

Islatma Açısı Arttırılarak Emaye Kaplı Parçaların Gıda Temasında Yapışmazlık Özelliğinin Geliştirilmesi

Tuğçe Nazlı Kaya^{1,2}, Aysun Ayday^{1*}

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

²Algortrio Kimya San. ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye

*aayday@sakarya.edu.tr^{ORCID}, tugcenazli95@gmail.com^{ORCID}

Makale gönderme tarihi:09.03.2023, Makale kabul tarihi:25.09.2023

Öz

Emaye; yüzeyde camsı yapı oluşturan inorganik bir kaplama malzemesidir. Oluşan kaplamanın kimyasala dayanımı yüksektir. Emaye kaplamalar günümüzde süs eşyaları, mutfak eşyaları gibi birçok alanda kullanılırlar. 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 ile belirlenmiştir. Süreç girdileri için 3 farklı seviye belirlenmiştir. 4 süreç girdisi ve 3 seviye için gerekli denemeler Taguchi yöntemi ile tespit edilmiş ve uygulanmıştır. Islatma açısını arttıracak 3 frit formülüne edilmiştir. Bu fritlerin oranları kendi arasında değiştirilerek farklı miktarlarda korund ve sabit değirmen katkıları ile belirlenen süre boyunca alumina değirmenlerde öğütülüp uygulama yapıp belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek sitrik asit, kolay temizlenebilirlik (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° ölçülmüştür ve çalışmalarda açı değerinin 75 °nin üzerine çıkarılması hedeflenmiştir. Islatma açısında en iyi sonucu 2, 5, 8 numaralı denemeler vermiştir. Aralarındaki en yüksek ıslatma açısı değeri 2 numaralı deneyde 78,1 ° ölçülmüştür. Fakat 5 numaralı deneyin kimyasala dayanımı yüksek ve bu değerlere göre frit kullanım oranlarının en etkili sonuç verdiği görülmüş ve B fritinin kullanım oranı arttığında ıslatma açısının arttığı sonucu çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Emaye, emaye kaplama, frit, ıslatma açısı, temizlenebilirlik

Improving the Non-Stick Feature of Enamel Coatings by Increasing the Wet Angle

Abstract

Enamel is an inorganic coating material that creates a glassy structure on the surface. The resulting coating has high chemical resistance. Today, enamel coatings are used in many areas, such as ornaments and kitchenware. 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 four process inputs that will affect the wetting angle the most were determined by the cause-and-effect matrix as frit rates, corundum amount, cooking temperature, and cooking time. Three different levels have been determined for process inputs. The necessary trials for four process inputs and three levels were determined and applied by the Taguchi method. Three frits have been formulated to increase the wetting angle. The ratios of these frits were changed among themselves, and different amounts of corundum and fixed mill additives were ground in alumina mills for a specified period of time, applied, and cooked at the specified temperature and time, and citric acid, easy-to-clean (ETC) test, color, gloss values, coating thicknesses, and wetting angles were measured. In order to compare the analyses made, measurements were made on the ETC enamel-coated plate, and the wetting angle value was measured at 33°. It was aimed to increase the angle value above 75° in the studies. Trials 2, 5, and 8 gave the best results in terms of wetting. The highest wetting angle value among them was measured at 78.1° in experiment number 2. However, it was seen that the chemical resistance of experiment number 5 was high, and the frit usage rates according to these values gave the most effective results, and it was concluded that the wetting angle increased when the use rate of the B frit increased.

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1262742

Keywords: Enamel, enamel coating, frit, wetting angle, cleanability

GİRİŞ

Emaye, metal saclara ya da döküm parçalara kaplanarak kaplandığı malzemeye estetik özellik sağlayan, kimyasal dayanımını arttıran inorganik yapıdaki kaplama malzemeleridir (Holcomb, 1967; Evcime, 2007; Harry ve ark., 1966; Russo ve ark., 2021; Majumdar ve ark., 2021).

Kaplama işlemlerinde, kaplama kalitesini kaplama işlemi öncesi kaplanacak yüzeye uygulanan ön işlemler ile kaplama prosesi parametreleri olan çözeltisi, bileşen oranları, kaplama çözeltisi sıcaklığı, süre, akım değeri ve mesafe belirlemektedir (Ayyıldız ve ark., 2022). Bu sebeple, farklı özellikteki emayelerin içerikleri birbirlerinden farklı özellikler göstermektedir. Emayeler, aside karşı dayanıklı, kolay temizlenebilir, buhara karşı dayanıklı, yağ emme özeliğine sahip olabilirler. İstenen özelliği sağlamak için emayelerin içerisinde kullanılan fritlerin formülasyonu değiştirilir (Kunshan ve ark., 2022; Şahin, 2019).

Emayeler, üzerlerinde bakteri toplamadıklarından özellikle mutfak eşyalarında kullanılacak sağlıklı kaplama malzemeleridir. Mutfak eşyaları yiyecek ile temas ettiklerinden kullanılan emayelerde genellikle asit dayanımı, kolay temizlenebilirlik (Easy To Clean - ETC) özelliğine sahip olması beklenir. Son zamanlarda emayeli yüzeylerde yiyeceğin yüzeye yapışmaması artan talepler arasındadır (Şahin, 2019; Ay, 2023; Evele, 2000; Rossi ve ark., 2021).

Yüzeylerin yapışmazlığını sağlayabilmek için ıslatma açısının yüksek olması gerekir. Emaye kaplamalar camsı malzemeler olduğu camların ve Gıda ile temas eden diğer kaplama malzemesi olan PTFE'nin yüzey yapışmazlık özelliği incelenmiştir. Camların su ile yaptığı ıslatma açısı değer 37°'dir. PTFE malzemelerin yapışmazlık özellikleri oldukça iyidir ve bu kaplama malzemesinin araştırma sonucunda ıslatma açısının 110° olduğu bulunmuştur. Emaye kaplamanın yapışmazlık özelliğini arttırmak için PTFE kaplamanın ıslatma açısına yakınlaştırmak hedeflenmiştir (Ersoy ve ark., 2022; Zhao ve ark., 2021).

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 35-50° arasındadır. Bu çalışmada bu değerlerin artırılması amaçlanmıştır.

Literatür araştırmalarına göre, emayenin iyileştirilmesi amaçlı yapılan çalışmalarda esas olarak üç farklı yaklaşım olarak şunlar belirtilebilir: frit bileşimi, hafif alaşımlarda olduğu gibi sert takviye elemanları kullanımı (potasyum feldispat, zirkonyum silikat, silisyum karbür, alümina, gibi), grafit gibi yağlayıcı takviyelerin ilavesi (Ayyıldız ve ark., 2021; Russo ve ark., 2022; Russi ve ark., 2014). Mekanik olarak emayelerde çizilme, aşınma gibi testlerle destelenmiştir. Yapışmazlık özelliğinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çok fazla çalışma olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmada ıslatma açısını en fazla etkileyecek parametreler ve yapışmazlık özelliğini ne derece etkiledikleri belirlenip sebep sonuç matrisine göre puanlanmıştır. Puanlama sonucuna göre yapışmazlık özelliğini en çok etkileyen 4 süreç girdisi frit oranları, korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Sebep sonuç matrisinde düşük puan alan diğer değerler sabit tutulmuştur. Yapışmazlık özelliğini etkileyen 4 süreç girdisi için 3 farklı seviye belirlenmiştir gerekli denemeler Tagucchi yöntemi ile tespit edilmiş ve uygulanmıştır. ıslatma açısını arttıracak 3 yeni frit formülüne edilmiştir. Frit oranları laboratuvar ortamında denemeler yapılarak belirlenmiştir. Fritler farklı miktarlarda korund ve sabit değirmen katkıları ile daha önceki laboratuvar çalışmaları değerlendirilerek belirlenen süre boyunca alümina değirmenlerde öğütülüp uygulama yapılab belirlenen sıcaklık ve sürelerde pişirilerek sitrik asit, ETC testi, renk, parlaklık değerleri, kaplama kalınlıkları, ıslatma açıları ölçülmüştür.

Bu çalışmada emaye kaplı pişirme gereçlerinde ıslatma açısı arttırılarak yapışmazlık özelliğinin arttırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmada ilk olarak kullanılacak olan 3 fritin seger formülü belirlenmiştir. Belirlenen segere göre fritlerin oksidik kompozisyonları hesaplanmıştır, değerler Tablo 1'de gösterilmiştir. Fritlerin tartım

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1262742

reçeteleri laboratuvar tipi pota fırınların kapasitelerine uygun olarak 1500 grama göre ayarlanmış ve gerekli hammaddeler ile tartımları hassas terazilerde yapılmıştır. Hazırlanan hammadde karışımları pota tipi fırında 1200 °C’de 1 saat süre ile ergitilmiştir. Soğuk suya dökülüp şoklanarak boncuk fritler elde edilmiştir.

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

Tablo 1. Kullanılan Fritlerin Oksidik Oran Aralığı ve Termal Genleşme Katsayıları

Tagucchi yöntemine göre karışım reçeteleri 100 grama göre belirlenmiş ve tartımları yapılmıştır. İçerisine % 40 oranında su katılıp alümina yaş değirmende 10 dk öğütülüp tane boyutu 150 mesh elekte 0.5-1 Bayer’e göre ayarlanmıştır ve yapılan tüm karışımların tane boyutu aynı aralıkta tutulmuştur. Yaş emayeler 40 mesh elekten

elenmiştir. Emayelerin yoğunluğu 1.65-1.67 g/cm³ arasındadır. Yaş sprej olarak uygulanmaya hazırdır.

Emayelerdeki yapışmazlık özelliğini etkileyebilecek özellikler olarak temizlenebilirlik, parlaklık, renk, yüzey, yapışma ve sitrik asit dayanımı belirlenmiştir. Bu özelliklerin etki dereceleri ve sonrasında bu özellikleri etkileyecek süreç girdileri tespit edilmiştir. Gerekli hesaplamalar sebep sonuç matrisi kullanılarak yapılmış, burada yüksek çıkan değerlere odaklanılmış ve ısıtma açısını etkileyen en önemli süreç girdileri, frit Oranı (A/B/C), korund miktarı, pişirme sıcaklığı, pişirme süresi olarak belirlenmiştir. Bu özellikler çalışmadaki değişken parametrelerdir. Çalışmada tüm denemelerde sabit tutulan parametreler ise değirmen katkıları, öğütme inceliği, uygulama kalınlığı ve uygulama şeklidir.

Belirlenen 4 süreç girdisi için 3er farklı değer belirlenmiştir. Emayeler hazırlanırken sabit değirmen katkı formülü kullanılmış, hazırlanan emayelerin bayer değeri 0,5 - 1,0 Bayer aralığı, uygulama şekli yaş sprej uygulama, uygulama kalınlığı ise 200–250 mikrometre (astar+ikinci kat) olarak belirlenmiştir.

Çalışmalarda kullanılacak korund miktarları, pişirme dereceleri ve pişirme süreleri daha önceki laboratuvar çalışmalarından yola çıkılarak belirlenmiştir ve değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 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 (%)	1	5	10
Pişme Süresi (dk)	3	4	5

Belirlenen dört süreç girdisi ile üçer farklı seviye için yapılması gereken karışım ve pişirme durumları Taguchi deney tasarım yöntemine göre belirlenmiş ve Tablo 3’te belirtilmiştir. Bu tabloya göre 9 farklı deneme yapılmıştır.

Tablo 3. Yapılacak Denemelerin Frit ve Korund Oranları ve Pişirme Şartları

DENEY NO	Sıcaklık (°C)	Frit Karışımı (A/B/C)	Korund Miktarı (%)	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

Çalışmada kullanılan sabit değirmen formülü Tablo 4'te yer almaktadır, bu değerler 9 denemede de sabittir.

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

Tablo 4. Sabit Değirmen Katkı Oranları

Taguchi yöntemine göre belirlenen 9 karışımın tartımı yapılmıştır. Karışımlar 300 gr'lık alümina değirmenlerde, değirmenin içerisine %40 su eklenerek 10 dk boyunca öğütülmüştür. Öğütülen karışımların tane boyutu 150 mesh elekte 0,5-1 Bayer' e göre ayarlanmıştır ve yapılan tüm emaye karışımlarının tane boyutunun hepsi aynı aralıktadır. Tane boyutu ayarlanan yaş emayeler 40 mesh elekten elenmiştir. Emayelerin yoğunluğu 1,65-1,67 g/cm³ arasında tutulmuştur. Tane boyutu ve

yoğunluğu ayarlanan emayeler yaş sprey olarak uygulanmaya hazırdır.

Hazırlanan yaş emayeler ikinci kat emaye özelliğinde olduğu için astar kaplı plakaların üzerine uygulanmalıdır. Bu nedenle öncelikle altlık elektrostatik toz siyah emaye ile çift taraflı olarak kaplanmıştır, laboratuvar tipi Protherm marka kutu fırında 820°C' de 4 dk pişirilmiştir. Uygulama kalınlığı 100–120 mikrometre aralığındadır.

Hazırlanan yaş emayeler, astar kaplı plakalara yaş tabanca ile tek yönlü olarak uygulanmıştır. Her karışım kendi için belirlenen Tablo 3'teki sıcaklık derecesi ve süresinde pişirilmiştir. Plakaların hepsine yüzey kontrolü, renk ölçümü, kalınlık ölçümü, parlaklık ölçümü, ıslatma açısı ölçümü yapılmış, sitrik asit testleri uygulanmıştır.

Renk Ölçüm Analizi

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'te yapılan denemelerin renk ölçüm değerlerine yer verilmiştir.

Parlaklık Ölçüm Analizi

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.

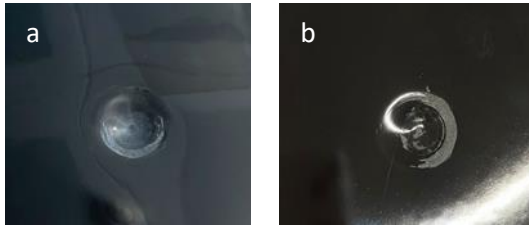
Sitrik Asit Analizi

Sitrik asit testi ISO 2722:1997 standardına göre yapılır. %10 derişime sahip soğuk sitrik asit çözeltisi hazırlanmış, plakaların üzerine damlatılarak 15 dk bekletilmiştir. Süre sonunda plakalar yıkanmış ve sitrik asit yüzeyden temizlenmiştir. Islak yüzey kurulanıp yüzeydeki aşınma kontrol edilmiştir. Eğer yüzeyde aşınma yok ise AA değerini alınır, asit izi gözle görünüyorsa A değerini, eğer beyazlama var ise B değerini alır.

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1262742

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. Plaka yüzeyindeki aşınmaya göre ETC testinden geçer ya da kalır. ETC'den kalan emayelerin gıda ile teması uygun değildir. Şekil 1'de ETC testinin yüzeydeki aşınma durumu gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) ETC yüzeyde aşınma yok (b) ETC yüzeyde aşınma var

Islatma Açısı Ölçümü

Hazırlanan deney plakaların ıslatma açıları ölçülmüştür. Emaye kaplı plakalar tablaya yerleştirilmiş ve üzerine su damlatılmıştır. Oluşan su damlasının görüntüsü alınmış ve su ile plaka yüzeyinin arasındaki temas açısı ölçülmüştür.

Yumurta Pişirme Testi

Kimyasal dayanımı kuvvetli, ıslatma açısı yüksek emaye üzerinde bu test uygulanmıştır. 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.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Renk Ölçüm Analizi

Hazırlanan 9 farklı emaye ile kaplı plakaların renk ölçüm sonuçlarına Tablo 5'te yer verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında kaplamaların L ve a değerlerinde belirgin farklılık yoktur. B değerlerinde ise farklılık görülmektedir. Ölçülen tüm renk

değerleri çalışma için uygundur.

Tablo 5. Yapılan 9 Denemenin 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

Parlaklık Ölçüm Analizi

Bu çalışmada parlaklık ölçümleri 20, 60, 85°'de yapılmıştır ve Tablo 6'da değerler verilmiştir. Kaplama sektöründe ölçümler yaygın olarak 60°'de yapılır bu sebeple bu derecedeki sonuçlar değerlendirilmiştir. En mat kaplama 5, 2, 8 numaralı denemelerdir. Bu denemelerin değirmen formüllerine bakıldığında ortak özelliklerinin frit oranları olduğu görülmektedir. A fritinin içerisindeki ZrO₂ bileşeni kaplama malzemesinin opaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple bu fritin yüksek kullanıldığı formüllerde ölçüm sonuçları en mat sonuçları vermiştir. En mat olarak 5 numaralı deneyin olmasının sebebi ise içerisindeki korund miktarının en fazla olmasıdır. Korund miktarı arttıkça emayenin parlaklığı azalmaktadır. En parlak kaplama ise 6 numaralı deneyde elde edilmiştir. Bu denemenin değirmen formülü ve pişme koşullarına bakıldığında A fritinin oranının en düşük kullanıldığı karışımlardan biri olduğu görülmektedir. Ayrıca değirmen katkısı olarak kullanılan korund miktarının da az olması ve en yüksek sıcaklık ve sürede piştiğinden dolayı da parlaklığının yüksek muhtemeldir.

Tablo 6. 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

Sitrik Asit Analizi

9 farklı deneyin asit testleri yapılmış ve sonuçları Tablo 7’de yer almaktadır. Yapılan tüm kaplamaların sitrik aside dayanımının yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 7. 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

ETC Testi

Kaplamalara lityum nitrat ve ketçap testleri uygulanmış ve yüzeydeki aşınma sonuçları Tablo 8’de verilmiştir. Tabloya bakıldığında ETC özellikteki emayeler 1, 3, 5 denemeleridir. Bu emayelerin kimyasal dayanımları yüksektir. Bu çalışmada gıda ile temas eden ETC özellikte kimyasal dayanımı olan emaye kaplama hedeflendiği için diğer emaye kaplamaları bu çalışma için uygun değildir.

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.

Tablo 8. Deney plakaları üzerine yapılan ETC test sonuçları

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

Yapılan 9 farklı deneyin sonuçları incelendiğinde 2,5 ve 8 nolu deneylerde 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 bulunan sonuçların kimyasal dayanımının kuvvetli ve ıslatma açısının 75°’nin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Gıda ile temas eden emayeler olduğu için kimyasala dayanımları kuvvetli, yapışmazlığı arttırmak için de ıslatma açısının 70°’nin üzerinde olma şartlarını 5 no’lu deney karşılamıştır.

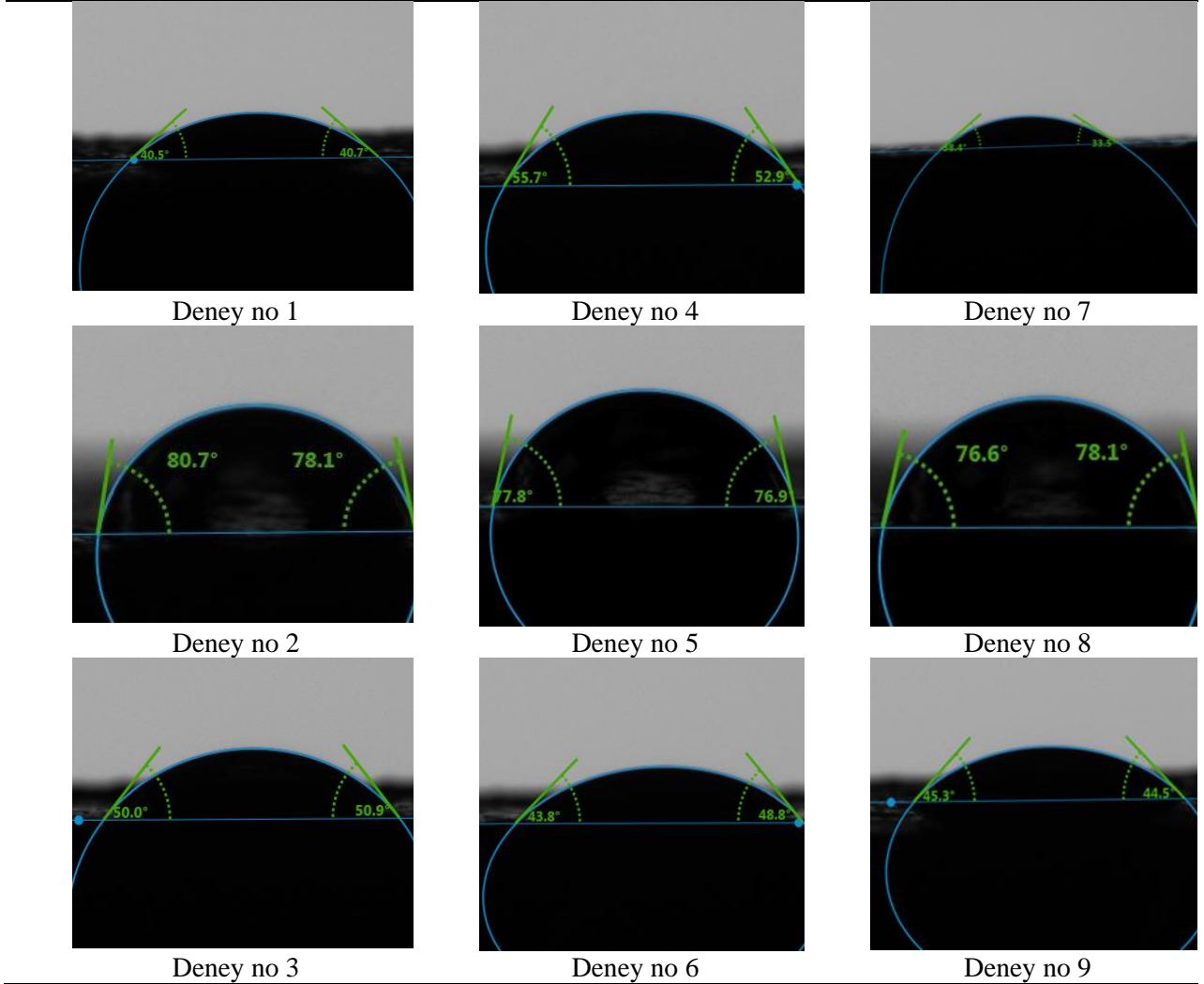
Islatma Açısı Ölçümü

Tüm kaplama plakalarının ıslatma açıları ölçülmüştür. 1 den 9’a kadar yapılan tüm deneylerin ıslatma açısı değerleri Şekil 2’de verilmiştir. ıslatma açısı en yüksek olan denemeler 2, 5, 8 numaralı denemelerdir. Bu emayelerde kullanılan frit oranları ıslatma açısını arttıran etki göstermektedir. Fritlerde P₂O₅ oranı %20’nin üzerinde olduğunda ıslatma

Research article/Araştırma makalesi
 DOI: 10.29132/ijpas.1262742

açısı artmaktadır. Ayrıca ZrO_2 miktarı arttığında da emayenin kimyasal dayanımı arttığı için bu iki bileşenin oranı yüksek olduğunda hem kimyasal dayanımı yüksek hem de ıslatma açısı yüksek emaye kaplama elde edilmiştir.

Yapılan analizlerde en iyi sonucu 2, 5, 8 numaralı denemeler vermiştir. Aralarındaki en yüksek sonuç 5 numaralı deneyde 77.8° ölçülmüştür. Bu değerlere göre frit kullanım oranlarının en etkili olduğu görülmüş ve B fritinin kullanım oranı arttığında ıslatma açısının arttığı sonucu çıkarılmıştır.



Şekil 2. 1 -9 nolu deneylere ait ıslatma açıları.

Yumurta Pişirme Testi

5 numaralı denemenin ıslatma açısı 76° olarak diğerlerinden yüksek ve kimyasal dayanımı iyi olduğu için yumurta pişirme testi bu kaplama üzerinde yapılmıştır. Yumurta pişirilip yüzeyde bıraktığı kalıntı kontrol edilmiştir ve yüzeyde kalıntıya rastlanmamıştır. Bu durum emayenin ıslatma açısının yüksek olduğunu ve yapışmazlık özelliğinin sağlandığını göstermiştir.

Bu çalışmada piyasada kullanılan mevcut emaye kaplı mutfak gereçlerinin yapışmazlığının artırılması hedeflenmiştir. Yapışmazlığın sağlanması için ıslatma açısının 90°'nin üzerinde olması gerekmektedir. Bu özelliği sağlamak için frit formülleri, değirmen reçetesi, sıcaklık ve pişirme süreleri değiştirilerek denemeler yapılmış, ıslatma açıları ölçülmüştür. ıslatma açılarının yanı sıra kaplama yüzeylerinin düzgünlüğü, kaplamaların sitrik asit direnci, ETC ve renk değerleri de ölçülerek optimum nokta yakalanmıştır. Her ne kadar 90° ıslatma açısı hedeflense de normal emayelerde 35 – 50 arasında bulunan ıslatma açısı değeri bu çalışma ile 80°'e kadar çıkarılmıştır.

SONUÇ

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 75°'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 40° olan normal bir emayenin yüzeyinde aynı test yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre 40° 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 30-40° olan emaye ıslatma açısı 80°'ye kadar çıkarılmıştır. Bu değer hedeflenen değer altında olsa da emaye kaplama malzemelerine göre ıslatma açısı değeri 2 katına kadar çıkarılmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda 5 numaralı deney parametreleri kullanıldığında emayenin yapışmazlığının sağlandığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki desteklerinden dolayı Algortrio Kimya San. ve Tic. A.Ş. ekibine, bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan Sn. Orhan Şahin'e teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

KAYNAKLAR

- Ay, A. Soğuk emaye tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, <https://silo.tips/download/ayseley-ay-igf-emaye-blm-efi> (Erişim: 3.3.2023)
- Ayyıldız, S., Varol, T., Pürçek, G. (2021). Al7075 alaşımına uygulanan dekoratif krom kaplama tabakasının karakterizasyonu. Int. J. Pure Appl. Sci., 7 (1), 132-140.
- Ersoy, B., Çiftçi, H., Evcin, A. ve Şen, H. (2022). Camın çeşitli sıvılar ile ıslanabilirliği ve kullanılan temas açısı test sıvılarının serbest yüzey enerjisi değerine etkisi. Journal of Characterization, 2 (2), 147-160.
- Evcimen, N. (2007). Emaye üretiminde kaplama ve özelliklerin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Evele, H.F. (2000). Proper care of porcelain enamel powder for electrostatic application. Ceram. Eng. Sci. Proc., 21, 125-126.
- Harry, J. and Van Dolah, H.J.V. (1966). Method for manufacturing porcelain, enamel frit, U.S. Patent No. 3,278,284.
- Holcomb, J.A. (1967). Porcelain Enamel Coating. U.S. Patent No. 3,338,732.
- Kunshan, X., Zhiheng, L., Jiexi, Z. and Jie, L. (2022). Effect of tetragonal zirconia nanoparticle content on

Research article/Araştırma makalesi
DOI: 10.29132/ijpas.1262742

- enamel strength. *Ceramics International*, 48 (7), 9710–9720.
- Majumdar, A. and Jana, S. (2001). Glass and glass–ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications. *Bull. Mater. Sci.*, 24 (1), 69–77.
- Russo, F., Rossi, S. and Compagnoni, A.M. (2021). Porcelain Enamel Coatings, *Encyclopedia*, 1 (2), 388-400.
- Russo, F., Fontanari, V. and Rossi, S. (2022). Abrasion behavior and functional properties of composite vitreous enamel coatings fabricated with the addition of 316L stainless steel flakes. *Ceramics International*, 48 (16), 23666–23677.
- Rossi, S., Russo, F., Calovi, M., del Rincon, M. and Velez, D. (2021). The influence of the size of corundum particles on the properties of chemically resistant porcelain enamels. *Ceramics International*, 47 (8), 11618–11627.
- Rossi, S., Zanella, C. and Sommerhuber, R. (2014). Influence of mill additives on vitreous enamel properties. *Material Design*, 55, 880–887.
- Şahin, O. (2019). Dökme Demirlere Uygulanabilen Renkli Majolik Emaye Fritlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği.
- Zhao, J., Wang, B., Pan, Y., Wang, W. and Zhao, C. (2021). Molecular dynamics simulation on wetting behaviors of n-octane and water droplets on polytetrafluoroethylene surfaces. *Chemical Physics Letter*, 785, 139161.