının hazırlanan karışım solüsyonunun viskoz özelliklerini değiştirmesi nedeniyle kürleme sonrasında yapının daha yoğun ve ince bir kesite sahip olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

8. Makro incelemelerden sonra yapılan mikroskobik (stereo, optik ve elektron mikroskobu) incelemelerinde referans kaplamanın yüzey topografyasının daha kaba taneli (tane boyutu: 25-45 μ m) bir yapıya sahip olduğu, daha fazla girinti ve çıkıntılar

içerdiği yüzey profili analizlerinde tespit edilmiştir. Buna karşın katkılı kaplama yüzeylerinde tane boyutları 15-30µm aralığında olduğu ölçülmüştür.

9. Kaplamaların kesit yüzeyinde yapılan element analizlerinde (EDX); Ag katkısının varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. SEM görüntülerinde EDX analizi aracılığıyla çok düşük seviyelerde Ag pikleri tespit edilmiştir.

10. Kaplama yapısında Ag katkısının kristal yapıda ve faz yapısında etkisinin tespiti için yapılan XRD faz analizi çalışmalarında yapıda Ag fazının varlığı çok düşük seviyelerde kristalin halde gözlenmiştir. Ag ve teflon arasında bir kimyasal bileşik halinde faz yapısı gözlenmemiştir.

11. Kaplama yapısında Ag katkısının varlığını daha net bir şekilde belirlemek ve kaplamaların reaksiyon kabiliyetini ölçmek amacıyla korozyon testi gerçekleştirilmiştir. Potansiyostat testleri ile Ag katkılı kaplamanın korozyon dayanımı ve iletkenlik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Referans numunelerde polarizasyon görülmezken, Ag katkılı yapıda 1560'V da polarizasyon gözlenmiştir. Bu durum kaplama yapısında Ag ile birlikte iletkenliğin arttığını işaret etmektedir. Bununla birlikte Ag katkısı kaplamanın reaksiyon davranışını etkilemiştir.

12. Kaplamalarda Ag katkısının floropolimer yapısı ile bir bağ oluşturup oluşturmadığını belirlemek amacıyla FTIR analiz gerçekleştirilmiştir. Teflon bant, standart teflon kaplama ve Ag katkılı teflon kaplamaların FTIR analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde kimyasal bir bağ oluşumu gözlenmemiştir.

13. Özetle Ag katkısının varlığını en iyi şekilde korozyon testlerinden elde edilen veriler ile ispatlayabilmekteyiz. Ag katkısının kaplama yapısına ve kalınlığına etkisi olduğunu düşünmekteyiz. Ag katkılı çözeltinin viskoz özellikleri değiştirmesi basınçlı püskürtme sonrası kürlenme aşamasında kaplama yapısında hidroksillerin buharlaşmasına etki ederek daha sıkı dokulu ve ince yapılı bir taneseli yapıya sebep olduğu düşüncesini artırmıştır. Ag katkısının artışı ile viskozite artışı akışkanlığın düşmesine yol açmıştır. Bu durum kaplamanın kürlenmesi esnasında nemin uzaklaşma hızı ile ilişkili olarak yüzey profilini etkilemiştir.

14. Kaplamaların tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan aşınma testlerinde (ball on disc (ASTMG133, ASTM G65) Ag katkılı numunelerin daha az aşındığı belirlenmiştir. Ag katkısının sürtünme katsayısını kısmen düşürdüğü gözlenmiştir. Referans numunede kaba yüzey aşınmayı artırırken Ag katkılı ince taneli ve sıkı dokulu yüzey sürtünmenin azalmasına yardımcı olarak aşınmayı düşürmüştür. Böylelikle kaplamanın aşınma dayanımında % 12-20 oranında bir artış gözlenmiştir.

15. Endüstriyel test uygulamalarında uluslar arası standartlarda belirlenmiş olan kareleme testi, süt testi, abrazif aşındırma testleri gerçekleştirilmiştir. Nano gümüş takviyesinin teflon kaplamaların aşınma direncini arttırdığı, yapışmazlık özelliğini iyileştirdiği ve altlık üzerine tutunma, çizilme mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu durumda elde edilen bilgilerin endüstriyel ölçekli teflon kaplama tesislerinde yeni bir kaplama kompozisyonu olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir.

16. Bir sonraki çalışma kapsamında farklı oranlarda nano gümüşün teflon kaplamalara antibakteriyel özellik katkısı ile birlikte tribolojik özelliklere etkisinin araştırılması endüstriyel mutfak gereçleri ve el aletlerinde kullanım alanı bulması açısından önem taşımaktadır. Ag katkısının mikrobiyolojik canlılarının metal yüzeylerde gelişimini engelleme özelliği bilinmesi karşın antibakteriyel teflon kaplamaların üretimi ile fonksiyonel ve daha yüksek aşınma direncine sahip nano katkılı kompozit bir kaplama tabakasının üretimi mümkün kılınacaktır. Yeni araştırmalar için bir referans niteliği taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Dr N. RIVER, “Non-stick quasicrystalline coatings”, Blackett Laboratory, Imperial College, London SW7 2BZ; 2, 4-5, 8-11, 23-24, February 2003.
- [2] AKBULUT H., AKINCI A., YILMAZ F., “Floropolimer Kaplamaların Yapı ve Özellikleri”, Sakarya Üniversitesi, Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü; 2-9, 23-24, 2008.
- [3] Dupont Company /productknowledge/courses/3; Erişim Tarihi:21.08.13.
- [4] ÇELİK Ö., “Non-stick (Yapışmaz) Kaplamalar ve Özellikleri”, Y.Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi; 3, 12-13, 27-31, 36, 2009.
- [5] Drobay J., Fluoroplastics; 5, 24, 2005.
- [6] Dupont Company Product Catalog–NonStick Coatings; 5, 8 Erişim Tarihi: 21.07.13.
- [7] TEMEL F., ACAR S., GÜLER Ç., “Teflon ve Sağlık Etkileri”, Derleme, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi; 6-7, 22-25, 2009.
- [8] VERRAN J., SANDOVAL G., ALLEN N.S., EDGE M., STRATTON J. “Variables affecting the antibacterial properties of nano and pigmentary titania particles in suspension” ; 14-16, 2006.
- [9] J.L. HE, L.D. WANG, W.Z. LI, H.D. LI, “Experimental observations on the mechanical properties of nanoscale ceramic/Teflon multilayers”, Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University; 15, 18, 1998.
- [10] PALLAVICINI P., TAGLIETTI A., DACARRO G., FERNANDEZ Y.A.D., “Self-assembled monolayers of silver nanoparticles firmly grafted on glass surfaces: Low Ag⁺ release for an efficient antibacterial activity”; 15-19, 2010.
- [11] BTM Bilişim Teknik Medikal Firması, Yeditepe Üniversitesi/katalog/nanoclearag/ 17-21; Erişim Tarihi: 21.07.2013.

- [12] DOĞAN A., PEKŞE C., “Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Malzemelerin Hastane İnfeksiyonlarını Önlemede Katkıları ve Uygulamaları”, Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü; 18, 2005.
- [13] BULUT E. “Gümüş Nano Partiküllerin Polifenollerle Sentezi ve Karakterizasyonu”, Y. Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, FBE. ; 18-19, 2007.
- [14] DASTJERDIR., MONTAZER M., A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties; 18, 2010.
- [15] Bio Nano İleri teknoloji Arge ve Danışmanlık Şirketi, nano-arge /www.nano-arge.com.tr/dokuman; 19-20, Erişim Tarihi: 21.07.2013.
- [16] HAOYAN WEI, HERGEN EILERS “Electrical Conductivity of Thin-Film Composites Containing Silver Nanoparticles Embedded in a Dielectric Teflon® AF Matrix” Washington State University, Spokane, WA 99210, USA; 21-21, 2007.
- [17] SERTTAŞ B, “Termal Sprey Kaplama Teknolojisi”, Yüksek Li-sans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 27-28, 2002.
- [18] JUDITH MIHÁLY, SILVANA STERKEL, HUGO M. ORTNER, ‘FTIR and FT-Raman Spectroscopic Study on Polymer Based High Pressure Digestion Vessels’ Pannon University, Hungary; 57-58, July 2006.
- [19] N.L. MCCOOK, B. BOESL, D.L. BURRIS AND W.G. SAWYER, ‘Epoxy, ZnO, and PTFE nanocomposite: friction and wear optimization’ University of Florida, Gainesville, USA; 65, June 2006.
- [20] ALEXANDER ALEKSANDROVICH ROGACHEV, MAXIM ANATOLIEVICH YARMOLENKO, ALEXANDER VLADIMIROVICH ROGACHEV, SIGITAS TAMULEVIČIUS, IGORIS PROSYCEVAS, ‘Structure and Tribological Properties of Polytetrafluoroethylene Nanocomposite Coatings Formed from Active Gas Phase’ Belarusian State University of Transport; 66, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Utku BOZAN, 1983 yılında İzmit'te doğdu. 2002 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında lisans eğitimini tamamlayarak aynı yıl içerisinde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği AnaBilim dalı, Malzeme bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.