

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

**EMAYE KAPLI PARÇALARDA YAPIŞMAZLIK ÖZELLİĞİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe Nazlı KAYA

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2023

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

**EMAYE KAPLI PARÇALARDA YAPIŞMAZLIK ÖZELLİĞİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe Nazlı KAYA

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Aysun AYDAY

HAZİRAN 2023

Tuğçe Nazlı KAYA tarafından hazırlanan “Emaye Kaplı Parçalarda Yapışmazlık Özelliğinin Geliştirilmesi ” adlı tez çalışması 22.05.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
(Gerekliyse) Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “**EMAYE KAPLI PARÇALARDA YAPIŞMAZLIK ÖZELLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Tuğçe Nazlı KAYA





Aileme..



TEŞEKKÜR

Bu tez konusunda çalışma imkanı veren, yüksek lisans eğitimim boyunca destek gösteren danışmanım Sn. Doç. Dr. Aysun AYDAY'a, Hayatımın her anında yanımda olan, her zaman desteklerini hissetiren, başarılarımın temel kaynağı olan sevgili aileme, Tez aşamasında yardımını esirgemeyen, bilgi birikimiyle bana ışık tutan, bu süreçteki en büyük destekçilerimden Sn. Orhan ŞAHİN'e, Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü bilgi paylaşımımı yaptığım, danıştığım, desteğini her zaman aldığım değerli çalışma arkadaşım Üretim Yöneticisi Sacit KAPLAN'a, Bu tez çalışması için teknik imkanlar sunan, deneysel çalışmalarım için gerekli maddi manevi her olanağı sağlayan Algotrio Kimya ekibine Teşekkür ederim.

Tuğçe Nazlı KAYA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SİMGELER	xvii
TABLO LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. EMAYE	3
2.1. Emaye Nedir	3
2.2. Emaye Tarihçesi	3
2.3. Emaye Üretimi	4
2.3.1. Emaye hammaddesi: Frit	5
2.3.2. Frit içerisinde kullanılan kimyasallar	7
2.3.2.1. Potasyum oksit - K_2O	7
2.3.2.2. Sodyum oksit - Na_2O	7
2.3.2.3. Lityum oksit - Li_2O	7
2.3.2.4. Magnezyum oksit - MgO	7
2.3.2.5. Çinko oksit - ZnO	8
2.3.2.6. Kalsiyum oksit - CaO	8
2.3.2.7. Stronsiyum oksit - SrO	8
2.3.2.8. Baryum oksit - BaO	8
2.3.2.9. Bor oksit - B_2O_3	8
2.3.2.10. Alüminyum oksit - Al_2O_3	9
2.3.2.11. Bizmut oksit - Bi_2O_3	9
2.3.2.12. İttriyum oksit - Y_2O_3	9
2.3.2.13. Silisyum dioksit - SiO_2	9
2.3.2.14. Titanyum dioksit - TiO_2	10
2.3.2.15. Zirkon dioksit - ZrO_2	10
2.3.2.16. Seryum oksit - CeO_2	10
2.3.2.17. Flor - F	10
2.3.2.18. Fosfor pentaoksit - P_2O_5	11
2.3.2.19. Vanadyum pentaoksit - V_2O_5	11
2.3.2.20. Mangan oksit - MnO	11
2.3.2.21. Kobalt oksit - CoO	11
2.3.2.22. Nikel oksit - NiO	11
2.3.2.23. Bakır oksit - CuO	12
2.3.2.24. Demir oksit - Fe_2O_3	12
2.3.2.25. Krom oksit - Cr_2O_3	12

2.3.2.26. Antimon trioksit - Sb_2O_3	12
2.3.2.27. Molibden trioksit - MoO_3	12
2.3.3. Frit öğütme işlemi	13
2.3.4. Emaye uygulama	14
2.3.4.1. Elektrostatik toz yöntemi ile emaye kaplama	14
2.3.4.2. Yaş Emaye püskürtme (manuel sprey) yöntemi ile emaye kaplama	16
2.3.4.3. Yaş emaye daldırma yöntemi ile emaye kaplama	18
2.3.4.4. ESTA (elektrostatik sprey).....	19
2.3.4.5. Elektroforetik uygulama (elektrostatik daldırma)	20
2.3.4.6. Sıvama (flow coating)	21
2.3.5. Kurutma.....	22
2.3.6. Pişirme.....	22
2.4. Emaye Kullanım Alanları.....	23
2.5. Emaye Tercih Nedenleri.....	24
2.6. Emaye Çeşitleri	25
2.6.1. Astar kat emayeler.....	25
2.6.2. Sitrik asit dayanıklı direkt emayeler.....	26
2.6.3. ETC direkt emayeler	26
2.6.4. Pirolitik emayeler	27
2.6.5. Buhar dayanıklı pirolitik emayeler.....	27
2.6.6. Izgara ve bek kapağı emayeleri.....	27
2.6.7. Sıcak su dayanıklı emayeler	28
2.6.8. Sülfürik asit dayanıklı emayeler.....	28
2.6.9. Transparan emayeler	28
2.6.10. Yarı transparan emayeler	28
2.6.11. Kendinden renkli ikinci kat emayeler	29
2.6.12. Katalitik emayeler	29
2.6.13. Üçüncü kat Majolik Emayeler.....	29
2.7. Değirmen Katkıları	30
2.7.1. Yaş emaye katkı maddeleri	31
2.8. Emaye Hataları	34
2.8.1. Emaye akması	34
2.8.2. Kabarcıklanma (köpürme).....	34
2.8.3. Kılcal çatlak.....	34
2.8.4. Yırtılma	34
2.8.5. İğne başı	34
2.8.6. Kaynama.....	34
2.8.7. Kenar akıntıları.....	35
2.9. Emaye için metaller	35
3. EMAYE KAPLAMA	37
3.1. Yüzeye Kaplanan Emayenin Özellikleri	37
3.1.1. Sertlik	37
3.1.2. Aşınma	37
3.1.3. Yapışma.....	37
3.1.4. Darbe direnci	38
3.1.5. Kalınlık.....	39
3.1.6. Sitrik asit direnci	39
3.1.7. Termal şok direnci.....	40
3.1.8. Görünüm, renk ve parlaklık	40
3.1.9. ETC Testi	43

3.1.10. Pirolitik testi	43
3.1.11. Katalitik emaye yüzeyinde yağ emme testi.....	44
3.1.12. XRF Analizi	44
3.1.13. Yaş emaye tane boyutu (bayer) ölçümü.....	45
3.1.14. Yumurta pişirme testi.....	46
4. YÜZEY GERİLİMİ.....	47
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
5.1. Frit Oluşturma	49
5.2. Sebep Sonuç Matrisi.....	50
5.3. Deney Tasarımı	51
5.4. Yapılan Denemelerde Kullanılan Değirmen Formülü	52
5.5. Emaye Hazırlama	53
5.6. Bayer Tanecik Boyutu Kontrolü	53
5.7. Plaka Hazırlığı.....	54
5.8. Yüzey Görünümü	59
5.9. Kalınlık Ölçümü.....	59
5.10. Renk Ölçümü.....	60
5.11. Parlaklık ölçümü	60
5.12. Sitrik asit testi.....	61
5.13. Islatma Açısı Ölçümü.....	61
5.14. ETC testi.....	64
5.15. XRF Analiz Sonuçları	65
5.16. Yumurta Pişirme Testi	66
6. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	67
6.1. Sonuçlar.....	67
6.2. Öneriler.....	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73



KISALTMALAR

A,B,C	: Deneylerde Kullanılan Frit Kodları
ASTM	: American Society For Testing And Materials , Amerikan Test Ve Materyalleri Topluluğu
Bayer	: Emaye İncelik Ölçüm Yöntemi
CIE	: Renk Ölçüm Sistemi
COE	: Termal Genleşme Katsayısı
DİN	: Alman Standartlar Enstitüsü
ED	: Emaye Uygulamaya Uygun Sac
EN	: Avrupa Standardı
ESTA	: Elektrostatik Sprey
ETC	: Kolay Temizlenebilir Yüzey
Glossmetre	: Yüzey Parlaklık Değeri Ölçüm Cihazı
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
mbar	: Basınç Birimi
Mesh	: 1 inç ² 'deki Delik Sayısını İfade Eden Tane Boyutu Birimi
Mohs	: Sertlik Ölçüm Cetveli
Set	: Emayenin Birim Parça Üzerinde Kalma Miktarı
TGK:	: Termal Genleşme Katsayısı
XA,XB,XC	: Frit İçerisinde Kullanılan Hammaddelerin Kütlesel Oranları



SİMGELER

cm	: Uzunluk Birimi
dk	: Zaman Birimi
g/cm³	: Yoğunluk Birimi
kV	: Elektrikte Kullanılan Potansiyel Fark
Mikron (μm)	: Uzunluk Birimi
Mm	: Uzunluk Birimi
XRF	: X Işını Floresansı
oC	: Sıcaklık Birimi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Frit formülünde kullanılan oksidik bileşenler [9]	6
Tablo 5.1. Kullanılan Fritlerin Oksidik Oranları ve Termal Genleşme Katsayıları..	49
Tablo 5.2. Süreç girdi ve etkilerinin bulunduğu sebep-sonuç matrisi	50
Tablo 5.3. Deney tasarımı için kullanılacak faktör ve seviyeleri	52
Tablo 5.4. Yapılacak deneyler	52
Tablo 5.5. Sabit Değirmen Katkı Oranları	52
Tablo 5.6. Hazırlanan Deneylerin Bayer Değerleri	54
Tablo 5.7. 1,2 ve 3 nolu deneylerin uygulama plakaları	56
Tablo 5.8. 4,5, ve 6 nolu deneylerin uygulama plakaları	57
Tablo 5.9. 7,8 ve 9 nolu deneylerin uygulama plakaları	58
Tablo 5.10. Deneylerin Kaplama Kalınlıkları Ölçüm Sonuçları	60
Tablo 5.11. Deneylerin Renk Ölçüm Sonuçları	60
Tablo 5.12. Deneylerin Parlaklık Ölçüm Sonuçları	61
Tablo 5.13. Deneylerin Sitrik Asit Değerleri	61
Tablo 5.14. 1,2 ve 3 nolu deneylere ait ıslatma açıları	62
Tablo 5.15. 4,5 ve 6 nolu deneylere ait ıslatma açıları	63
Tablo 5.16. 7, 8 ve 9 nolu deneylere ait ıslatma açıları	64
Tablo 5.17. Deney plakaları üzerine yapılan ETC test sonuçları	65
Tablo 5.18. XRF Analiz Sonuçları	65



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Emaye Kaplama Üretim Aşamaları	4
Şekil 2.2. Emaye Friti Üretim Fırını (Algotrio Kimya – 2022)	5
Şekil 2.3. Boncuk Frit (Sol) ve Pul Frit (Sağ) Görünümü (Algotrio Kimya-2022)....	6
Şekil 2.4. Emaye öğütme değirmeni (Algotrio Kimya 2022)	13
Şekil 2.5. Elektrostatik Toz Emaye Uygulama Kabini (Algotrio Kimya Laboratuvarı 2022)	15
Şekil 2.6. Elektrostatik toz spreyleme yöntemi şematik gösterimi	16
Şekil 2.7. Hava destekli spreyleme tabanca mekanizması	17
Şekil 2.8. Manuel spre yay yöntemi ile uygulama (Algotrio – 2022)	18
Şekil 2.9. Daldırma yöntemi ile emaye kaplama	19
Şekil 2.10. ESTA yöntemi ile emaye kaplama	20
Şekil 2.11. Elektrosforetik uygulama yöntemi ile emaye kaplama	21
Şekil 2.12. Flow coating yöntemi ile emaye kaplama	21
Şekil 2.13. Kontinü emaye pişirme fırını (Ödül Emaye - 2019)	22
Şekil 2.14. Emaye kaplanmış mutfak araç ve gereçleri (Avşar Emaye- 2019)	24
Şekil 2.15. Astar emayenin daldırma yöntemi ile kaplanması	26
Şekil 2.16. Emaye Kaplı Izgara Görseli (Algotrio Kimya 2022)	27
Şekil 2.17. İç kısmı emaye kaplanmış termosifon	28
Şekil 2.18. Kendinden renkli mavi emaye ile kaplanmış demlik	29
Şekil 2.19. Majolik emaye kaplanmış soba	30
Şekil 2.20. Emayeleri renklendirmek için kullanılan inorganik pigmentler [36]	33
Şekil 3.1. Yapışma Değeri Belirleme Standardı	38
Şekil 3.2. Yapışma Değeri 1 (Sol) ve 4 Olan (Sağ) Emaye Kaplama Görseli (Algotrio Kimya 2022)	38
Şekil 3.3. Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (Algotrio Kimya 2022)	39
Şekil 3.4. CIE L*a*b* renk sistemi	41
Şekil 3.5. El tipi renk ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (Algotrio Kimya 2022)	42
Şekil 3.6. Yüzey parlaklığı ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (glossmetre) (Algotrio Kimya 2022)	43
Şekil 3.7. XRF analiz sonucunun piklerle gösterimi (Algotrio Kimya-2022)	45
Şekil 3.8. Tane boyutu ölçümü yapılan Bayer elek seti (Algotrio Kimya-2022)	45
Şekil 4.1. Temas Açılışları	47
Şekil 5.1. Potada ergitilip suya dökülen granül fritler (Algotrio Kimya 2022)	50
Şekil 5.2. Yaş olarak öğütülmüş emayeler (Algotrio Kimya 2022)	53
Şekil 5.3. Bayer ölçümü (Algotrio Kimya 2022)	54
Şekil 5.4. Emaye kaplı plaka pişirme fırını (Algotrio Kimya 2022)	55
Şekil 5.5. Astar emaye kaplanmış plaka numunesi (Algotrio Kimya 2022)	59
Şekil 5.6. 5 no'lu kaplama yüzeyinde yumurta pişirme testi (Algotrio Kimya 2022)	66



EMAYE KAPLI PARÇALARDA YAPIŞMAZLIK ÖZELLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Emaye; dökme demir veya metalik parçalara uygulanan inorganik bir kaplama malzemesidir. Yüksek sıcaklıklarda pişirilerek yüzeyde camsı bir yapı oluşturur.

Emaye kaplamanın kimyasala dayanımı yüksektir, parçalara parlaklık ve estetik bir görünüm sağlar. Bu sebeple emayelerin kullanım alanları günümüzde oldukça yaygındır. Süs eşyaları, soba boruları, lavabolar, küvetler, mutfak eşyaları gibi birçok alanda kullanılırlar. En sık kullanıldığı alan mutfak eşyaları, pişirme cihazlarıdır. Fakat emayelerin yiyecekler ile temas eden yüzeylerinde yapışmazlık özelliği iyi değildir. Bu çalışma yapışmazlık özelliğinin geliştirilmesi için yapılmıştır.

Çalışmada ıslatma açısını en fazla etkileyecek 4 süreç girdisi frit oranları, korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak sebep sonuç matrisi yöntemiyle belirlenmiştir. Süreç girdileri için 3 farklı seviye belirlenmiştir. 4 süreç girdisi ve 3 farklı seviye için gerekli denemeler Tagucchi yöntemi ile tespit edilmiş ve uygulanmıştır.

Islatma açısını arttıracak 3 yeni frit formülize edilmiştir. Bu 3 fritin ön çalışması yapılırken piyasada kullanılan fritlerden farklı olarak yüksek miktarda zirkon dioksit, fosfor penta oksit ve alüminyum oksitli birçok frit denemesi yapılmıştır. Aynı frit içerisinde bu malzemelerin hepsini kullandığımızda yapışmazlık özelliği istenen seviyede gelişmemiştir.

Fritler ayrı ayrı tasarlanarak yalnızca yüksek zirkon dioksitli bir frit reçetesi hazırlandığında fritin kimyasal dayanımı yüksek olmasına rağmen ıslatma açısında iyileşme olmadığı görülmüştür. Aynı şekilde yalnızca fosfor penta oksitli frit reçetesi hazırlandığında fritin ıslatma açısı yüksek olmasına rağmen kimyasal dayanımı düşmüştür. Yalnızca yüksek alüminyum oksitli frit denemelerinde kimyasal dayanım iyileşse de ıslatma açısında yükselme gözlenmemiştir. Yalnızca yüksek fosfor penta oksitli reçetelerde ergitme potasında aşırı deformasyon olması ve ayrıca bu fritlerin kimyasal dayanımlarının çok düşük olmasından dolayı yüksek zirkon dioksitli yapılan frit ve yüksek alüminalı tasarlanan frit reçetelerinde yüksek miktarda fosfat tanımlanarak kimyasal dayanım ve ıslatma açıları dengelenmiştir.

Nihai ürünün genleşme katsayısını dengelemek için düşük genleşme katsayısına sahip yüksek silisyumlu ve kimyasal dayanımı yüksek bir frit tasarlanmış ve bu sayede karışımında kullanılan diğer iki fritin yüksek genleşme katsayıları düşürülmüş olacaktır.

Bu fritlerin oranları kendi arasında değiştirilerek farklı değirmen şartları ve pişirme şartları belirlenmiş ve denemeler yapılmıştır.

Sebebi sonuç matrisinde yüksek çıkan değerlere odaklanılmış ve buna göre deney tasarımı yaparken bu değerlerin üzerine çalışma yapılmasına, yüksek etkinin görülmesi açısından karar verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yapışmazlık özelliğini en çok etkileyen 4 süreç girdisi belirlenmiştir. Frit oranı, korund miktarı,

pişirme derecesi ve pişirme süresi değişken parametreler olarak belirlenmiş, değirmen katkıları, öğütme inceliği, uygulama kalınlığı ve uygulama şekli ise sabit parametreler olarak belirlenmiştir. Tüm deneylerde sabit tutulmuşlardır.

Değişen korund miktarları ve sabit değirmen katkıları ile belirlenen süre boyunca alümina değirmenlerde öğütülüp uygulama yapıp belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek sitrik asit, ETC testi, renk, parlaklık değerleri, kaplama kalınlıkları, ıslatma açıları ölçülmüştür.

Yapılan analizleri kıyaslamak adına ETC emaye kaplı plakaya ölçüm yapılmış ve ıslatma açısı değeri 33° olarak ölçülmüştür. En iyi sonucu 2,5,8 numaralı denemeler vermiştir. Aralarındaki en yüksek sonuç 5 numaralı deneyde $78,8^{\circ}$ ölçülmüştür. Bu değerlere göre frit kullanım oranlarının en etkili olduğu görülmüş ve A fritinin kullanım oranı arttığında ıslatma açısının arttığı sonucu çıkarılmıştır. Korund miktarlarına baktığımızda test sonuçları başarılı olan 2 ve 5 no'lu tasarımlarda miktar %10 olmasına rağmen 8 no'lu tasarımda %1'dir. Bu da korund oranının frit karışımlarının sertliğine ve pişirme sıcaklığına göre belirlendiğini göstermektedir.

Bu çalışma, ikinci kat bir emayenin yapışmazlığının artırılması amacıyla yapılmış ve buna göre frit tasarımı yapılmıştır. Fritlerdeki yüksek zirkon, alümina ve fosfor ile tek kat bir emaye tasarlanması zor gibi gözükse de çalışmaları Bizmut oksit gibi kimyasal dayanımı yüksek ve zirkon ve diğer refrakterlere göre düşük ergime noktasına sahip malzemeler kullanarak daha düşük alkali oksit içeren fritler tasarlanabilir.

Fosfor penta oksitin frit içerisinde yüksek oranda kullanılmasının frit ergitme potalarında fazla deformasyona yol açmasını engellemek için fritlerdeki fosfor pentaoksit oranı düşürülerek değirmen formülünde alüminyum metafosfat veya zirkonyum fosfatlar girilmek suretiyle ıslatma açıları yükseltilebileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalar için tavsiye niteliğinde değerlendirilebilir.

IMPROVEMENT OF NON-STICK FEATURE ON ENAMEL COATED PARTS

SUMMARY

Enamel is an inorganic coating material applied to cast iron or metallic parts. It is baked at high temperatures and creates a glassy structure on the surface.

Enamels are one of the preferred industrial coating methods since ancient times. It was developed by being inspired by the shining of precious stones in ancient times. Enamels are important coating materials required for metal parts to be resistant to external influences. It is preferred because it increases the resistance against corrosion, chemicals and external factors of the materials they are coated. In addition, the long-term preservation of the aesthetic properties of the enamel ensures that the substrate is not damaged and is protected for a long time.

The contents of the enamels are developed according to the desired feature and their formulas are revised. The main component of enamels are frits. For enamel, frits must form. The properties expected from enamels are taken into account when creating frits. The surface on which the frit composition will be applied is determined according to the property and quality expected from the coating material. Frits are composed of different inorganic oxidic compounds. Inorganic metal oxides melt in high-grade furnaces to form a borosilicate glass structure and this structure is called frit. Enamel is formed by grinding the frits formed according to certain dimensions in ball mills with various additives. The enamels formed are applied according to the appropriate method and are baked at the specified temperatures and times, spread on the surface and form a coating.

The enamel coating has high chemical resistance, provides a shiny and an aesthetic appearance to the parts. For this reason, the usage areas of enamels are quite common today. They are used in many areas such as ornaments, stove pipes, sinks, bathtubs, kitchenware. The most frequently used areas are kitchen utensils, cooking devices. However, the non-stick properties of enamels on surfaces that come into contact with food are not good. This study was carried out to improve the non-stick property.

In the study, the 4 process inputs that will affect the wetting angle the most were determined by the cause and effect matrix method as frit rates, corundum amount, cooking temperature and cooking time. Three different levels have been determined for process inputs. The necessary trials for 4 process inputs and 3 different levels were determined and applied by the Taguchi method.

Three new frits have been formulated to increase the wetting angle. While the preliminary study of these 3 frits was carried out, many frits with high amounts of zircon dioxide, phosphorus penta oxide and aluminum oxide were tested, unlike the frits used in the market. When we use all of these materials in the same frit, the non-stick feature did not develop at the desired level.

When frits were designed separately and only a high zirconia frit recipe was prepared, it was observed that there was no improvement in wetting angle, although the frit's chemical resistance was high. Likewise, when the frit recipe with only phosphorus penta oxide was prepared, the chemical resistance of the frit decreased although the wetting angle of the frit was high. Although chemical resistance improved only in high aluminum oxide frit trials, no increase in wetting angle was observed. Chemical resistance and wetting angles are balanced by defining a high amount of phosphate in frits made with high zirconia dioxide and frits designed with high alumina, due to excessive deformation in the melting pot only in recipes with high phosphorus penta oxide, and also because the chemical resistance of these frits is very low.

In order to balance the expansion coefficient of the final product, a frit with low expansion coefficient, high silicon and high chemical resistance is designed, and thus the high expansion coefficients of the other two frits used in the mixture will be reduced.

The ratios of these frits were changed among themselves, different milling conditions and cooking conditions were determined and experiments were carried out.

Frits are ground in alumina ball mills with additives determined according to the application method of the enamel and the desired color, chemical resistance, thermal shock resistance of the enamel. The grinding process has an important place in this process. The grain size measurement method of wet enamels is the Bayer technique. For the enamels to be applied as spray, the grain size is generally 0.5 – 1.5 Bayer / 150 mesh, while the grain size for the enamels to be applied as dipping is 2 – 5 Bayer / 150 mesh. In this study, the Bayer value is in the range of 0.5-1, since the application was made as a spray.

The effect degrees of cleanability, gloss, color, surface, adhesion and citric acid resistance properties that can affect the non-stick properties of enamels were determined. In the degree of impact, 1 represents the least and 10 the most. It is known that the wetting angle must be increased for the development of non-stick properties. The process inputs that change the properties affecting the wetting angle in the process from the enamel preparation process to the cooking and how effective these inputs are have been determined by the cause and effect matrix.

The high values in the cause-effect matrix were focused on and it was decided to work on these values while designing the experiment, in order to see the high effect. As a result of the calculations, 4 process inputs that affect the non-stick property the most were determined. Frit rate, corundum amount, cooking degree and cooking time were determined as variable parameters, while mill additives, grinding fineness, application thickness and application method were determined as fixed parameters. They were kept constant in all experiments.

3 different values were determined for variable parameters. Corundum amounts, cooking degree and cooking time were determined based on previous laboratory studies. The mixing and cooking conditions required for 3 different levels with the determined 4 process inputs were determined according to the Taguchi experimental design method. Fixed mill additive recipe was used. The bayer value of the prepared enamels was determined as 0.5 - 1.0 Bayer range, the application method was wet spray application, and the application thickness was determined as 200 - 250 micrometers (primer + second layer).

Apart from quartz or potassium feldspar, which is used for hardening in traditional wet enamel mill formulas, corundum is preferred. Since corundum is a harder material than other materials, it will not melt completely on the surface during cooking and will form bumps and voids. In this way, it is aimed to increase the wetting angle. Experimental design was prepared with different frit ratios and different corundum amounts, since the surface appearance will be distorted if corundum is used in high amounts or if it is used in a hard frit combination, if it is not fully spread on the surface. The citric acid, ETC test, color, gloss values, coating thicknesses, wetting angles were measured by grinding in alumina mills for a period determined by varying amounts of corundum and fixed mill additives.

In order to compare the analyzes, measurements were made on the ETC enamel coated plate and the wetting angle value was measured as 33°. Trials numbered 2,5,8 gave the best results. The highest result among them was measured at 78.8° in experiment number 5. According to these values, it was seen that the frit usage rates were the most effective and it was concluded that the wetting angle increased when the usage rate of A frit increased. When we look at the amount of corundum, the amount is 10% in designs no. 2 and 5 with successful test results, but it is 1% in design no. 8. This shows that the corundum ratio is determined according to the hardness of the frit mixtures and the cooking temperature.

This study was carried out to increase the non-stickiness of a second layer of enamel and a frit design was made accordingly. Although it seems difficult to design a single layer of enamel with high zircon, alumina and phosphorus in frits, frits with lower alkali oxide can be designed by using materials with high chemical resistance such as bismuth oxide and lower melting point than zircon and other refractories.

It is thought that wetting angles can be increased by adding aluminum metaphosphate or zirconium phosphates in the mill formula by decreasing the phosphorus pentoxide ratio in the frits in order to prevent excessive use of phosphorus pentoxide in the frit from causing excessive deformation in the frit melting pots. It can be considered as a recommendation for future studies.



1. GİRİŞ

Emaye, metal saclara ya da döküm parçalara kaplanarak kaplandığı malzemeye estetik özellik sağlayan, kimyasal dayanımını arttıran inorganik yapıdaki kaplama malzemeleridir.

Emayeler, aside dayanıklı, kolay temizlenebilir, buhara dayanım, yağ emme özelliklerine sahip olabilirler. Farklı özellikteki emayelerin içerikleri birbirlerinden farklılık gösterirler, istenen özelliği sağlamak için emayelerin içerisinde kullanılan fritlerin formülasyonu değiştirilir.

Emayeler, üzerlerinde bakteri toplamadıklarından özellikle mutfak eşyalarında kullanılacak sağlıklı kaplama malzemeleridir. Mutfak eşyaları yiyecek ile temas ettiklerinden kullanılan emayelerde genellikle asit dayanımı, ETC özelliği beklenir. Son zamanlarda emayeli yüzeylerde yiyeceğin yüzeye yapışmaması artan talepler arasındadır.

Bu çalışmada emayelerin yapışmazlık özelliğini arttırmak için çeşitli formülasyona sahip emayeler ile farklı pişirme şartlarında denemeler yapılmıştır. Yapışmazlığın artması için yüzey ile sıvının yaptığı ıslatma açısının artması gerekmektedir. Emaye kaplamalarında ıslatma açısı değerleri ortalama olarak 35-50o arasındadır. Bu çalışmada bu değerlerin arttırılması amaçlanmıştır.



2. EMAYE

2.1. Emaye Nedir

Metal özelliğe sahip parçalarda parlak ve pürüzsüz yüzeyler istenir. Bu yüzeylerin dayanımının yüksek ve sert olmaları gerekir. Bu özellikler emaye kaplamalar ile sağlanır [1,2]. Emaye kaplamalar, nesnenin yüzeyine fiziksel dayanımı ve kimyasal dayanımı iyi olan estetik özellikler kazandırır [3]. Emaye, metalik parçaya koruyucu bir kaplama yapabilmek için yüksek sıcaklıkta oluşturulan inorganik bir kaplamadır [4]. Alman Norm Birliği'nin RAL 529 A2 nolu standardında emaye: "Emaye; oksidik formdan ergitme veya fritleme ile oluşturulan farklı katkıları eklenerek çeşitli yöntemlerle metal ya da cam parçaların üzerine eritilmesi ile oluşan inorganik kaplamadır." [5].

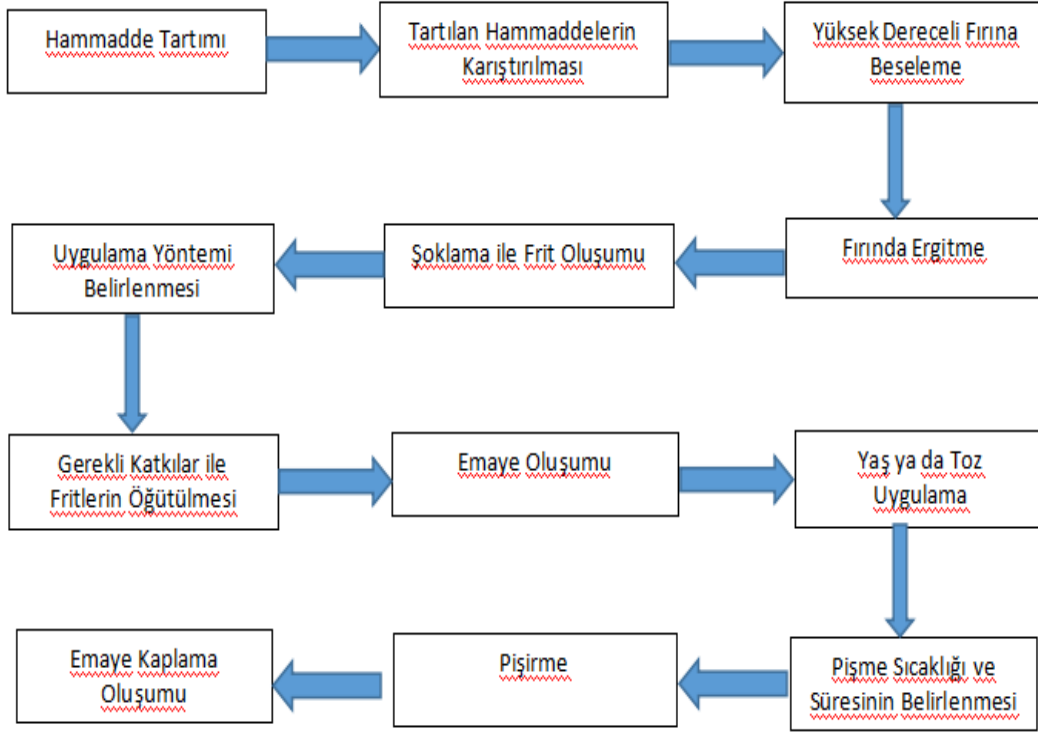
2.2. Emaye Tarihçesi

Emayeler metal parçaların dış etkilerden korunması için önemli endüstriyel kaplamalardır. Bu kaplamalar, eski çağlardaki değerli taşların parıldamasından yola çıkılarak değerli nesneleri süslemek amacıyla geliştirilmiştir. Emaye, 1700'li yıllarda 1. Sanayi Devrimi ile fonksiyonel kaplamalarda ucuz maliyetinden dolayı tercih edilmeye başlamıştır. Bu nedenle bu yıllarda emaye kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Emayeleme eski bir yöntemdir. Korozyona, kimyasala ve dış etkenlere karşı gösterdiği dayanım yüksek olduğundan tercih edilir. Ayrıca, emayenin estetik özelliklerini uzun süreli koruması alt tabakanın zarar görmemesini ve uzun süreli korunmasını sağlar [3].

Emayeler, metalik nesneler için önem arz eden kaplama malzemesi olmayı sürdürüyor. Son yıllarda, ekonomik ve gelen farklı taleplere uygun emaye kaplama malzemelerinin formülleri revize edilmiş ve yeni yöntemler geliştirilmiştir. Elektrostatik tozlar ve uygulama yöntemi ile elektroforetik uygulama, malzeme, işçilik ve üretim giderlerini azaltırken sektörü de canlandırmıştır. Oluşan yeni talepler nedeniyle sektör sürekli kendini yenilemektedir [6].

2.3. Emaye Üretimi

Emaye içeriği, metaller üzerindeki kaplamanın özelliklerini geliştirmek için revize edilir [4]. Emayelerin özelliğini belirleyen ana hammadde frittir ve emaye için fritin oluşması gerekir. Frit bileşimi uygulamanın yapılacağı yüzeye, kaplama malzemesinden beklenen özelliğe ve kaplamanın kalitesine göre belirlenir. Fritin oluşması için çeşitli oksidik hammaddeler gerekir [3]. İnorganik metal oksitler, yüksek dereceli fırında ergiyerek borosilikat cam yapı oluştururlar ve bu yapıya frit denir. Oluşan fritlerin çeşitli katkı malzemeleri ile bilyeli değirmenlerde belirli boyutlara göre öğütülmesi ile emaye oluşur [4]. Oluşan emayeler uygun yöntemle uygulanırlar ve belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek yüzeye yayılırlar [7].



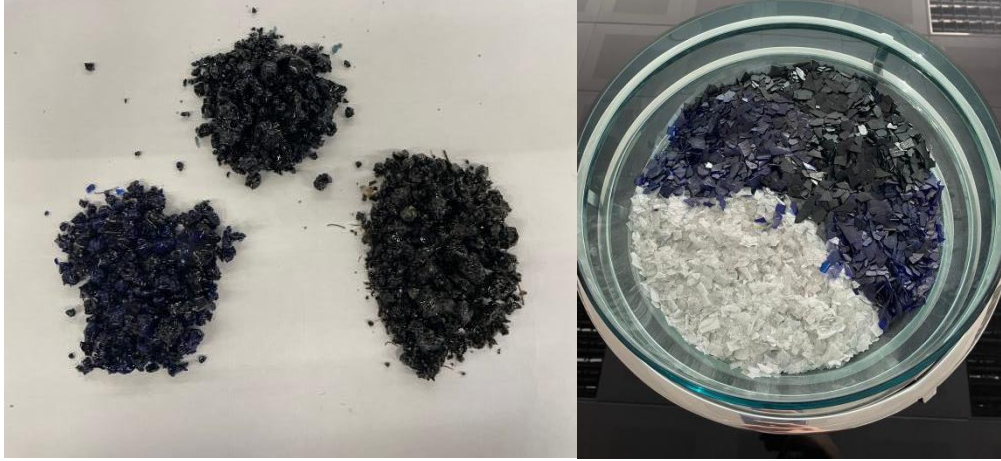
Şekil 2.1. Emaye Kaplama Üretim Aşamaları

2.3.1. Emaye hammaddesi: Frit



Şekil 2.2. Emaye Friti Üretim Fırını (Algotrio Kimya – 2022)

Frit, emaye kaplama malzemesinin ana hammaddesidir. Emayeden beklenen özelliğe göre yeni frit reçeteleri yapılır. Çeşitli inorganik hammaddeler belirlenen reçeteye göre tartılıp karıştırılır ve 1000 °C ile 1400 °C gibi yüksek derecedeki fırınlarda ergitilirler. Ergiyen yapı hızla soğutularak şoklanır. Şoklama işlemi iki şekilde yapılabilir. İlki; içerisinden soğuk su geçen silindirler ile ezilerek şoklama, ikincisi; ergiyen malzemenin soğuk suyun içerisine boşaltılarak şoklanmasıdır ve her iki durumda da camsı yapı oluşturulur. Soğutmanın türüne bağlı olarak kuru ya da yaş şekilde frit oluşur [4,8].



Şekil 2.3. Boncuk Frit (Sol) ve Pul Frit (Sağ) Görünümü (Algotrio Kimya-2022)

Frit reçetesinde kullanılan inorganik oksidik bileşikler; refrakterler, ergiticiler, opaklaştırıcılar ve diğer hammaddeler olarak 4 farklı grupta kategorize edilir [9]. Refrakter hammaddeler asidik özelliktedir ve camsı yapıyı oluştururlar. Ergitici hammaddeler bazik özellik gösterirler. Opaklaştırıcılar amfoter özelliktedir, hem asidik hem bazik özellik gösterirler ve bazlar ile reaksiyona girerek oluşacak fritin erime sıcaklığını aşağı çekerler. Diğer hammaddeler friti renklendirmek, emayeyi altlığa yapıştırmak için kullanılan hammaddelerdir [3,9].

Tablo 2.1. Frit formülünde kullanılan oksidik bileşenler [9]

Ergiticiler	Opaklaştırıcılar	Refrakterler	Diğer Hammaddeler
Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅
K ₂ O	B ₂ O ₃	TiO ₂	F
CaO	Y ₂ O ₃	CeO ₂	V ₂ O ₅
BaO	Bi ₂ O ₃	ZrO ₂	CoO
Li ₂ O			NiO
MgO			MnO
ZnO			CuO
SrO			Cr ₂ O ₃
			MoO ₃
			Fe ₂ O ₃
			Sb ₂ O ₃

Frit, uygulanacağı altlık malzeme, emayeden beklenen fiziksel ve kimyasal dayanım, emayenin kullanılacağı alanlara göre farklı formüllere sahiptirler. Yüksek dereceli fırınlarda pişirilecek olan emayelerin içeriğinde kullanılan fritlerde alkali oksitler yani Na₂O, Li₂O, K₂O gibi hammaddeler az miktarda kullanılırlar. Eğer kaplama prosesinde emaye düşük sıcaklıktaki fırında pişirilecekse fritin yumuşak olması

gerekir, bunun için de frit içerisindeki alkali oksit miktarı fazla, SiO_2 , TiO_2 gibi yüksek ergiyen oksitlerin miktarı az olmalıdır [9]. Yine fritin yumuşaklığı / sertliğini dengeleyebilmek ve termal genleşme katsayısını optimum değerde tutabilmek amacıyla B_2O_3 ün miktarı belirlenir.

2.3.2. Frit içerisinde kullanılan kimyasallar

Frit içerisinde kullanılan hammaddelerin çoğu mineral, kayaç gibi doğal yapılardan, diğer kısmı ise kimyasal proses sonucunda elde edilir [10].

2.3.2.1. Potasyum oksit - K_2O

K_2O , fritlerde kullanılan bazı oksitlerin başlıcalarındandır. Fritin yüksek genleşme katsayısına sahip olmasına sebep olur, fakat sodyum oksit kadar etkili değildir. Potasyum oksit; potasyum karbonat, potasyum feldspat, potasyum silika florür veya potasyum nitrat gibi hammadde kaynaklarından elde edilir [9].

2.3.2.2. Sodyum oksit - Na_2O

Sodyum oksit emaye fritlerinin temel bileşenlerinden biridir. Fritin termal genleşme katsayısını yükselten etkiye sahiptir. Düşük ergime sıcaklığına sahip bileşen olduğu için fritin erime sıcaklığını aşağı çeker. Temel hammadde kaynakları arasında boraks, sodyum feldspat, sodyum silika florür yer alır [9].

2.3.2.3. Lityum oksit - Li_2O

Lityum oksit kimyasal dayanımı yüksek olması istenen emaye fritlerinde ve cam fritlerinde genellikle kullanılır. Bu nedenle ETC, boiler, pirolitik özellikteki emaye fritlerinde kullanımı yaygındır. Düşük eriyen bir malzeme olduğu için emayenin düşük sıcaklıkta ergimesine sebep olur ve termal genleşme katsayısını yükseltir. Temel olarak lityum karbonat ve spodumenden elde edilir [9].

2.3.2.4. Magnezyum oksit - MgO

Magnezyum oksit temel olarak mat fritlerin reçetelerinde kullanılır. Reçetelerde kalsiyum oksit ve baryum oksit ile birlikte yer aldığı fritlerin matlaşmasına sebep olur. Beyaz fritlerde kullanılan kalsiyum ve baryum oksit oksit örtücülüğü düşüren bileşenlerdir, örtücülüğü düşen emayelerde mikro çatlakları engellemek için tercih edilir. Fazla miktarda kullanıldığında emaye ile sac arasında yapışmanın azalmasına sebep olur. Magnezyum Karbonat ve Magnezyum Oksit hammaddelerinden sağlanır [9].

2.3.2.5. Çinko oksit - ZnO

Cam ve emaye fritlerinde kullanılır. Fritlere yüksek parlaklık verir, frit renklerinin daha canlı görünmesini sağlar. Çinko oksit kullanılan fritlerde termal genleşme katsayısında düşürmesi için alkali oksit tarafında yer alır. Çinko oksit hammaddesinden elde edilir [9].

2.3.2.6. Kalsiyum oksit - CaO

Fritin temel bileşenlerinden biri olan SiO₂ ile bir ara tabaka oluşturarak yüzeyde oluşabilecek potansiyel mikro çatlaklara engel olurlar. Yüksek miktarda kullanıldığında matlaşma ve yapışmada zayıflama meydana gelir. Bu yüzden mat emayelerde MgO ve/veya BaO ile birlikte kullanılarak matlaştırma amacıyla tercih edilirler. Beyaz fritlerde örtücülüğü düşürdükleri için kullanılmazlar. Düşük maliyetinden dolayı maliyet azaltmak için dolgu olarak ta kullanılırlar. Kalsit ve Kalsiyum Florür, temel hammadde kaynaklarıdır [9].

2.3.2.7. Stronsiyum oksit - SrO

Silisyum dioksit bileşeni ile bir ara katman oluşturur ve emaye kaplamanın çatlanmasını engeller. Koyu renge sahip olması istenen emayelerin fritlerinde yüksek oranda kullanılır, bunun sebebi ise stronsiyum oksidin diğer metal oksitlerden fazla boyanmasıdır. Birlikte bulunduğu pigmentler ile fritin renginin daha baskın olmasını sağlar. Stronsiyum karbonattan elde edilir [9].

2.3.2.8. Baryum oksit - BaO

Diğer toprak alkali metal oksitler gibi yüzeyde oluşabilecek mikro çatlaklara engel olurlar. Yüzeydeki baloncuk yapısının boyutlarının daha küçük olmasını sağlarlar. Bu sayede elektrostatik olarak uygulanacak emayelerin fritlerinde daha çok tercih edilirler. MgO ve/veya CaO ile birlikte yüksek miktarda kullanıldığında mat fritler elde edilir. Baryum Karbonat ve Baryum Nitrat, temel hammadde kaynaklarıdır. Baryum Nitrat, yüksek maliyetinden dolayı pek tercih edilmez [9].

2.3.2.9. Bor oksit - B₂O₃

Ülkemiz bor rezervi bakımından oldukça zengin olduğu için elde edilmesi düşük maliyete sahiptir. Bu nedenle emaye fritlerinde maliyeti düşürme konusunda oldukça öneme sahiptir. Fritlerde kimyasal ve fiziksel direnci olumlu yönde etkiler. Emaye kaplı yüzeylere çeşitli darbeler uygulandığında kolaylıkla kırılmalarını ve çizilmelerini engeller. Bor oksit, fritlerin genleşme katsayılarını düşürür. Genleşme

katsayısı düşük olan fritlerin termal şok direnci zayıf olur, sıcak soğuk müdahale sonucunda emayelerde atmalara sebep olabilir, bu nedenle optimum kullanımı önemlidir. Ülkemizde bulunan boraks, boraks dekahidrat veya pentahidrat temel hammadde kaynaklarındandır [9].

2.3.2.10. Alüminyum oksit - Al_2O_3

Cam yapı içerisinde yer alır. Frite amorf yapı vermek ve mekanik dayanımı arttırmak için kullanılır. Alüminyum oksit yaş emayelerde daha çok tercih edilir. Yaş emaye fritlerinde kullanılarak emayenin set değerine etki eder. Kullanım miktarı arttıkça set değerinin sabitlenmesine yardım eder. Elektrostatik toz emayelerde ise kullanımı yaygın değildir. Alüminyum oksit kullanıldığı fritlerin sıcaklığa karşı dayanımını, aşınma mukavemetini de arttırır [9].

Alüminanın ergime sıcaklığı yüksek olduğundan emayeye direkt eklemek probleme yaratır. Bu sebeple ergimesi düşük olan feldspat gruplarının kullanımı tercih edildiğinde alüminanın emaye yapısına katılması kolaylaşır [9,10].

2.3.2.11. Bizmut oksit - Bi_2O_3

Bizmut oksit genellikle cam emayelerinde yer alan fritlerde tercih edilir, özellikle otomotiv camlarındaki emayelerde kullanılır. Aside mukavemet istenen fritlerde yüksek oranda yer alır. Kurşun oksidin zararlı olmasından kaynaklı olarak kullanımı azaldıkça alternatif olarak bizmut oksidin kullanımı artmıştır. Bizmut oksit başlıca kullanılan hammaddedir [9].

2.3.2.12. İttriyum oksit - Y_2O_3

Reçete içerisinde çok sık kullanılan bileşen değildir. Kullanıldığı fritlere antibakteriyel özellik sağlar. Nadir bileşenlerden biri olduğundan uygun maliyetli değildir. Bu nedenle frit reçetelerinde çok fazla yer verilmez. Başlıca kaynağı itriyum oksittir [9].

2.3.2.13. Silisyum dioksit - SiO_2

Cam malzemelerin temel bileşeni olan silikat, SiO_2 , kristal yapıda % 99 saflıkta kuvars halde doğada bulunur. Emayeler, seramik fritlerinde olduğu gibi SiO_2 ile camsı özellik kazanır. SiO_2 bileşeninin ergime noktası yüksek olduğu için fritlerin içerisinde miktarı arttıkça sertlikleri artar. Fritlerin sertlik ve yumuşaklıklarını belirleyen ana oksidik bileşenlerden biridir. Fritin sertliği arttıkça ısıya karşı dayanımı, asitlere veya alkalilere karşı olan dayanımları da artar. Frit içerisinde kullanımı termal genleşme

katsayısını düşüktür. Ayrıca altlığa yapışması zayıf olduğu için emayenin yüzeye yapışmasını olumsuz etkiler. İstenilen frit özelliğine göre SiO_2 miktarını belirlemek oldukça önemlidir [9,10].

Temel olarak kuvars hammaddesinden sağlanır, bunun yanında reçete içeriğine bağlı hammadde kaynakları çeşitlenebilir. Reçete içerisinde alüminyum, sodyum, potasyum gibi bileşenler mevcutsa kaynak olarak feldspatlar da tercih edilebilir. Eğer içerikte zirkonyum mevcutsa zirkon silikat kullanılabilir. Bu hammaddeler maliyeti düşüren hammaddeler arasındadır [9,10].

2.3.2.14. Titanyum dioksit - TiO_2

Genellikle beyaz, transparan, yarı transparan özellikteki fritlerde rengin beyazlığını kuvvetlendirmek için kullanılır. Bunun yanı sıra örtücülüğü arttırmak ve rengi açmak için de kullanılır. Fritlere SiO_2 ile birlikte kullanıldıklarında sertlik verir ve fritin aside dayanımını artırır. Düşük maliyetinden dolayı genellikle anatas titanyum dioksit tercih edilir. Fakat içeriğinde Fe_2O_3 içeren renkli emayelerde maliyeti daha uygun olan doğal rutil kumu da tercih edilir [9].

2.3.2.15. Zirkon dioksit - ZrO_2

Emaye fritlerinde kullanıldığında emayeye alkali dayanımı, kaynar su dayanımı, su buharı dayanımı verir. Ayrıca fritlere yüksek sıcaklıklara dayanım kazandırır. Zirkon dioksit veya zirkon silikat hammaddelerinden sağlanır [9].

2.3.2.16. Seryum oksit - CeO_2

Seryum oksit fritlerde rengin açılmasını ve emayenin örtücülüğünün artmasını sağlar. Yumuşak yapısı ve ergime sıcaklığının düşük olması sebebiyle titanyum oksit, zirkon dioksit gibi sert malzemeler yerine tercih edilebilir [9].

2.3.2.17. Flor - F

Flor, fritin üretimi esnasından fırından kolay ergimesini sağlar. Flor bileşeni fritlerde asit dayanımına etki eder. Flor kullanım oranı arttıkça asit dayanımı azalır. Florun özellikle beyaz fritlerde kullanımı hassastır, her frit için optimum bir miktar vardır ve değişkenlik gösterir. Frit içerisindeki oranı değiştirilerek denemeler yapılır ve oran belirlenir. Belirlenen orana göre frit ergitmesi yapılır. Kalsiyum florür, potasyum silika florür, sodyum silika florür hammaddelerinden elde edilir [9].

2.3.2.18. Fosfor pentaoksit - P₂O₅

Fosfor penta oksidin emaye frit içerisinde kullanımı emayeye farklı özellikler kazandırır. Özellikle beyaz fritlerin içerisinde kullanımı önemlidir, böylece fritlerin örtücülüğü sağlanır. Fosfor pentaoksit miktarı arttığında yüzey pürüzlülüğü artar. Yapışmayı sağlayan ana bileşenlere yardımcı olarak yapışmayı kuvvetlendirir. Yaş emayelerde kullanımı çok olursa akışkanlık düşer. Fosfor pentaoksidin kullanım miktarı arttığında emayenin ıslatma açısı da yükselir ve yapışmazlık (non-stick) özelliğın artmasına sebep olur [9].

2.3.2.19. Vanadyum pentaoksit - V₂O₅

Vanadyum penta oksit sağlığa zararlı bir bileşendir. Bu nedenle gıda ile temas eden yüzeylerde kullanımı uygun değildir. Gıda ile teması olmayan yüzeylerde kullanılacak fritler için kullanımı uygundur. Genellikle alüminyum üzerine kaplanan emayelerin içerisinde kullanılır ve emayenin alüminyum yüzeye yapışmasına sebep olur [9].

2.3.2.20. Mangan oksit - MnO

Pigment ve emaye fritlerinde kullanılır. Mangan oksit fritlerin rengini koyulaştırıp kırmızıya yönelmesine sebep olur. Renkli metal oksitlerle kalsine edilerek pigment oluşumunda yer alır. Manganez ve mangan karbonat hammaddelerinden sağlanır [9].

2.3.2.21. Kobalt oksit - CoO

Fritlerde renklendirme ve yapışmayı sağlar. Emayelerin saca yapışmasını sağlayan önemli oksidik bileşenlerden biridir. Frit renklerinin koyulaşmasına ve maviye yönelmesine sebep olur. Kobalt oksit, beyaz fritlerde bile az oranda da olsa kullanılır, bu sayede maviye çalan beyaz renk elde edilir. Pigment formüllerinde de yer alır, özellikle mavi, turkuaz ve siyah renk pigmentlerin formülünde yüksek oranlarda yer alır. Lityum kobalt oksit, kobalt karbonat, kobalt oksit gibi hammadde kaynaklarından elde edilir [9].

2.3.2.22. Nikel oksit - NiO

Emayenin altlığa yapışmasını sağlamak ve emayeyi renklendirmek için formüllerde nikel oksite yer verilir. Yapışmayı sağlayan en önemli hammadde, yapışma üzerinde önemli etkisi vardır. Emaye içerisinde kullanıldığında emayenin rengini haki yapar [9].

2.3.2.23. Bakır oksit - CuO

Pigment ve emaye frit formüllerinde kullanılır. Siyah renk pigmentlerinde kullanıldığında rengin baskın olmasını sağlar. Emaye fritlerinde siyah renk vermek ve yapışmayı desteklemek için yardımcı hammadde olarak kullanılır. Bakır oksit emaye frit formüllerinde kullanıldığında renk mavi ve yeşile yönlenir. Kobalt ve Nikel oksit gibi yapışmayı asıl sağlayan oksidik bileşenlerin mutlaka olması gereklidir, bakır oksit gibi yardımcı oksitler yapışmayı tek başlarına sağlayamazlar [9].

2.3.2.24. Demir oksit - Fe₂O₃

Renklendirici oksidik bileşenlerden biridir. Emaye fritleri ve pigmentlerde kullanılır. Siyah fritlerde kullanıldığında renk spektrometresine göre a değerini negatifleştirerek yeşile yönlendirir. Beyaz, transparant türü emayelerde renkte kirliliğe sebep açar bu nedenle bu emayelerde istenmeyen malzemedir. Siyah ve kahverengi pigment yapımında özellikle tercih edilir. Pigmentlerde siyah demir oksit, fritlerde ise genellikle kırmızı demir oksit tercih edilir [9].

2.3.2.25. Krom oksit - Cr₂O₃

Krom oksit emaye fritleri ve pigment formüllerinde kullanılır. Genellikle renk verici olarak kullanılır. Krom oksit siyah emaye fritlerinde kullanıldığında emayenin rengini yeşil ve sarıya yönelir. Beyaz emaye fritlerinde kreme döndürerek rengin beyazlığını kırar. Kahverengi, turkuaz, hardal, siyah pigmentlerin içerisinde yer alır. Krom oksidin fazla kullanımından kaynaklı olarak direkt emayelerde yapışma kaybı yaşanabilir, bu sebeple kullanım miktarını optimuma ayarlamak önemlidir [9].

2.3.2.26. Antimon trioksit - Sb₂O₃

Emaye fritlerinde ve pigment yapımında kullanılır. Emaye fritlerinde yapışmaya yardımcı elemandır. Emayenin saca yapışması için asıl yapışmayı sağlayan oksidik bileşenler mutlaka gereklidir. Sb₂O₃ bileşenin sağlandığı kaynaklar antimon trioksit ve sodyum antimonat hammaddeleridir [9].

2.3.2.27. Molibden trioksit - MoO₃

Emaye fritlerine yapışma özelliğini arttırmak için katılır. Yapışmaya yardımcı bileşendir. Frit içerisinde asıl yapışmayı sağlayan hammaddeler olmadığında emayeyi saca yapıştıramaz. MoO₃ bileşenin sağlandığı hammaddeler molibden trioksit ile sodyum molibdattır [9].

2.3.3. Frit öğütme işlemi



Şekil 2.4. Emaye öğütme değirmeni (Algotrio Kimya 2022)

Fritler, emayenin uygulama yöntemine göre ve emayeden istenen renk, kimyasal dayanımı, termal şok direnci gibi istenen özelliğe göre belirlenen katkı malzemeleri ile alümina bilyeli değirmenlerde öğütülürler. Öğütme işlemi bu proseste önemli yer tutmaktadır [11]. Çapı 1,5 – 5 cm olan alümina bilyelerin boyutu ve miktarı, değirmenin boyutu, kullanılan fritlerin kalınlığı, fritlerin öğütülme süresi gibi parametreler emaye tanecik boyutunu etkilerler. Elektrostatik toz olarak uygulanan emayelerin tane boyutu dağılımının % 70 – 90' ı 45 mikronun (325 mesh) altındadır. Yaş emayelerin tane boyutu farklı bir ölçüm yöntemiyle belirlenir. Bu ölçüm yöntemi Bayer tekniğidir [12]. Sprey olarak uygulanacak emayeler için genel olarak tane boyutu 0,5 – 1,5 Bayer / 150 mesh olurken daldırma olarak uygulanacak emayeler için tane boyutu 2 – 5 Bayer / 150 mesh olarak hazırlanır.

Öğütme değirmenlerinin iç kısmı porselen, steatit, alüminalı seramik veya sinterlenmiş alümina ile örülmüştür. Öğütmek için kullanılacak olan bilyeler de değirmenin içi ile aynı malzemeden yapılmalıdır. Malzemeler arasında sertlik yumuşaklık farkı olursa sert olan yumuşak olanı aşındırıp kullanımını engeller. Birbirlerine uyumlu malzemeler seçilmelidir. Değirmenlerin içi hacimlerinin %55i kadar bilye ile

doldurulmalıdır ve bilye boyutu en az iki farklı boyutta olmalıdır ki öğütme işleminde homojenlik böylelikle sağlanır. [18].

Öğütme inceliğinin standart sürede oluşması için değirmene yüklenecek olan fritin ağırlığını iyi belirlemek gerekir. Eğer frit miktarı olması gerekenden az olursa değirmen içinin ve bilyelerin aşınmasına sebep olur, fritler gerekenden fazla olursa öğütme süresini uzatacaktır. Öğütülecek fritin miktarı değirmen iç hacmi ile 0,8 katsayısının çarpılmasıyla elde edilir [18].

Öğütme işleminin iyi yapılabilmesi için değirmenin dönme devir sayısının optimum olması gerekir. Değirmen hızı yavaş olursa bilyeler fritin üzerine düşerek öğütme yapamaz, birbirleri üzerinde kayarak hareket ederler. Eğer değirmen hızı yüksek olursa da merkezkaç kuvveti sebebiyle bilyeler değirmenin iç yüzeyinde dönerek frit öğütmesi yapamazlar. Frit öğütmek için en uygun değirmen dönme hızı 80-90 m/dk.'dır. Değirmendeki bir noktanın bir dakikada 80 – 90 metre hareketidir [18].

2.3.4. Emaye uygulama

Emaye, camsı yapıdaki fritlerin belirlenen oranlarda alümina bilyeli değirmenlerde öğütülmesiyle oluşur [3]. Uygulama yöntemlerine göre emayeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Toz emayeler
 - Elektrostatik toz emaye uygulama
- Yaş emayeler
 - Manuel sprey
 - Daldırma
 - ESTA (Elektrostatik sprey)
 - Elektroforetik uygulama (Elektrostatik daldırma)
 - Sıvama (flow coating) [10]

2.3.4.1. Elektrostatik toz yöntemi ile emaye kaplama

Elektrostatik yöntem ile kaplama dünyaca tanınan bir yöntemdir. İlk olarak endüstriyel hat 1976 yılında Fransa' da kurulmuştur, yeni uygulama yöntemidir. Bu yöntemde maliyetin düşük olması yaygın olarak kullanılmasının sebeplerinden biridir [13,14].

Toz emayeler elektrostatik olarak kaplanır. Bu yöntemdeki emayenin içerisindeki fritlerin elektriksel özelliğe sahip olması gerekir. Hazırlanan değirmen karışımına ek olarak silikon katılır. Silikon bir kapsül oluşturarak emayeyi sarar ve bu sayesinde fritler elektrik yükünü bünyelerinde tutarlar, kullanılan yağ suda çözünmeyeceği için tozun nemlenmesini engeller ve tozun akıcılığı sağlanır [7,10 ,15].

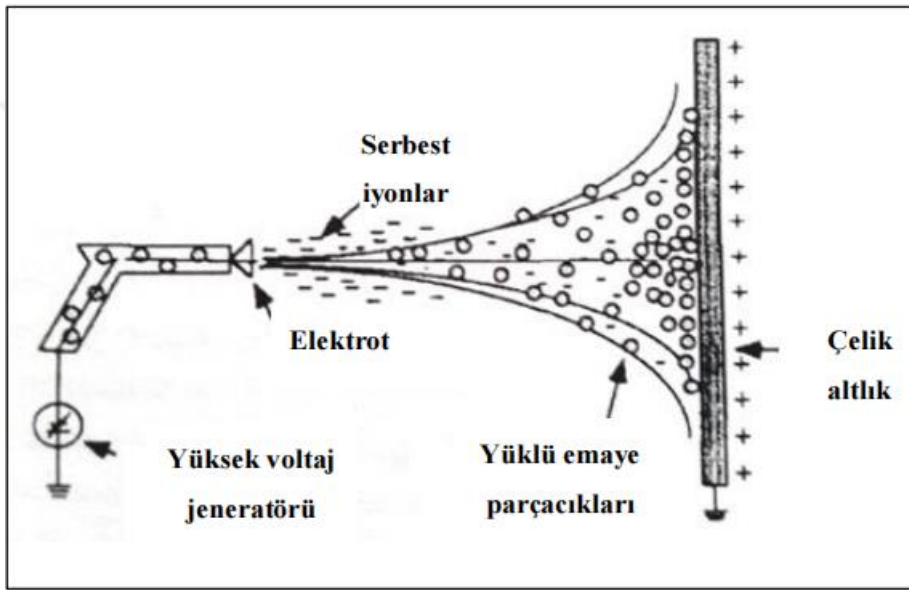


Şekil 2.5. Elektrostatik Toz Emaye Uygulama Kabini (Algotrio Kimya Laboratuvarı 2022)

Kaplama yapılacak altlık topraklanır ve elektrostatik tabancadan çıkan ve elektrikle yüklenen tozlar altlık üzerine uygulanır ve tozun altlığa tutunması sağlanır. Kaplanan parça fırınlanarak camsı yüzey oluşturulur [16].

Elektrostatik toz kaplama yönteminde emaye kullanım verimi daha fazladır. Yaş uygulama yöntemlerine göre daha az emaye israfı olmaktadır. Altlığa kaplanamayan tozlar kabinden alınır ve uygulama için tekrar kullanılabilir. Toz kaplama yöntemi ile homojen kaplama kalınlığı elde edilir. Toz emayelerde, yağ emayelerde kullanılan değirmen katkıları kullanılmaz ve katılardan dolayı oluşacak hatalar önlenir. Ayrıca yağ emayelerde kullanılan katkı malzemelerinden bazıları yüzeyin parlak görünümünü azaltır, toz emayelerin yüzeyi daha parlaktır. Bu nedenle yüzey görünümü daha pürüzsüz ve kalitelidir [7,16].

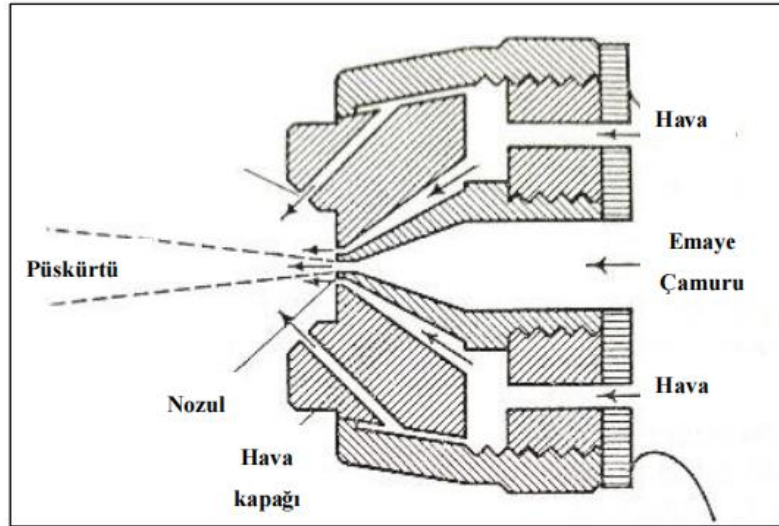
Bu tekniğin temeline göre elektronlar 60 – 90 KV'a bağlı bir korona elektrottan çevredeki gaz alana akarlar ve havadaki elementleri iyonize ederler. Bu anda oluşan pozitif yüklü azot iyonları negatif yüklü elektrod tarafından çekilip deşarj edilirler. Negatif oksijen iyonları hava akımı içinde dağılmış frit partiküllerinin üzerinde depolanır ve onları negatif yüklerle yüklerler. Kaplanacak olan parça pozitif kutba bağlandığından frit partikülleri parçanın üzerinde depolanırlar. Negatif yükler çalışma parçasına transfer oldukça kaplama gerçekleşir. Belli bir kalınlığa ulaşıldığında parça daha fazla frit çekemez. Böylece kaplama kalınlığı kendi kendine sınırlanır. Bu kalınlık kütle akışı ve elektrik yüküyle olduğu gibi voltajla da ayarlanır [7,10]



Şekil 2.6. Elektrostatik toz spreyleme yöntemi şematik gösterimi

2.3.4.2. Yaş Emaye püskürtme (manuel sprej) yöntemi ile emaye kaplama

Frit ile çeşitli katkıların bilyeli değirmenlerde su ile öğütülmesiyle emaye çamuru oluşur.



Şekil 2.7. Hava destekli spreyleme tabanca mekanizması

Çok geniş bir kullanım alanı vardır. Düz parçalar ve delikli parçaların kolay kaplanmasını sağlar, kaplanmış ürünün estetik görünümünün önemli olduğu durumlarda daha çok tercih edilir [3,4]. Püskürtme sistemi; bir püskürtme kabini, pistole, basınçlı hava kompresörü ve bir emaye çamuru deposuna sahiptir. Emaye çamuru hava basınçlı tabanca ile püskürtülür ve kaplanacak parçaya uygulanır. Pistole ile uygulama yapabilmek için gerekli 2 – 3 mbar basınca sahip havayı sisteme kompresör sağlar. Püskürtme ile emaye kaybı çok fazla olur. Yapılan çalışmalar neticesinde kullanılan emayenin % 33' ünün metalik veya dökme demir parçaya uygulanabildiğini, % 67sinin ise ziyan olduğu anlaşılmıştır. Kabinde kalan emayenin kullanılabilmesi için emme sistemi yapılmıştır. Bu sistem sayesinde kullanılan emayenin oranı arttırılmıştır [3,7,10].



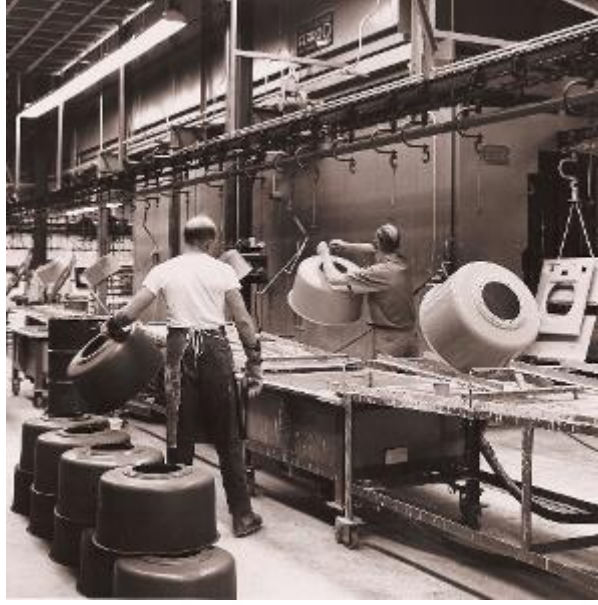
Şekil 2.8. Manuel sprey yöntemi ile uygulama (Algotrio – 2022)

Yaş emaye kaplandıktan sonra kaplı olan parça kurutma adımına geçer. Kurutma işlemi olduğunca hızlı yapılmalıdır ki bisküvi haldeki malzemenin üzerinde bir kirlenme olmasın. Kuruyan bisküvi haldeki kaplama pişirme adımına gönderilir [7].

2.3.4.3. Yaş emaye daldırma yöntemi ile emaye kaplama

Kaplanacak parçanın emaye çamuruna daldırılıp çıkarılmasıyla sağlanır. Parçalar büyükse çamura daldırıldıktan sonra asılır ve emayenin süzülmesi beklenir sonrasında kurutma ve pişirme adımına geçilir. Eğer parçalar küçükse emaye çamuruna daldırıldıktan sonra sıçratma metoduyla fazla emaye alınır, kaplama kalınlığının optimum olması sağlanır. Pürüzsüz kaplama yüzeyi elde etmek için emaye çamurunun fazlalığının yüzeyden alınması gerekir [7,10].

Daldırma işleminde öğütme inceliği, emayenin viskozitesi, yoğunluğu ve sıcaklığın kaplama kalınlığına etkisi fazladır. Eğer emaye uygulanacak altlık sıcak ise kaplama kalınlığı fazla olur ve sıcaklık sağlanamaz ise sacdan kaynaklı kaplama hataları da meydana gelir. Eğer sıcaklık düşük olursa emaye çamurunda çökmeler meydana gelir ve emaye uygulaması zorlaşır, kaplamanın yüzeyinde dalgalanmalar meydana gelir ve yüzey parlaklığının azalmasına ve kalitesinin düşmesine sebep olur. Bu nedenle en uygun kaplama kalınlığı 17-22 °C aralığında sağlanır [7,10].



Şekil 2.9. Daldırma yöntemi ile emaye kaplama

Bu yöntemle kaplama işlemi genellikle kompleks yapıdaki parçaların veya yuvarlak parçaların kaplanması için tercih edilen yöntemdir. Soba boruları, çamaşır makinesi sepetleri, tencere gibi mutfak eşyaları, mutfak tepsisi gibi ürünler bu şekilde kaplanır [3,4,10].

2.3.4.4. ESTA (elektrostatik sprey)

Emayeye yüksek voltaj verilir ve negatif yüklenir, altlık ise pozitif yüklenir. Uygulama, merkezinde tüp bulunan sprey tabancası ile yapılır. Merkezdeki tüpten emaye geçişi sağlanır. Tüpün etrafındaki nozullardan hava akışı olur ve hava akış hızı emaye geçiş hızından büyüktür. Böylelikle emaye tanecikleri ıslatılarak püskürtüldüğünde negatif yük ile yüklenir, emaye yüzeye kaplanır [10].



Şekil 2.10. ESTA yöntemi ile emaye kaplama

Kaplama kalınlığı ve yüzey homojenizasyonu önemli olan yüzeylerin kaplanmasında kullanılır. Emayenin öğütme inceliği, diğer yaş emayelerden daha incedir. Özellikle iki kat tek pişirim astar kat emayelerin kaplanmasında bu yöntem kullanılır. Yüzeyde istenen 40 - 50 mikron homojen kaplamanın elektrostatik sprej (ESTA) sayesinde yaş olarak kaplanması mümkündür [9].

2.3.4.5. Elektroforetik uygulama (elektrostatik daldırma)

Yaş emaye değirmeninde kullanılan katkı malzemeleri değişiktir. Daldırma yöntemine benzer, fakat farklıdır. Emaye kaplanacak parçanın üzerine emaye aktarılarak kaplama yapılır. Negatif yüklü fritler, karışım içerisinde askıda dururlar. Elektrolitik bir hücre yardımı ile altlığın üzerine tutunurlar. Pozitif yükle yüklenen su molekülleri katoda doğru hareket eder. Kaplama süresine ve voltaja göre kaplama kalınlığı değişir [9,10].



Şekil 2.11. Elektrosforetik uygulama yöntemi ile emaye kaplama

Emaye akma izi olmaması ve kaplama kalınlığının tüm yüzeyde hemen hemen aynı olması yüzey kaplama kalitesini artırır. Fakat kurulumu için yüksek maliyet gerektirdiği için fazla tercih edilmez [9,10].

2.3.4.6. Sıvama (flow coating)

Genel olarak daldırma yöntemine benzese de farklıdır. Emayenin kaplanacak altlık malzemenin üzerine akıtılmasıyla kaplama yapılır. Yani emaye, kaplanacak parçanın içerisine dökülür, emayenin her yere değmesi sağlanır, sonrasında fazlalığı dökülür ve kaplama yapılmış olur. Bu yöntem ile altlığın tümünün kaplanmasının gerekmediği durumlarda bir kısmı da kaplanabilir. Uygulama yönteminin yaygın kullanıldığı sektör termosifon kaplama sektörüdür. Bu parçanın sadece kaynar su geçen kısımlarının kaplanmasında kullanılır [9,].



Şekil 2.12. Flow coating yöntemi ile emaye kaplama

2.3.5. Kurutma

Bu işlem sadece yaş emaye uygulamalarından sonra yapılır, pişirme öncesindeki adımdır. Eğer kurutma aşaması olmadan yaş emaye pişirilirse yüzeyde köpürme meydana gelir. Kurutma işleminin amacı yaş emaye kaplamasındaki suyun buharlaşarak kaplamadan uzaklaşmasıdır. Emaye ile ortam arasında buhar katmanı oluşur. Bu katman ortamdaki hareketli hava ile yüzeyden uzaklaştırılır. Hava su buharını yüzeyden alır ve yaş emaye pişim öncesi bisküvi denilen kuru emaye katmanı oluşur. Su yüzeyden uzaklaştıkça kaplamanın alt tarafındaki sular yüzeye yaklaşır ve yüzey nemi aynı kalır. Eğer buharlaşma hızı, kaplamanın altından yüzeye gelen suların hızından çok fazla ise buharlaşma yüzeyden alt kısımlara doğru ilerlemeye başlar ve yüzeyde gerilmelere ve çatlamalara sebep olur. Eğer buharlaşma yavaş ise altlık paslanır. Bu gibi sorunları önlemek amacıyla uygun olan buharlaşma koşulları sağlanmalıdır [7,17].

2.3.6. Pişirme

Emaye kaplama işleminin yüzeye yapışması için gerekli son işlem pişirme işlemidir. Pişirme sıcaklığı kaplanacak malzemeye göre değişiklik gösterir. Kaplanan sac malzemelerde pişme dereceleri emaye türüne göre değişiklik gösterir ve 750 – 880 °C arasındadır, kaplı malzemenin pişme süresi sacın kalınlığına göre belirlenir, genellikle 2 – 8 dakika aralığındadır. Kaplanan malzeme dökme demir ise emaye cinsine göre pişme sıcaklığı genellikle 730 – 770 °C arasındadır, malzemeler kalın olduğu için pişme süreleri uzundur [6].



Şekil 2.13. Kontinü emaye pişirme fırını (Ödül Emaye - 2019)

2.4. Emaye Kullanım Alanları

Emayeler, dökme demir, paslanmaz çelik, sac, bakır veya alüminyum parçalara uygulanan alkali borosilikat cam kaplamalardır. Çok farklı kullanım alanları mevcuttur. Özellikle Türkiye’de emaye ile akla soba borusu, mutfak fırınları, fırın tepsileri gibi mutfak eşyaları, küvetler, evyeler, termosifonlar ve beyaz yazı tahtaları gelmektedir. Başlıca kullanım alanları: [7]

- Kapalı yüzeye sahip olduğundan anti-bakteriyel özelliğe sahiptir, temizleme işlemi kolaydır bu özelliklerinden dolayı hijyen gerektiren alanlarda kullanılır. Ev ve mutfak gereçleri, tava, tepsi tencere gibi ürünlerin kaplanmasında kullanılır. [18]

- Kimyasal ürünlere karşı dirençli oldukları için kimyasal proseslerde, silolarda, su depolarında ve reaktörlerde kullanılırlar.

- Pişirici cihazlar,
- Bulaşık ve çamaşır makineleri,
- Sıcak su cihazları,
- Banyo küveti ve lavabolar,
- Hediyelik eşya ve el sanatları
- İnşaat sanayi
- Kimya sanayi
- Gıda sanayi
- Makine sanayi
- Enerji sistemleri, güneş kollektörleri
- Termik santraller,
- Elektronik [7,13,19,20].



Şekil 2.14. Emaye kaplanmış mutfak araç ve gereçleri (Avşar Emaye- 2019)

2.5. Emaye Tercih Nedenleri

Emayenin diğer kaplamalara göre öncelikli tercih edilme sebepleri:

- Emaye kaplandığı parçaya pürüzsüz, stabil renkte ve estetik görünüm sağlar.
- Emaye sert kaplama malzemesidir, bu nedenle çizilmez ve aşınmazlar.
- İstenilen her renk ve tonda olabilir, renk ve görünümde hiç bir değişim olmaz.
- Korozyona ve kimyasala karşı dirençlidir ve alt malzemenin korunmasını sağlar.
- Emaye kaplamaların yüzeyi kapalıdır ve açık gözenek bulunmaz. Bu sebeple yüzeyde bakteri birikimi oluşmaz. Zararlı etkisi gözlenmemiştir, toksik bir etkiye sahip değildir.
- Emaye kaplamaların temizlenmesi kolaydır ve yapısında mikro organizma barındırmaz.
- Toksik değildir, insan sağlığına zarar veremez.

- Yüksek sıcaklıklara dayanımı ve termal şok direncinin iyi olmasından dolayı yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilir [7,18,20].

2.6. Emaye Çeşitleri

Emaye kaplamaların yüzeyleri genellikle parlaktır ve dışarıdan gelen etkilere karşı dayanıklıdır. Özelliklerine göre emayeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Astar kat emayeler
- Sitrik asit dayanıklı direkt emayeler
- ETC direkt emayeler
- Pirolitik emayeler
- Buhar dayanıklı pirolitik emayeler
- Izgara ve bek kapağı emayeleri
- Sıcak su dayanıklı emayeler
- Sülfürik asit dayanıklı emayeler
- Transparan emayeler
- Yarı transparan emayeler
- Kendinden renkli ikinci kat emayeler
- Katalitik emayeler
- Üçüncü kat majolik emayeler [9]

2.6.1. Astar kat emayeler

Astar kat emayeler, emayenin altlık malzemeye yapışmasından önemli rol oynamaktadır [4]. Metal veya dökme demir parçaya uygulamada kullanılan astar emayeler temel olarak kobalt, nikel ve bakır oksit gibi yapışmayı arttıran hammaddeleri az miktarda içerir [21]. Bu hammaddeler özellikle beyaz veya açık renkli üst kat emayelerine eklenirse emayenin istenilen rengi sağlanamayabilir. Bu durumu engellemek için emayede kullanılan fritlerin içerisine bu hammaddelerin eklenmemesi veya çok az miktarda eklenmesi tercih edilir. Bu hammaddeler ayrıca emayenin saca veya dökme demire yapışmasını sağladığından emaye içerisinde olmadıklarında emayelerin yapışmasını arttırabilmek için emaye ile metalik yüzey arasına bir astar kat uygulama yapılır [18].



Şekil 2.15. Astar emayenin daldırma yöntemi ile kaplanması

Astar emaye uygulanmadan da yapışmanın olabilmesi için metal veya dökme demirler özel seçilmelidir. Üst kat emayeler, astar kat emaye sayesinde alttaki metalin veya dökme demirin olumsuz etkisinden korunur. Bu emayeler ile metal ve dökme demir parçanın kendisinden kaynaklanan yüzey hataları en aza indirilir. Astar emayelerde sıcaklık dayanımı da çok önemlidir, aside veya kimsayala dayanım özelliği aranmaz. Genellikle gridir, özel durumlarda pigment ile renk ayarlaması yapılabilir [22]. Üzerine ikinci ve üçüncü kat emayeler uygulanabilir [9].

Genellikle yumuşak, orta sert ve sert özellikteki 3 fritten oluşur. Kullanılan yumuşak frit emaye pişirilirken önce erir, bu frit yapışmayı sağlar. Sert frit ile emaye çökmeye ve ince çizgi kusurlarına karşı direnç gösterir. Sert frit ile kaplamanın aşınma direnci artar [23].

2.6.2. Sitrik asit dayanıklı direkt emayeler

Astar kat emayenin özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklere ek olarak sitrik asite karşı direnç gösterirler. Uygulama şekilleri toz veya yağ olabilir. Genelde koyu siyah renktedirler, ama içerisine seryum eklendiğinde oluşan fritler ile açık gri renkte kaplamalar oluşabilir. Fırınlara, fırın tepsileri ve tencereler başlıca kullanım alanlarıdır [9].

2.6.3. ETC direkt emayeler

Sitrik asit dayanımlı direkt emayelerin özelliklerini taşırlar. Ek olarak lityum nitrat ve ketçap ürünlerine karşı direnç gösterirler. ETC' nin açılımı 'Easy To Clean' - 'Kolay temizlenir' dir. Gıda ile temas edecek olan yüzeyler için en uygun emayelerdendir. Fırın tepsileri ve tencere başlıca kullanım alanlarıdır [9,24].

2.6.4. Pirolitik emayeler

ETC direkt emayelerin özelliklerini bulundurlar. Ek olarak yüksek sıcaklık dayanımına sahiptirler. Mutfak fırınlarının iç kısım kaplanmasında kullanılır. Yüksek sıcaklık dayanımına sahip olmaları için mangan ve bakır oksit miktarları eser miktardadır. Bu nedenle çok koyu siyah renkler oluşmaz. Genellikle koyu fûme, gri, lacivert gibi farklı renklerde [9,25].

2.6.5. Buhar dayanıklı pirolitik emayeler

Pirolitik emayelerin özelliklerine ek olarak buhar dayanımına sahiptirler. Mutfak fırınlarının iç kısım kaplanmasında kullanılır. Buhar dayanımına sahip olmaları için genellikle zirkon içeriği yüksek miktardadır. Bu nedenle diğer emayelere göre daha sert ve 20 – 40 °C daha yüksek sıcaklıkta pişirilmesi gereklidir. Genellikle koyu fûme, gri, lacivert gibi farklı renklerde yapılabilir [9,25].

2.6.6. Izgara ve bek kapağı emayeleri

Sitrik asit dayanıklı direkt emayelerin özelliklerine ek olarak termal şok ve alevlenme testi dayanımına sahiptirler. Ocak tablalarının üzerinde aleve maruz kalan bek kapağı ve ızgaraların kaplanmasında kullanılır.



Şekil 2.16. Emaye Kaplı Izgara Görseli (Algotrio Kimya 2022)

Termal şok dayanımına sahip olmaları için genleşme katsayılarının altlık metale yakın olması gerekmektedir. Kullanılan fritlerin reçetesi hazırlanırken bu duruma dikkat edilir. Genellikle siyah renktedir [9,25].

2.6.7. Sıcak su dayanıklı emayeler

Termosifon ve boyler kazanlarının iç kısımlarının kaplanması için kullanılır. Diğer direkt emayelerden farklı olarak sıcak su dayanımı yüksektir ve 200 – 300 mikron kaplanır. Renk önemli olmasa da genellikle mavi veya lacivert renklerde kullanılır [9].



Şekil 2.17. İç kısmı emaye kaplanmış termosifon

2.6.8. Sülfürik asit dayanıklı emayeler

Reaktör hazırlanan kazanların iç kısımlarında, aktarma borularında ve elektrik santrallerinin baca gazı arıtma sistemlerinde bulunan ısı değiştirici ünitelerinin plakalarının kaplanması için kullanılır. Diğer direkt emayelerden farklı olarak % 30 luk sülfürik asit dayanımına sahiptir ve 150 – 250 mikron kaplanır. Renk önemli olmasa da genellikle mavi veya lacivert renklerde kullanılır [9].

2.6.9. Transparan emayeler

İkinci kat olarak uygulanır. Pigment ile renklendirilerek canlı renklerin elde edilmesi için tercih edilir. Genellikle tencere üretimi yapan firmaların çok kullandığı bir emayedir. Değirmen formülünde renklendirici pigment kullanılarak istenen canlı renkler elde edilir [9].

2.6.10. Yarı transparan emayeler

İkinci kat olarak uygulanır. Pigment ile renklendirilerek pastel renklerin elde edilmesi için tercih edilir. Genellikle tencere ve ocak tablası üretimi yapan firmaların çok kullandığı bir emayedir. Değirmen formülünde transparan fritlerden daha az renklendirici pigment kullanılarak istenen pastel renkler elde edilir [9].

2.6.11. Kendinden renkli ikinci kat emayeler

Renlendirici herhangi bir pigment kullanılmadan kendinden bir renge sahiptir. İkinci kat olarak uygulanır. En fazla beyaz ve krem renklerinde bulunsa da mavi, lacivert, yeşil ve gri renkleri de mevcuttur. Mutfak fırınları, ocaklar ve tencere firmalarının en çok kullandığı emayelerdendir [9].



Şekil 2.18. Kendinden renkli mavi emaye ile kaplanmış demlik

2.6.12. Katalitik emayeler

Diğer emayelerden farklı yüzeye sahiptir. Pürüzsüz ve parlak bir görünüm yoktur. Yağ absorblama özelliği vardır. Emayenin kalitesi, yağ absorblama sayısı ile doğru orantılıdır. Bu emayeler ile fırının iç gövdesi ve arka fan kapakları kaplanır. Yaş veya toz olarak astar kat üzerine uygulama yapılabilir. Füme ve kahverengi renklerde yapılabilir [22].

2.6.13. Üçüncü kat Majolik Emayeler

Majolik emayelerde önemli kriter estetik görüntüdür. Kaplama kalınlığına bağlı olarak farklı tonlarda hoş bir görüntü verebilir. Kahverengi, kırmızı gibi renkler en çok tercih edilen renklerdir. Bu emayeler transparan emayelere pigment ilavesi ile istenilen renkte elde edilir ya da kendinden renkli emayelerdir [9].



Şekil 2.19. Majolik emaye kaplanmış soba

Bu kaplamaların en altında astar kat emaye, orta katta krem ya da beyaz emaye bulunur, en üst kat ise sadece yaş olarak uygulanabilen majolik emayedir. Alt kaplamaların zarar görmemesi için düşük sıcaklıkta pişirilmeleri gerekir. Bu nedenle yumuşak yapıda olmaları gerekir ve düşük ergiyen hammaddelerin miktarı fazladır. Başlıca kullanım alanları dökme demir tencereler ve özellikle majolik kaplamalı sobalardır [9].

2.7. Değirmen Katkıları

Değirmen katkıları elektrostatik toz emayelerde ve yaş emayelerde farklılık gösterir. Elektrostatik toz emayelerde katkı malzemeleri genellikle pigment ve silikonlardır. Kimi zaman bu katkılara ek olarak emayeyi matlaştırmak ya da rengi açmak için çeşitli katkıları kullanılabilir. Bu katkı malzemelerinin elektriklenme özellikleri az olduğundan tozu etkilememesi için miktarı az tutulur.

Yaş emayelerde değirmen katkıları emayenin özelliğine göre değişkenlik gösterse de temel olarak benzer kullanılır. Katkı malzemeleri yaş emayelerin kıvamının ayarlanması, emayenin suda yüzebilmesi, akışkanlığının ayarlanması, renklendirilmesi, yapışması veya sertleştirilmesi için kullanılır. Emayeye bu özellikleri veren farklı hammaddeler vardır.

2.7.1. Yaş emaye katkı maddeleri

Fritler, emayeye yüzdürücü özellik veren hammaddeler olmadığında suda asılı kalmaz, çökerler ve uygulama yapılamaz. Fritin yüzmesi için kil, sodyum nitrit, bentonit gibi çeşitli katkı malzemeleri gerekir [26].

Kil: Emaye içerisinde bulunan frit ve diğer katkıların tamamının yüzdürülmesi için kullanılır. Doğal bir malzeme olduğundan her kilin yüzdürücülüğü farklıdır. Emaye piyasasında genel olarak kullanılan killer Kil MT500 ve Kil MT510 dur. Daldırma emayeler için genelde MT500 kullanılırken spreyci emayelerde MT510 kullanılmaktadır. Değirmen formüllerinde ortalama %5– 8 oranında kullanılmaktadır. Kil emayenin sitrik asit dayanımı düşürür [26].

Bentonit: Yüzdürmeye yardımcı doğal malzemelerden biridir. Killere göre yüzdürücülüğü oldukça yüksektir. Emayelerin bisküvi yapısını sertleştirir ve yırtılmaları önler. Daha fazla parlaklık ve kimyasal direnç istendiği durumlarda kil ile birlikte kullanılır. Kile göre maliyeti daha yüksektir. Kil miktarının çok yükseltilemediği yerlerde ilave olarak kullanılmaktadır. Değirmen formüllerinde ortalama % 0 – 0,5 oranında kullanılmaktadır [18, 26].

Bentone: Bentonite göre daha temiz bir malzemedir. Kile ve bentonite göre maliyeti daha yüksektir. Kil miktarının çok yükseltilemediği yerlerde ve özellikle kirliliklerin istenmediği hassas değirmen formüllerinde ilave olarak kullanılmaktadır. Değirmen formüllerinde ortalama %0 – 0,5 oranında kullanılmaktadır [26].

Spodumen: İri tane boyutu ve düşük çözünürlük nedeniyle yüzeyde pürüzlülük yaratır ve kimyasala dayanımı yüksek oranda artırır [26].

Kuvars: Emayenin sıcaklığa ve kimyasallara dayanımını artırır ve sertleştirir. Aşırı kullanımında emayenin yapışması düşeceği için miktarını belirlerken tüm parametrelerin kontrol altında tutulması gerekir. Fiyatının düşük olmasından dolayı miktarı arttıkça emayenin maliyetinin düşürülmesinde de fayda sağlar. Değirmen formüllerinde % 1 – 40 oranında kullanılmaktadır [9].

Potasyum feldspat: Emayenin sıcaklığa ve kimyasallara dayanımını artırır ve sertleştirir. Kuvarsa göre erime sıcaklığı daha düşüktür. Kuvarsa kullanılmadığı yerlerde veya ilave olarak değirmen formüllerine eklenebilir. Değirmen formüllerinde % 0,5 – 5 oranında kullanılmaktadır[9].

Sodyum Nitrit: Elektrolit olarak kullanılır. Emaye çamuru içerisinde taneciklerin dağılmasını sağlar. Emaye çamurunun setini yükseltmek için kullanılır. Değirmen formüllerinde % 0,05 – 0,6 oranında kullanılmaktadır [9].

Potasyum Nitrit: Elektrolit olarak kullanılır. Emaye çamuru içerisinde taneciklerin dağılmasını sağlar. Emaye çamurunun setini yükseltmek için kullanılır. Sodyum nitrite göre set arttırma kabiliyeti daha yüksektir. Fiyatının yüksek olmasından dolayı daha az tercih edilir. Değirmen formüllerinde % 0,05 – 0,3 oranında kullanılmaktadır [9].

Boraks pentahidrat: Elektrolit olarak kullanılır. Emaye çamurunun akışkanlığını düzenlemek için kullanılır. Miktarı arttıkça emaye daha yavaş ve uzun sürede akar. Değirmen formüllerinde % 0,05 – 0,6 oranında kullanılmaktadır [9].

Borik asit: Elektrolit olarak kullanılır. Emaye çamurunun akışkanlığını düzenlemek için kullanılır. Miktarı arttıkça emaye daha yavaş ve uzun sürede akar. Ortamda kurutulan parçalar için emayede boraks yerine tercih edilir. Değirmen formüllerinde % 0,05 – 0,6 oranında kullanılmaktadır [9].

Potasyum Karbonat: Elektrolit olarak kullanılır. Emaye çamurunun akışkanlığını düzenlemek için kullanılır. Özellikle emaye parça üzerine spreyci olarak uygulandığında parçadan akıntı olmaması için kullanılmaktadır. Değirmen formüllerinde % 0,1 – 0,3 oranında kullanılmaktadır [9].

Sodyum Alüminat: Elektrolit olarak kullanılır. Özellikle üst kat emayelerde emayenin setini yükseltmek için kullanılır. Değirmen formüllerinde % 0,1 – 0,4 oranında kullanılmaktadır [9].

Antimon trioksit: Emayenin yapışmasına yardımcı olarak kullanılır. Özellikle içerisinde kobalt veya nikel oksidin az olduğu formüllerde yapışmanın kuvvetlenmesi amacıyla değirmen formüllerinde %0,05 – 0,5 oranında kullanılmaktadır [9].

Molibden trioksit: Emayenin yapışmasına yardımcı olarak kullanılır. Antimon trioksit göre daha pahalı bir malzemedir, erime sıcaklığı da yüksek olduğundan pek tercih edilmez. Genelde alternatif olarak sodyum molibdat olarak ta kullanılabilir. Özellikle içerisinde kobalt veya nikel oksidin az olduğu formüllerde yapışmanın kuvvetlenmesi amacıyla değirmen formüllerinde %0,05 – 0,4 oranında kullanılmaktadır [9].

Pigment: Emayenin rengini veya renk tonunu ayarlamak için kullanılır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı (min 900 °C) inorganik pigmentler kullanılmaktadır. İçeriğine göre birçok rengi ve çeşidi bulunmaktadır. Değirmen formüllerine göre % 0,1 – 5 oranında kullanılabilir. En çok üretilen pigmentler ve içerikleri aşağıdaki gibidir [9].

- Siyah	CuO.Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Siyah	CoO.Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Siyah	CoO.NiO.Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Siyah	Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Kahverengi	ZnO.Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Mavi	CoO.Al ₂ O ₃
- Mavi	CoO.ZnO.Al ₂ O ₃
- Mavi	CoO.SiO ₂
- Turkuvaz	CoO.Cr ₂ O ₃ .Al ₂ O ₃
- Turkuvaz	CoO.ZnO.Cr ₂ O ₃ .Al ₂ O ₃
- Petrol yeşili	CoO.Cr ₂ O ₃
- Çimen yeşili	Cr ₂ O ₃
- Sarı	TiO ₂ .Sb ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃
- Sarı	TiO ₂ .Sb ₂ O ₃ .NiO
- Kırmızı	CdS.CdSe [9]



Şekil 2.20. Emayeleri renklendirmek için kullanılan inorganik pigmentler [36]

2.8. Emaye Hataları

2.8.1. Emaye akması

Kaplanan malzemenin özellikle kenar kısımlarında emaye kaplama kalınlığının çok fazla olduğu yerlerde oluşur. Kullanılan emayenin genleşme katsayısı arttırılırsa sorun giderilebilir.

2.8.2. Kabarcıklanma (köpürme)

Kaplanacak malzemenin yüzeyinin yeteri kadar temizlenmemiş olmasından kaynaklıdır. Kullanılan emaye veya altlıktaki kirlilikler de bu hataya sebep olur. Ayrıca eğer astar kat uygulaması yapıldıysa ve astar yeteri kadar pişirilemediyse kaplama yüzeyinde köpürmeler gözlenir. Eğer kaplama yapılacak parça dökme demir ise yüzeyinin altındaki boşluklar da köpürme oluşturur [18].

2.8.3. Kılcal çatlak

Kaplama malzemesi ile altlığın genleşme katsayılarının ve emaye üzerindeki gerilme farkından kaynaklanır.

2.8.4. Yırtılma

Bu hata genellikle uygulanan yaş emayelerin kurutulması anında oluşur. Sebep olan diğer durumlar ise emayenin hızlı kurutulması, öğütülen emayenin inceliğinin çok küçük olması, uygulama kalınlığının çok ince olması, emayenin sert olması ve yapışmasının zayıf olmasıdır [18].

2.8.5. İğne başı

Yüzeyde oluşan kabarcıkların patlamasıdır. Emayedeki kirlilikler, uygulamadaki kalınlık veya fazla pişirme bu hataya sebep olur.

2.8.6. Kaynama

Emaye pişirilmesinde yüzeyde oluşan gaz çıkışıdır. Gaz çıkışı sonrasında pişmemiş emaye yüzeyinde küçük ve yoğun deliklenmeler şeklinde görülür. Yüzeydeki grafik kümeleri, kaynak bölgeleri üzerinde daha fazla oluşsa da karbonu yüksek saclarda normal yüzeylerde de görülmektedir. Sac kalitesinin artmasıyla çözülebilir. Kaynaklı bölgelerde ise asit aşındırması veya kumlama yapılarak problem giderilebilir.

2.8.7. Kenar akıntıları

Emaye aşırı yumuşak ve fazla pişirildiyse yüzeyde bu hatalara rastlanır. Parçanın alt kısımları akıntıdan dolayı fazla kalın kaplanmış görülür. Hatayı gidermek için fırın sıcaklığı düşürülebilir veya mevcut emayenin formülünde değişiklik yapılarak sertleştirilir [18].

2.9. Emaye için metaller

Emayele kaplama için uygun olan çelik yapıları sacların kimyasal içerikleri farklı yapıdadır. ASTM A424 kodlu çelik saclar emayeleme için uygun saclarıdır. Emayelenmiş parçaları pişirme sırasında karbon çıkışı gözlenir, karbon çıkışını önlemek için içerikteki karbon miktarının kontrol edilmesi gerekir [14,35].

Emaye sektöründe genel olarak düşük karbonlu sac (max 0,08 %) olarak bilinen EK2, EK4 kodlu saclar kullanılmaktadır. Fakat yüzeyi hassas ürünlerin kaplanmasında (çift kat tek pişirim kaplanan ocak tablaları gibi) karbon miktarı sıfır olan ED kalite saclar kullanılmaktadır. Ayrıca yapılan nihai ürünün cinsine göre farklı kalınlıklarda saclar kullanılmaktadır. Örneğin, soba borusu için 0,28 – 0,3 mm sac kullanılırken fırın tepsilerinde 0,5 – 0,7 mm kalınlığında sac kullanılmaktadır. Yine termosifonlar için 1,7 – 2,5 mm sac kullanılırken bek kapakları için 2 – 3 mm kalınlığında sac kullanılmaktadır. Sac kalınlığı arttıkça ürünün emayelendikten sonra pişirilme süresi de artar. Bu yüzden aynı fırında hem bek kapağı hem de soba borusu aynı anda pişirilemez. Üretim planlanarak soba borusu pişirimi tek başına, bek kapakları da farklı bir zamanda tek başına pişirilmelidir [14,35].

Dökme demir için ağırlıkça % 2.8 ila % 3.7 arasında değişen karbon içeriği kullanılır; normal çeliklerin karbon içeriği % 3,25 ile % 3,6 arasındadır. Karbon genellikle grafit karbon ve birleşik karbon olmak üzere iki biçimde bulunur. Dökme demir, çeliklere göre farklı oranlarda farklı elementler içerir. Emaye için kullanılan ve gri dökme demir olarak bilinen dökme demir, en yaygın kullanılanlardan biridir. Dökme demirin yüzeyi iyice temizlenmeli ve mümkünse kumlama yapılmalıdır [14].

Dökme demirler paslanmaya karşı hassas olduklarından kumlama işlemi, emayeleme işleminden hemen önce yapılmalıdır, bekletilen parça üzerinde paslanma meydana gelebilir. Paslanmış veya paslanmaya başlamış parça üzerine emaye uygulandığında yüzeyde köpürme hataları meydana gelmektedir.



3. EMAYE KAPLAMA

3.1. Yüzeye Kaplanan Emayenin Özellikleri

Emayenin fiziksel ve mekanik özellikleri metalik ya da dökme demir özellikteki altlığın özelliklerini iyileştirir. Emaye kaplamalar altlıkların olası dış etkilere karşı dayanımını arttırır [27].

3.1.1. Sertlik

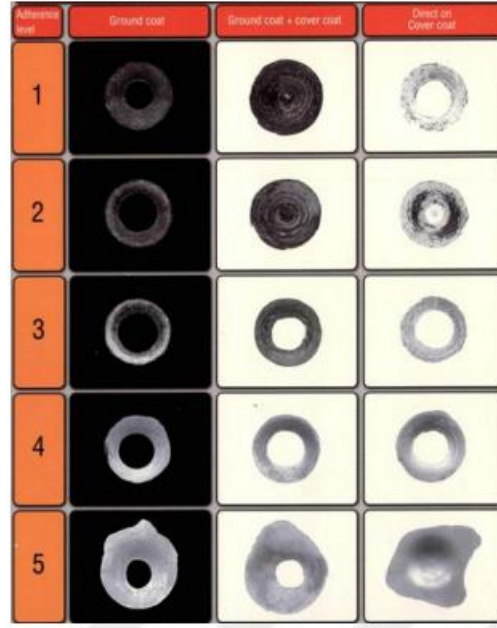
Emaye kaplamalar camsı yapıya sahip olduklarından sertlikleri yüksektir. Emaye kaplamaların içerikleri çok çeşitli ve değişkenlik gösterdiğinden sertlik derecesi de her kaplamada farklı olabilir. Mohs sertlik ölçeğine göre emaye kaplamaların sertlik değeri 3,5-7 değerleri arasındadır. Emaye ile altlık malzemenin sertlik değerleri aynı olmalıdır. Altlık malzemenin dayanıklılığı için emaye yüzey sertliği önemlidir [28].

3.1.2. Aşınma

Emaye kaplamaların aşınma dirençleri çok iyidir. Metal ve dökme demir malzemelerden daha iyi aşınma direncine sahip olduklarından çoğu endüstriyel süreçte ve günlük hayattaki kullanılan ürünlerde tercih edilir. Bu özelliklerinden dolayı konveyörler, silolar gibi aşınma direncinin önemle gerektiği alanlarda ve lavabo, küvet gibi günlük hayatta kullanımı yaygındır [27].

3.1.3. Yapışma

Emayelerin yapışmalarının kontrolü için ağırlık düşürme testi uygulanır. Ağırlık düşürme testinde 1250 gram ağırlığında, alt kısmı 1,9 cm çapa sahip küreden oluşan ağırlık 90 cm yükseklikten serbest bırakılarak parça üzerine düşürülür. Altlık parçadan kopan emayeyi belirleyen test EN 10209 Ek C [22], ASTM, DİN 51155, ISO 4532,1991 standartları kullanılır. Yapışma değerleri 1-5 arasında değişkenlik gösterir. 1. derece yapışma yüzeyden kopma olmayan durumları, 5. derece yapışmalar ise altlık ile emaye arasındaki bağın zayıf olduğu ve emayenin parçadan koptuğu durumdur [29].



Şekil 3.1. Yapışma Değeri Belirleme Standardı



Şekil 3.2. Yapışma Değeri 1 (Sol) ve 4 Olan (Sağ) Emaye Kaplama Görseli (Algotrio Kimya 2022)

3.1.4. Darbe direnci

Serbest düşen ağırlıklı emayelerin mukavemetini ölçmede kullanılır. Bu test belirgin bir bozulma olana kadar devam ettirilir. Emayelerin darbeye karşı direnci ISO 4532 standardına göre uygulanır [22]. Emaye kaplamaların darbe direncini etkileyen faktörler:

- Küçük elastisite modülüne sahip metallerin emaye kaplamalarının darbe direnci daha iyidir.
- Emaye kaplamanın kalınlığı arttıkça dayanım artar.
- Emaye ve metal ya da dökme demir parçanın arasındaki bağ zayıf ise darbe dayanımı düşüktür [30].

3.1.5. Kalınlık

Emaye kaplamaların kalınlığı 0,01 mm hassasiyetteki bir mikrometre ile ölçülür. Ferromanyetik özellikteki parçalar için EN ISO 2178 standardına uygun ölçüm yapılır, ferromanyetik olmayan parçalar için EN ISO 2360 standardına uygun kaplama yapılır. Ayrıca kaplama kalınlığı EN ISO 1463 standardına uygun olarak altlık ile kaplamanın enine kesit görüntüsüne bakılarak da ölçüm yapılır [7,22].

Kaplanacak malzemeye göre emaye kaplamanın kalınlığı belirlenir. İnce kaplamaya sahip ürünlerin kırılmaya karşı direnci daha iyidir [27].

Metalik parçalarda astar ve üst kat kaplama kalınlığı 0,2 mm'dir. Tek kat emayeler 0,3 ile 0,5 mm kalınlığında uygulanabilir veya her birinin kalınlığı 0,1 mm olan kaplamalar yapılabilir. Eğer emaye kaplama rengi beyaz ise iyi bir opaklık elde edebilmek için kaplama kalınlığının 0,3 mm olması gerekir. Çoğu renkli emayeler kaplama kalınlığı 0,3mm'den fazla olan kalınlıklarda istenilen rengi verir [30].



Şekil 3.3. Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (Algortrio Kimya 2022)

3.1.6. Sitrik asit direnci

Emaye kaplamaların sitrik asit dayanımı, emayenin içeriğine göre değişiklik gösterir. Emaye kaplamalara, özel formüller geliştirilerek sitrik aside karşı direnç özelliği verilebilir. Asidin emaye kaplamaya olan etkisi konsantrasyonuna ve asidin çeşidine

göre büyük değişiklik gösterebilir. Sitrik aside dayanımını tespit edebilmek için EN ISO 28706-1/9 standardına uygun asit direnci testi yapılır. Bu standarda göre ağırlıkça %10'luk sitrik asit çözeltisi hazırlanır ve kaplama yüzeyine damlatılır. Kaplama yüzeyindeki değişme gözlenir. Aside karşı olan dayanım için A+, AA, A, B dereceleri vardır. A+ sitrik asit dayanımındaki emayede sitrik asit yüzeyi aşındırmaz, fakat B sitrik asit dayanımına sahip emayede, sitrik asit yüzeyi çok aşındırarak emayenin görüntü ve renginde bozulma meydana getirir [4,22, 26].

3.1.7. Termal şok direnci

Emayeler yapılarının camsı olmasından dolayı yüksek sıcaklıklara, ateşle doğrudan temasa dayanıklıdırlar. Çoğu emaye türü 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklara dayanır ve bu nedenle mutfak eşyalarında ve sobalarda kullanımı yaygındır [31]. Termal şok direnci emaye kaplamanın hızlı soğumaya karşı direncini gösterir. Emaye hızla soğuduğunda altlık üzerindeki kaplamada kabarma oluşur ve kaplama kopar. Kaplanan emayenin genleşme katsayısı termal şoku etkileyen en önemli parametredir. Altlığın sıcaklık ile genleşmesi kaplama malzemesinde gerilmeler oluşturur. Demir malzemenin genleşme katsayısı 300'dür ve emaye kaplamasının genleşmesinin de bu değere yakın olması gerekmektedir. Bu özellikler sağlandığında standart kalınlıktaki emaye kaplamanın 400°C ile 150°C arasındaki sıcaklık değişiminde yüzeyde atma meydana getirmemesi gerekir. Kaplama kalınlığı arttıkça termal şok direnci azalmaktadır, ince kaplamalarda termal şoka direnç daha fazladır [27]. Termal şoka karşı direnç testi ISO 2747 yöntemine göre yapılır [22].

Emayenin termal genleşme katsayısı matematiksel olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$TGK = AX_A + BX_B + CX_C \quad (3.1)$$

TGK = Emayenin termal genleşme katsayısı

(A, B ve C) = Emaye bileşenlerinin genleşme katsayıları

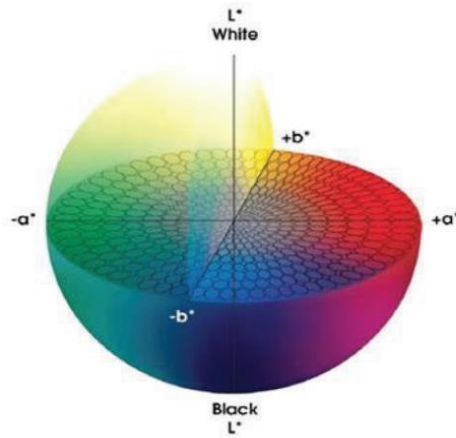
(X_A, X_B ve X_C) = Emayeyi oluşturan bileşenlerin kütlece yüzdesi [10].

3.1.8. Görünüm, renk ve parlaklık

Emaye kaplamalar göre dış mekan ve iç mekan, süs eşyası, mutfak eşyası gibi kullanım alanlarında renk ve estetik açıdan ilgi görür. Emayenin sahip olduğu renkler kullanım alanlarına ve türüne göre değişiklik gösterir. Emayeye rengini veren çeşitli

hammadeler vardır. Kobalt oksit koyu renk emayelerde mavi siyah, açık renk emayelerde mavi, beyaz fritlerde ise maviye çalan beyazlık verir. Nikel oksit haki renk verir, demir oksit rengin yeşilleşmesine sebep olur beyaz ürünlerde tercih edilmez. Krom oksit hammaddesi rengi daha koyulaştırmak için kullanılır, beyaz emayelerde de rengi kremleştirmek için tercih edilir [4,9].

Emaye renk kontrolü spektrofotometrik renk ölçüm cihazlarıyla yapılır. Renk ölçümü 1900'lü yıllardan önce göz ile yapılıyordu. İnsandan insana renk algısı farklı olduğundan ölçümlerde kişiselilik oluşur. Bilimsel çalışmalarda elektronik olarak ölçüm yaparak ve sayısal verilerle tekrarlanabilir ölçüm yapma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Renkleri anlamak için 1900 yıllarında farklı renk tanımları geliştirilmiştir [27,51]. Bu konudaki çalışmaların en önemlisini CIE (Commision Internationale de l'Eclairage- Uluslararası Aydınlatma Kurumu) yapmıştır. Sık kullanılan modellerden biri CIE Lab ($L^*a^*b^*$)'dir. Bu model ile renk dağılımı hassas olarak yapılır. Renk üç boyutu olarak tanımlanır. Bu modelde L^* : Rengin koyuluğu (0: Siyah, 100: Beyaz), a^* : Kırmızılık Yeşillik (-60: Yeşil, +60: Kırmızı), b^* : Sarılık Mavilik (-60: Mavi, +60: Sarı) tanımlanır [32].



Şekil 3.4. CIE $L^*a^*b^*$ renk sistemi

Renk farklılıkları emaye sektöründe büyük önem taşımaktadır. Bu cihaz ile renk farklılıkları kolayca ifade edilebilir. Kıyaslamalı olarak iki malzemenin renk değerleri tek ΔE değeri ile tanımlanabilir (ISO 772-4,1984). ΔE değeri aşağıda bulunan denklemdeki gibi hesaplanır ve renk ölçüm cihazları bu değeri otomatik olarak hesaplamaktadır [9,32]. $\Delta E = ((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)^{1/2}$ [9].

Kullanılan cihazlara göre okunan değerlerde farklılık oluşur. Cihaz farklılığından oluşacak hataları azaltmak için aynı yazılıma sahip cihazlar kullanılır.



Şekil 3.5. El tipi renk ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (Algotrio Kimya 2022)

Emaye kaplamanın parlaklığı yüzey pürüzlülüğüne göre değişiklik gösterir. Pürüzsüz yüzeyde ışık aynı yönde yansır, pürüzlü yüzeyde ise ışık rastgele dağılır ve yüzeyin opak görünmesine sebep olur [35]. Emaye içerisine farklı katkıları katılırsa parlaklık azalır, çünkü bu malzemeler emaye içerisinde çözünmezler. Çözünmedikleri için pürüzlülüğü arttırırlar ve ışığın dağılmasına sebep olurlar. Parlaklık katkı miktarı arttırılarak daha da azaltılabilir.

Parlaklık testi için 20°, 60°, 85°'deki ölçüm değerleri alınır. 3 farklı açı ile ölçüm yapılır (20°, 60°, 85°). Mat emaye kaplamalar için 20°, parlak emaye kaplamalar için ise 85°'deki ölçümler dikkate alınır. 3 açılı ölçüm yapmayan cihazlar genellikle 60°'de ölçüm yapar. Bu test EN ISO 2813 standardına uygun olarak yapılır. ABD ise emaye parlaklığını ASTM C246 standardına göre 45°'de ölçüm yaparak belirler.



Şekil 3.6. Yüzey parlaklığı ölçüm cihazı ve ölçüm yöntemi (glossmetre) (Algotrio Kimya 2022)

3.1.9. ETC Testi

ETC kelimesi, İngilizce’ den gelir, açılımı Easy To Clean, anlamı ise temizlemesi kolaydır. Bu özelliğe sahip emaye kaplamaların yüzeyleri kolay temizlenir. Test için emaye kaplı yüzeye öncelikle sitrik asit testi uygulanır. Sitrik asit testinin üzerine 0,5 gram Lityum Nitrat koyulur ve 320 °C sıcaklıkta kutu fırında 15 dk tutulur. Süre sonunda lityum nitrat yüzeyden su ile yıkanarak alınır. Yüzey kontrolü yapılır. Yüzeyde aşınma olup olmadığı kontrol edilir. Aşınma varsa test durdurulur ve ürün ETC özellikte değildir. Eğer aşınma yoksa teste devam edilir. Sitrik asit ve Lityum nitrat testinin yapıldığı bölgeye ketçap koyulur. 320 °C’de kutu fırında 30 dk bekletilir. Süre bittiğinde emaye kaplı parça çıkarılır ve soğutulur. Soğuyan yüzeyden yanmış ketçap yumuşak bir şey ile çıkarılır Yüzeyin aşınma durumu kontrol edilir. Aşınma var ise ETC özellikte değildir. Eğer aşınma yoksa emaye kaplama ETC özelliğe sahip bir kaplamadır [9].

3.1.10. Pirolitik testi

Pirolitik emayeler diğer emayelere göre daha yüksek sıcaklıklara dayanıma sahiptir ve aynı zamanda ETC emayelerin tüm özelliklerine sahip olmaktadır. Laboratuvar ortamında pirolitik testi için çift taraflı kaplanan plakaya darbe testi yapıldıktan sonra renk değerleri ve parlaklık ölçümü yapılır ve kaydedilir. 900 °F (482 °C) lik fırında 48 saat bekletilerek çıkarılır ve soğutulur. Yüzeyde gözlenir. renk değerleri ve parlaklık

ölçümü yapılır ve ilk ölçümle kıyaslaması yapılır. dE değeri 2 nin altında, parlaklık farkı % 5 in altında olması beklenir.

3.1.11. Katalitik emaye yüzeyinde yağ emme testi

İkinci kat olarak uygulanan katalitik emayelerin en büyük özelliği, yemek pişirme sırasında sıçrayan yağları kendi içerisine hapsediyor olmasıdır. Ne miktarda hapsettiği ve doygunluk noktasının neresi olduğunu belirlemek için laboratuvar ortamında katalitik emaye ile kaplı plakanın 5 ayrı noktasına birer damla soya yağı damlatılarak 200 °C lik fırında 1 saat bekletilir. Çıkarılıp soğutulan plaka üzerinde parlama yoksa aynı noktalara tekrar birer damla soya yağı damlatılarak 200 °C lik fırında konulur ve 1 saat bekletilir. Çıkarılıp soğutulduktan sonra yüzeyde parlamanın olup olmadığı kontrol edilir. Parlama oluncaya kadar test tekrarlanır ve 5 noktadan en az 2 tanesinde aynı anda parlama olduğunda test bitirilir ve kaç kez yağ emdiği kaydedilir. Genellikle yağ katalitik emayeler için minimum 3 kez, toz katalitik emayelerde ise minimum 10 kez yağ emmesi beklenir.

3.1.12. XRF Analizi

XRF, kimyasal malzemelerin bileşenlerinin yüzdesel değerlerini bulmada kullanılan analitik analiz yöntemidir. Numuneler katı, sıvı, toz formda olabilirler. Analiz kolay, hızlı, doğru sonuç verir [33].

XRF, enerji yayılımına veya dalga boyuna göre analiz yapar. Enerji yayılımına göre yapılan analizde element aralığı sodyum-uranyum, dalga boyuna göre yapılan analizde ise element aralığı berilyum-uranyum aralığıdır. Bileşenlerin konsantrasyonları ppm gibi düşük değerlerden % 100 değerlerine kadar ölçülebilir. XRF analizi ile ağır elementlerin tayini daha iyidir [33].

XRF'te, bir X-ışını kaynağı olan X-ışını tüpü tarafından üretilen X-ışınları numuneye saçılır. Her element için optik ışıktaki renklere eşdeğer karakteristik enerjileri vardır ve numuneden bulunan elementler bu enerjiye göre X-ışını yayarlar. Farklı her enerji, farklı bir renge eşdeğerdir. Numuneden yayılan ışınların enerjileri renkleri belirleyerek ölçülür ve numunenin içerisinde hangi elementin olduğu nitel olarak belirlenir. Yayılan enerjilerin yoğunluğu ölçülür ve numunedeki elementlerin miktarlarının ne olduğu nicel olarak belirlenir [33].

3.1.14. Yumurta pişirme testi

Yapışmazlık özelliği iyi olan emayelerin en büyük özelliklerinden biri yumurtanın pişirme malzemesine yapışmamasıdır. Yapışmazlık testi için emaye kaplı parça ocağa koyulur ve üzerine 1 adet yumurta kırılır, 3 dk boyunca yumurta yüksek ateşte pişirilir. Süre dolduktan sonra yumurta emaye üzerinden spatula yardımı ile kaldırılır ve yüzeyde kalan parça kontrol edilir. Eğer yüzeyde pişmiş yumurta parçası kalmadıysa emayenin yapışmazlık özelliğine sahip olduğu belirtilir

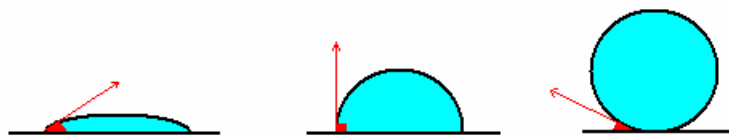


4. YÜZEY GERİLİMİ

Yüzey gerilimi sıvının yüzeye temas eden yüzeyini arttırıp ufak yüzey alanına sahip olma isteğidir. Yüzey gerilimi sıvının bir malzeme yüzeyindeki durumunu belirler. 1805 yılında Thomas Young, bir sıvının yüzeyde yayılıp yayılmamasını kohezyon ve adezyon kuvvetleri arasındaki etkileşimleri tanımlamıştır. Yüzey gerilimi kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin sonucunda oluşur. Adezyon kuvveti iki farklı madde molekülünün arasındaki çekim kuvvetidir, kohezyon kuvveti aynı maddenin molekülleri arasındaki çekim kuvvetidir. Sıvı, farklı bir yüzey ile temas ettiğinde iki yüzey arasında çekim kuvveti oluşur. Yüzeydeki bu gerilime göre malzeme yüzeyi ıslanır ya da ıslanmaz. Adezyon kohezyondan kuvvetli ise sıvı yüzey üzerinde damla oluşturmaz, düz şekil alır ve yüzey ıslanır. Eğer kohezyon kuvvetliyse sıvı moleküller birbirlerini kuvvetle çeker ve yuvarlak şekil alırlar ve yüzey ıslanmaz [34].

Sıvı ile yüzey arasındaki kuvvetleri belirlemek için malzemenin yüzeyine damlatılan sıvının yüzey ile temas ettiği açı ölçülür. Temas açısı katı ile sıvının ara yüzeyinde oluşur ve sıvı bölgesinden ölçülür. Yüzeyin ıslanmaması için sıvı damlasının yüzey ile temas ettiği açı yüksektir. Yüzeyin ıslanabilmesi için ise temas açısının dar açı olması gerekir [2].

Bir sıvının farklı malzeme yüzeyleriyle yaptığı temas açıları Şekil 4.1.'de verilmiştir. Temas açısı dar açı ($90^\circ > \theta$) olan ilk malzeme sıvı moleküllerinin yüzey enerjisinden yüksek yüzey enerjisine sahiptir, bu nedenle sıvı molekülü yüzeyde yayılarak kaplayacağı en fazla alanı kaplamıştır. Eğer malzemenin yüzey enerjisi sıvının yüzey gerilimine eşit ise yüzey ile sıvı molekülü arasındaki açı 90° 'dir. Eğer temas açısı geniş açı ise malzemenin yüzey enerjisi sıvının yüzey enerjisinden küçüktür ve sıvı küresel halinde kalır. Sıvı malzeme yüzeyinde yayılmaz en az alanı kaplama eğilimindedir.



Şekil 4.1. Temas Açıları

Yüzey enerjisi sıklıkla bir temas açölçeri (goniometer) kullanılarak veya değişik pek çok metotla ölçülür. Açölçer mekanizması tablaya yerleştirilen malzemenin üzerine su ve/veya değişik sıvılar damlatılarak, oluşan damlanın video görüntüsünü almak ve bağlı olduğu programa bunu aktararak görüntüdeki damlanın açısını belirlemek şeklindedir [33].



5. DENEYSEL ÇALIŞMA

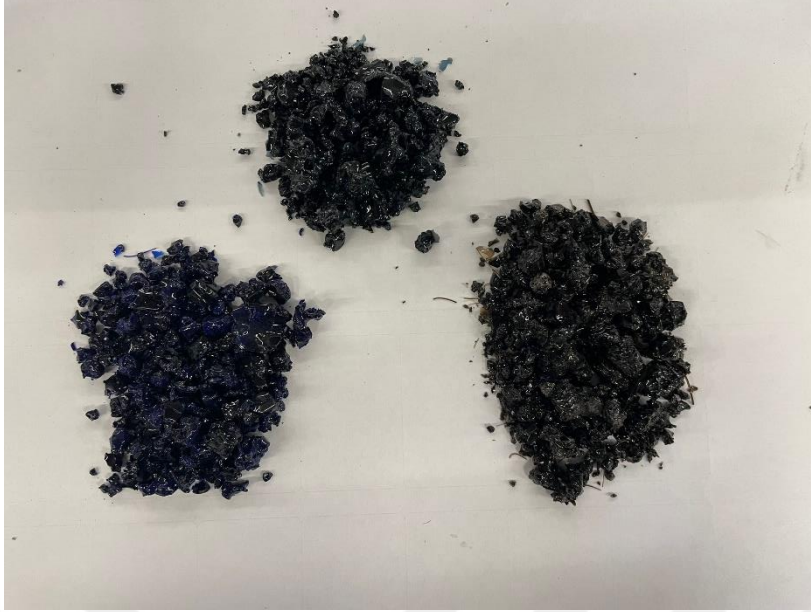
Bu bölümde farklı formüllere sahip emayeler hazırlanarak altlıklara kaplanmıştır. Emaye kaplı yüzeylerin asit dayanımı, renk değerleri, parlaklık değerleri, ıslatma açıları ölçülmüştür,

5.1. Frit Oluşturma

Emaye karışımı hazırlanırken 3 farklı frit kullanıldı. Kullanılan fritlerin oksidik kompozisyon aralığı Tablo 5.1’de yer almaktadır. Bu fritler 1,5 kg’lık reçetelere göre ayarlanmış ve laboratuvar tipi pota fırında 1200 °C’lik sıcaklıkta 1 saat boyunca ergitilmiştir. 1 saatin sonunda soğuk suya dökülüp şoklanarak granül (boncuk) hale getirilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan Fritlerin Oksidik Oranları ve Termal Genleşme Katsayıları

Oksidik Bileşen	% içerik		
	A FRİTİ	B FRİTİ	C FRİTİ
Na ₂ O	8,0-9,5	16,0-17,2	7,1-10,0
K ₂ O	9,5-10,5	3,0-3,9	3,0-5,2
BaO	5,9-6,7	0,0-3,0	0,0
ZnO	0-0,2	1,5-3	0,0
B ₂ O ₃	0,0-1,0	3,1-5,2	15,2-17,5
Al ₂ O ₃	0,5-1,6	30,0-45,0	0,5-1,2
SiO ₂	14-15,3	0,0-2,0	50,2-56,3
TiO ₂	5,9-7,1	1,8-3,0	0,0-0,2
F	1,0-2,5	0-0,5	1,0-1,5
ZrO ₂	27,0-29,0	0,2	0,1-2,0
P ₂ O ₅	23,0-24,9	32,0-46,0	0,0
MnO	0,0-0,5	0,1-0,9	6,0-8,5
Sb ₂ O ₃	0,0-0,5	0,1-0,6	0,2-2,3
Termal Genleşme Katsayısı (COE) (.10 ⁻⁸ K ⁻¹)	352,9	452,9	226,0



Şekil 5.1. Potada ergitilip suya dökülen granül fritler (Algotrio Kimya 2022)

5.2. Sebep Sonuç Matrisi

Emayelerdeki yapışmazlık özelliğini etkileyebilecek temizlenebilirlik, parlaklık, renk, yüzey, yapışma ve sitrik asit dayanım özelliklerinin etki dereceleri aşağıdaki tablonun ilk satırında yer almaktadır. Etki terecelerinde 1 en az, 10 en fazla etkiyi temsil etmektedir.

Emaye hazırlama sürecinden pişirmeye kadar olan süreçte ısılatma açısını etkileyen özellikleri değiştiren süreç girdileri ve bu girdilerin ne derece etkili oldukları belirlenmiştir.

Tablo 5.2. Süreç girdi ve etkilerinin bulunduğu sebep-sonuç matrisi

	Temizlenebi-Lirlik	Parlaklık	Yüzey	Renk	Yapışma	Sitrik Asit	Etki Değeri
<u>Süreç Etki Önem Derecesi</u>	10	6	9	5	1	3	
<u>Süreç Girdileri</u>							
Frit Oranı (A/B/C)	9	9	6	8	7	8	236
Korund Miktarı	7	9	8	5	6	3	269
Değirmen Katkıları	1	2	2	2	1	1	54
Öğütme İnceliği	5	3	7	1	2	1	141
Uygulama Kalınlığı	5	2	4	2	4	4	124
Uygulama Şekli	4	1	5	1	5	3	110
Pişirme Sıcaklığı	6	8	7	6	9	6	228
Pişirme Süresi	3	7	6	3	9	7	171

Süreç girdilerinin emayeden beklenen özelliği ne derece etkilediğini bulabilmek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

- Frit Oranı (A/B/C) Etki Değeri = $(10*9)+(6*9)+(9*6)+(5*8)+(1*7)+(3*8) = 236$
- Korund Miktarı Etki Değeri = $(10*7)+(6*9)+(9*8)+(5*5)+(1*6)+(3*3) = 269$
- Değirmen Katkıları = $(10*1)+(6*2)+(9*2)+(5*2)+(1*1)+(3*1) = 54$
- Öğütme İnceliği = $(10*5)+(6*3)+(9*7)+(5*1)+(1*2)+(3*1) = 141$
- Uygulama Kalınlığı = $(10*5)+(6*2)+(9*4)+(5*2)+(1*4)+(3*4) = 124$
- Uygulama Şekli = $(10*4)+(6*1)+(9*5)+(5*1)+(1*5)+(3*3) = 110$
- Pişirme Sıcaklığı = $(10*6)+(6*8)+(9*7)+(5*6)+(1*9)+(3*6) = 228$
- Pişirme Süresi = $(10*3)+(6*7)+(9*6)+(5*3)+(1*9)+(3*7) = 171$

Sebeup sonuç matrisinde yüksek çıkan değerlere odaklanılmış ve buna göre deney tasarımı yaparken bu değerlerin üzerine çalışma yapılmasına, yüksek etkinin görülmesi açısından karar verilmiştir.,

Yapılan hesaplamaya göre frit oranı, korund miktarı, pişirme derecesi ve pişirme süresi değişken parametreler olarak belirlenmiş, değirmen katkıları, öğütme inceliği, uygulama kalınlığı ve uygulama şekli ise sabit parametreler olarak belirlenmiştir. Tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

5.3. Deney Tasarımı

Yapışmazlık özelliğini en çok etkileyen 4 süreç girdisi pişirme sıcaklığı, frit oranları, korund oranı ve pişme süresi olarak bulunmuştur. Bu parametreler için 3er farklı değer belirlenmiştir. Karışımlar hazırlanırken belirlenen 4 süreç girdisi dışındaki değerler sabit tutulmuştur. Sabit değirmen katkı reçetesi kullanılmıştır. Hazırlanan emayelerin bayer değeri 0,5 - 1,0 Bayer aralığı, uygulama şekli yaş spreyl uygulama, uygulama kalınlığı ise 200 – 250 mikrometre (astar + ikinci kat) olarak belirlenmiştir.

A,B,C fritleri kullanılarak 3 farklı oran, değirmen katkısı olarak kullanılacak olan beyaz korund için de 3 farklı miktar belirlenmiştir. Hazırlanan karışımlar, 3 farklı sıcaklıkta 3 farklı sürede pişirilerek deneysel çalışmalar devam etmiştir.

Korund miktarları, pişirme derecesi ve pişirme süresi daha önceki laboratuvar çalışmalarından yola çıkılarak belirlenmiştir.

Tablo 5.3. Deney tasarımı için kullanılacak faktör ve seviyeleri

FAKTÖR	SEVİYE		
Sıcaklık (°C)	820	835	850
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20	50/30/20	30/50/20
Korund Oranı (% gr)	1	5	10
Pişme Süresi (dk)	3	4	5

Belirlenen 4 süreç girdisi ile 3'er farklı seviye için yapılması gereken karışım ve pişirme durumları Tagucchi deney tasarım yöntemine göre belirlenmiş ve Tablo5.4.'te yer almaktadır. Bu tabloya göre 9 farklı deneme yapılmıştır.

Tablo 5.4. Yapılacak deneyler

DENEY NO	Sıcaklık (°C)	Frit Karışımı (A/B/C)	Korund Miktarı (% gr)	Pişirme Süresi (dk)
1	820	40/40/20	1	3
2	820	50/30/20	5	4
3	820	30/50/20	10	5
4	835	40/40/20	5	5
5	835	50/30/20	10	3
6	835	30/50/20	1	4
7	850	40/40/20	10	4
8	850	50/30/20	1	5
9	850	30/50/20	5	3

5.4. Yapılan Denemelerde Kullanılan Değirmen Formülü

Değirmen karışımında frit oranları ve beyaz korund miktarı değişken olarak kullanılmıştır. Geriye kalan katkı malzemeleri ve miktarları aynıdır. Kullanılan değirmen katkı malzemeleri ve oranları aşağıdaki yer almaktadır.

Tablo 5.5. Sabit Değirmen Katkı Oranları

Bileşen	% Ağırlıkça Oran
Pigment	4
Kil MT 510	7
Bentonit	0,1
Potasyum Karbonat	0,2
Boraks	0,2
Sodyum Nitrit	0,3
Rodophol	0,07
Bentone	0,1

Pigment, emayeyi renklendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Kil, bentonit ve bentone emayenin suda yüzmesini sağlamak için kullanılmıştır.

Boraks, potasyum karbonat, emayenin akışkanlığını düzenlemek için kullanılmıştır.

Sodyum nitrit, rodophol emayenin kıvam alması için kullanılmıştır.

5.5. Emaye Hazırlama

Tagucchi yöntemine göre belirlenen karışımların tartımı yapılmıştır. Öğütme işleminde kullanılan alümina değirmenler 300 gr'lık öğütme işlemi için uygundur. Karışım reçeteleri 100 grama göre yazılıp 300 grama göre tartımları yapılmıştır. İçerisine %40 oranında su katılıp alümina yaş değirmende 10 dk döndürülmüştür. Döndürülen karışımların tane boyutu 150 mesh elekten 0,5-1 Bayer'e göre ayarlanmıştır ve yapılan tüm karışımların tane boyutu aynı aralıkta tutulmuştur. Tane boyutu ayarlanan yaş emayeler 40 mesh elekten elenmiştir. Emayelerin yoğunluğu 1,65 - 1,67 g/cm³ arasında tutulmuştur. Kıvamı yüksek ve yoğunluğu fazla olan emayelere su eklenerek yoğunluk ayarı yapılmıştır. Tane boyutu ve yoğunluğu ayarlanan emayeler yaş sprey olarak uygulanmaya hazırdır.



Şekil 5.2. Yaş olarak öğütülmüş emayeler (Algotrio Kimya 2022)

5.6. Bayer Tanecik Boyutu Kontrolü

Yaş olarak öğütülen emayelerin tane boyutları kontrol edilmiş ve aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.



Şekil 5.3. Bayer ölçümü (Algotrio Kimya 2022)

Tablo 5.6. Hazırlanan Deneylerin Bayer Değerleri

Deney No	Bayer Değeri
1	0,6
2	0,6
3	0,5
4	0,8
5	0,5
6	0,7
7	0,6
8	0,6
9	0,7

5.7. Plaka Hazırlığı

Hazırlanan yaş emayeler astar kaplı plakaların üzerine uygulanacağından öncelikle astar hazırlığı yapılmıştır.

Astar kaplama siyah elektrostatik toz emaye ile yapılmıştır. 12cm x 15cm saca elektrostatik toz olarak çift taraflı uygulama yapılmış, plakalar laboratuvar tipi kutu fırında 820 °C’ de 4 dk pişirilmiştir. Uygulama kalınlığı 100 – 120 mikrometre aralığındadır.



Şekil 5.4. Emaye kaplı plaka pişirme fırını (Algotrio Kimya 2022)

Hazırlanan yaş emayeler, astar kaplı plakalara yaş tabanca ile tek yönlü olarak uygulanmıştır. Her karışım kendi için belirlenen sıcaklık derecesi ve süresinde pişirilmiştir. Plakaların hepsine yüzey görünümü, renk ölçümü, kalınlık ölçümü, parlaklık ölçümü, ıslatma açısı ölçümü, sitrik asit testleri uygulanmıştır.

. 1,2 ve 3 nolu deneylerin uygulama plakaları.

Tablo 5.7. 1,2 ve 3 nolu deneylerin uygulama plakaları

Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20
Korund Oranı (% gr)	1
Pişme Süresi (dk)	3



Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20
Korund Oranı (% gr)	5
Pişme Süresi (dk)	4



Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20
Korund Oranı (% gr)	10
Pişme Süresi (dk)	5



Tablo 5.8. 4,5, ve 6 nolu deneylerin uygulama plakaları

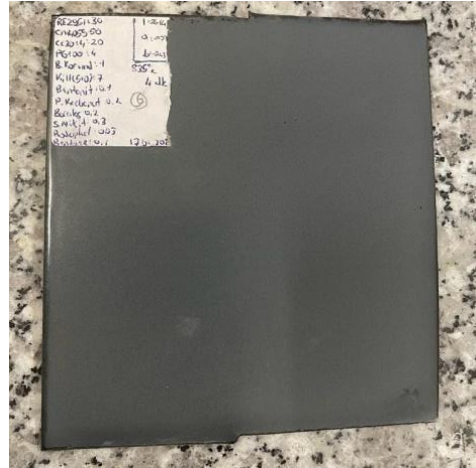
Sıcaklık (°C)	835
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20
Korund Oranı (% gr)	5
Pişme Süresi (dk)	5



Sıcaklık (°C)	835
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20
Korund Oranı (% gr)	10
Pişme Süresi (dk)	3

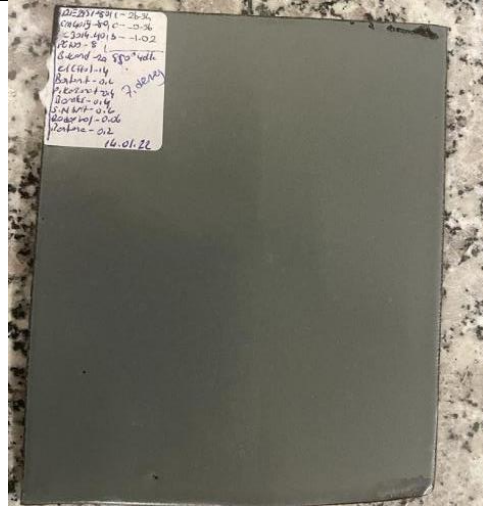


Sıcaklık (°C)	835
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20
Korund Oranı (% gr)	1
Pişme Süresi (dk)	4



Tablo 5.9. 7,8 ve 9 nolu deneylerin uygulama plakaları

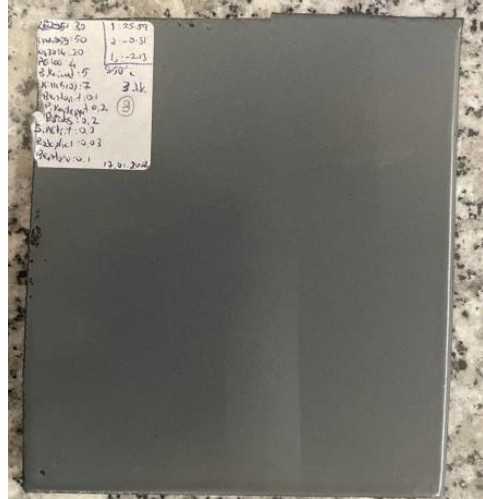
Sıcaklık (°C)	850
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20
Korund Oranı (% gr)	10
Pişme Süresi (dk)	4



Sıcaklık (°C)	850
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20
Korund Oranı (% gr)	1
Pişme Süresi (dk)	5



Sıcaklık (°C)	850
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20
Korund Oranı (% gr)	5
Pişme Süresi (dk)	3



5.8. Yüzey Görünümü

Piştirilen astar yüzeyi gözle kontrol edilmiştir. Eğer yüzeyde bir hata görülürse o plakaya yaş emaye uygulaması yapılmamıştır, yapıldığı durumda ikinci kat uygulamanın da yüzeyinin bozuk olmasına sebep olacaktır.



Şekil 5.5. Astar emaye kaplanmış plaka numunesi (Algotrio Kimya 2022)

Yaş emaye uygulanan yüzeylerin kontrolü de göz ile yapılır. Yüzeyde sivilce, krater, isilik, iğne başı gibi yüzey hatalarına bakılmıştır. Yüzeyde problem olmayan plakalar onaylanıp diğer testler uygulanmıştır.

5.9. Kalınlık Ölçümü

Kaplı yüzeyler, bir peçete ile yüzeydeki tozlardan ve kirliliklerden temizlenmiştir. Her plakanın kalınlığı plakanın orta kısmından ölçülmüştür. Bu çalışmada PosiTest cihaz kullanılmıştır. Üst kat (2.kat) emaye kalınlığı ölçüldüğü için 100-120 mikron astar katın kaplama kalınlığı da ölçüme dahildir. Astar kat kaplama kalınlığı ortalama 110 mikron olarak alınmış ve üst kat emayenin kalınlığı hesaplanmıştır.

Tablo 5.10. Deneylerin Kaplama Kalınlıkları Ölçüm Sonuçları

Deney No	Ölçülen Kaplama Kalınlığı (μ)	Astar Kat Kaplama Kalınlığı (μ)	Üst Kat Kaplama Kalınlığı (μ)
1	216	110	106
2	223		113
3	228	110	118
4	251	110	141
5	223	110	113
6	199	110	89
7	226	110	116
8	221	110	111
9	211	110	101

5.10. Renk Ölçümü

Emaye kaplı plakaların renk değerleri COLORAIO marka renk cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazda L değeri açıklık - koyuluğu, a değeri + tarafta kırmızılığı, - tarafta yeşilliği, b değeri + tarafta sarılığı, - tarafta maviliği göstermektedir. Koordinatın merkezi akromatiktir.

Tablo 5.11. Deneylerin Renk Ölçüm Sonuçları

Deney No	L	a	b
1	25,34	-0,31	-2,17
2	25,41	-0,21	-2,08
3	25,75	-0,21	-2,54
4	26,00	-0,17	-1,27
5	25,26	-0,24	-1,8
6	26,14	-0,37	-2,43
7	26,54	-0,56	-1,02
8	26,27	-0,24	0,48
9	25,59	-0,31	-2,13

5.11. Parlaklık ölçümü

Emaye kaplamaların parlaklık değeri 3nH glossmetre cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazda 3 açılı ölçüm yapılabilmektedir. 20°'deki değer mat plakalar için kullanılır, 85°'deki değerler ise genellikle parlak kaplamalarda kullanılır. Ama genellikle 60°'deki değerlere bakılır. Düşük değerler matlığı, yüksek değerler ise parlaklığı gösterir (ASTM - D523,2014). Bu çalışmada her üç değer de alınmıştır.

Tablo 5.12. Deneylerin Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Deney No	20°	60°	85°
1	6,7	34,5	19,6
2	2,6	16	18,3
3	7,5	36,7	52,7
4	5,8	30,3	39,5
5	1,7	12,1	9,7
6	9,4	42,8	60,8
7	6,9	35,4	50,6
8	5,4	28,1	36,7
9	7,8	37,9	53,3

5.12. Sitrik asit testi

% 10 derişime sahip sitrik asit çözeltisi hazırlamak için 1 gram sitrik asit tartılıp 10 ml suya eklenmiştir. Sitrik asit testi yapılacak plakaların üzerine sitrik asit damlatılarak 15 er dk bekletilmiştir. 15 dk' nın sonunda plakalar yıkanarak sitrik asit yüzeyden temizlenmiştir. Islak yüzey kurulanıp sitrik asidin yüzeydeki aşındırması kontrol edilmiştir. Aşağıdaki tabloda 9 farklı deneyin asit değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.13. Deneylerin Sitrik Asit Değerleri

Deney No	Sitrik Asit Değeri
1	AA
2	AA
3	AA
4	AA
5	AA
6	AA
7	AA
8	AA
9	AA

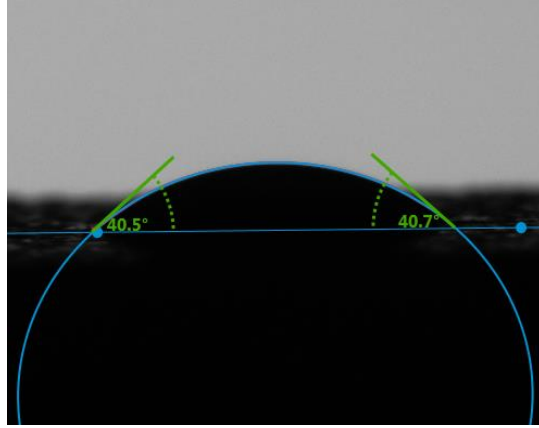
Eğer yüzeyde aşınma yok ise AA değerini alınır, asit izi gözle görünüyorsa A değerini, eğer beyazlama var ise B değerini alır.

5.13. Islatma Açısı Ölçümü

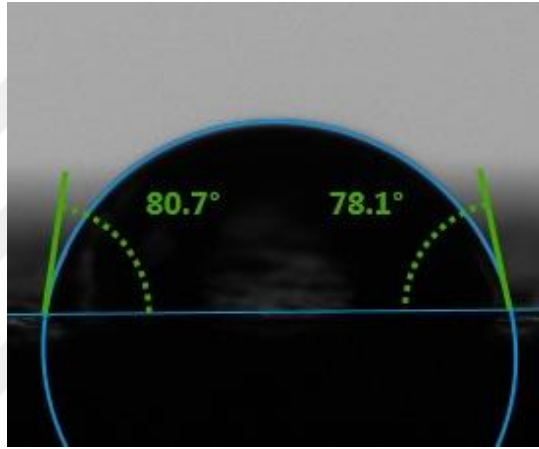
Hazırlanan deney plakaları üzerine ıslatma açısı ölçümleri yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.14. 1,2 ve 3 nolu deneylere ait ıslatma açıları

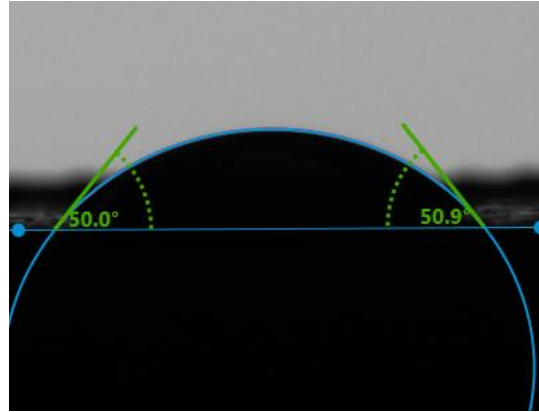
Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20
Korund Oranı (% gr)	1
Pişme Süresi (dk)	3



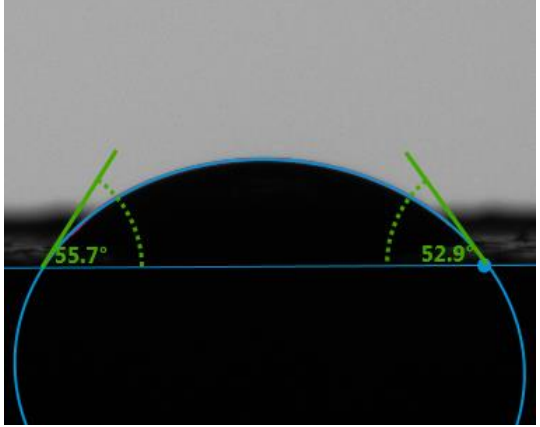
Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20
Korund Oranı (% gr)	5
Pişme Süresi (dk)	4

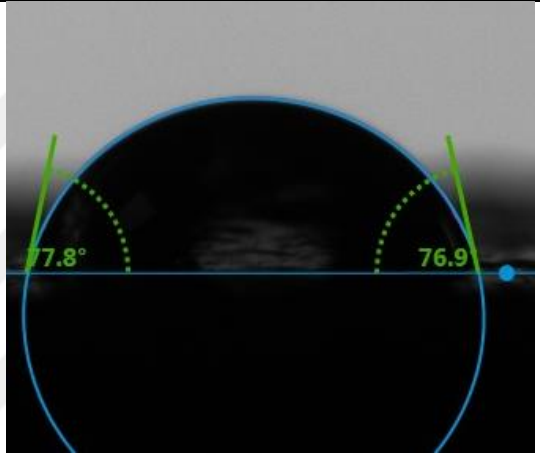


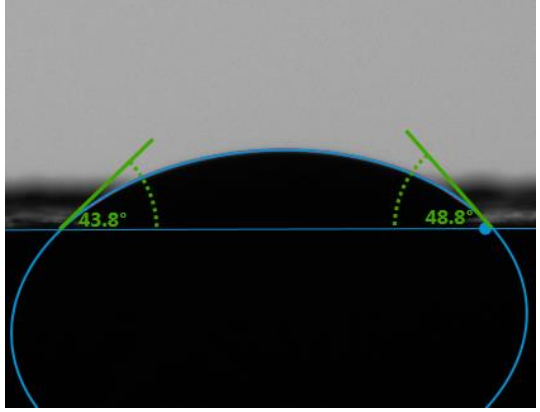
Sıcaklık (°C)	820
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20
Korund Oranı (% gr)	10
Pişme Süresi (dk)	5



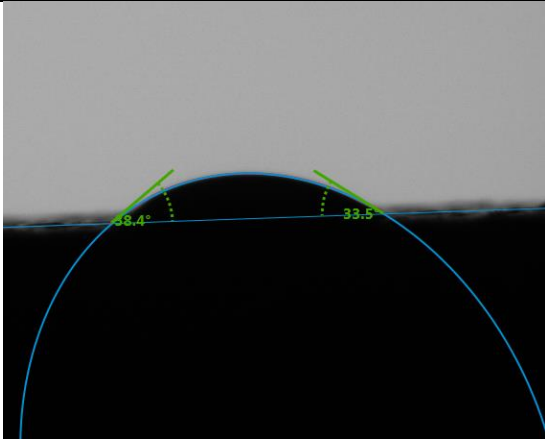
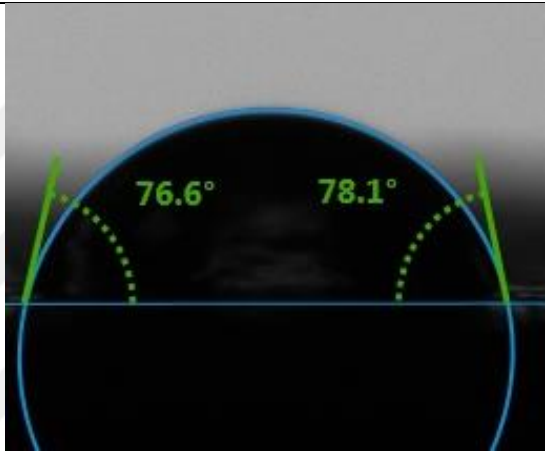
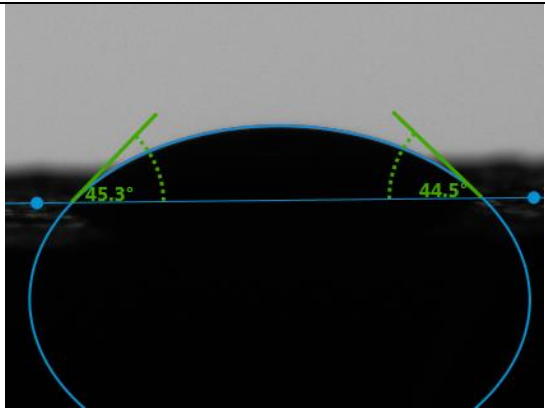
Tablo 5.15. 4,5 ve 6 nolu deneylere ait ıslatma açıları

		
Sıcaklık (°C)	835	
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20	
Korund Oranı (% gr)	5	
Pişme Süresi (dk)	5	

		
Sıcaklık (°C)	835	
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20	
Korund Oranı (% gr)	10	
Pişme Süresi (dk)	3	

		
Sıcaklık (°C)	835	
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20	
Korund Oranı (% gr)	1	
Pişme Süresi (dk)	4	

Tablo 5.16. 7, 8 ve 9 nolu deneylere ait ıslatma açıları

		
Sıcaklık (°C)	850	
Frit Karışım (A/B/C)	40/40/20	
Korund Oranı (% gr)	10	
Pişme Süresi (dk)	4	
		
Sıcaklık (°C)	850	
Frit Karışım (A/B/C)	50/30/20	
Korund Oranı (% gr)	1	
Pişme Süresi (dk)	5	
		
Sıcaklık (°C)	850	
Frit Karışım (A/B/C)	30/50/20	
Korund Oranı (% gr)	5	
Pişme Süresi (dk)	3	

5.14. ETC testi

Sitrik asit testi uygulanan plakaların asit yapılan bölgelerine lityum nitrat koyulmuştur. Plaka 320 °C fırında 15 dk tutulduktan sonra fırından çıkarılıp lityum nitratın olduğu kısım yıkanıp kurulanmıştır. Lityum nitratın yapıldığı alana ketçap damlatılıp 320 °C'lik fırında yarım saat bekletilmiştir. Süre dolduktan sonra plakalar fırından alınmış ve ketçap damlatılan yer yumuşak bir yüzey yardımıyla plakadan temizlenmiştir. Sonuçlar Tablo 5.16'da belirtilmiştir.

Tablo 5.17. Deney plakaları üzerine yapılan ETC test sonuçları

Deney No	Lityum Nitrat Testi	Ketçap Testi
1	İz yok	İz yok
2	İz var	İz var
3	İz yok	İz yok
4	İz yok	İz var
5	İz yok	İz yok
6	İz var	İz yok
7	İz var	İz var
8	İz yok	İz var
9	İz var	İz var

5.15. XRF Analiz Sonuçları

Deney çalışmaları için pota fırında eritilen fritlere XRF analizleri yapılmıştır.

Frit 20 gram tartılarak aşınmaz malzemeden yapılan değirmene koyularak 30 sn öğütülmüştür. Öğütülen fritler 150 mesh elekten elenmiştir. Elenen malzemeden 9 gram alınmıştır. 1 gram wax ile 9 gram frit değirmende 10 sn homojen olarak karıştırılmıştır. Numune alınıp press cihazından 5000 kg basınçta 30 sn boyunca preslenmiş ve tablet haline getirilmiştir. Numune XRF cihazına koyulmak için hazırdır. XRF cihazının numune haznesine yerleştirilmiştir. Cihazdan ölçüm başlatılmıştır. Ölçüm sonuçları aşağıda yer almaktadır.

Tablo 5.18. XRF Analiz Sonuçları

Oksidik Bileşen	% içerik		
	A FRİTİ	B FRİTİ	C FRİTİ
Na ₂ O	8,25	14,22	9,89
K ₂ O	10,05	3,20	5,16
BaO	6,25	0,01	0,02
ZnO	0,12	1,68	0,01
B ₂ O ₃	0	3,00	16,98
Al ₂ O ₃	0,68	37,45	1,00
SiO ₂	14,52	0,50	56,20
TiO ₂	7,05	1,80	0,01
F	1,30	0,05	1,45
ZrO ₂	28,22	0,10	1,22
P ₂ O ₅	23,55	37,54	0,01
MnO	0,01	0,35	8,00
Sb ₂ O ₃	0,00	0,10	0,05
Toplam	100	100	100

5.16. Yumurta Pişirme Testi

Kimyasal dayanımı kuvvetli, ısılatma açısı yüksek 5 no'lu emaye üzerinde bu test uygulanmıştır. Standart emaye kaplı parça ve 5 no'lu emaye ile kaplanan parçaya yumurta pişirme testi uygulandı. İki malzeme de ocağa koyuldu ve üzerlerine yumurta kırıldı. 3 dk boyunca yüksek ateşte pişirildikten sonra yumurta, kaplama malzemelerinin üzerinden kaldırıldı ve yüzeyde yumurta kalıp kalmadığı kontrol edildi. Standart emaye kaplı parçada yumurta parçalarının kaldığı 5 no'lu emaye kaplamada ise kalmadığı gözlemlendi. Bu durum 5 no'lu emaye kaplama malzemesi ile yapışmazlık özelliğinin arttığını göstermektedir.



Şekil 5.6. 5 no'lu kaplama yüzeyinde yumurta pişirme testi (Algotrio Kimya 2022)

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada piyasada kullanılan mevcut emaye kaplı mutfak gereçlerinin yapışmazlığının arttırılması hedeflenmiş ve buna göre hem formülasyonu hem de ıslatma açıları kontrol edilerek 90⁰ hedeflenip ona göre fritlerde, değirmen reçetesinde, sıcaklıkta ve pişirme süresinde denemeler yapılmış, ıslatma açıları ölçülmüştür. Islatma açılarının yanı sıra yüzeylerin düzgünlüğü, sitrik asit direnci, ETC ve renk değerleri de ölçülerek optimum nokta yakalanmıştır. Her ne kadar 90⁰ ıslatma açısı hedeflense de normal emayelerde 35 – 50 arasında bulunan ıslatma açısı değeri bu çalışma ile 80⁰'e kadar çıkarılmıştır.

Deney sonuçlarına bakıldığında A frit miktarı arttığında ıslatma açısının yükseldiği görülmektedir. A fritinde bulunan ZrO₂ bileşeni emayenin kimyasala dayanımını arttırmış, P₂O₅ bileşeni ise emayenin ıslatma açısının artmasına sebep olmuştur.

Yapılan 9 farklı deneyin sonuçları incelendiğinde 5 nolu deneyde bulunan sonuçların kimyasal dayanımının kuvvetli ve ıslatma açısının 750'nin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar 2 ve 8 nolu deneylerde de ıslatma açısının yüksek olduğu görülse de 2 nolu deneyde yapılan ETC testinde hem lityum nitrat hem de ketçap testi sonuçları olumsuz sonuçlanmıştır. Ayrıca 8 nolu deneyde lityum nitrat olumlu sonuçlansa da ketçap testi sonucu olumsuzdur. Bu sebeple bu iki deneme bu çalışma için uygun sonucu vermemiştir.

5 nolu deneyde olumlu netice alınan parametrelere göre hazırlanmış plaka üzerinde yumurta pişirme testi yapılmıştır. Bununla birlikte ıslatma açısı 400 olan normal bir emayenin yüzeyinde aynı test yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre 400 ıslatma açısına sahip parça üzerinde yumurta yapışmış 5 numaralı parça üzerinde yumurtanın yapışmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçta 5 nolu deney ile emayede yapışmazlığın sağlandığı görülmektedir.

Bu çalışma ile 30-400 olan emaye ıslatma açısı 800'ye kadar çıkarılmıştır. Bu değer hedeflenen değer in altında olsa da emaye kaplama malzemelerine göre ıslatma açısı değeri 2 katına kadar çıkarılmıştır.

6.2. Öneriler

Deneyler ve sonuçlar göz önüne alındığında P_2O_5 in daha yüksek olduğu bir frit ile yapılacak olan deneylerde yapışmazlığın daha fazla artabileceği tahmin edilmektedir. Bu çalışma yapılırken yüzey ve ETC test sonuçları mutlaka gözlenmelidir.

Deneyler sırasında korund olarak beyaz korund kullanılmıştır. Aynı deneyler için kahverengi korund ve alüminyum oksit te denenerek ETC testlerinde iyileşme olup olmadığı gözlemlenebilir. Zira her üç malzeme de Al_2O_3 formunda olsa da kimyasal ve fiziksel etkileri birbirinden farklıdır.

Mutfak gereçlerine kaplanacak olan bu emayeler için bulaşık makinesinde yıkama testlerinin ıslatma açılara bağlı olup olmadığı test edilebilir. Islatma açısı yüksek olan malzemenin bulaşık makinesi yıkama test sonuçlarının daha iyi olacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Holcomb, J.A., Porcelain Enamel Coating, 1967.
- [2] Evcimen, N., Emaye üretiminde kaplama ve özelliklerin araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [3] Russo, F., Rossi, S., Compagnoni, A.M., Porcelain Enamel Coatings, Encyclopedia , 1: 388-400, 2021.
- [4] Majumdar, A., Jana, S., Glass and glass–ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications, Bull. Mater. Sci., Vol. 24, No. 1, pp. 69–77, Indian Academy of Sciences, February 2001.
- [5] Yılmaz, E., Taban malzeme emaye arayüz ilişkilerinin emaye kalitesine etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [6] William D. Faust, W.D., Porcelain (vitreous) enamels and industrial enamelling processes, Aurora, Ohio USA.
- [7] Ay. A., Soğuk Emaye Tekniği
- [8] Harry J. Van Dolah, H. J. V., Method for manufacturing porcelain, enamel frit, 3,278,284, Ohio, 1966.
- [9] Şahin. O., Dökme Demirlere Uygulanabilen Renkli Majolik Emaye Fritlerinin Geliştirilmesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [10] Güngör, E., Termik Santrallerin Döner Tip Hava Isıtıcılarında Kullanılan Isı Değiştirici Plakalar İçin Emaye Kaplama Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [11] Rossi, S., Russo, S., F., Calovi, M. Durability of vitreous enamel coatings and their resistance to abrasion, chemicals, and corrosion: a review. J. Coat. Technol. Res., 18 (1) 39–52, 2021.
- [12] King, Grenzflächennahe Bereiche einer emaillierung nach der Haftheorie, Publicationes UA, 1959.
- [13] Ünlükal, F., F., Çelik ve dökme demirlerin emayelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi. 2006.
- [14] A. Andrews, 2011. Porcelain (Vitreous) Enamels and Industrial Enameling Processes the Preparation, Application and Properties of Enamels, Tipografia Commerciale.
- [15] Evele, H.F., 2000. Proper Care of Porcelain Enamel Powder for Electrostatic Application. Ceram. Eng. Sci. Proc., 21, 125–126.

- [16] L Bragina , O Shalygina , N Kuryakin , VAnnenkov , N Guzenko , K Kupriyanenko , V Hudyakov and A Landik, Powder electrostatic enamelling of household appliances, 5th Baltic Conference on Silicate Materials, 2011.doi:10.1088/1757-899X/25/1/012012
- [17] Rossi, S., Russo, F., Calovi, M., Rinc, M., Velez, D., the influence of the size of corundum particles on the properties of chemically resistant porcelain enamels, *Ceramics International* 47, 11618–11627, 2021.
- [18] Durmuşoğlu, E., emayeleme ve oluşabilecek hatalar, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [19] Kıran, E., Emayelenebilir dökme demirler ve uygulama yöntemleri, Toprak Demirdöküm San. A.Ş..
- [20] Sevim, T., Etibank Kırka Boraks İşletmesi atıklarının emaye üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 1998.
- [21] Uhlmann, D.R. ve Kredeil, N.J., (1983), *Glass Science and Technology Volume 1*, Academic Pres, New York, Londra.
- [22] Quality Reuquirements, European Enamel Authority e.V., 4th Edition.
- [23] Eppler, R. A. ve Eppler, D., (2000), *Glazes and Glass Coatings*, the American Ceramic Society Westerville, Ohio.
- [24] Electrolux, Easy to Clean Test Procedure, Electrolux Home Appliances, Jan. 2006.
- [25] Whirlpool T 482, Heat Resistance Test - Pyrolitic Ovens, St. Joseph Technology Center, Michigan, USA., November, 2003.
- [26] Rossi, S., Zanella, C., Sommerhuber, R., Inflfluence of mill additives on vitreous enamel properties, *Materials and Design* 55 (2014) 880–887. 2013
- [27] G. Geiger, «Properties of Porcelain Enamels,» Porcelain Enamel Institute Publication, Forum 66, 2006.
- [28] [28] C. A. Harper , *Glasses and Diamonds*, Handbook of Ceramics, McGraw-Hill Professional; 1 edition, 2001.
- [29] D. Bowley ve R. Jesseman, «Effect of Steel Thickness on Direct-On Cover Coat Enamel Adherence Rating,» 48th Porcelain Enamel Institute Technical Forum, Washington, D.C., Ceramic Engineering Sci. Proc., 8, 1987, pp. 407-417.
- [30] F. David ve C. Baldwin, «A Comparison of Enameled and Stainless Steel Surfaces,» 67th Porcelain Enamel Institute, Nashville, Tennessee, USA, 2005, pp. 45-54.
- [31] Rossi, S., Bergamo, L., Fontanari, V., Fire resistance and mechanical properties of enamelled aluminium foam, *Materials and Design* 132 (2017) 129–137, 2017.
- [32] Keskin, M., Setlek, P., Demir, S., Renk ölçüm sistemlerinin gıda bilimleri ve tarımda kullanım alanları, International Advanced Researches & Engineering Congress, Hatay, 2017.

- [33] Brouwer, P., Theory of XRF, Panalytical B.V., The Netherlands, 2010.
- [34] Tuğrul, A., B., Capillarity effect analysis for alternative liquid penetrant chemicals, *NDT&E International*, Vol. 30, No. 1, pp. 19-23, İstanbul, Türkiye, 1997
- [35] Elkoca, O., Çimen, D., Set Üstü Ocak Uygulamaları İçin Emaye İşlemine Uygun Sıcak Haddelenmiş Bir Çelik Kalitesinin Geliştirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2017) 1-9 , 2016.
- [36] <https://tr.aliexpress.com/item/32897638436.html>





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tuğçe Nazlı KAYA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019-Halen Algotrio Kimya San. Ve Tic. A.Ş AR&GE Yöneticisi olarak çalışmaktadır.