

Sanatsal Aventurin Seramik Sırlarının Geliştirilmesi İçin Demir Bakımından Zengin Bakır Cürufunun Uygulanabileceği Üzerine Bir Araştırma*

An Investigation on The Potential Application Of Iron-Rich Copper Slag For Developing Artistic Aventurine Ceramic Glazes

ÖZET

Pigmentler, sanatsal seramik bünyelerde ve sırlarda dekoratif renklendirici maddeler olarak kullanılır ve genellikle yüksek maliyetli teknolojik işlemlerle hazırlanırlar. Bu nedenle endüstriyel atık çeşitlerinin kullanımı son yıllarda ticari pigmentlere alternatif olarak cazip hale gelmiştir. Metalürjik cürüflar gibi bazı atıklar, seramik sırlarında ve bünyelerinde renklendirici olarak kullanılabilirliklerini ortaya koyan yüksek miktarda Fe₂O₃, PbO, CuO, TiO₂ ve ZnO içerir. En sık kullanılan atıklar metalürjik cürüflar, kırmızı çamur, mineral işlemeden kaynaklanan silikatça zengin atıklar ve endüstriyel tozlar ve küllerdir. Bu çalışma, ticari Fe₂O₃ yerine sanatsal aventurin seramik sırlarında demir açısından zengin bakır cürufunun kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Bu amaçla, bakır cürufu önce öğütülerek homojen toz elde edilmiştir. Toz cüruf, ikili ve üçlü sır formülasyonlarında ağırlıkça %10 ile %90 aralığında kullanılmıştır. Hazırlanan formülasyonlar daha sonra seramik test plakalarının yüzeylerine uygulanmış ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiştir. Elde edilen sırlı yüzeylerin incelenmesi, aventurin etkilerinin başarılı bir şekilde oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca sırlı yüzeyler, açık sarıdan koyu kahverengiye kadar farklı renk tonlarıyla mat ve parlak sanatsal görünüm sergilemiştir. Bu nedenle incelenen bakır cürufunun aventurin uygulamalarında ticari demir oksit yerine sır reçetelerinde alternatif bir hammadde olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Optimum aventurin sır formülasyonları, bazı sanatsal seramik duvar panolarına uygulanmıştır. Çalışmanın genel sonucu, seçilen bakır cürufunun sanatsal aventurin seramik sırlarında hammaddenin bir parçası olarak kullanılabilirliğini kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seramik Sır, Aventurin Sır, Endüstriyel Atık, Bakır Cürufu

ABSTRACT

Pigments are used in artistic ceramic bodies and glazes as decorative colorant substances and are generally prepared through high-cost technological processes. Due to this fact, the use of kinds of industrial wastes has become attractive as an alternative for commercial pigments in recent years. Some wastes, such as metallurgical slags, contain high levels of metal oxides (Fe₂O₃, PbO, CuO, TiO₂, and ZnO), revealing their usability as a colorant in ceramic glazes and bodies. The most commonly used wastes are metallurgical slags, red mud, silicate-rich wastes from mineral processing, and industrial dusts and ashes. This study investigates the usability of iron-rich copper slag in artistic aventurine ceramic glazes instead of commercial Fe₂O₃. For this purpose, the copper slag was firstly ground and milled to obtain a homogenous fine powder. The powdered slag was used in the range of 10 to 90 wt% in double and triple glaze formulations. The prepared formulations were then applied on the surfaces of ceramic test plates and fired at different temperatures. The investigation of the obtained glazed surfaces showed the successful formation of aventurine effects. Also, the glazed surfaces showed artistic appearances in matte and glossy modes with different color tones, from light yellow to dark brown. Therefore, it was determined that the studied copper slag could be used as a potential raw material in glaze recipes instead of commercial iron oxide in aventurine applications. The optimum aventurine glaze formulations were also applied to some artistic ceramic wall panels. The overall result of the study proves the usability of the selected copper slag as a part of raw material in artistic aventurine ceramic glazes.

Keywords: Ceramic Glazes, Aventurine Glaze, Industrial Waste, Copper Slag

GİRİŞ

Sır; hammaddelerin ve oksitlerin farklı oranlarda bir araya getirilip karıştırılması ile elde edilen, çeşitli ısılarda meydana gelen tepkime sonucunda, uygulandığı bünye üzerinde ergiyerek camsı bir yapı oluşturan ince tabakadır. Sırlar; uygulandığı ürüne düzgün ve pürüzsüz bir yüzey özelliği kazandırırken temizliği kolaylaştırmaktadır. Öte yandan bakteri ve mikroorganizma oluşumunu önler. Bileşimleri bakımından oldukça çeşitlilik gösteren seramik sırlarını, belirli bir kurala göre sınıflandırmak pek mümkün olmamakla birlikte sırı oluşturan hammaddeler, sırnın uygulanma yöntemi ve pişme dereceleri gibi, elde edilmiş yöntemlerine veya yüzey özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Yüzey özelliklerine göre sırlar; mat sırlar, parlak sırlar, opak sırlar ve artistik sırlar olarak sınıflandırılabilir. Artistik sırlar, farklı renk ve dokuların elde edildiği ayrıca kullanıldığı sanatsal ürünlere değer katan sırlardır. Aventurin sırlar artistik sırlar grubunda yer almaktadır (Tuna, 2018).

* Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Ana Sanat Dalında 2022'de biten "Bakır cürufunun aventurin sırlarında kullanım olanaklarının araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Kastamonu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Ana Sanat Dalı, Kastamonu, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-8776-5887

² Dr. Öğr. Ü., Kastamonu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Kastamonu, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-4050-708X

Zennur Tıgı Boya¹ 
Ashlı Çakır Arıanpour² 

How to Cite This Article

Tıgı Boya, Z. & Arıanpour, A. Ç. (2023). "Sanatsal Aventurin Seramik Sırlarının Geliştirilmesi İçin Demir Bakımından Zengin Bakır Cürufunun Uygulanabileceği Üzerine Bir Araştırma" International Social Sciences Studies Journal, (e-ISSN:2587-1587) Vol:9, Issue:110; pp:6387-6396. DOI: <http://dx.doi.org/10.29228/sssj.68931>

Arrival: 17 January 2023

Published: 30 April 2023

Social Sciences Studies Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Aventurin sırlar, kristal sırlarla benzer özellikler gösterse de aralarındaki en belirgin fark, sır yüzeyinde oluşan kristallerin görünümüdür. Aventurin sırlarda kristal oluşumları sırnın yüzeyinde değil, içerisinde gömülü olarak bulunurlar. Sırların yüzeylerinde beyaz ışık altında görülebilen ve derinliği olan kristal, metalik, sim yapılu pulcuklar vardır. Bu sırlar; alkali, borlu, kurşunlu, alüminası az olan sır bünyelerinin metal oksitlerle doyurulmasıyla elde edilirler (Genç & Kurt, 2017). Aventurin sırlar, krom, demir ve bakır aventurin sırlar olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar. Demir aventurinli sırlar, krom ve bakır aventurin sırlarına göre elde edilmesi daha kolaydır. Demir aventurinli sırlar kıvılcak kahve tonlarından koyu kahve tonlarına doğru bir renk skalası oluştururlar. Bu sırlarda oluşan kristaller kırmızı-altın renklerde (Tıgılı Boya, 2022).

Seramik sırlarında kullanılan hammaddeler yüksek maliyetli teknolojik işlemlerden geçirilerek hazırlanmakta ve genel olarak ithal edilmektedir. Değişen dünya, devleşen sanayileşmenin getirdiği çevre kirliliği, bunlarla birlikte hammadde kaynaklarının azalmasının getirdiği pahalılık pek çok araştırmacıyı farklı arayışlara sevk etmektedir. Bu nedenle, yüksek maliyet gerektirmeyen atık malzemelerin seramikte kullanılabilirlikleri konusu, araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Özellikle endüstriyel katı atıkların sanatsal seramikte kullanımı ile ekonomik ve çevresel faydalarının yanı sıra, farklı yüzey görünümleri ve farklı dekoratif etkilere sahip, sanatsal değeri yüksek eşsiz güzellikte seramik sırları elde edilebilmektedir. Endüstriyel katı atıklar demir-çelik fabrikalarındaki cürufur, alüminyum fabrikası kırmızı çamur atıkları, çinko fabrikası cürufur, maden zenginleştirme tesislerindeki silikat içeriği bakımından zengin toprak atıkları ve tüm bu endüstri kuruluşlarına ait tozlar ve küllerdir (Kılınç Mirdal & İşler, 2008).

Cüruf, metallerin veya metal içeren cevherlerin eritildiklerinde oluşturdukları ve metalden daha hafif oksitler ve silikatlar kompleksi olan ve yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken bir yan ürün olarak tanımlanmaktadır. Bakır cürufu, sülfürlü bakır cevherlerinden pirometalurjik yöntemle bakır üretimi sürecinde oluşan endüstriyel katı atıklardır. Pirometalurjik prosesler sonucu konsantre sülfitlerden ayrıştırılmıştır. Demir, alümina, silika ve silisyum bakımından zengindir. Her bir tonluk bakır üretimi sonucunda yaklaşık olarak 2.5-3 ton civarında bakır cürufu ortaya çıkmaktadır. Bakır cürufur fiziksel olarak gözenekli koyu renkli ve camsı görünüme sahiptirler. Mekanik olarak gösterdiği üstün mukavemet ve aşınmaya karşı oluşturduğu yüksek dirençten dolayı seramik sektöründe cam ve karo üretiminde, inşaat sektöründe, yol çalışmalarında, beton ve çimento endüstrisinde kullanılmaktadır (Uysal & Bahar, 2018).

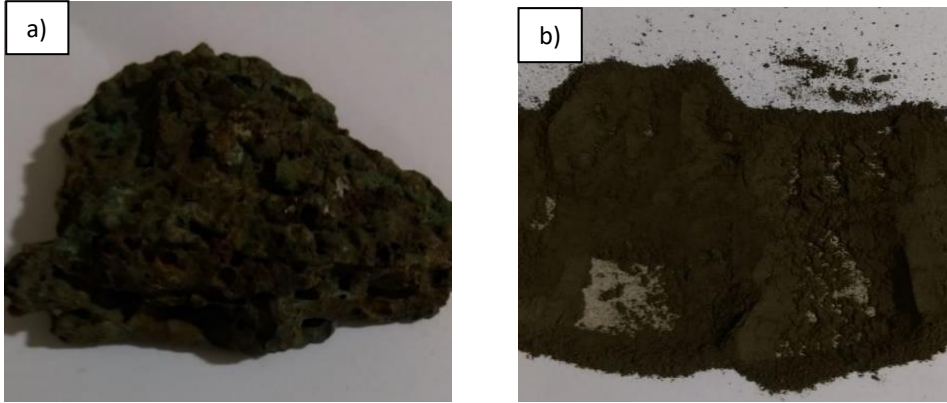
Literatür incelendiğinde bakır cürufu ile ilgili Marghussian ve Maghsoodipoor'un (1999) çalışmalarında sırsız yer karolarının formüle edilmesinde İran bakır cürufu kullandıkları, standart yer karosu bünyesine ağırlıkça % 20 - 80 oranlarında bakır cürufu ilave ettikleri görülmektedir. Yaptıkları testler sonucunda 1025oC' de pişirilen % 40 cürufu içerikli karoların çok iyi asit direncine sahip olduklarını belirlemişlerdir (Marghussian & Maghsoodipoor, 1999). Khorassani vd. (2019) yaptıkları çalışmada, seramik sırlarında kullanılan firit yerine ikincil hammadde olarak yüksek miktarda bakır cürufu içeren, estetik değeri ve koruyuculuğu yüksek seramik sırları elde etmeyi, böylelikle firit üretiminden kaynaklanan hem insan sağlığına olumsuz etkilerini hem de çevresel zararı en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Oldukça kapsamlı olarak yaptıkları bu araştırmanın sonucunda, cürufulardan elde edilen firitin geleneksel firitte göre çevresel avantaja sahip olduğunu göstermişlerdir (Mohaddes Khorassani vd., 2020). Özel, Turan, Çoruh ve Ergün (2006) çalışmalarında bakır üretim sürecinde ortaya çıkan flotasyon atıklarının, seramik endüstrisinde kullanılan siyah ve kahverengi pigmentlerin üretiminde demir kaynağı olarak kullanımını araştırmışlardır. Araştırma sürecinde kalsine ederek elde ettikleri pigmentleri çini bünyelerinde ve şeffaf seramik sırlarında kullanmışlardır. Flotasyon atığının seramik bünye ve sırlarda siyah ve kahverengi pigment üretiminde demir kaynağı olarak kullanılabilirliğini tespit etmişlerdir (Özel vd., 2006). Çoruh, Ergun ve Cheng (2006) çalışmalarında Samsun Karadeniz Bakır Fabrikası'ndan temin ettikleri bakır flotasyon atıklarını kullanmışlardır. Bakır flotasyon atıkları ve bunlardan elde ettikleri cam-seramik ürünlere uygulanan testler neticesinde ürünlerin kimyasal dayanıklılığının üst düzeyde olduğu, üretilen cam-seramiklerin inşaat ve yapı malzemesi olarak çok daha geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu görmüşlerdir. (Çoruh vd., 2006). Mirdal 2017, yaptığı çalışmada inorganik atıklar (bakır cürufu, pirit külü ve cam ambalaj atığı) kullanarak artistik seramik sırları geliştirmiştir. Bu atık malzemeleri %0,6-20 oranında sır reçetelerinde kullanmış ve porselen bünyeler üzerine uygulamıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda farklı inorganik atıklar kullanılarak çekici renklerde ve dokularda artistik seramik sırları üretmişlerdir (Kılınç Mirdal, 2017).

Yapılan çalışmada, bakır cürufu ilavesi aventurin yüzey oluşumları incelenmiştir. Başlangıç olarak bakır cürufu kullanılarak mevcut sırların renklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun için mat beyaz ve mat transparan sırlar seçilmiştir. Mevcut sırlara bakır cürufu ilavesi ile oluşturulan sırlar 1030 ve 1050oC'lerde pişirilerek yüzey özellikleri bakımından incelenmiştir. Sonraki aşamada, mümkün olduğu kadar az sayıda hammadde ile arzu edilen camlaşma, renk ve doku özelliğine sahip sırlı yüzeyler oluşturmak amacı ile ikili ve üçlü sır sistemleri geliştirilmiştir. İkili sistemde, bakır cürufunun yanı sıra, sodyum feldispat ve üleksit, ergitici olarak reçeteye

eklenmiş ve iki hammaddeli sır reçeteleri oluşturulmuştur. Üçlü sır sistemi kullanarak artan ve azalan oranlarda 5 adet farklı sır reçetesi hazırlanmıştır. Hazırlanan sırlanmış plakalar ise 1020°C, 1050°C ve 1100°C'de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlenmiştir. Son olarak standart seçilen bir aventurin sır reçetesindeki demir oksit ve bakır cürufu %15-40 oranlarında ilave edilerek oluşturulan sırlar, önceden hazırlanan ve bisküvi pişirimleri yapılan plakalar üzerine akıtma yöntemi ile uygulandıktan sonra 1100°C'de pişirilmiştir. Pişirilen demir oksit ve bakır cürufu sırlar, yüzey özellikleri bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılmak üzere bakır cürufu, Kastamonu Küre Eti Bakır Maden İşletmesi tesislerinden temin edilmiştir (Şekil 1a). Yaklaşık 12 kg'lık bakır cürufu işletmenin kendi bünyesinde laboratuvar ölçekli çubuklu değirmende yaş olarak öğütülüp laboratuvar tipi etüvde 100°C'de kurutulmuş (Şekil 1b) ve kimyasal analizleri yapılmıştır.



Şekil 1: Maden işletmesinden elde edilen bakır cürufu (a) ve öğütülmüş hali (b)

Çalışmanın ilk aşamasında bakır cürufunun hazır sırlar üzerinde meydana getirdiği etkiyi görebilmek amacı ile mat beyaz (opak) ve mat transparan sırlar seçilmiş ve ilgili sırlara, %5-10-15-20-25 ve 30'u kadar bakır cürufu ilave edilmiştir. Mat beyaz (MB) ve mat transparan (MT) olarak kodlanmıştır. Örneğin; mat transparan sırda %5 bakır cürufu ilaveli sırnın kodu MT5 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan sırların reçete bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Mevcut sırlara bakır cürufu katkısı ile hazırlanan sırlar, 1030°C ve 1050°C olmak üzere iki ayrı derecede pişirimleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut sırların bakır cürufu kullanılarak renklendirilmesi doğrultusunda hazırlanan sır reçetelerinin pişirim sonrası yüzey görünümleri incelenmiştir.

Tablo 1: Mevcut sırların renklendirilmesi sır reçete bileşimi % Pişirim sıcaklığı 1030 ve 1050°C

Karışım Kodları	Mat Beyaz	Bakır Cürufu	Karışım Kodları	Mat Transparan	Bakır Cürufu
MB10	90	10	MT10	90	10
MB15	85	15	MT15	85	15
MB20	80	20	MT20	80	20
MB25	75	25	MT25	75	25
MB30	70	30	MT30	70	30

Çalışmanın ikinci aşamasında, bakır cürufu tek başına ve ergitici özelliği olan sır hammaddeleriyle birlikte ikili sistemlerde, belirlenen oranlarda kullanılmıştır. İkili sistemlerin kullanılmasının amacı; mümkün olduğu kadar az sayıda hammadde ile arzu edilen camlaşma, renk ve doku özelliğine sahip sırlı yüzeyler oluşturmaktır. İkili sistemde, reçetede bakır cürufuna ek olarak, sodyum feldispat ve üleksit reçetelere eklenmiştir. Numuneler 1000°C'de sinterlenmiştir. Belirlenen oranlarda iki hammaddeli sır reçeteleri oluşturulmuştur. Sodyum feldispat kullanılan sistem N ve üleksit kullanılan sistem Ü olarak kodlanmıştır. Örneğin, %80 sodyum feldispat, %20 bakır cürufu ile hazırlanan reçete N2 olarak adlandırılmıştır. Reçete bileşimleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: İki hammaddeli sır reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklığı 1020°C

Sır Kodları	Üleksit	BC	Sır Kodları	Na. Feldispat	BC
Ü1	90	10	N1	90	10
Ü2	80	20	N2	80	20
Ü3	70	30	N3	70	30
Ü4	60	40	N4	60	40
Ü5	50	50	N5	50	50
Ü6	40	60	N6	40	60
Ü7	30	70	N7	30	70
Ü8	20	80	N8	20	80

Çalışmanın üçüncü aşamasında, üçlü sır sisteminde, reçeteyi oluşturan diğer hammaddeler artan ve azalan oranlarda kullanılırken, hazırlanan reçetelerde bakır cürufu %30 olarak sabit tutulmuş, reçeteye artı olarak eklenmiştir. Üçlü sır sisteminde oluşturulan sır reçeteleri, 1020-1050 ve 1100°C'e olmak üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlenmiştir (Tablo 3). Çalışmanın dördüncü aşamasında yapılan denemeler sonucunda oluşturulan Tablo 4'teki seger formülü verilmiş sır reçetesinin içine %15-20-25-30-35-40 aralığında bakır cürufu ve ticari Fe₂O₃ ilave edilerek 1100°C'de sinterlenmiştir. Bakır cürufu ilave edilen reçeteler B ve F ilave edilen reçeteler F olarak kodlanmıştır. %15 bakır cürufu ve %15 Fe₂O₃ kullanılan aventurin sır reçeteleri sırasıyla B15 ve F15 şeklinde kodlanmıştır (Tablo 5). Çalışma sonuçlarına göre seçilen sır kompozisyonu seramik pano formlarda sırlanarak aynı pişirim sıcaklıklarında pişirilmiştir.

Tablo 3: Sır reçeteleri

Hammaddeler	Numune Kodları			
	A15	A20	A21	A27
Üleksit	50	50	60	60
Kuvars	40	30	30	20
Na-Feldispat	10	20	10	20
Bakır Cürufu	+30	+30	+30	+30

Tablo 4: Denemeler sonucunda oluşturulan sıranın seger formülü.

0.189 Na ₂ O	0.19 Al ₂ O ₃	1.513 SiO ₂
0.037 K ₂ O		0.663 B ₂ O ₃
0.158 MgO		
0.616 CaO		

Tablo 5: Bakır cürufu ve Fe₂O₃ kullanılarak hazırlanan aventurin sırların reçeteleri ve kodları

Karışım Kodları	BC (%)	Karışım Kodları	Fe ₂ O ₃ (%)
B15	15	F15	15
B20	20	F20	20
B25	25	F25	25
B30	30	F30	30
B35	35	F35	35
B40	40	F40	40

Sırların hazırlanması aşamasında oluşturulan bütün reçeteler, reçetelere göre 250 gr. hazırlanıp, laboratuvar tipi 500 gr. kapasiteli bilyalı değirmende 20 dakika boyunca yaş öğütme işlemine tabi tutularak sır haline getirilmiştir. Öğütme işleminden sonra 90 meş'lik elekten geçirilen sırlar temiz bir kaba alınmıştır. Sır denemelerinde kullanılmak üzere hazırlanan ve 980°C'de bisküvi pişirimleri yapılan plakalara akıtma yöntemi ile uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler etüvde 100°C'de 24 saat kurutularak pişirime hazır hale getirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

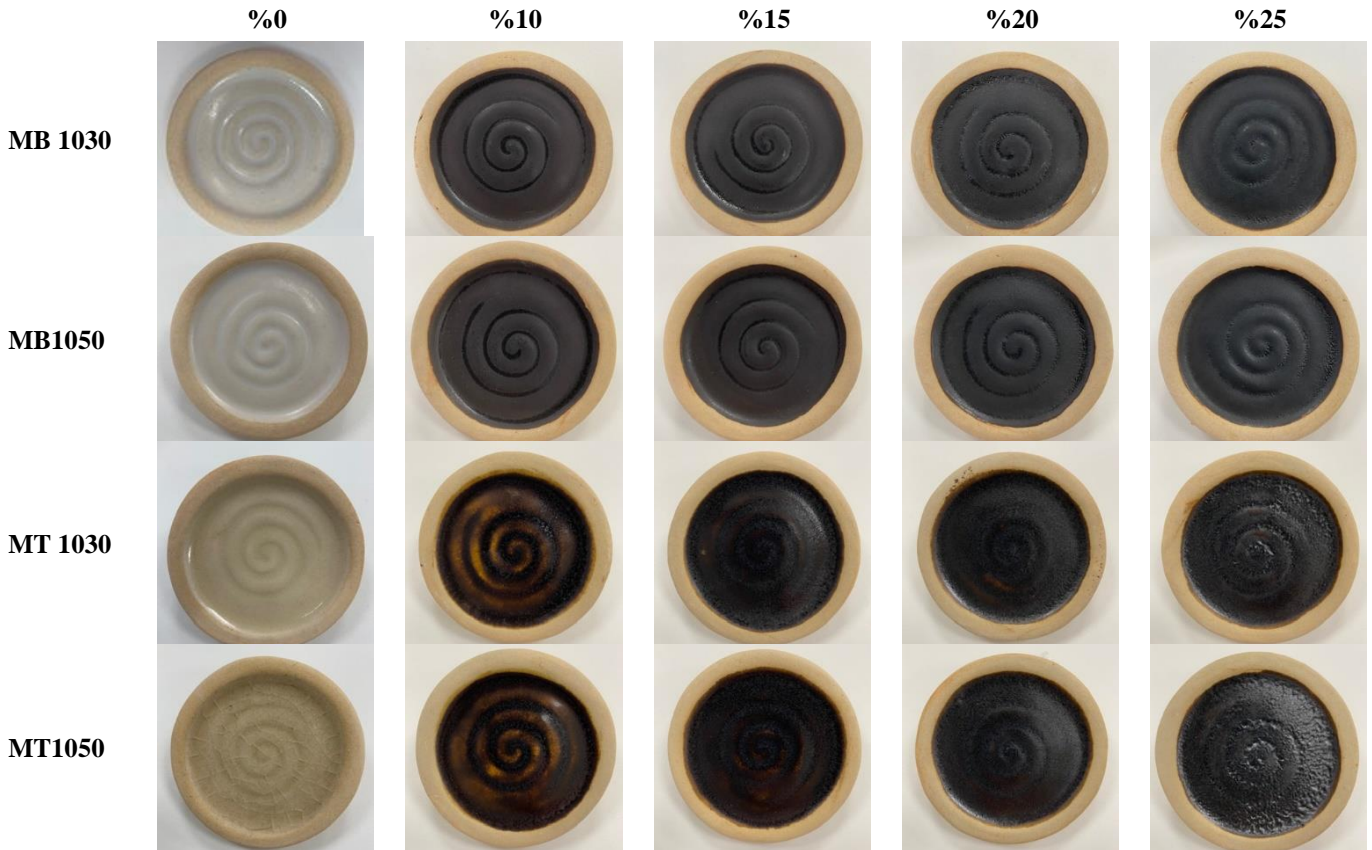
Sır reçetelerinde kullanılmak üzere öğütülen bakır cürufunun kimyasal analizi Tablo 6'da verilmiştir. Bakır cürufunun kimyasal analizi sonucunda bileşiminde yüksek oranda (%57,68) Fe₂O₃ bulunduğu tespit edilmiştir. SiO₂ ve Al₂O₃ ise sırasıyla %19,80 ve % 6,04'tür. Kimyasal analizleri yapılan bakır cürufunun bileşiminde oranca fazla bulunan metalik demir, mıknatıs yardımıyla, mümkün olduğunca azaltıldıktan sonra, sır reçetelerinde kullanılmıştır.

Tablo 6: Küre bakır işletmesi bakır cürufu kimyasal bileşimi

Bileşik	CuO	ZnO	Co ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	CO ₂
%	1,35	0,25	0,64	19,80	4,17	57,68	0,04	0,20	6,04	1,26	1,59	0,42	6,18

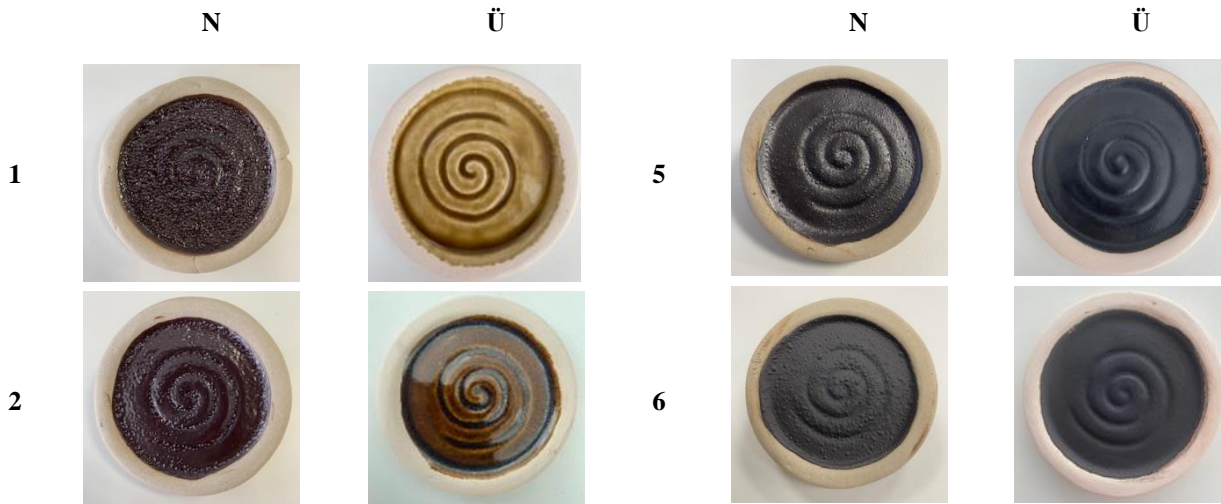
Mevcut sırlara bakır cürufu ilave edilerek hazırlanan sırların yüzey görünüşleri Şekil 2'de verilmiştir. Bakır cürufu ilaveli MT sırların yüzeyleri mat, saten dokulu, % 20 atık ilavesine kadar pürüzsüzdür. Cüruf kullanım miktarı arttıkça %25 oranında sırlarda pürüzlenme ve kabarmalar gibi sır hataları meydana geldiği görülmüştür. Sıcaklık farkı olmaksızın % 10 ve % 25 atık ilavesine kadar bütün MT sırlarda aventurin oluşumları gözlenmektedir. MT kodlu sırlarda cüruf miktarı arttıkça kahverengi tonlarından acı kahveye doğru bir renk geçişi izlenmiştir. Bakır cürufu ilaveli MB sırların yüzeyleri mat, saten dokulu, %20 atık ilavesine kadar pürüzsüzdür. %20 ve 25 atık ilavesinde sıcaklık farkı olmaksızın her iki pişme derecesinde de yüzeyde hafif pürüzlenmeler ve bozulmalar gözlenmiştir. MB sıra bakır cürufu ilavesi ile oluşturulan sırlarda her iki pişme derecesinde de arzu edilen aventurin yüzey görünümü elde edilememiştir. Ancak, %10 bakır cürufu ilaveli MB10 kodlu sırda sıcaklık farkı olmaksızın her iki pişme derecesinde de görsel ve sanatsal etkisi yüksek, pürüzsüz, mat saten dokulu sırlar elde edilmiştir. Mevcut sırların renklendirilmesi doğrultusunda yapılan bütün denemelerde genel olarak sıcaklıklar arası bariz bir

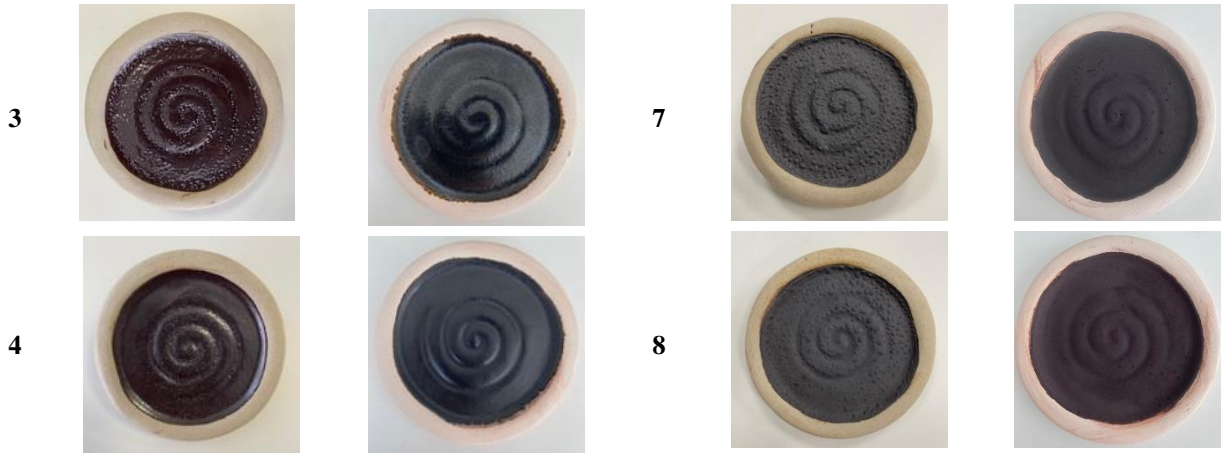
fark olmasa da özellikle % 5 ve % 10 atık içeren ve yüksek derecede pişen sırların düşük derecede pişenlere oranla renklerinin nispeten daha koyu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2: Mevcut sırlar ile geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

1000°C’de yapılan pişirimler sonucunda sodyum feldispat – bakır cürufu ve üleksit – bakır cürufu ikili sistemlerinin reçete bileşimleri sonuçlarının yüzey görünüşleri Şekil 3’de verilmiştir. N kodlu ikili sır sistemleri karşılaştırıldığında %40 bakır cürufu ilaveli N4 kodlu numunede hatasız parlak bir yüzey görüntüsü mevcuttur. İlk numunelerde yüzey görünüşleri parlak, renk kızılımsı kahve tonlarında iken feldispat oranının azalması ile birlikte matlaşma başlamış, sır renkleri griye dönük mürdüm tonlarından N8 kodlu reçetede tamamen mat ve gri renge dönmüştür. Sır numunelerinde metaliksi oluşumlar gözlenmesine karşın, arzu edilen aventurin yüzey görünümü elde edilememiştir. Ü kodlu numunelerde %20 bakır cürufu ilavesinden (Ü2), %50 bakır cürufu ilavesine kadar (Ü5) aventurin etkiler net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3). N kodlu numunelerle aventurin etki görülmemesine rağmen, Ü kodlu numunelerde aventurin etki görülmüştür.

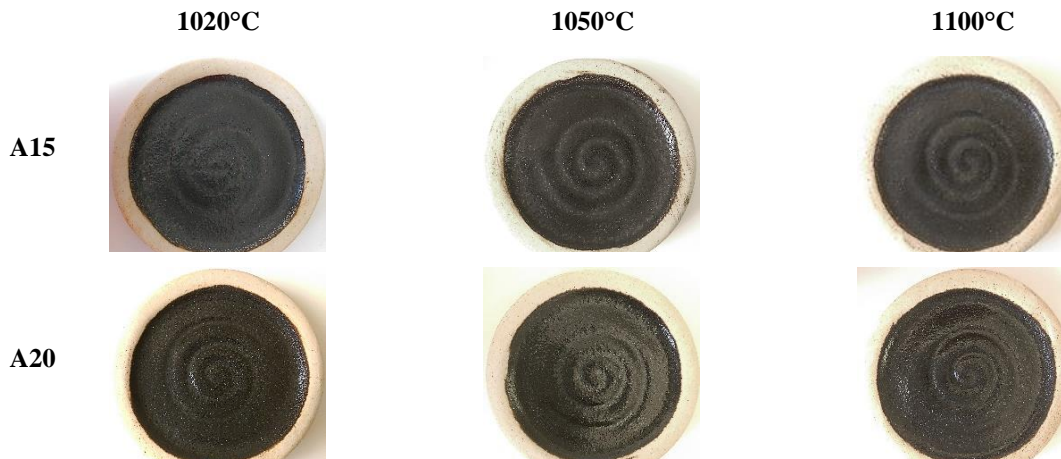




Şekil 3: İkili sistemde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri 1000°C

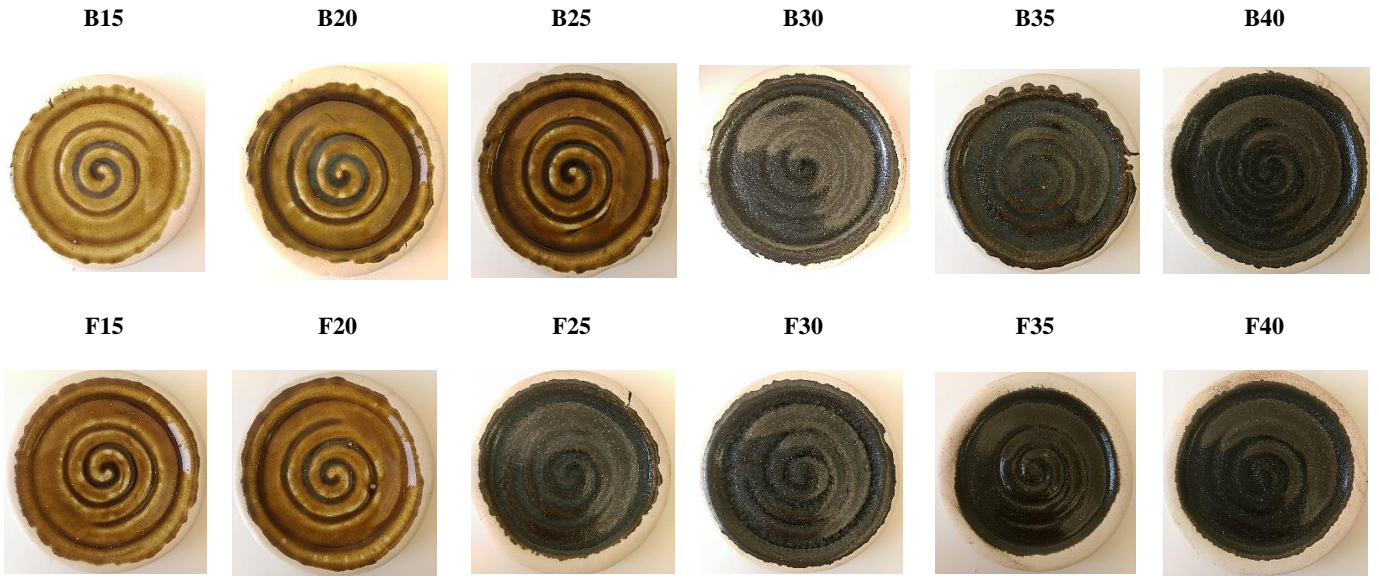
Üleksit–sodyum feldspat–kuvars üçlü sır sistemine göre hazırlanan sırların yüzey görünüşleri Şekil 4’de verilmiştir. 1020, 1050 ve 1100°C’de pişirimleri gerçekleştirilen üçlü sır sistemine göre geliştirilen bakır cürufu ilaveli sır denemelerinin genel olarak hepsinde aventurin oluşumları gözlenmiştir. Pişirim sıcaklığı arttıkça numunelerin renginde koyulaşma ve aventurin etkinin arttığı saptanmıştır. Bilindiği üzere üleksit, bor bileşiklerinden biri olup cam yapıcı özelliğinden dolayı sırlarda tercih edilmektedir. İçerisinde alüminyum bulunmadığı için cam oluşturmasının yanı sıra güçlü bir ergitici olarak tanınır. Sırın viskozitesini düşüren üleksit, içindeki bor renklendirici oksitler üzerinde güçlü çözücü etkiye sahiptir. Bu nedenle sır reçetelerinde üleksit miktarının %50’lere kadar yükseldiğinde aventurin etki oluşumları gözlenmiştir. Yapılan çalışmada en net aventurin etki %60 üleksit içeren A21 ve A27 kodlu numunelerde gözlenmiştir. Sır bileşiminde kuvarın görevi sıra asidik özellik kazandırırken ergimenin de kontrol altına alınmasını sağlamaktır. Sır bileşiminde kuvars çok fazla kullanıldığında sıra opak mat bir yüzey özelliği kazandırırken temel olarak sır kompozisyonlarında ana cam yapıcı olarak kullanılmaktadır. Hazırlanacak olan aventurin sır reçetesinde kullanılması gereken kuvars miktarı maksimum %30 olarak belirlenmiştir. A15-A20-A21 ve A27 kodlu sırlarda aventurin oluşumları başarılı olmuş ancak, en iyi aventurin yüzey görünümü bütün sıcaklıklar düşünüldüğünde A27 kodlu sırda gerçekleşmiştir. Sır yüzeyi istenilen şekilde net, parlak ve pürüzsüz bir yapıdadır. Bununla beraber yüzeyde herhangi bir sır hatası gözlenmemiştir. %60 üleksit, %20 kuvars ve %25 feldspat ilavesi ile bütün sıcaklıklarda aventurin oluşumları net olarak gözlenmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan aventurin sır reçete bileşimine (Tablo 4) demir oksit ve bakır cürufu katkısı ile 1100°C’de pişirimleri gerçekleştirilen sırların karşılaştırmalı görselleri Şekil 5’ de verilmiştir. Demir oksit ve bakır cürufu kullanılarak hazırlanan numunelerin yüzey özellikleri incelendiğinde genel olarak birbirleriyle aynı özellikleri sergiledikleri görülmektedir. %15’ten %40’a bakır cürufu ve ticari demir oksit kullanılarak hazırlanan sırların yüzeyleri parlak, pürüzsüz, renklerinde ise hammadde oranının artışı ile orantılı olarak balköpüğü tonlarından siyaha doğru bir geçiş gözlenmektedir. İstenen aventurin oluşumunun demir oksitte olduğu kadar, bakır cürufunda da son derece başarılı olduğu tespit edilmiştir. Demir oksitte %25 ilave ile aventurin oluşurken bakır cürufunda %30 ilave ile aventurin oluşumu gerçekleşmiştir.





Şekil 4: Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

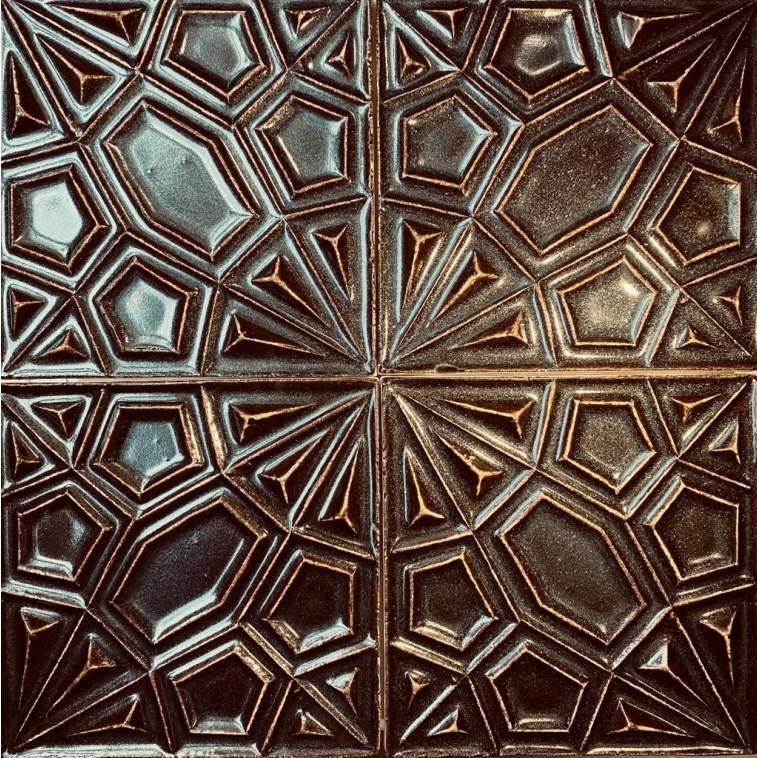


Şekil 5: Demir oksit ve bakır cürufu katkılı aventurin sır reçetesi karşılaştırmalı görselleri

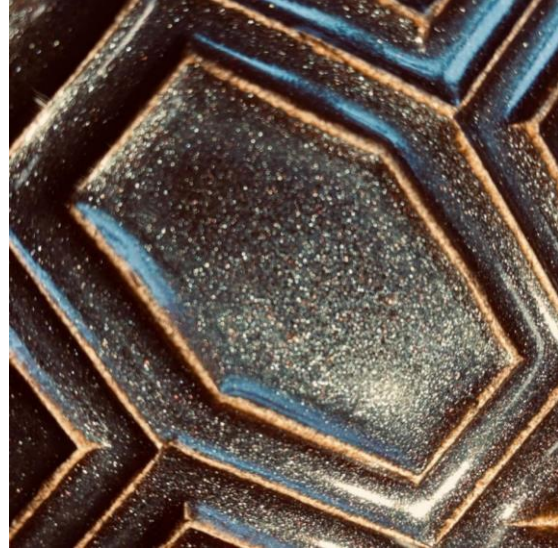
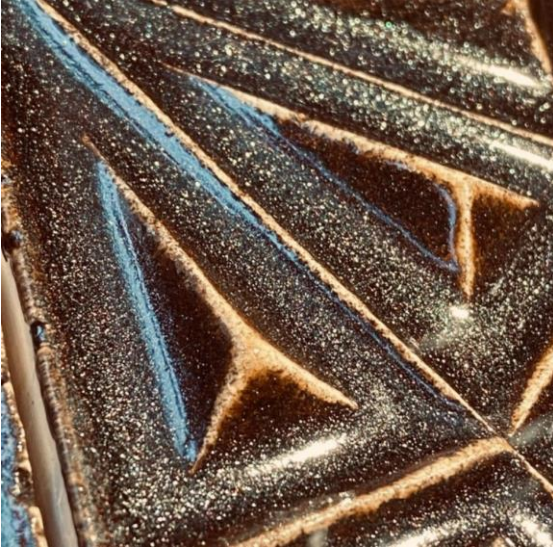
Seramik panolara uygulamak üzere geliştirilen aventurin sır reçetelerinden B30 kodlu sır reçetesi seçilmiş ve 1100°C’de pişirilmiştir. Seçilen sır reçetesi iki ayrı form üzerine farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. Şekil 6’da ince olarak uygulanan panonun yüzey görünümü verilmiştir. Sır yüzeyinde aventurin etkiler görülmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8’de ise kalın olarak uygulanan sırlı pano ve ayrıntılı detayları görülmektedir.



Şekil 6: B30 kodlu sır reçetesinin seramik pano üzerindeki yüzey görünümü, 1100°C, 13 x 13 cm, 2022.



Şekil 7: B30 Kodlu sır reçetesinin farklı form üzerindeki görünümü, 1100°C, 30 x 30 cm, 2022



Şekil 8: B30 aventurin sır kullanılan pano yüzeyinden detaylar

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, bakır cürufu mevcut sırların renklendirilmesinde, ikili ve üçlü sır sistemlerinde ve yeni aventurin sır kompozisyonların geliştirilmesinde kullanıldıktan sonra seçilen aventurin sırlar seramik formlara uygulanmıştır.

Bakır cürufunun bileşiminde bulunan metalik demirden dolayı sır hatasının meydana geldiği tespit edilmiş ve söz konusu sır hatasını gidermek için hoparlör mıknatısı kullanılarak metalik demir bakır cürufundan uzaklaştırıldıktan sonra sır reçetelerinde kullanılmıştır.

Mevcut sırların bakır cürufu kullanılarak renklendirilmesi 1030 ve 1050°C’ de pişirimlerin sonucunda mat beyaz sırlarda %25 bakır cürufu ilavesi de dâhil olmak üzere herhangi bir sır hatasına rastlanmamıştır. Mat transparan sırlarda ise 1030 ve 1050°C de %20 bakır cürufu ilavesine kadar herhangi bir sır hatası olmamasına rağmen %20 ve 25 ilavelerinde yüzeyde kaynama görünümünde hatalar meydana gelmiştir. Bunun nedeninin %20 ve %25 bakır cürufu ilavesinde sinterleme sıcaklığının yüksek gelmesi olduğu düşünülmektedir. MB25 kodlu numuneye kadar sır yüzeyleri pürüzsüz ve saten dokuludur. MT kodlu sırlarda cüruf miktarı arttıkça kahverengi tonlarından acı kahveye doğru bir renk geçişi görülmüştür.

İkili sistemlerde, üleksit ve bakır cürufu ilaveli sırlar incelendiğinde %50 bakır cürufu ve %50 üleksit kullanılan Ü5 reçetesine kadar olgunlaşmanın hatasız bir şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir. %60 bakır cürufu ilavesinden sonra seramik sırlarında olgunlaşma gerçekleşmemiştir. Sodyum feldispat ve bakır cürufu ikili sır sisteminde ise %50 bakır cürufu ilavesine kadar sır yüzeyinde kaynamalar meydana gelmiştir. %60 bakır cürufu ilavesinden sonra ise olgunlaşma gerçekleşmemiştir. Sırın viskozitesini düşüren üleksit, içindeki bor renklendirici oksitler üzerinde güçlü çözücü etkiye sahiptir. Sodyum feldispatın güçlü bir çözücü olmadığı ikili sistem araştırmasında da özellikle %60 bakır cürufu ilavesinden sonra daha net bir şekilde görülmektedir.

1020, 1050 ve 1100°C’de pişirimleri gerçekleştirilen üleksit–sodyum feldispat–kuvars üçlü sır sistemine göre geliştirilen bakır cürufu ilaveli sır denemelerinin genel olarak tamamında aventurin oluşumları gözlenmiştir. Pişirim sıcaklığı arttıkça numunelerin renginde koyulaşma ve aventurin etkinin arttığı saptanmıştır. Bilindiği üzere üleksit, bor bileşiklerinden biri olup cam yapıcı özelliğinden dolayı sırlarda tercih edilmektedir. Üleksit, içindeki bor renklendirici oksitler üzerinde güçlü çözücü etkiye sahiptir. Bu nedenle sır reçetelerinde üleksit miktarının %50'lere kadar yükseldiğinde aventurin etki oluşumları gözlenmiştir. Sır bileşiminde kuvars çok fazla kullanıldığında sıra opak mat bir yüzey özelliği kazandırırken, temel olarak sır kompozisyonlarında ana cam yapıcı hammadde olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada en belirgin aventurin etki yüzey görünümü bütün sıcaklıklar değerlendirildiğinde A27 kodlu sırda gerçekleşmiştir. Sır yüzeyi istenilen şekilde net, parlak ve pürüzsüz bir yapıdadır.

Demir oksit ve bakır cürufu kullanılarak hazırlanan numunelerin yüzey özellikleri incelendiğinde genel olarak birbirleriyle hemen hemen aynı özellikleri sergiledikleri görülmektedir. B15-B40 ve F15-F40 arası tüm sırların yüzeyleri parlak, pürüzsüz, renklerinde ise bakır cürufu ve ticari demir oksit oranının artışı ile orantılı olarak balköpüğü tonlarından siyaha doğru bir geçiş gözlenmektedir. İstenen aventurin oluşumunun demir oksitte olduğu kadar, bakır cürufunda da son derece başarılı olduğu tespit edilmiştir. Demir oksitte %25 ilave ile aventurin

oluşurken bakır cürufunda %30 ilave ile aventurin oluşumu gerçekleşmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda sır uygulama kalınlığı arttıkça aventurin oluşumları artışı ve sır renginde koyulaşma olduğu göze çarpmaktadır.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ışığında elde edilen bulgular bakır cürufunun seramik sanatında, sırlarda hem renklendirici hammadde olarak kullanılabilmesini hem de aventurin sır reçetelerinde değerlendirilebileceğini göstermiştir. Ayrıca bakır cürufunun, sadece aventurin değil görsel ve sanatsal etkisi yüksek sırlar elde edebilmek için de kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bakır cürufu kullanılarak renklendirilen sırların ve üretilen aventurin sırların etkileyici yüzey özellikleri sayesinde seramik sanatçıların sanatsal çalışmalarında da özel bir yere sahip olacağı düşünülmektedir. Daha sonra yapılacak aventurin sır çalışmalarında, farklı atıklar, farklı hammaddeler ve farklı (krom oksit, bakır oksit) oksitler kullanılarak yeni aventurin yüzey görünümleri oluşturulup bu oksitler ile hangi özelliklere sahip yüzeyler elde edilebileceği konusunda araştırma ve denemeler yapılabilir.

TEŞEKKÜRLER

Çalışmada kullanılan bakır cürufunun temininde destek olan Eti Bakır A.Ş. Küre İşletmesi'ne ve sır hammaddelerin temininde destek olan Akcoat İleri Kimyasal Kaplama Malzemeleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Çoruh, S., Ergun, O. N., & Cheng, T. W. (2006). Treatment of copper industry waste and production of sintered glass-ceramic. *Waste Management and Research*, 24(3), 234–241. <https://doi.org/10.1177/0734242X06062600>
- Genç, S., Kurt, T., (2017). Etibank Bandırma boraks fabrikası atığının aventurin sır bünyelerinde alternatif hammadde olarak kullanımı, SDÜ ART-E, Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, Cilt:10, Sayı:19, 187–202.
- Kılınç Mirdal, N. (2017). Inorganic wastes in glaze recipes and their effects on microstructure. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(2), 713–718. <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0084-0>
- Kılınç Mirdalı, N., & İşler, F. (2008). Kromit Atığının Duvar Karosu Sırlarında Renklendirici Olarak Değerlendirilmesi. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü (C. 17, Sayı 1)*.
- Marghussian, V. K., & Maghsoodipoor, A. (1999). Fabrication of unglazed floor tiles containing Iranian copper slags. *Ceramics International*, 25(7), 617–622. [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(98\)00075-3](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(98)00075-3)
- Mohaddes Khorassani, S., Siligardi, C., Mugoni, C., Pini, M., Cappucci, G. M., & Ferrari, A. M. (2020). Life cycle assessment of a ceramic glaze containing copper slags and its application on ceramic tile. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(1), 42–54. <https://doi.org/10.1111/ijac.13382>
- Ozel, E., Turan, S., Çoruh, S., & Ergun, N. O. (2006). Production of brown and black pigments by using flotation waste from copper slag. *Waste Management and Research*, 24(2), 125–133. <https://doi.org/10.1177/0734242X06062690>
- Tıgılı Boya, Z. (2022). Bakır Cürufunun Aventurin Sırlarında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Kastamonu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Tuna, M. (2018). *Social sciences. Developing Environmental Education in the Curriculum*, 8, 116–119. https://doi.org/10.5005/jp/books/12912_27
- Uysal, F. F., & Bahar, S. (2018). Cüruf çeşitleri ve kullanım alanları. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 37–52.