

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANA SANAT DALI



BAKIR CÜRUFUNUN AVENTURİN SIRLARINDA KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ZENNUR TIĞLI BOYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASLI ÇAKIR ARIANPOUR

HAZİRAN - 2022

KASTAMONU

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Zennur TIĞLI BOYA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAKIR CÜRUFUNUN AVENTURİN SIRLARINDA KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ZENNUR TİĞLİ BOYA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANA SANAT DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. Ü. ASLI ÇAKIR ARIANPOUR

Seramik bünye ve sırlarda kullanılan pigmentler, yüksek maliyetli teknolojik işlemlerden geçirilerek hazırlanmakta ve genellikle ithal edilme yoluna gidilmektedir. Bu durum maliyet artışını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle son yıllarda endüstriyel atıkların (metalurjik cüruflar, kırmızı çamur ve silikatça zengin toz ve küller gibi) ticari pigmentlere alternatif olarak kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır. Bu atıkların çoğu yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , PbO , TiO_2 , K_2O , Na_2O , CuO ve ZnO içerir ve seramik sırlarında veya bünyelerinde kullanılması mümkün görünmektedir. Bu çalışmada bakır cürufunun artistik seramik sırlarından olan aventurin sır reçetelerinde hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bakır cürufu Eti Küre Bakır Maden İşletmesinden temin edilmiştir. İlk aşamada, bakır cürufunun kimyasal analizi XRF ile gerçekleştirilmiştir. Bakır cürufunun mevcut sırların renklendirilmesinde ve farklı hammaddeler ile ikili ve üçlü sistemlerde sır reçetelerinde %10- 90 arasında değişen oranlarda kullanılmıştır. Yapılan çalışmada bakır cürufu ilaveli farklı sır kompozisyonlarının pişirim ortamındaki aventurin yüzey oluşumları incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda etkileyici aventurin sırlar elde edilmiştir. Sonuç olarak reçetelerin, renk, parlaklık ve matlık değerleri incelenmiş bakır cürufunun aventurin sır uygulamalarında demir oksit yerine aventurin sır reçetelerinde hammadde olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Daha sonra, yüzey özellikleri açısından başarılı bulunan sırlar seramik duvar panolarına uygulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER:Seramik Sırları, Aventurin Sırlar, Endüstriyel Atık, Bakır Cürufu

Haziran 2022, 64 Sayfa

ABSTRACT**MSC THESIS****INVESTIGATION OF USAGE OPPORTUNITIES OF COPPER SLAG IN
AVENTURINE GLAZES****ZENNUR TIĞLI BOYA****KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SOCIAL SCIENCE
ART AND DESIGN DEPARTMENT****SUPERVISOR:ASST. PROF. ASLI ÇAKIR ARIANPOUR**

Ceramic pigments are kinds of high-cost products which are generally used in glazing, decoration, and design of artistic ceramic artworks and are produced through expensive technological processes. Although these products are commonly used in small portions in the formulation of bodies or glazes, their high prices increase the final costs of the produced ceramic artworks. Due to this fact, studies on the use of industrial wastes (such as metallurgical slags, red mud, and silicate-rich dust and ashes) as an alternative for commercial pigments have increased in recent years. Most of these wastes contain high levels of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , PbO , TiO_2 , K_2O , Na_2O , CuO , and ZnO and seem to be possible for use in ceramic glazes or bodies. In this study, the usability of copper slag is investigated as part of formulation in the production of artistic aventurine glazes. The used slag is obtained from Eti Küre Copper Mine near Kastamonu. At first, the chemical analysis of slag is determined via XRF. Then it is used in the ranges of 10 to 90 wt.% in double and triple glaze recipes with different raw materials. After firing, the aventurine surface formations of different glaze compositions and the effects of slag addition are investigated to develop a single-fired glaze suitable for artistic ceramics. The overall results show that aventurine glazes can be formed by using waste copper slag. It is finally concluded that waste copper slag can be used as a part of raw material instead of iron oxide in artistic aventurine glaze production.

KEYWORDS:Ceramic Glazes, Aventurine Glazes, Industrial Waste, Copper Slag

June 2022, 64 Page

TEŞEKKÜR

Bakır Cürufunun Seramik Sırlarında Kullanım Olanaklarının Araştırılması adlı Yüksek Lisans tez çalışmam süresince ışığı ve değerli bilgileriyle yolumu aydınlatan değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Ü. Aslı ÇAKIR ARIANPOUR' a, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Seyhan YILMAZ' a, Doç. F. Müjde GÖKBEL' e, Arş. Gör. Yeliz ÖKDEM ATEŞ' e, Arş. Gör. Serkan ÖZER' e ve tezimin hayata geçirilmesinde katkıda bulunan, kıymetli yardımlarını esirgemeyen, Kastamonu Küre Eti Bakır Maden İşletmesi' ne, Tesis Müdürü Fatih ENİSOĞLU' na ve tesis çalışanlarına güler yüzleri, ilgileri ve alâkalarından dolayı ayrıca teşekkürlerimi sunuyorum.

Her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen çok değerli ailem Hayriye TIĞLI, Ömer TIĞLI, Zehra TIĞLI, Öznur YAZIMCI, Bahadır TIĞLI ve Mustafa BOYA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Zennur TIĞLI BOYA

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER VE GÖRSELLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. ARTİSTİK SERAMİK SIRLARI.....	4
2.1 Nötr Fırın Atmosferinde Pişirilen Artistik Seramik Sırları	8
2.2 İndirgen Fırın Atmosferinde Pişirilen Artistik Seramik Sırları	9
3. AVENTURİN SERAMİK SIRLARI	11
3.1 Krom Aventurinli Sırlar	12
3.2 Demir Aventurinli Sırlar	12
3.3 Bakır Aventurinli Sırlar	13
3.4 Aventurin Sırlarda Kullanılan Bileşik ve Oksitlerin Özellikleri	13
3.4.1 Sodyum Feldspat (Na_2O , Al_2O_3 , 6SiO_2) ve Potasyum Feldspat (K_2O , Al_2O_3 , 6SiO_2)	13
3.4.2 Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	14
3.4.3 Kuvars (SiO_2)	14
3.4.4 Kaolin (Al_2O_3 , 2SiO_2 , $2\text{H}_2\text{O}$)	14
3.4.5 Demir Oksit (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4)	14
3.4.6 Krom Oksit (Cr_2O_3)	15
3.4.7 Bakır Oksit (CuO , Cu_2O)	15
3.5 Aventurin Sır Çalışan Seramik Sanatçıları	15
4. BAKIR CÜRUFUNUN TANIMI	19
4.1 Bakır Cürufunun Oluşum Süreci	19
4.2 Bakır Cürufunun Seramik Sır ve Bünyelerinde Kullanımı İle İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
5.1 Malzeme ve Yöntem	25
5.2 Bakır Cürufu İlaveli Aventurin Sır Reçetelerinin Geliştirilmesi	29
5.2.1 Mevcut Sırların Renklendirilmesi	29
5.2.2 İkili Sır Sistemi	29
5.2.3 Üçlü Sır Sisteminde Aventurin Sır Reçetelerinin Oluşturulması	30
5.2.4 Aventurin Sır Reçetelerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması	30
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
6.1 Bakır Cürufunun Kimyasal Özellikleri ve Başlangıç Sır Uygulaması	34
6.2 Mevcut Sırların Renklendirilmesi	35
6.3 İkili Sır Sisteminde Geliştirilen Reçeteler	39
6.4 Üçlü Sır Sisteminde Geliştirilen Reçeteler	42

6.5	Geliştirilen Aventurin Sır Reçetelerinin Karşılaştırılması	51
7.	SERAMİK UYGULAMALAR	56
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR		62



ŞEKİLLER VE GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1 Acartürk, Mısır Uygarlığına ait mısır pastası maske.....	4
Görsel 2.2 Acartürk, Mısır Uygarlığına ait mısır pastası kolye ve boncuklar	5
Görsel 3.1 Aventurin yüzey görünümü, "altın renkli yıldız taşı"	11
Görsel 3.2 Giorrello, "krom aventurinli sır örneği"	12
Görsel 3.3 Giorrello, "demir aventurinli sır örneği"	12
Görsel 3.4 Giorrello, "bakır aventurinli sır örnekleri"	13
Görsel 3.5 Britt, "aventurin sırlı vazo"	16
Görsel 3.6 Ziyarati, "aventurin sırlı objeler"	17
Görsel 3.7 Marians, "aventurin sırlı tabak"	18
Görsel 3.8 Giorrello, "aventurin sırlı örnekler"	18
Görsel 4.1 Küre Dağlarından çıkarılan ham maden	20
Görsel 4.2 Çubuklu kırıcı öğütme makinası	20
Görsel 4.3 Bilyalı değirmen	21
Görsel 4.4 Flotasyon birimi	21
Görsel 4.5 Filtreleme işlem makinası	22
Görsel 5.1 Sır denemeleri süresince kullanılan cihazlar	25
Görsel 5.2 Deneme plakaları için hazırlanan alçı kalıp	26
Görsel 5.3 Alçı kalıpla çoğaltılmış ham plaka örneği.....	26
Görsel 5.4 Maden işletmesinden elde edilen bakır cürufu (a) ve öğütülmüş hali (b)	27
Görsel 5.5 Üçlü diyagram	32
Görsel 6.1 Bakır cürufundaki fazla metalik demir alınmadan önce (a) metalik demir alındıktan sonraki (b) yüzey görünümü	35
Görsel 7.1 AB5 kodlu sır reçetesinin seramik pano üzerindeki yüzey görünümü,	56
Görsel 7.2 AB5 Kodlu sır reçetesinin farklı form üzerindeki görünümü, 1100 °C, 30 x 30 cm, 2022	57
Görsel 7.3 Sırlı pano yüzeyinden detaylar	58

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 5.1 Mevcut sırların renklendirilmesi sır reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklığı 1030 ve 1050 °C	30
Tablo 5.2 İki hammaddeli sır reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklığı 1020 °C	31
Tablo 5.3 Üçlü sır diyagramı reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklıkları 1020, 1050 ve 1100 °C	32
Tablo 5.4 Aventurin sır reçete bileşimine demir oksit ve bakır cürufu katkısı %. Pişirim sıcaklığı 1100 °C	33
Tablo 6.1 Küre Bakır İşletmesi bakır cürufu kimyasal bileşimi	34
Tablo 6.2 Mevcut sırlar ile geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri	36
Tablo 6.3 Mevcut sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri	38
Tablo 6.4 İkili sistemde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri.....	40
Tablo 6.5 İkili sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri.....	41
Tablo 6.6 Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri.....	43
Tablo 6.7 Üçlü sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri.....	49
Tablo 6.8 Demir oksit ve bakır cürufu katkılı aventurin sır reçetesi karşılaştırmalı görselleri.....	52
Tablo 6.9 Standart aventurin reçete bileşimine demir oksit ve bakır cürufu katkılı sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri	55

1. GİRİŞ

Değişen dünya, devleşen sanayileşmenin getirdiği çevre kirliliği, bunlarla birlikte hammadde kaynaklarının azalmasının getirdiği pahalılık pek çok araştırmacıyı farklı arayışlara sevk etmektedir. Azalan kaynakların getirdiği mali sıkıntılar, hızla büyüyen seramik sektörünü de sıkıntıya sokmaktadır.

Seramik sırlarında kullanılan hammaddeler yüksek maliyetli teknolojik işlemlerden geçirilerek hazırlanmakta ve genel olarak ithal edilmektedir. Bu nedenle, yüksek maliyet gerektirmeyen atık malzemelerin seramikte kullanılabilirlikleri konusu, araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiş, bu konuda bilimsel çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Böylelikle seramik sır ve bünyelerde kullanılan hammaddelerin atık malzemeler ile yer değiştirmesi sonucunda, hem ekonomik anlamda ciddi katkı sağlanacak hem de endüstriyel atıkların tekrar değerlendirilerek çevreye verdiği zararların önüne geçilecektir. 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. Bazı atıkların yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , PbO , TiO_2 , K_2O , Na_2O , CuO ve ZnO içeriyor olması, seramik sektöründe kullanılabilir olduklarını ortaya koymaktadır (Mirdalı & İşler, 2008, s. 12).

Bu çalışmada, hem çevreye hem de seramik sektörüne fayda sağlayabilmek amacıyla Kastamonu Küre Eti Bakır Maden İşletmesinin maden sahasından çıkarılan kayaçlardan bakırın ayrıştırılması işlemi sonucunda ortaya çıkan son atığın, sanatsal etkisi yüksek olan aventurin sır reçetesinde değerlendirilerek aventurin oluşumuna katkısı incelenmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere işletmeden elde edilen bakır cürufu öğütülerek toz haline getirilmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizleri yapılan bakır cürufunun bileşiminde oranca fazla bulunan metalik demir, bir hoparlör

mıknatısı yardımıyla, mümkün olduğunca azaltıldıktan sonra, asıl denemelerde kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda, aventurin sır uygulamalarına ilk olarak bakır cürufu kullanılarak mevcut sırların renklendirilmesi ile başlanmış, bunun için parlak transparan, mat beyaz (opak) ve mat transparan sırlar seçilmiştir. Mevcut sırlara bakır cürufu ilavesi ile oluşturulan sırlar 1030 ve 1050 °C’ lerde pişirilerek farklı sıcaklık dereceleri de baz alınarak numuneler, 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, Na Feldspat, K Feldspat ve üleksit, ergitici olarak reçeteye eklenmiş, artan ve azalan oranlarda kullanılarak iki hammaddeli sır reçeteleri oluşturulmuştur. İkili sistemde oluşturulan sırlar, önceden hazırlanan deneme plakalarına akıtma yöntemi ile uygulandıktan sonra, 1000°C’ de pişirilmiş ve pişirilen numuneler aventurin oluşumları ve yüzey özellikleri bakımından incelenmiştir. Üçlü sır sistemi kullanarak artan ve azalan oranlarda 36 adet farklı sır reçeteleri oluşturulmuştur. Hazırlanan sırlarla sırlanmış plakalar ise 1100, 1050 ve 1020 °C’ ler olmak üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilerek sırda bakır cürufu katkısı ile aventurin oluşumları, farklı sıcaklık dereceleri de baz alınarak incelenmiştir.

Son olarak standart olarak seçilen bir aventurin sır reçetesindeki demir oksit ve demir oksit yerine %10- %40 oranlarında cüruf 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 katkılı sırlar, yüzey özellikleri bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

İncelemeler neticesinde, tez süresi boyunca yapılan deneyisel çalışmalar olumlu sonuçlar vermiş, cüruf katkısı ile sır yüzeylerinde gözle görülür şekilde ve netlikte, olumlu aventurin oluşumları gözlenmiştir. Tezin konusu doğrultusunda sürdürülen

deneysel çalışmaların sonucunda, bakır cürufunun artistik seramik sır sanatında aventurin sır reçetelerinde kullanılabilirliği tespit edilmiştir.

Tez çalışmasında ele alınan ve endüstriyel bir atık olan bakır cürufunun, aventurin sırlarda kullanılması hususu çerçevesinde, kullanılan bakır cürufunun kimyasal analizlerinin yapılması ve deneme süreçleri sonucunda aventurin sır bünyelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması ile sınırlı tutulmuştur. Bakır cürufu katkılı aventurin sır denemelerinin görselleri, laboratuvar analizleri ve sonuçlarına ilişkin açıklamalara ilgili bölümlerde detaylı olarak yer verilmiştir.



2. ARTİSTİK SERAMİK SIRLARI

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; pişmiş kuru bünyenin poroziteli yapısını gidererek uygulandığı ürüne düzgün ve pürüzsüz bir yüzey özelliği kazandırır, temizliği kolaylaştırır, bakteri ve mikroorganizma oluşumunu önler. Ayrıca uygulandığı bünyenin mukavemetini artırır, ürüne görsel ve sanatsal değer katar.

Seramiğin tarihi, insanlık tarihi kadar eskidir. Gerçek anlamdaki ilk sırlı yüzey ise M.Ö. ortalama 5000 yıllarında Mısır’da ortaya çıkmıştır. Adına “mısır pastası” denilen bu bünye ayrıca bir sırlama işlemi gerektirmeyen, düşük ısıda olgunlaşabilen, kendinden sırlı kuvars ağırlıklı bir bünyedir (Görsel 2.1 ve Görsel 2.2).

M.Ö. 5000 de, Mısırlılar, Mezopotamyalılar ve Persler saf kuvars kumundan harika seramikler yapmışlardır. Soda içeren çamura batırılan, daha sonra kuvars, kireç ve soda karışımı toz içine yatırılan ve düşük ısıda pişirilen parçalar, bakır ilavesiyle mavinin değişik tonlarıyla parlayan bir katman elde eder. Bu teknoloji, ilk bakır çalışmalarında ve tuz ile kumun pişirilmesi çalışmalarında görülmüştür (Acartürk, 2012, s. 11)



Görsel 2.1 Acartürk, Mısır Uygarlığına ait mısır pastası maske, 2012



Görsel 2.2 Acartürk, Mısır Uygarlığına ait mısır pastası kolye ve boncuklar, 2012

Mısır pastası adı verilen bu killer, içerisinde doğal olarak bulunan sodyum ve potasyum bileşiklerinin düşük ısılarda dahi eriyerek tepkimeye girmesi sonucunda oluşmuştur fakat bu killer, alkali oranı çok yüksek olduğundan uygulama esnasında ve pişirim sonrasında oluşabilen bazı problemleri de beraberinde getirmiştir. Zaman içerisinde kurşun bileşiğinin keşfedilip sır içerisinde hammadde olarak kullanılmaya başlanması ile bu problemler ortadan kalkmıştır.

M.Ö. 2500-2000 civarında Babil ve Suriye’de ortaya çıkan, galena olarak bilinen kurşun sülfür, öğütülerek kilin üzerine uygulanmış, kolayca erimiş, parlak ve düzgün bir yüzey oluşturmıştır. Asurlular, kurşunlu sırlara metalik oksitler ekleyerek renkli sırlar yapmayı öğrenmişlerdir ve bunlarla büyük yapıların yüzeyini kaplayan tuğla ve fayansları sırlamışlardır. Kurşunlu sırlar Çin’de de Han Hanedanlığı Dönemi’nde (M.S. 25-220) yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Çinliler çok daha önceki dönemlerde, M.Ö. 1500’lerde yüksek derecelerde birlikte, yeni bir sır bulmuşlardır. Odun ateşli fırınlarda pişirilen bu sırlar, alevin karıştırılmasıyla küllerin uçup seramik bünyeye yapışması sonucu ortaya çıkmıştır. Odun külü, yüksek derecelerde çamur ile eriyen ve başka hiçbir malzemeye ihtiyaç duymadan sırlı yüzey oluşturan bir maddedir. Hammaddelerin daha fazla anlaşılmasıyla ve kayaların toz haline getirilmesinin öğrenilmesiyle Çinliler, yüksek dereceli sır çeşitlerini üretmişlerdir. Tang Hanedanlığı (M.S. 618-906) sırasında, Han Hanedanlığı’nda kullanılan stoneware çamurlarından geliştirerek ilk porseleni keşfetmişler ve buna uygun sırlar üretmişlerdir. Daha sonra Çin porselenleri ihraç edilmeye başlanmış ve gittiği yerlerde seramikte büyük değişimleri de beraberinde getirmiştir. İslâm Dünyası bu değişimi ilk yaşayanlardandır. Çin porselenlerinin burada çok gözde olması, seramikçilerin geçim kaynaklarını tehlikeye sokmuştur ve ellerindeki malzemelerle Çin işlerinin taklitlerini yapmaya çalışmışlardır. Kurşunlu ve alkalili sırlara, kalay dioksit ilave ederek beyaz ve örtücü sırlar yapmışlardır. Aynı zamanda da sırlar altına beyaz astar kullanmışlardır. Daha sonraki tarihlerde, Hollanda’da Delft, İngiltere’de Bristol ve Lowestof gibi liman şehirlerinde ve Avrupa’nın çömlek üretim merkezlerinde kopyalama çalışmaları sonucunda, birçok teknik gelişme sağlanmıştır. XVIII. Yüzyılda ise Almanlar tarafından Avrupa’nın ilk porseleni üretilmiştir (Hopper, 1984, aktaran Zeynep Taşkın, 2009)

IV. yüzyılda cam üzeri bezeme tekniği olarak kullanılan lüster tekniği, IX. yüzyılda Mezopotamya’da altın ve gümüş kapların yüzeyini daha çekici hale getirmek için bir seramik sanatı dekorlama tekniği olarak ortaya çıkmış ve İslam Dünyası’na girmiştir (Mouhebatı & Köseleler, 2019, s. 82). İslam Dünyası’nda gelişme gösteren bir diğer teknik ise, düşük ısıda olgunlaşabilen sır üstü boyama tekniğidir.

Diğer tekniklerden bağımsız olarak XV. ve XVI. yüzyıllarda Almanya’da ortaya çıkan, açık fırınlarda, pişirim esnasında fırın içerisine tuz serpilmesi yöntemi ile oluşturulan tuz sırlarıdır.

Seramik Sır Çeşitleri

Bileşimleri bakımından oldukça çeşitlilik gösteren seramik sırlarını, belirli bir kurala göre sınıflandırmak pek mümkün olmamakla birlikte, sırları oluşturan hammaddeler, sırların uygulanma yöntemi ve pişirme dereceleri gibi sırların elde ediliş yöntemlerine göre veya yüzey özelliklerine göre sınıflandırılabilirler.

Endüstriyel seramik sırları:

Sırlar, endüstriyel ve artistik olmak üzere iki farklı amaç doğrultusunda üretilirler. Endüstriyel sırlar, estetik kaygıdan çok hijyenik standartlara uygun, yeme içme kapları gibi insan sağlığı açısından önem arz eden eşyalar için kullanılan sırlardır. Bu sırlar, insan sağlığı ile doğrudan ilişkili oldukları için hijyenik koşullar ön plandadır. Endüstriyel olarak üretilen sırlar, sağlığa zararı olmayan hammaddeler kullanılarak hijyenik kaygılarla üretilmelidir ve bu sırlarda sır hatalarına yer verilmemelidir.

Mat sırlar, opak sırlar ve transparan sırlar bu grupta verilebilir.

Mat sırlar

Mat sırlar, seramik ürünlerin yüzeyini kaplayan, genel olarak örtücü özellikte, içerisinde oldukça fazla oranda minik kristaller barındıran sırlardır. Sırların içerdiği bu kristaller sayesinde ışık kırılır ve mat yüzey oluşur. Şeffaf sırlara oranla pürüzlü bir yüzeye sahiptirler. Mat bir sır elde edebilmek için, uzun bir pişirme sürecinin ardından

kontrollü ve oldukça yavaş bir soğutma yapmak gerekir. Aksine yapılacak olan hızlı soğutma sırda, parlak bir yüzey görünümüne sebep olacaktır.

Opak sırlar

Opaklık, sır yüzeyindeki gaz kabarcıklarının ışığı yansıtması sonucunda oluşan bir etkidir. Örtücü bir yüzeye sahiptir. Sırın bünyesinde bulunan kristal tanelerinin belirli boyutun üzerinde olması ile opak yüzey görünümü oluşur (Eppler ve D. R. Eppler, 2000, aktaran Yapıncak Göncü, 2006).

Transparan sırlar

Örtücü özellikte olmayan, uygulandığı bünyenin renk ve doku özelliklerini tamamen gösteren, saydam bir sır çeşididir. Olumlu sonuç alabilmek için sır bileşiminin düşük viskoziteye ve aynı zamanda düşük yüzey gerilimine sahip olması, pişirilen sıcaklıkta sırın tamamen ergimesi gerekmektedir. Ayrıca gaz kabarcıkları oluşmamalı ve soğutma esnasında kristalleşme oluşmamalıdır (Kartal, 1998, aktaran Göncü, 2006).

Artistik seramik sırları:

Bu grupta toplanan sırlar, endüstriyel üretimde kullanımları uygun olmayan ve sadece sanatsal amaçla üretilen sırlardır. Renk, doku ve görsel olarak farklılık gösteren, uygulandığı ürüne estetik açıdan değer katan bu sırlar, pek çok hammadde ve farklı pişirim yöntemleri ile oluşturulabilirler.

Endüstriyel üretimde sır hatası olarak görülen ve kullanılmayan sırlar, artistik sırlar için önemli bir özelliktir. Artistik sırlarda, sır hataları aslında istenen bir durumdur ve bazen tesadüfi bir şekilde ortaya çıktıkları gibi bazen de özellikle oluştururlar. Bu sırları çalışmak, sır yapımında kullanılan hammaddelerin özellikleri konusunda iyi bir bilgi sahibi olmakla birlikte uzun, detaylı araştırma ve deneysel çalışma süreçleri gerektirmektedir.

Artistik sırlar; akıcı sırlar, krakle sırlar, toplanmalı sırlar, kristal sırlar, aventurin sırlar, kül sırları, lüsterli sırlar, seledon sırları, çin kırmızısı sırlardır. Bu sırlar da kendi

içerisinde nötr fırın atmosferinde pişirilen sırlar ve indirgen fırın atmosferinde pişirilen sırlar olarak gruplandırılırlar.

2.1 Nötr Fırın Atmosferinde Pişirilen Artistik Seramik Sırları

Dışarıdan hiçbir müdahale olmaksızın, pişirimin doğal olarak gerçekleştiği fırın atmosferine denir. Genellikle elektrik enerjisi ile çalışan fırınlar kullanılır. Mat sırlar, akıcı sırlar, krakle sırlar, toplanmalı sırlar, kristal sırlar, kül sırları ve aventurin sırlar bu grubu oluştururlar.

Akıcı sırlar

Akışkan özellikleri fazla olan artistik sır çeşididir. Pişirme esnasında normal sırlara oranla daha fazla akıcılık gösterirler; bu sebepten dolayı kontrollü ve dikkatli bir pişirim gerektirmektedir. Renk veren diğer hammaddelerle kullanılarak daha artistik etkiye sahip sırlar elde edilebilir.

Krakle sırlar

Çatlak yüzeyli bir sır çeşididir ve bu sebepten dolayı çatlaklı sır olarak da bilinir. Bu çatlaklar yüzey geriliminin yüksek olmasından dolayı oluşurlar. Kılcal krakle ve deri krakle olmak üzere iki çeşittir. Uygulanan sırnın elastikiyeti, kalınlığı ve genleşme katsayıları arasındaki fark bu sırnın çeşidini belirler (İşman, 1969, aktaran Emel Mülayim, 1999).

Toplanmalı sırlar

Uygulanan sırnın yer yer toplanması sonucunda oluşan sırlardır. Yüzey geriliminin yüksek olmasından dolayı sırnın belli kısımlara çekilerek toplanması ile meydana gelirler. Toplanmalı sırlar elde edebilmek için yüzey gerilimi yüksek olan CaO , Al_2O_3 , MgO , ZnO , NiO gibi oksitleri kullanmak gerekmektedir (Arcasoy, 1983, s. 232).

Kristal sırlar

Kristal bir sır elde edebilmek için uygulanacak olan sırn yüksek bir akışkanlık derecesine sahip olması, yüksek derecede pişirilmesi ve soğutma hızının yavaş bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sırdaki kristallerin oluşumu ve büyüklüğü soğutma hızına bağlıdır. Ayrıca, her madde, sırda renk ve şekil bakımından farklı kristaller oluştururlar (Arcasoy, 1983, s. 233).

Kristal oluşumları aventurin sırlardan farklı olarak sırn içerisinde gömülü değil, sırn yüzeyindedir. Sır yüzeyinde oluşan kristaller görünüm olarak kar kristallerini andırırlar. Elde edilmesi oldukça zor bir sır çeşididir. Sır yüzeyindeki kristallerin boyutuna göre makro ve mikro kristalin sır olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Pekkan, Taşçı, & Gün, 2015, s. 281).

Kül sırları

Tarihte ilk kez Çinliler tarafından keşfedilen en eski sır çeşididir. Kül sırları elde edebilmek için pek çok bitkinin küllerinden faydalanılır. Sır olarak kül tek başına veya kil ve feldspatlarla da kullanılabilir fakat kullanılan kül oranının fazlalığı sırda kaliteyi belirleyici rol oynamaktadır (Genç S. , 2013, s. 127).

Aventurin sırlar

Yüksek oranda demir ve kuvars içeren, alkali ve bor miktarı fazla olan artistik bir sır çeşididir. Kristal sırlarla benzer özellikler gösterebilir de aralarındaki en belirgin fark sır yüzeyinde oluşan kristallerin görünümüdür. Aventurin sırlarda kristal oluşumları sırn yüzeyinde değil, içerisinde gömülü olarak bulunurlar. Beyaz ışık altında üzerine sim dökülmüş gibi bir etki uyandırır (Görsel 3.1).

2.2 İndirgen Fırın Atmosferinde Pişirilen Artistik Seramik Sırları

Pişirim esnasında fırın içerisinde karbonmonoksit oluşturulması ile elde edilen fırın atmosferi yöntemidir. Redüksiyon sırları olarak da bilinirler. Lüsterli sırlar, çin kırmızısı sırlar, seladon sırları bu gruptadır.

Lüsterli sırlar

Uygulandığı ürünün yüzeyinde gökkuşağı gibi sedefli, metalik yansımali efektler veren görsel etkisi yüksek ve elde edilmesi zor bir sır çeşididir. Yüzeyde oluşan renkler ve saydamlık, tabakadaki ışığın emilimi ve saçılımı sonucunda meydana gelir. Yüzeydeki pigmentler metalik parlaklık yerine yanardöner lekeler halinde görünürler (Ağıl & Karasu, 2019, s. 51).

Lüsterli sırların elde edilmesinde birçok faktör rol oynar. Bunlar; viskozitesi düşük uygun bir sır bünyesinin oluşturulması, istenilen renk ve etkiye göre metalik tuzların seçimi, pişirme ve redüksiyon işleminin uygun sıcaklıklarda yapılmasıdır. Bu tip sır bünyesine %1-5 oranlarında AgNO_3 ve değişik renk veren metal tuzları ilave edilerek karıştırılır. Hazırlanan karışımla sırlanan parça pişirilir. Soğuma sırasında redüksiyon yapılır. Redüksiyon işlemi için duman çıkaran odun, katran, naftalin, şeker gibi maddelerden yararlanılır. Yoğun duman sır içindeki metal tuz formunu indirgeyerek sır yüzeyinde metalik tabakanın oluşmasını sağlar. Bu yöntemle oldukça ilginç metalik pırıltılı sırlar elde edilebilir (Şölenay, 1995, s. 5)

Çin kırmızısı sırlar

Çin kırmızısı sırlar zor bir serüvenin ürünüdürler. Sırda kullanılan bakır oksit normal sırlarda yeşil rengi verirken, indirgen atmosferde kırmızı rengi oluşturması bakımından oldukça ilginçtir. Pişirim sonucunda elde edilen bu kırmızı rengin temelini, bakır oksidin pişirim esnasında bakır oksidul (Cu_2O) haline dönüşmesi oluşturur (Arcasoy, 1983, s. 237).

Seladon sırları

Genel olarak seladon sırlar, demir katkılı killerin yüzeyine yine demir oksit katkılı sırlar uygulanarak indirgen fırın atmosferinde pişirilmesi sonucunda elde edilirler. Demir oksit katkısı ile nötr fırın atmosferinde kırmızı, kahverengi, sarı tonlarında sırlar elde edilirken, redüksiyonlu fırın atmosferinde yeşil, mavi ve gri tonlarında sırlar elde edilir. Seladon sırlar, mat ve saydam olabilirler, gri-yeşil tonlardan mavi-yeşile kadar değişen renk tonlarına sahiptir (İn, 2014, s. 1-2). Renk üzerinde rol oynayan etkenlerin başında, öncelikli olarak redüksiyon ve sır bileşiminde yer alan demir, krom, kalay, titan ve nikel bileşikleridir (Arcasoy, 1983, s. 238).

3. AVENTURİN SERAMİK SIRLARI

Aventurin sözcüğü kelime olarak “yıldız taşı” anlamına gelmektedir. Adını aventurin mineralinden almaktadır. Aventurin mineralinin esas yapısını kuvars oluşturmakta ve içinde sayısız ışık veren parıltılar veya demir tanecikleri barındırmaktadır (Arcasoy, 1983, s. 235).

Artistik sır grubundan olan aventurin sırlar; kristal yapıda bir sır çeşididir fakat kristal sırlardan farklı olarak bu sırda kristal oluşumları sırnın yüzeyinde değil, içerisinde gömülü şekildedir. Aventurin sırların alkali ve bor miktarı fazladır. Yüksek oranda demir ve kuvars içerirler. Yıldız taşı olarak da bilinen aventurin sırların yüzeylerinde beyaz ışık altında görülebilen derinliği olan kristal, metalik, sim yapılı pulcuklar vardır (Görsel 3.1). Bu sırlar; alkali, borlu, kurşunlu, alüminası az olan sır bünyelerinin metal oksitlerle doyurulmasıyla elde edilirler (Genç & Kurt, 2017, s. 190).



Görsel 3.1 Aventurin yüzey görünümü, "altın renkli yıldız taşı", 19, [URL-1](#), 2020

Literatürde bakır, demir, krom ve uranyum oksitlerle yapılmış aventurin sırların varlığından söz edilmektedir. Fakat en yaygın uygulanmış olanlar demir oksit ile yapılan aventurin sırlardır. Uranyum oksidin elde edilmesinde karşılaşılan güçlüklerden ve literatürde bu konuya, hemen hemen hiç değinilmemiş olmasından dolayı uranyum aventurini sır örneklerine rastlamak çok zordur (Genç & Kurt, 2017, s. 190).

3.1 Krom Aventurinli Sırlar

Yeşilin birçok tonunda güzel sonuçlar veren krom aventurinli sırlar, bakır ve demir aventurin sırlara göre daha zor ve zahmetli süreçler sonucunda elde edilirler (Genç & Kurt, 2017, s. 190). Bu sebeple örneklerine fazla rastlanamamaktadır (Görsel 3.2)



Görsel 3.2 Giorello, "krom aventurinli sır örneği", 2018-2021, [URL-6](#), 2021

3.2 Demir Aventurinli Sırlar

Aventurin sır çeşitleri arasında krom ve bakır okside göre elde edilmesi daha kolay olduğundan en bilindik olanı demir aventurinli sırlardır. Demir aventurinli sırlar kızıl kahve tonlarından koyu kahve tonlarına doğru bir renk skalası oluştururlar. Ayrıca demir aventurinli sırlarda oluşan kristaller kırmızı-altın renklerdedir (Görsel 3.3)



Görsel 3.3 Giorello, "demir aventurinli sır örneği", 2019-2021, [URL-7](#), 2021

3.3 Bakır Aventurinli Sırlar

Bütün aventurin sır çeşitlerinde olduğu gibi, bakır aventurinli sırlar da bünyesinde az miktarda Al_2O_3 içeren sırlara fazla miktarda demir oksit ilavesi ile elde edilirler. Bakır aventurinli sırlar, kendine has yeşil tonlarından koyu gri tonlarına doğru bir renk skalasına sahiptir (Görsel 3.4)



Görsel 3.4 Giorello, "bakır aventurinli sır örnekleri", 2019,2021, [URL-8](#), 2021

3.4 Aventurin Sırlarda Kullanılan Bileşik ve Oksitlerin Özellikleri

3.4.1 Sodyum Feldspat ($Na_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$) ve Potasyum Feldspat ($K_2O, Al_2O_3, 6SiO_2$)

Feldspatlar genel olarak, bileşiminde belirli oranlarda alkali barındıran alümina silikatlardır. Sır bünyelerinde ergitici ve cam yapıcı özellik gösterirler. Sır içerisindeki etkileri bakımından her iki feldspatta birbirleriyle avantaj ve dezavantaj olarak benzer özellikler göstermektedir. Uygulanan sıra renk vermezler fakat uygulandığı sırn rengine canlılık ve parlaklık katarlar. Aynı zamanda toksik madde içermezler ve uygun fiyata sahiptirler.

Yüksek genleşme katsayısına sahip olduklarından dolayı sır bünyesinde fazla oranda kullanılmaları, sır yüzeyinde çatlamalara neden olmaktadır. Özellikle Sodyum Feldspatın genleşme katsayısı Potasyum Feldspata oranla daha fazla olduğundan çatlama olasılığı daha yüksektir.

3.4.2 Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Üleksit bor bileşiklerinden biridir ve sır bünyelerinde ergitici ve cam yapıcı özelliğe sahiptir. Feldspatların aksine düşük genleşme katsayısına sahiptir. Sır çatlaklarının oluşumunu önlemektedir. Sır bileşiminde fazla kullanımı bor tülü adı verilen sır hatasının oluşumuna sebebiyet verir fakat bu hata artistik sıklarda güzel bir avantaja dönüştürülebilir (Genç S. , 2013, s. 39).

3.4.3 Kuvars (SiO_2)

Seramikte çokça kullanılan kuvars minerali seramiğin temel hammaddelerinden bir tanesidir. Silis ya da silis kumu olarak da bilinmektedir. Kuvars, kimyasal bileşimi ve fiziksel özelliği bakımından diğer tüm minerallere kıyasla saflığı en çok olan ve doğada bolca bulunan bir mineraldir. Sır içerisinde cam yapıcı olarak kullanılır ve ergimeyi kontrol altında tutar.

3.4.4 Kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$)

Hem bünye hem de sıklarda kullanılan kaolin, seramiğin temel hammaddelerinden biridir. Kaolin, kil mineral sınıfında bir kil grubuna verilen isimdir. Genellikle, beyaz-sarı veya beyaz-gri renklerde toz yapıda ve kokusuzdur. Bünyesinde %46,5 oranında SiO_2 , %39,5 Al_2O_3 , %14 H_2O bulunmaktadır (Genç ve Erel, s. 279).

3.4.5 Demir Oksit ($\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$)

Demir oksit demir aventurinli sır oluşturmada kullanılan metal oksitlerdendir. Bünyesinden Al_2O_3 ' ün büyük oranda bertaraf edilen bol miktarda alkali ve kuvars içeren sıkların demir okside doyurulması sonucunda aventurin sıklar elde edilir (Arcasoy, 1983, s. 190).

3.4.6 Krom Oksit (Cr_2O_3)

Düşük sıcaklıklarda, içindeki kurşun oranı yüksek olan sırlarda kullanıldığında kırmızı renk verir. Krom kırmızısı olarak da bilinen bu sırlarda sıcaklığın yükselmesi ile birlikte renk tonu kahveden yeşile doğru bir renk geçişi oluşturur.

3.4.7 Bakır Oksit (CuO , Cu_2O)

Aventurin sır oluşturmak için kullanılan metal oksitlerden bir tanesi bakır oksittir. Sır içinde kullanım oranına bağlı olarak metalik gri tonlardan siyah tonlarına doğru bir renk geçişi oluşturur. Aynı zamanda sır bünyesinde bakır oksit kullanımı, aventurin minerali ve bakır kristallerinin oluşumuna etki eder.

3.5 Aventurin Sır Çalışan Seramik Sanatçıları

Aventurin sırlar, tarihte bilimsel olarak ilk defa Ebelman tarafından 1847-1852 yılları arasında araştırılmıştır (Karasu & Sarıcaoğlu, 2019, s. 141). Geçmiş yıllarda aventurin sırlarla ilgili çalışma yapan araştırmacılardan bazıları şöyledir:

Wartha, bol demir oksitli astar üzerine, bor oksitli bir sır uygulayarak demir aventurini sırlar elde etmeye çalışmıştır. Mackler, Wohler'in formülünü kullanmış fakat iyi sonuçlar elde edememiştir. Ancak krom oksit ile başarılı krom aventurinleri üretmiştir. Petrik, demir sülfat ile sodyum klorit karışımını ergiterek yapay hematit (Fe_2O_3) kristallerini oluşturmuş, sonuçta daha sonra bu kristalleri bir sırla karıştırarak deney parçalarını sırlamış ve parçaları ikinci kez akıcı, saydam bir sırla kaplayarak demir aventurini elde etmiştir. İlâveten, krom aventurini elde etmeye çalışmışsa da başarılı olamamıştır. F. H. Riddle 1906 yılında, bir sırça formülünü demir oksit ile doyurarak iyi bir aventurin sır yapmıştır. Başka bir Alman araştırmacı 1907' de, sırların oksitlerle doyurularak kristallerin elde edilebileceğini açıklamıştır. 1920' de, H. G. Shurecht R. T. Stulrun çalışmalarından da yararlanarak aventurin sırlar üzerine çeşitli araştırmalara imza atmıştır. 1924' te, V. K. Haldeman bir araştırma yazısında aventurin sır bünyesindeki bazik oksitlerin ve alüminanın birbirleri üzerindeki etkisini araştırmış, ayrıca aventurin oluşumunun en üst düzeyde elde edilebileceği bir pişirim sıcaklığını da tespit etmeye çalışmıştır. C. W. Parmelee ve J. S. Lathrop 1934 yılında yayımlanan araştırma yazılarında aventurin sırlarla ilgili çalışmalarına yer vermişlerdir. 1926' da, S. Kondo da, sır bileşimleri içine krom oksit ilavesiyle elde ettiği krom aventurini çalışmalarını ortaya koymuştur (Karasu & Sarıcaoğlu, 2019, s. 142)

Günümüzde ise artistik sırlardan kristal sır çalışan araştırmacıların sayısı oldukça fazla olmasına karşın aventurin sır çalışanların sayısı azınlıktadır. Bu araştırmacıların bazıları ise şöyledir:

John Britt:

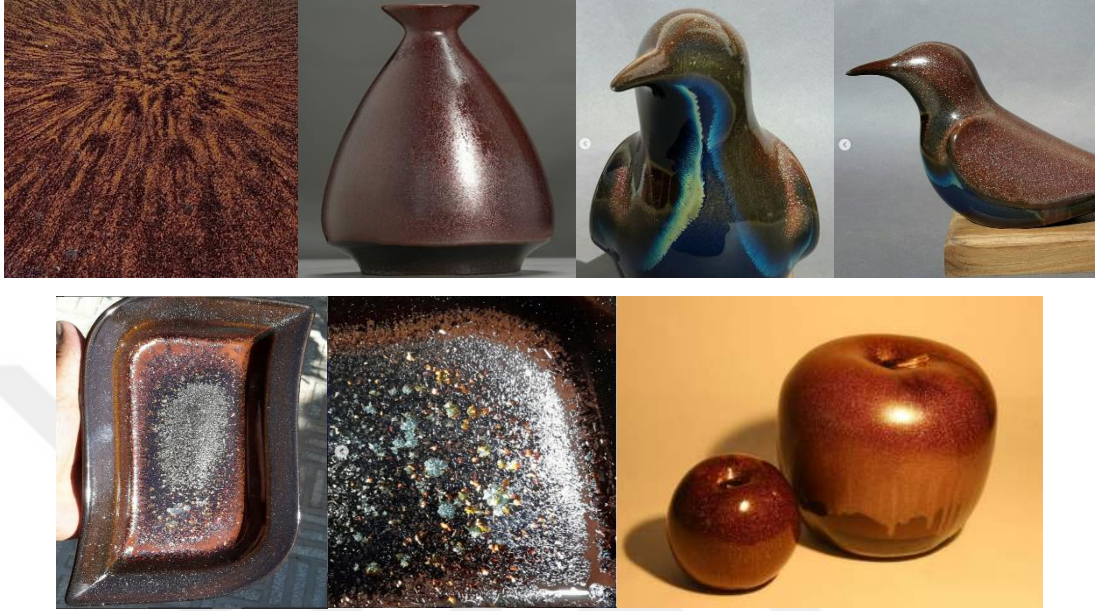
Washington’ da doğmuştur ve Kuzey Carolina’ da yaşamını sürdürmektedir. Aslında felsefe eğitimi almış fakat seramik alanında kendisini geliştirmiştir. Hem ulusal hem de uluslararası üniversite, kolej ve el sanatları kurumlarında çömlek yapımı, seramik hammaddeleri, seramik teknikleri ve sır kimyası üzerine dersler vermiş, öğretmenlik yapmıştır (Genç & Erel, s. 276).



Görsel 3.5 Britt, "aventurin sırlı vazo", 2014, [URL-2](#), 2021

Fatollah Ziyarati:

İran Semnan üniversitesinde tasarımcı ve seramik öğretmenidir.



Görsel 3.6 Ziyarati, "aventurin sırlı objeler", 2018-2020, [URL-2](#), 2021

Carol Marians:

Carol Marians 64 yaşında, iki doktora olan bir seramikçidir. Sırlara olan ilgisi onu 1988’de Malzeme Bilimi doktora için Massachusetts Teknoloji Enstitüsüne yönlendirmiştir. Burada sırların çalışma şeklini, işe yarayıp yaramayacağını anlamak için IBM bilgisayarlarda delikli kartlarla programlanan bir yazılım yapmıştır ve halen bu programı geliştirmeye devam etmektedir.

Marians 1970’lerden beri kendini çömlekçi olmaya adanmış Porto Rico Üniversitesinde matematik bölümünde doçent doktor olarak görev yapmaktayken aynı zamanda Ceremika del Paraiso adında bir işletme kurmuştur. 1992 yılında Amerika’nın Oreoyaletine yerleşmiştir. O tarihten bu yana birçok teknoloji şirketinde yazılım mühendisi ve geliştirici olarak çalışmıştır. Öte yandan, kiraladığı bir stüdyoyu adeta bir laboratuvara dönüştürerek bir mühendis ve bilim insanı olarak, sırlama tekniklerini bilimsel olarak inceleyerek çalışmalarını sürdürmektedir. Sır bileşenlerini en küçük

ayrıntısına kadar hesaplayarak ölçümler yapmaktadır. Mükemmel bir sır reçetesine ulaşmayı amaç edinmiştir. Seramik yapmayı sevse de sırların moleküler mekaniğini daha çok sevdiği için birbirine karışmaz sırlar, öklidler, ampirik formüller ve faz diyagramları kullanarak birçok deneyler, bioksal ve trioksiyel karışımlar yapmaktadır (Foyston, 2005).



Görsel 3.7 Marians, "aventurin sırlı tabak", [URL-4](#), 2021

Clara Giorello:

Seramik sır sanatçısı ve araştırmacısıdır. Arjantin'in başkenti olan Buenos Aires'lidir. Clara, dünyanın dört bir tarafından seramik sır sanatçılarının oluşturduğu glazy.org adlı internet sitesinde Güney Amerikalı çömlekçiler için pişirme programları ve farklı alternatif malzemeler de dahil olmak üzere 350'den fazla resimli sır reçetesi ve bol miktarda notlar eklemiştir (Au, 2021).



Görsel 3.8 Giorello, "aventurin sırlı örnekler", 2019-2021, [URL-5](#), 2021

4. BAKIR CÜRUFUNUN TANIMI

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 cürufları 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 fayans üretiminde, inşaat sektöründe, yol çalışmalarında, beton ve çimento endüstrisinde kullanılmaktadır.

Cürufların karakterizasyonuna bakıldığında yapılan mikroskopik incelemeler sonucu bakır cüruflarının çoğunun iyi kristalleşmiş olduğu görülmüştür. Cürufların %95 veya daha fazlasını demir oksitler, alümina, kireç, silika ve magnezyum gibi oksitler oluşturur. Bakır cüruflarının kimyasal bileşimi fırın çeşidi, üretim süreci ve işletme koşullarına bağlı olarak değişim gösterse de karakteristik bir bakır cürufunun bileşimi %30-40 Fe, %35-40 SiO₂, % ≤ 10 CaO, % ≤ 10 Al₂O₃, %0.5-2 Cu şeklindedir (Gorai & Jana, 2003, s. 302).

4.1 Bakır Cürufunun Oluşum Süreci

Eti Küre Bakır tesislerine ait bakır sahalarından piritli bakır cevheri üretilmekte ve bakır cevherleri bakır konsantratör tesislerinde işlenerek bunlardan pirit ve bakır konsantresi elde edilmektedir.

Yer altından çıkarılan maden %2,5-3 oranında bakır içermektedir. Diğer kalan istenmeyen maddeler dönüştürüldüğünde ise %34'ü bakır olup diğerleri metalürji tesislerinde ayrıştırılmaktadır. %17,5 konsantreli bakır üretilmekte, geriye kalan atık taş ve topraktan oluşmaktadır. Ayrıştırma işlemi yapıldıktan sonra kalan taş- toprak ise atık barajlarında depolanmaktadır.

Fabrikanın üretim kapasitesi saatte 210 ton olmakla beraber atık miktarı saatte 90 tondur. Bakır üretim sürecinde iki çeşit atık ortaya çıkmaktadır. Bu süreç filtreleme aşamasında ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Madenlerin kimyasal çeşitliliği az olmasına rağmen maden atığının sürdürülebilirliği ve sürekliliği mevcuttur.



Görsel 4.1 Küre Dağlarından çıkarılan ham maden

Öğütme işlemi:

Küre Dağları'ndan elde edilen ham madenin (Görsel 4.1) öğütme işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk önce çubuklu değirmene atılan ham maden bu değirmen yardımı ile iri parçalara bölünmesi sağlanmaktadır (Görsel 4.2). Söz konusu işlemden geçirildikten sonra iri parçalı olan ham maden, bilyalı değirmenlere aktarılarak daha ufak parçacıklar haline getirilmektedir (Görsel 4.3).



Görsel 4.2 Çubuklu kırıcı öğütme makinası



Görsel 4.3 Bilyalı değirmen

Flotasyon (ayırıştırma) işlemi:

Öğütme işlemlerinden geçirilen ham maden flotasyon işlemi yapılmak üzere konsantratör birimine aktarılmaktadır (Görsel 4.4). Ham madenin içerisinde bulunan bakır mineralleri ve diğer mineraller aynı özellikleri göstermektedir. Bu sebeple mineralleri birbirinden kolaylıkla ayırıştırabilmek yalnızca zenginleştirme işlemi ile mümkün olmaktadır. Konsantratör bölümünde bulunan büyük üniteler içerisinde ham madende bulunan bakırı ayırştırmak için uygun kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallar vasıtası ile flotasyon hücrelerinde hava kabarcıkları oluşturarak bakırın hava kabarcıklarına yapışması ile yukarıya doğru taşınması gerçekleştirilmektedir.



Görsel 4.4 Flotasyon birimi

Filtre aşaması

Flotasyon işleminden sonra, bakır oranı yükseltilerek elde edilen maden, filtreleme işlemi yapılmak üzere filtrelere aktarılmaktadır (Görsel 4.5). Flotasyon işlemi sonucu elde edilen katı-sıvı karışımı bakır, filtreleme işlemi aracılığı ile sıvıdan süzülerek ayrıştırılmaktadır.



Görsel 4.5 Filtreleme işlem makinası

Filtreleme işleminden sonra iki çeşit atık ortaya çıkmaktadır.

1. Filtreleme işlemi sonucu elde edilen katı madde, firmanın işletmesine gönderilerek buradaki izabe işlemi sonucunda hammadde içindeki saf bakır ayrıştırılarak demir, kobalt ve silisyum bakımından zengin son atık olarak bakır cürufu elde edilmektedir. Bakır cürufunun kimyasal bileşimi Tablo 6.1' de verilmiştir.
2. Flotasyon işlemi sonucunda oluşan ara madde tekrar ayrıştırılarak demirkükürt (FeS_2) bileşiği ve ikinci atık olarak ortaya çıkan demir ve kükürt oranı yüksek son atık

olarak ayrılmaktadır. Oluşan bu son atıktaki kükürt oranı çok yüksek olduğu için 65 °C üzerindeki pişirimlerde aşırı miktarda zehirli kükürt dioksit (SO₂) bileşiği oluşturduğu için insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle söz konusu atık madde yüksek sıcaklıkta yapılan çalışmalarda kullanıma uygun değildir.

Tüm bu bilgiler ışığında tez çalışmasında, maden işletmesinde 1. Filtreleme işlemi sonucunda elde edilen son atık halindeki bakır cürufu kullanılmıştır.

4.2 Bakır Cürufunun Seramik Sır ve Bünyelerinde Kullanımı İle İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

Marghussian ve Maghsoodipoor (1999) çalışmalarında ilk kez sırsız yer karolarının formüle edilmesinde İran bakır cürufu kullanmışlar, standart yer karosu bünyesine ağırlıkça %20-80 oranlarında bakır cürufu eklemişlerdir. Numuneleri 1000, 1025, 1050 ve 1075 °C’ lerde 1’er saat pişirmişlerdir. Numunelere su emme, pişme küçülmesi XRD (X Işınları Difraksiyonu) eğilme mukavemeti gibi birtakım testler uygulamışlardır. Yaptıkları testler sonucunda 1025 °C’ de pişirilen %40 cüruf 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 analizler, metalürjik cüruflardan elde edilen firitin geleneksel firitte göre daha büyük çevresel avantaja sahip olduğunu göstermişlerdir (Khorassani, ve diğerleri, 2019).

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 porselenli çini bünyelerinde ve şeffaf seramik sırlarında kullanmışlardır. Numunelere yapılan çeşitli ölçümler

sonucunda, flotasyon atığının seramik bünye ve sırlarda siyah ve kahverengi pigment üretiminde demir kaynağı olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir (Özel, Turan, Çoruh, & Ergün, 2006).

Yang vd. (2013) açık renkli cam-seramikler elde etmeyi amaçlamışlardır. Öncelikli olarak bakır cürufundan demiri, indirgeyici atmosfer fırınında 1450 °C’ de eriterek ayırmayı başarmış, kalan cüruftan açık renkli cam-seramikler elde etmişlerdir. 900 °C ile 1100 °C arasındaki farklı sıcaklıklarda ısıtılan cam-seramiklerin kristalleşme kinetiği, kristal fazı ve mikroyapı ölçümleri yapmışlardır (DSC, FTIR, XRD, SEM). Yapılan ölçümlerde 950 °C’nin uygun sıcaklık olduğu belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, açık renkli cam-seramikler hazırlamanın ve bakır cürufundan demiri geri kazanmanın mümkün olduğunu göstermişler, böylelikle bakır cürufunun daha kapsamlı olarak kullanılabilirliğinin önünü açmışlardır (Yang, ve diğerleri, 2013).

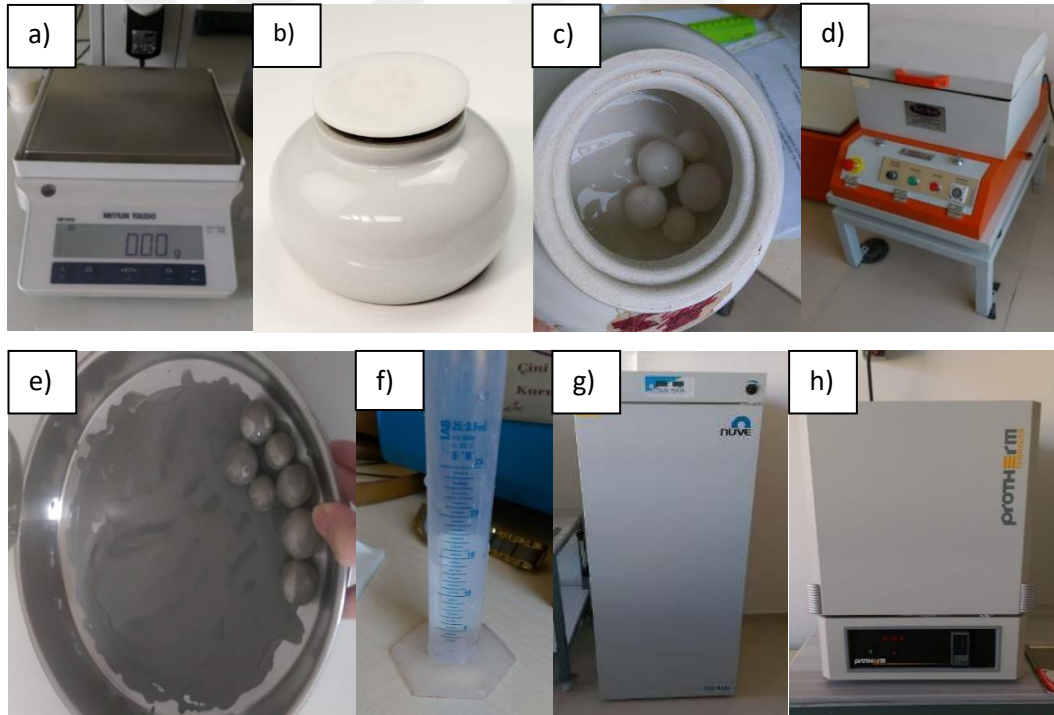
Çoruh, Ergun ve Cheng (2006) çalışmalarında Samsun Karadeniz Bakır Fabrikasından temin ettikleri bakır flotasyon atıklarını kullanmışlardır. Bakır flotasyon atıkları ve bunlardan elde ettikleri cam-seramik ürünlere XRD (X- Işın Analizi), SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), TCLP (Toksosite Karakteristiği Süzme Prosedürü) testleri uygulamışlardır. Uygulanan testler neticesinde ürünlerin kimyasal dayanıklılığının üst düzeyde olduğu, özellikle 850 °C / 2 saatte üretilen cam-seramiklerin inşaat ve yapı malzemesi olarak çok daha geniş bir uygulama alanına sahip olduğu görmüşlerdir. (Çoruh, Ergun, & Cheng, 2006).

Bu konuya ilişkin yapılan alan-yazın taramalarında ulaşılmış olan kaynaklarda bakır cürufunun daha önce aventurin sırlarda demir oksit yerine kullanılabilirliği ile ilgili herhangi bir araştırmaya konu olmadığı görülmüştür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Malzeme ve Yöntem

Sır denemeleri boyunca yapılan bütün tartımlarda Mettler Toledo ME1002 Max= 1200 gr. hassas terazi (Görsel 5.1 a), öğütme işlemlerinde Laboratuvar tipi 500 gr kuru madde kapasiteli alümina bilyeli porselen değirmen (Görsel 5.1 b-c) ve Ref-San marka 2016-189 seri numaralı jet değirmen (Görsel 5.1 d), 90 meşh'lik elek (Görsel 5.1 e), litre ağırlığı tartımlarında LAB 25:0,5ml lik plastik mezur (Görsel 5.1 f), sırlanan plakaların kurutulması aşamasında NUVE KD 400 marka etüv (Görsel 5.1 g) kullanılmış ve Protherm marka PLF 150/9 model numaralı laboratuvar tipi elektrikli fırında (Görsel 5.1 h) pişirimleri sağlanmıştır.



Görsel 5.1 Sır denemeleri süresince kullanılan cihazlar

Hazırlanan sırları uygulamak için kullanılacak olan plaka modeli, plastik seramik çamuru ile serbest şekillendirme yöntemi kullanılarak, planlanan ölçülere göre şekil verilmiş yüzeyi düzeltilerek her tarafında aynı özellikleri taşıması sağlanmıştır. Mevcut desen modelaj aletleri yardımıyla çamura aktarılmıştır. Sonraki aşamada, kalıp

yöntemi ile çoğaltılacak olan plakaların kalıptan çıkarılırken herhangi bir hataya sebebiyet vermemesi için açıları kontrol edilerek tamamlanmıştır. Kalıp büyüklüğü hesaplandıktan sonra belirlenen miktara göre bir kaba su konulup, üzerine su miktarına uygun alçı eklenmiştir. Hava kabarcığı olmamasına özen gösterilerek dikkatli bir şekilde karıştırılan alçı, modelin üzerine dökülmüştür. Bir süre alçının donması beklendikten sonra kalıplar çıkarılıp model ile birbirinden ayrılmıştır. Kalıplar temizlendikten sonra kurumaya bırakılmıştır. Görsel 5.2’ de hazırlanan alçı kalıp görülmektedir.



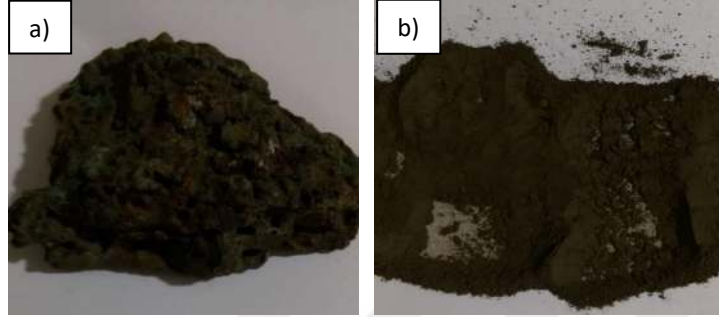
Görsel 5.2 Deneme plakaları için hazırlanan alçı kalıp

Deneyisel çalışmalar kapsamında, sırların uygulanacağı plakalar için Eczacıbaşı firmasından temin edilen plastik seramik çamuru kullanılmıştır. Plakalar, hazırlanan alçı-kalıp yöntemi ile çoğaltılmıştır (Görsel 5.3). Kurutma işleminin ardından rötüşü yapılan plakaların bisküvi pişirimleri 950 °C’ de gerçekleştirilmiştir.



Görsel 5.3 Alçı kalıpla çoğaltılmış ham plaka örneği

Çalışmanın temelini oluşturan bakır cürufu, Kastamonu Küre Eti Bakır Maden İşletmesi tesislerinden temin edilmiştir (Görsel 5.4 a). Yaklaşık 12 kg'lık bakır cürufu işletmenin kendi bünyesinde laboratuvar ölçekli çubuklu değirmende yaş olarak öğütülüp, laboratuvar tipi etüvde 100 °C' de kurutulmuştur (Görsel 5.4 b).



Görsel 5.4 Maden işletmesinden elde edilen bakır cürufu (a) ve öğütülmüş hali (b)

Tez süresi boyunca, sırların hazırlanması aşamasında oluşturulan bütün karışımlar, laboratuvar tipi 500 gr. kapasiteli bilyalı değirmende 20 dakika boyunca yaş öğütme işlemine tabi tutularak sır haline getirilmiştir. Öğütme işleminden sonra 90 meşh'lik elekten geçirilen sırlar temiz bir kaba alınmıştır. Sır denemelerinde kullanılmak üzere hazırlanan ve bisküvi pişirimleri yapılan plakalar, nemli bir sünger yardımı ile temizlenerek üzerindeki tozlardan ve yabancı maddelerden arındırılmış ve sırlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan sırlar, temizlenmiş plakalara akıtma yöntemi ile uygulanmış, uygulama esnasında plakadan taşan sır nemli bir sünger yardımı ile temizlenmiştir. Hazırlanan numuneler etüvde 100 °C' de 24 saat kurutularak pişirime hazır hale getirilmiştir.

Sır reçetelerinde kullanılmadan önce bakır cürufunun bileşiminde fazlaca bulunan ve gözle de görülebilen metalik demiri bakır cürufundan uzaklaştırmak için, çeşitli yöntemler denenmiştir. En uygun ve verimli yöntemin büyük hoparlör mıknatısı yardımı ile olduğu tespit edilmiştir. Görsel 5.5' de metalik demir azaltmak için kullanılan hoparlör mıknatısı görülmektedir. Bu işlem, bir kâğıt üzerine az miktarlarda, ince bir tabaka şeklinde serilen öğütülmüş toz halindeki bakır cürufunun, belirli bir mesafeden üzerinde mıknatısın gezdirilmesi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bakır cürufu metalik demir oranı azaltıldıktan sonra sır bünyelerinde kullanılmıştır.



Görsel 5.5 Cüruf içerisinde metalik demirin alınmasında kullanılan mıknatıs

Tezin amacı doğrultusunda, ilk aşamasında bakır cürufunun sırlar üzerinde meydana getirdiği etkiyi görebilmek için mevcut sırlara, bakır cürufu ilave edilerek renklendirilmiştir. Mevcut sırlardan parlak transparan, mat beyaz (opak) ve mat transparan sırlar seçilmiş, bu sırlara artan oranlarda bakır cürufu ilave edilerek 1030 ve 1050 °C' lerde elektrikli fırında pişirilmiştir. Mevcut sırların bakır cürufu kullanılarak renklendirilmesi doğrultusunda hazırlanan sırların yüzey özellikleri incelenmiştir.

İkinci aşamada, ikili ve üçlü sır sistemleri geliştirilmiştir. İkili sır sisteminde bakır cürufu, ergitici özelliği olan Na Feldspat, K Feldspat ve üleksit ile birlikte artan oranlarda kullanılarak 1020 °C' de pişirilmiştir. Pişirilen deneme plakaları yüzey özellikleri bakımından incelenmiştir.

Üçüncü aşamada üçlü sır sisteminde, reçeteyi oluşturan diğer hammaddeler artan ve azalan oranlarda kullanılırken, bakır cürufu %30 olarak sabit tutulmuş, reçeteye artı olarak eklenmiştir. Üçlü sır sisteminde oluşturulan sır reçeteleri, 1020-1050-1100 °C' ler olmak üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilmiştir.

Dördüncü ve son aşamada, pişirimleri yapılan sır reçeteleri arasından uygun yüzey özelliklerinde olanlar geliştirilerek aventurin sır reçetesi oluşturulmuş ve demir oksit yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Geliştirilen aventurin sır reçetelerine %10- %40 aralığında bakır cürufu eklenmiştir. Hazırlanan sırlar deneme plakalarına akıtma yöntemi ile uygulanarak 1100 °C' de pişirilmiştir.

5.2 Bakır Cürufu İlaveli Aventurin Sır Reçetelerinin Geliştirilmesi

5.2.1 Mevcut Sırların Renklendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında bakır cürufunun hazır sırlar üzerinde meydana getirdiği etkiyi görebilmek amacı ile parlak transparan, mat beyaz (opak), mat transparan sırlar seçilerek bu sırlara, %5-10-15-20-25 ve 30'u kadar bakır cürufu ilave edilmiştir. Parlak transparan (PT), mat beyaz (MB) ve mat transparan (MT) olarak kodlanmıştır. Örneğin, parlak transparanda %5 bakır cürufu ilaveli sırn kodu PT5 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan sırların reçete bileşimleri Tablo 5.1'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. Sır reçetelerindeki sıcaklıkla beraber yüzey özelliklerinin gelişimi bulgular ve tartışma bölümünde detaylı şekilde açıklanmıştır.

5.2.2 İkili Sır Sistemi

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 ki bakır cürufuna ek olarak, Na Feldspat, K Feldspat ve üleksit reçetelere eklenmiştir. Belirlenen oranlarda iki hammaddeli sır reçeteleri oluşturulmuştur. Na Feldspat kullanılan sistem N, K Feldspat kullanılan sistem K ve üleksit kullanılan sistem Ü olarak kodlanmıştır. Örneğin, %90 Na Feldspat, %10 üleksit ile hazırlanan reçete N1 olarak adlandırılmıştır. Reçete bileşimleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Mevcut sırların renklendirilmesi sır reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklığı 1030 ve 1050 °C

Karışım Kodları	Parlak Transparan	Mat Beyaz	Mat Transparan	Bakır Cürufu
PT5	95	-	-	5
PT10	90	-	-	10
PT15	85	-	-	15
PT20	80	-	-	20
PT25	75	-	-	25
PT30	70	-	-	30
MB5	-	95	-	5
MB10	-	90	-	10
MB15	-	85	-	15
MB20	-	80	-	20
MB25	-	75	-	25
MB30	-	70	-	30
MT5	-	-	95	5
MT10	-	-	90	10
MT15	-	-	85	15
MT20	-	-	80	20
MT25	-	-	75	25
MT30	-	-	70	30

5.2.3 Üçlü Sır Sisteminde Aventurin Sır Reçetelerinin Oluşturulması

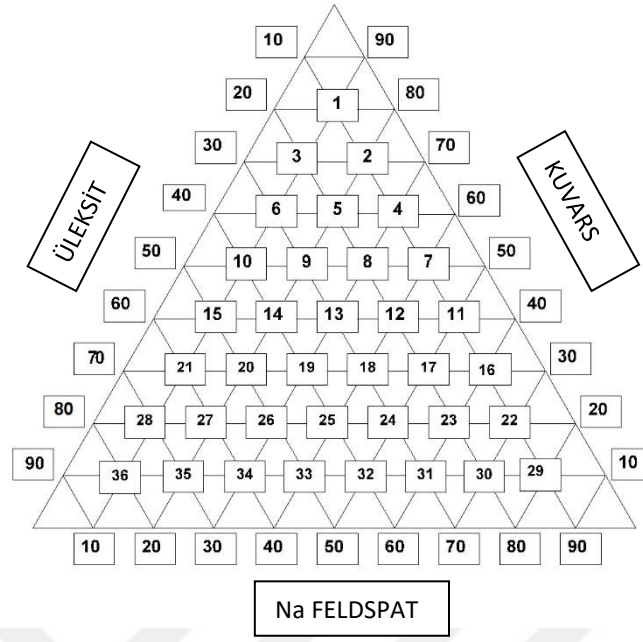
Çalışmanın üçüncü aşamasında, aventurin sır bünyesi araştırması kapsamında, bakır cürufunun yanı sıra üleksit, kuvars ve Na Feldspat kullanılarak 36 adet farklı sır bileşimi hazırlanmıştır. Hazırlanan reçetelerde bakır cürufu %30 olarak sabit tutulmuş ve reçeteye artı olarak girilmiştir. Sır reçeteleri Görsel 5.5’ de yer alan üçlü sisteme göre oluşturulmuş, reçete kompozisyonları ise Tablo 5.3’de verilmiştir.

5.2.4 Aventurin Sır Reçetelerinin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması

Yapılan çalışmalar sonucunda aventurin etki gösteren sır reçeteleri belirlenerek bu reçetelerden yeni sır reçeteleri geliştirilmiştir. Ayrıca bakır cürufu ve kırmızı demir oksit karşılaştırılarak atık malzemenin alternatif olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Oluşturulan sırların reçete bileşimleri Tablo 5.4’ de verilmiştir. Bakır cürufu kullanılan aventurin sır reçeteleri AB ve Fe₂O₃ kullanılan sır reçeteleri AF olarak adlandırılmıştır.

Tablo 5.2 İki hammaddeli sır reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklığı 1020 °C

Karışım Kodları	Na. Feldspat	K. Feldspat	Üleksit	BC
N1	90	-	-	10
N2	80	-	-	20
N3	70	-	-	30
N4	60	-	-	40
N5	50	-	-	50
N6	40	-	-	60
N7	30	-	-	70
N8	20	-	-	80
N9	10	-	-	90
K1	-	90	-	10
K2	-	80	-	20
K3	-	70	-	30
K4	-	60	-	40
K5	-	50	-	50
K6	-	40	-	60
K7	-	30	-	70
K8	-	20	-	80
K9	-	10	-	90
Ü1	-	-	90	10
Ü2	-	-	80	20
Ü3	-	-	70	30
Ü4	-	-	60	40
Ü5	-	-	50	50
Ü6	-	-	40	60
Ü7	-	-	30	70
Ü8	-	-	20	80
Ü9	-	-	10	90



Görsel 5.5 Üçlü diyagram

Tablo 5.3 Üçlü sırt diyagramı reçete bileşimi %. Pişirim sıcaklıkları 1020, 1050 ve 1100 °C

Karışım Kodları	Üleksit	Kuvars	Na Feldspat	BC
1	10	80	10	30
2	10	70	20	30
3	20	70	10	30
4	10	60	30	30
5	20	60	20	30
6	30	60	10	30
7	10	50	40	30
8	20	50	30	30
9	30	50	20	30
10	40	50	10	30
11	10	40	50	30
12	20	40	40	30
13	30	40	30	30
14	40	40	20	30
15	50	40	10	30
16	10	30	60	30
17	20	30	50	30

Tablo 5.3 devamı...

Karışım Kodları	Üleksit	Kuvars	Na Feldspat	BC
18	30	30	40	30
19	40	30	30	30
20	50	30	20	30
21	60	30	10	30
22	10	20	70	30
23	20	20	60	30
24	30	20	50	30
25	40	20	40	30
26	50	20	30	30
27	60	20	20	30
28	70	20	10	30
29	10	10	80	30
30	20	10	70	30
31	30	10	60	30
32	40	10	50	30
33	50	10	40	30
34	60	10	30	30
35	70	10	20	30
36	80	10	10	30

Tablo 5.4 Aventurin sır reçete bileşimine demir oksit ve bakır cürufu katkısı %.
Pişirim sıcaklığı 1100 °C

Karışım Kodları	Na. Feldspat	K. Feldspat	Kuvars	Üleksit	Kaolen	BC	Fe ₂ O ₃
STD	10	15	5	65	5	-	-
AB1	10	15	5	65	5	10	-
AB2	10	15	5	65	5	15	-
AB3	10	15	5	65	5	20	-
AB4	10	15	5	65	5	25	-
AB5	10	15	5	65	5	30	-
AB6	10	15	5	65	5	35	-
AB7	10	15	5	65	5	40	-
AF1	10	15	5	65	5	-	10
AF2	10	15	5	65	5	-	15
AF3	10	15	5	65	5	-	20
AF4	10	15	5	65	5	-	25
AF5	10	15	5	65	5	-	30
AF6	10	15	5	65	5	-	35
AF7	10	15	5	65	5	-	40

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Bakır Cürufunun Kimyasal Özellikleri ve Başlangıç Sır Uygulaması

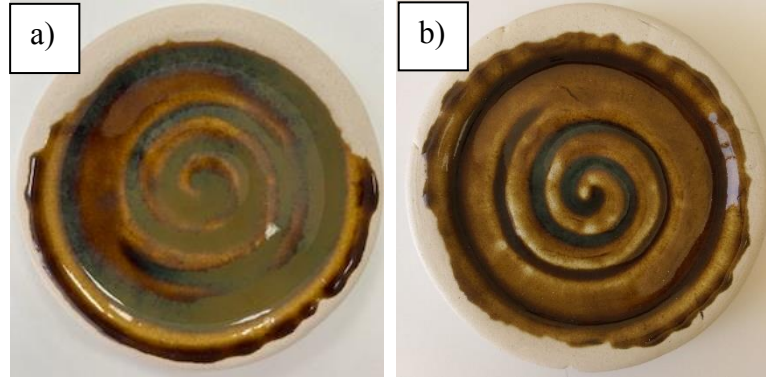
Sır reçetelerinde kullanılmak üzere öğütülen bakır cürufunun kimyasal analizi Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Küre Bakır İşletmesi bakır cürufu kimyasal bileşimi

Element-Oksitler	%	Element-Oksitler	%	Element-Oksitler	%
Cu	0,93	S	1,21	Mn	0,044
Zn	0,20	Au g/t	<0,10	Na	0,10
Co	0,33	Ag g/t	6,88	Al	1,52
SiO ₂	23,48	Pb	0,0024	K	0,37
Fe	43,73	Mo	0,0019	Ca	0,57
		Ba	0,008	Mg	0,58

Bakır cürufunun kimyasal analizi sonucunda bileşiminde yüksek oranda (%43,73) demir bulunduğu tespit edilmiştir.

İşletmeden temin edildiği haliyle bakır cürufunun sırlardaki etkisini görebilmek için parlak transparan sır reçetesinin içine %20 bakır cürufu ilave edilmiş ve 1020 °C’ de pişirilmiştir. Bakır cürufunun bileşiminde yüksek oranda bulunan metalik demirden dolayı pişirilen numunelerde bor tülü adı verilen sır hatasının meydana geldiği tespit edilmiştir (Görsel 6.1 a). Bu sır hatasını gidermek için hoparlör mıknatıs kullanılarak metalik demir laboratuvar koşullarında bakır cürufundan uzaklaştırıldıktan sonra transparan sır reçetesinde tekrar kullanılmış ve bor tülü hatasının ortadan kalktığı gözlenmiştir (Görsel 6.1 b).



Görsel 6.1 Bakır cürufundaki fazla metalik demir alınmadan önce (a) ve metalik demir alındıktan sonraki (b) yüzey görünümü

6.2 Mevcut Sırların Renklendirilmesi

Mevcut sırların bakır cürufu kullanılarak hazırlanan sırların yüzey görünüşleri Tablo 6.2’ de verilmiştir. Bütün sır kompozisyonları için 1030 ve 1050 °C’ de pişirimlerin sonucunda sıcaklık artışıyla yüzey özelliklerinde (renk, doku vb.) herhangi bir değişim gözlenmemiştir. PT sırların yüzeyleri parlak, %20 atık ilaveli PT20 kodlu sıra kadar pürüzsüzdür. Cüruf miktarı arttıkça PT25 ve PT30 kodlu sırlarda pürüzlenme ve kabarmalar meydana gelmiştir. Cüruf miktarı arttıkça özellikle %10 ilaveli PT10 kodlu numuneden sonra renk kırmızı kahve tonlarına dönmüştür.

Bakır cürufu kullanılan MB kodlu sırlarda, PT ve MB kodlu sırlardan farklı olarak MB5 kodlu numuneden sonra cüruf miktarı arttıkça sır yüzeylerinde renk griye dönmüştür. MB25 kodlu numuneye kadar sır yüzeyleri pürüzsüz ve saten dokuludur. %30 cüruf kullanılan MB30 kodlu numunede pürüzlenme tespit edilmiştir. MT kodlu sırlarda cüruf miktarı arttıkça kahverengi tonlarından acı kahveye doğru bir renk geçişi görülmüştür. MT20 kodlu numuneden sonra pürüzlü yüzeyler oluşmuştur.

Tablo 6.2 Mevcut sırlar ile geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

°C	PT0	MB0	MT0
1030			
1050			
°C	PT5	MB5	MT5
1030			
1050			
°C	PT10	MB10	MT10
1030			
1050			

Tablo 6.2 (Devam) Mevcut sırlar ile geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

°C	PT15	MB15	MT15
1030			
1050			
°C	PT20	MB20	MT20
1030			
1050			
°C	PT25	MB25	MT25
1030			
1050			

Tablo 6.3 (Devam) Mevcut sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

%20	PT	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MB	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MT	1030	*		*
		1050	*	*	*
%25	PT	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MB	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MT	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
%30	PT	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MB	1030	*	*	*
		1050	*	*	*
	MT	1030	*	*	*
		1050	*	*	*

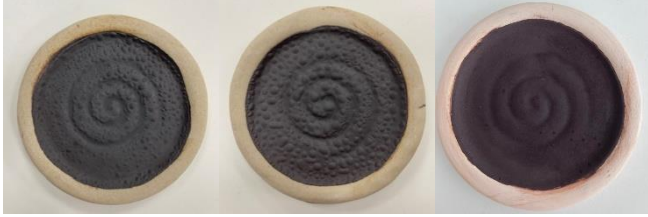
6.3 İkili Sır Sisteminde Geliştirilen Reçeteler

Sodyum Feldspat – bakır cürufu, potasyum Feldspat – bakır cürufu ve üleksit – bakır cürufu ikili sistemlerinin reçete bileşimleri sonuçlarının yüzey görünümü Tablo 6.4’de verilmiştir. K ve N kodlu ikili sır sistemleri karşılaştırıldığında %40 bakır cürufu ilaveli N4 kodlu numunede hatasız parlak bir yüzey görüntüsü mevcuttur. Fakat K kodlu bütün numunelerin yüzeylerinde pürüzlenme ve kabarma gibi sır hataları meydana geldiği tespit edilmiştir. Ü kodlu numunelerde %20 bakır cürufu ilavesinden (Ü2) %50 bakır cürufu ilavesine kadar (Ü5) aventurin etkiler net bir şekilde görülmektedir (Tablo 6.4). K ve N kodlu numunelerle karşılaştırıldığında Ü kodlu numunelerde aventurin etki görülmüştür. %50 bakır cüruf ilaveli Ü5 kodlu numuneden sonra matlaşma başlamaktadır fakat buna rağmen aventurin etki mevcuttur. %60 bakır cürufu ilavesinden sonra sır yüzeylerinde iğne delikleri hatası tespit edilmiştir.

Tablo 6.4 İkili sistemde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

Kod	1020 °C			BC %
	N	K	Ü	
1				%10
2				%20
3				%30
4				%40
5				%50
6				%60

Tablo 6.4 (Devam) İkili sistemde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

7		%70
8		%80
9		%90

İkili sistemde geliştirilen sırların sonuç özellikleri Tablo 6.5’ de özetlenmiştir. Tabloda verilen özelliklerin sırda varlığı (*) işareti kullanılarak belirtilmiştir.

Tablo 6.5 İkili sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

Reçete No								Renk			
	Aventurin	Mat	Parlak	Toplanma	Kavlama	Çatlama	Köpürme	Açıkkahve	Kahverengi	Kızılkahve	Koyukahve
N1			*				*		*		
K1			*				*			*	
Ü1			*					*			
N2			*				*		*		
K2			*				*			*	
Ü2	*		*						*		
N3			*				*		*		
K3			*				*			*	
Ü3	*		*								*
N4			*								*
K4		*					*				*
Ü4	*		*								*

Tablo 6.5 (Devam) İkili sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

Reçete No	Renk										
	Aventurin	Mat	Parlak	Toplanma	Kavlama	Çatlama	Köpürme	Açık kahve	Kahverengi	Kızıl kahve	Koyu kahve
N5		*					*				*
K5		*					*				*
Ü5	*	*									*
N6		*					*				*
K6		*					*				*
Ü6		*									*
N7		*					*				*
K7		*					*				*
Ü7		*								*	
N8		*					*				*
K8		*					*				*
Ü8		*								*	
N9		*									*
K9		*									*
Ü9		*								*	

6.4 Üçlü Sır Sisteminde Geliştirilen Reçeteler

Üleksit – sodyum feldspat – kuvars üçlü sır sistemine göre hazırlanan sırların yüzey görünümleri Görsel 6.6’ da verilmiştir.

1020, 1050 ve 1100 °C’ de pişirimleri gerçekleştirilen üçlü sır sistemine göre geliştirilen bakır cürufu ilaveli sır denemelerinin genel olarak tümünde aventurin oluşumları gözlenmiştir. Pişirim sıcaklığı arttıkça numunelerin renginde koyulaşma gözlenmiştir.

Üleksit, bor bileşiklerinden biridir. Cam yapıcı özelliğinden dolayı sırlarda tercih edilmektedir. İçerisinde alüminyum bulunmadığı için cam oluşturmamasının yanı sıra güçlü bir ergitici olarak bilinir. Sırın viskozitesini düşüren üleksit, içindeki bor renklendirici oksitler üzerinde güçlü çözücü etkiye sahiptir. Bu nedenle sır reçetelerinde üleksit miktarı %50’ lere kadar yükseldiğinde aventurin etki oluşumları gözlenmiştir. Yapılan çalışmada en net aventurin etki %60 üleksit içeren 21 ve 27 kodlu numunelerde gözlenmiştir.

Üleksitin yüksek oranda kullanıldığı (%70 – 90) numunelerde sır yüzeylerinde hatalar tespit edilmiştir. Hatalar, Tablo 6.6’ da 28-35 ve 36 kodlu numunelerin yüzey görünümünden açıkça belli olmaktadır.

Sır bileşiminde kuvarsın 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. Tablo 6.6’ da 1-10 kodlu numuneler arasındaki bütün reçete bileşimlerinde mat ve hatalı bir yüzey görülmektedir. Hazırlanacak olan aventurin sır reçetesinde kullanılması gereken kuvars miktarı maksimum %30 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.6 Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

Kod	1020 °C	1050 °C	1100 °C	Bileşimler (100gr)
1				%10 Üleksit %80 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
2				%10 Üleksit %70 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
3				%20 Üleksit %70 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
4				%10 Üleksit %60 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC

Tablo 6.6 (Devam) Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

5		%20 Üleksit %60 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
6		%30 Üleksit %60 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
7		%10 Üleksit %50 Kuvars %40 Na Feldspat +%30 BC
8		%20 Üleksit %50 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC
9		%30 Üleksit %50 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
10		%40 Üleksit %50 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC

Tablo 6.6 (Devam) Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

11		%10 Üleksit %40 Kuvars %50 Na Feldspat +%30 BC
12		%20 Üleksit %40 Kuvars %40 Na Feldspat +%30 BC
13		%30 Üleksit %40 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC
14		%40 Üleksit %40 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
15		%50 Üleksit %40 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
16		%10 Üleksit %30 Kuvars %60 Na Feldspat +%30 BC
17		%20 Üleksit %30 Kuvars %50 Na Feldspat +%30 BC

Tablo 6.6 (Devam) Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

18		%30 Üleksit %30 Kuvars %40 Na Feldspat +%30 BC
19		%40 Üleksit %30 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC
20		%50 Üleksit %30 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
21		%60 Üleksit %30 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
22		%10 Üleksit %20 Kuvars %70 Na Feldspat +%30 BC
23		%20 Üleksit %20 Kuvars %60 Na Feldspat +%30 BC
24		%30 Üleksit %20 Kuvars %50 Na Feldspat +%30 BC

Tablo 6.6 (Devam) Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

25		%40 Üleksit %20 Kuvars %40 Na Feldspat +%30 BC
26		%50 Üleksit %20 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC
27		%60 Üleksit %20 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
28		%70 Üleksit %20 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC
29		%10 Üleksit %10 Kuvars %80 Na Feldspat +%30 BC
30		%20 Üleksit %10 Kuvars %70 Na Feldspat +%30 BC
31		%30 Üleksit %10 Kuvars %60 Na Feldspat +%30 BC

Tablo 6.6 (Devam) Üçlü sır sisteminde geliştirilen reçetelerin karşılaştırmalı görselleri

32		%40 Üleksit %10 Kuvars %50 Na Feldspat +%30 BC
33		%50 Üleksit %10 Kuvars %40 Na Feldspat +%30 BC
34		%60 Üleksit %10 Kuvars %30 Na Feldspat +%30 BC
35		%70 Üleksit %10 Kuvars %20 Na Feldspat +%30 BC
36		%80 Üleksit %10 Kuvars %10 Na Feldspat +%30 BC

Üçlü sır sistemi kullanılarak denemesi yapılan sırların sonuç özellikleri Tablo 6.7' de verilmiştir. Tablo 6.7' de verilen özelliklerin sırda varlığı (*) işareti kullanılarak belirtilmiştir.

Tablo 6.7 Üçlü sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

Reçete No	Pişme Derecesi (°C)	Aventurin	Mat	Parlak	Toplanma	Kavlama	Çatlama	Köptürme	Renk			
									Açık Kahverengi	Kahverengi	Kızıl Kahve	Koyu Kahve
1	1020		*						*			
	1050		*								*	
	1100		*									*
2	1020		*								*	
	1050		*								*	
	1100		*								*	
3	1020		*					*				*
	1050		*					*				*
	1100		*					*				*
4	1020		*									*
	1050		*									*
	1100		*								*	
5	1020			*		*		*			*	
	1050			*		*		*				*
	1100			*		*		*		*		
6	1020	*		*		*		*				*
	1050	*		*		*		*			*	
	1100	*		*		*		*		*		
7	1020		*									*
	1050			*				*				*
	1100			*				*			*	
8	1020			*		*		*				*
	1050	*		*		*		*				*
	1100			*		*		*		*		
9	1020	*		*				*			*	
	1050	*		*				*			*	
	1100			*		*		*			*	
10	1020			*				*				*
	1050			*				*			*	
	1100			*				*				*
11	1020			*				*		*		
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		
12	1020			*				*		*		
	1050			*				*				*
	1100			*				*			*	

Tablo 6.7 (Devam) Üçlü sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

Reçete No	Pişme Derecesi (°C)	Aventurin	Mat	Parlak	Toplanma	Kavlama	Çatlama	Köptürme	Renk			
									Açık Kahverengi	Kahverengi	Kızıl Kahve	Koyu Kahve
13	1020			*							*	
	1050			*							*	
	1100			*				*			*	
14	1020			*				*		*		
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		
15	1020	*		*								*
	1050	*		*								*
	1100	*		*								*
16	1020			*				*				*
	1050			*				*		*		
	1100			*				*				*
17	1020			*				*				*
	1050			*				*	*			
	1100			*		*		*				*
18	1020			*				*				*
	1050	*		*				*	*			
	1100	*		*				*		*		
19	1020	*		*								*
	1050	*		*				*	*			
	1100			*				*		*		
20	1020	*		*								*
	1050	*		*				*				*
	1100	*		*				*				*
21	1020	*										*
	1050	*										*
	1100	*										*
22	1020			*				*				*
	1050			*				*				*
	1100			*				*				*
23	1020			*				*				*
	1050			*				*	*			
	1100			*				*		*		
24	1020			*				*				*
	1050			*				*	*			
	1100			*				*	*			
25	1020			*				*				*
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		
26	1020			*				*				*
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		

Tablo 6.7 (Devam) Üçlü sistemde geliştirilen sırların karşılaştırmalı sonuç özellikleri

Reçete No	Pişirme Derecesi (°C)	Aventurin	Mat	Parlak	Toplanma	Kavlama	Çatlama	Köpürme	Renk			
									Açık Kahverengi	Kahverengi	Kızıl Kahve	Koyu Kahve
27	1020	*		*								*
	1050	*		*								*
	1100	*		*								*
28	1020			*				*				*
	1050			*				*				*
	1100			*				*				*
29	1020			*				*		*		
	1050			*				*	*			
	1100			*				*	*			
30	1020			*				*				*
	1050			*				*	*			
	1100			*				*		*		
31	1020		*					*				*
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		
32	1020		*					*				*
	1050		*					*		*		
	1100		*					*	*			
33	1020			*				*				*
	1050			*				*		*		
	1100			*				*		*		
34	1020			*				*				*
	1050	*		*				*			*	
	1100			*				*				*
35	1020			*				*				*
	1050			*				*		*		
	1100		*					*				*
36	1020			*				*				*
	1050			*				*				*
	1100			*				*				*

6.5 Geliştirilen Aventurin Sır Reçetelerinin Karşılaştırılması

Standart aventurin sır reçete bileşimine demir oksit ve bakır cürufu katkısı ile 1100 °C’ de pişirimleri gerçekleştirilen sırların karşılaştırmalı görselleri Tablo 6.8’ de ve sırların sonuç özellikleri Tablo 6.9’ da verilmiştir. Tabloda verilen özelliklerin sırda varlığı (*) işareti kullanılarak belirtilmiştir.

Demir oksit ve bakır cürufu kullanılarak hazırlanan numunelerin yüzey özellikleri incelendiğinde (Tablo 6.8) genel olarak birbirleriyle aynı özellikleri gösterdikleri görülmektedir. %10' dan %40' 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 oluşumu demir oksitte olduğu kadar bakır cürufunda da son derece başarılı sonuç vermiştir. Demir oksitte %25 ilave ile aventurin oluşurken bakır cürufunda %30 ilave ile aventurin oluşumu gerçekleşmiştir.

Tablo 6.8 Demir oksit ve bakır cürufu katkılı aventurin sır reçetesi karşılaştırmalı görselleri

Kod	1100 °C	Bileşimler %
STA		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen
AB1		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%10 BC
AF1		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%10 Fe ₂ O ₃

Tablo 6.8 (Devam) Demir oksit ve bakır cürufu katkılı aventurin sır reçetesi karşılaştırmalı görselleri

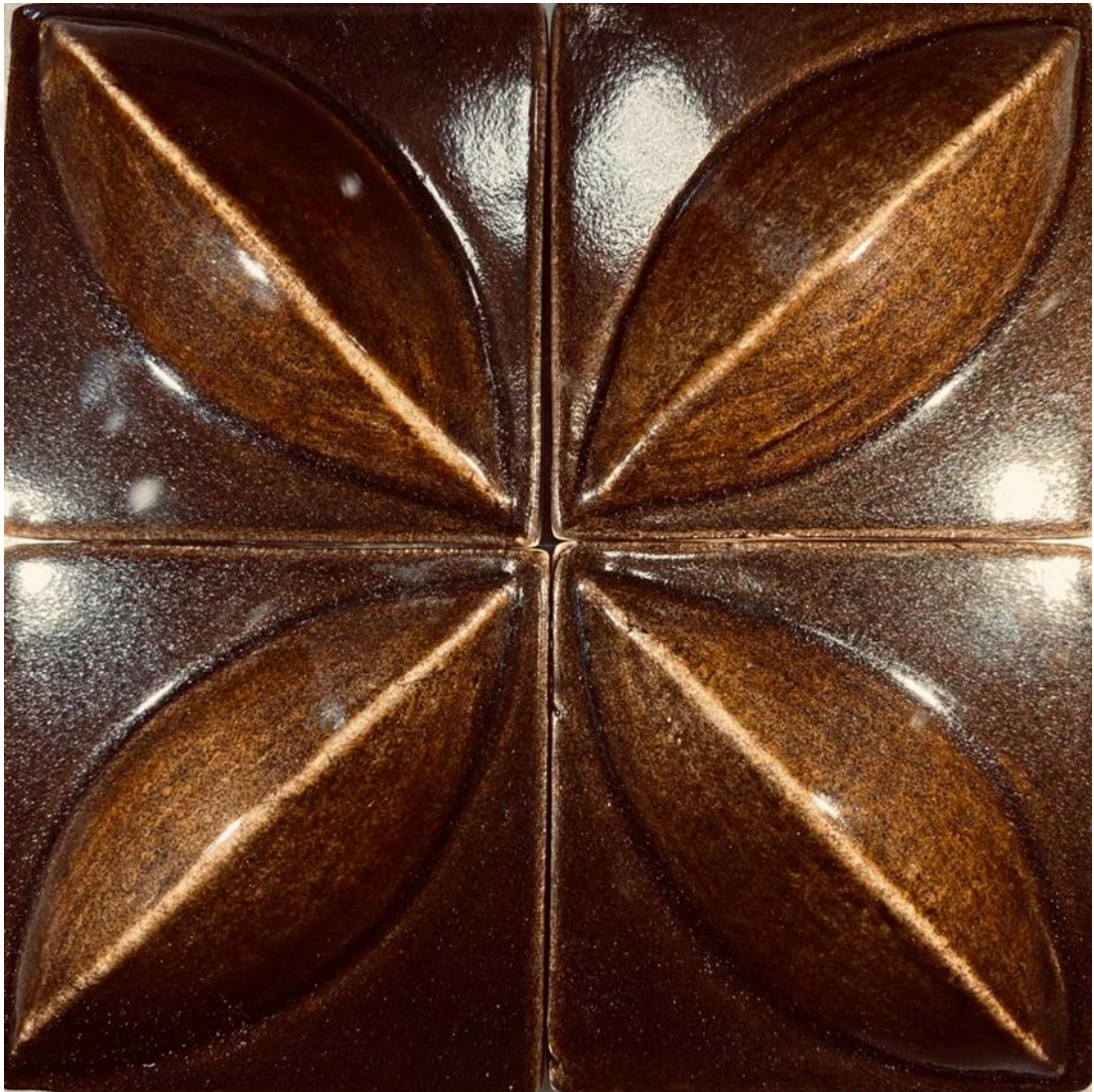
AB2		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%15 BC
AF2		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%15 Fe ₂ O ₃
AB3		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%20 BC
AF3		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%20 Fe ₂ O ₃
AB4		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%25 BC
AF4		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%25 Fe ₂ O ₃

Tablo 6.8 (Devam) Demir oksit ve bakır cürufu katkılı aventurin sır reçetesi karşılaştırmalı görselleri

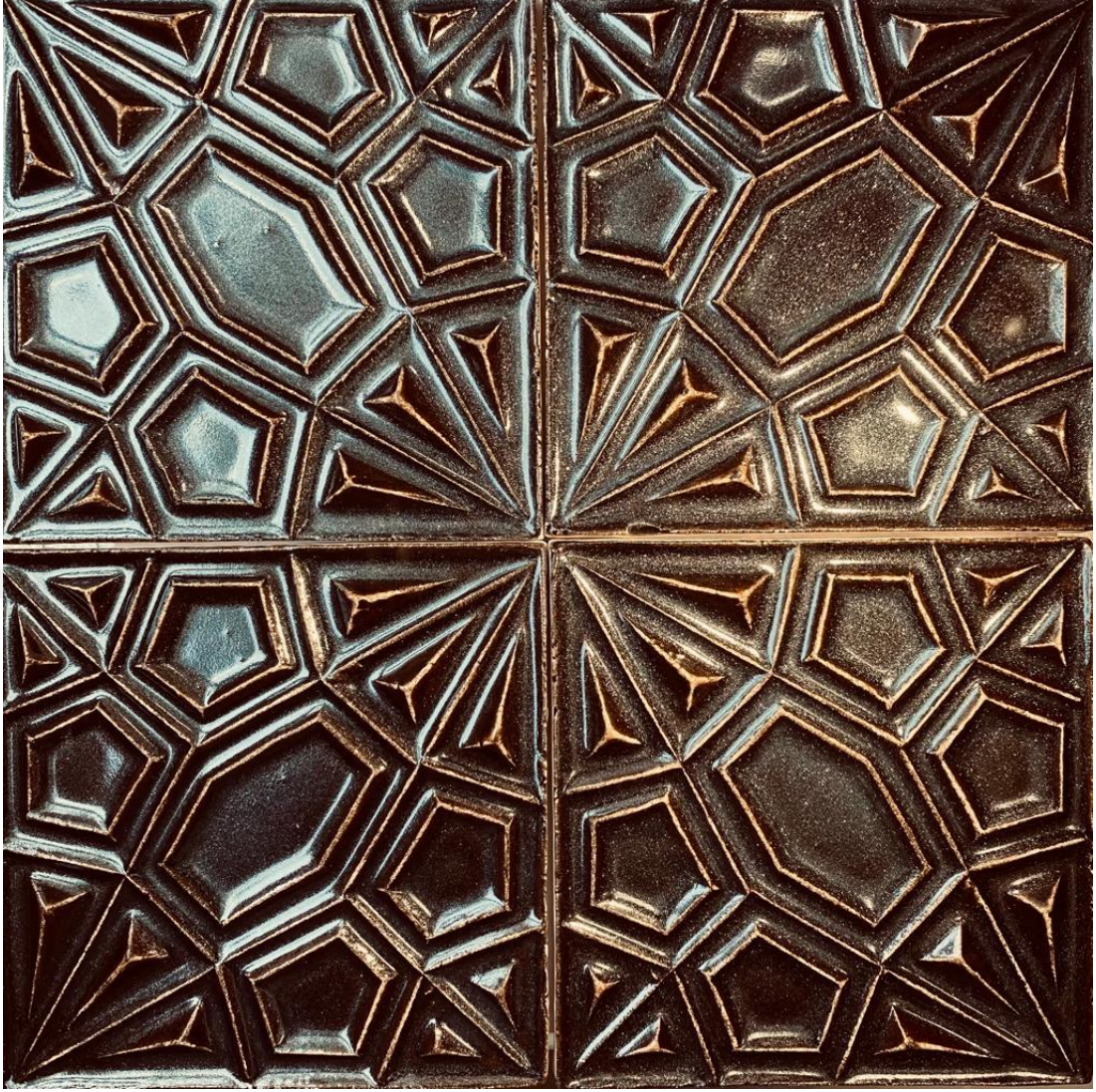
AB5		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%30 BC
AF5		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%30 Fe ₂ O ₃
AB6		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%35 BC
AF6		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%35 Fe ₂ O ₃
AB7		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%40 BC
AF7		%10 Na Feldspat %15 K Feldspat %5 Kuvars %65 Üleksit %5 Kaolen +%40 Fe ₂ O ₃

7. SERAMİK UYGULAMALAR

Seramik panolara uygulamak üzere geliştirilen aventurin sır reçetelerinden AB5 kodlu sır reçetesi seçilmiş ve 1100 °C’ de pişirilmiştir. Seçilen sır reçetesi iki ayrı form üzerine farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. Görsel 7.1’ de ince olarak uygulanan panonun yüzey görünümü verilmiştir. Sır yüzeyinde aventurin etkiler görülmektedir. Görsel 7.2’ de kalın olarak uygulanan sırlı pano ve ayrıntılı detayları görülmektedir.



Görsel 7.1 AB5 kodlu sır reçetesinin seramik pano üzerindeki yüzey görünümü,
1100 °C, 13 x 13 cm, 2022



Görsel 7.2 AB5 Kodlu sır reçetesinin farklı seramik form üzerindeki görünümü,
1100 °C, 30 x 30 cm, 2022



Görsel 7.3 Sırlı pano yüzeyinden detaylar

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu 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.

İşletmeden temin edildiği haliyle bakır cürufunun sırlarda işlem görmeden kullanılabilirliğini araştırmak için parlak transparan sır reçetesinin içine %20 bakır cürufu ilave edilmiş ve 1020 °C’ de pişirilmiştir. Bakır cürufunun bileşiminde yüksek oranda bulunan metalik demirden dolayı pişirilen numunelerde bor tülü adı verilen sır hatasının meydana geldiği tespit edilmiş ve bu sır hatasını gidermek için hoparlör mıknatısı kullanılarak metalik demir bakır cürufundan uzaklaştırıldıktan sonra transparan sır reçetesinde tekrar kullanılmış ve bor tülü hatasının ortadan kalktığı gözlenmiştir. Daha sonraki yapılan tüm sır denemelerinde hoparlör mıknatısı kullanılarak metalik demiri azaltılan bakır cürufu kullanılmıştır.

Mevcut sırların bakır cürufu kullanılarak renklendirilmesi 1030 ve 1050 °C’ de pişirimlerin sonucunda sıcaklık artışıyla yüzey özelliklerinde (renk, doku vb.) herhangi bir değişim gözlenmemiştir. %20 cüruf ilaveli PT20 kodlu sıra kadar yüzeyler pürüzsüzdür. Cüruf kullanım miktarı arttıkça PT25 ve PT30 kodlu sırlarda pürüzlenme ve kabarmalar gibi sır hataları meydana gelmiştir. PT10 kodlu numuneden sonra renk kıvılcık kahve tonlarına dönmüştür. MB kodlu sırlarda, PT ve MB kodlu sırlardan farklı olarak MB5 kodlu numuneden sonra cüruf miktarı arttıkça sır yüzeylerinde renk griye dönmüştür. 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.

İkinci aşamada, bakır cürufunun ikili sistemlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. K ve N kodlu ikili sır sistemleri karşılaştırıldığında %40 bakır cürufu ilaveli N4 kodlu numunede hatasız parlak bir yüzey görüntüsü mevcuttur. Fakat K kodlu bütün numunelerin yüzeylerinde pürüzlenme ve kabarma gibi sır hataları meydana geldiği tespit edilmiştir. Ü kodlu numunelerde %20 bakır cürufu ilavesinden %50 bakır cürufu ilavesine kadar (Ü5) aventurin etkiler net bir şekilde görülmektedir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında üleksit–sodyum feldspat–kuvars üçlü sır sistemine göre hazırlanan sırlar 1020, 1050 ve 1100 °C’ de pişirimleri gerçekleştirilmiştir. Üçlü sır sistemine göre geliştirilen bakır cürufu ilaveli sır denemelerinde genel olarak tüm sıcaklıklarda aventurin oluşumları gözlenmiştir. Pişirim sıcaklığı arttıkça numunelerin renginde koyulaşma gözlenmiştir. Üleksit, cam yapıcı özelliğinden dolayı sırlarda tercih edilmektedir. 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 21 ve 27 kodlu numunelerde gözlenmiştir. Üleksitin yüksek oranda kullanıldığı (%70 – 90) numunelerde sır yüzeylerinde hatalar tespit edilmiştir. 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 reçetelerinde kullanılması gereken kuvars miktarı maksimum %30 olarak belirlenmiştir.

Standart aventurin sır reçete bileşimine demir oksit ve bakır cürufu katkısı ile 1100 °C’ de pişirimleri gerçekleştirilen sırların yüzey özellikleri incelendiğinde birbirleriyle aynı özellikleri gösterdikleri görülmektedir. %10’ dan %40’ a kadar 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 oluşumu demir oksitte olduğu kadar bakır cürufunda da son derece başarılı sonuç vermiştir. Demir oksitte %25 ilave ile aventurin etki oluşurken bakır cürufunda %30 ilave ile aventurin oluşumu gerçekleştiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ışığında elde edilen bulgular bakır cürufunun seramik sanatında, sırlarda sadece renklendirici hammadde olarak kullanılabileceği gibi aventurin sır reçetelerinde de kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca bakır cürufunun, sadece aventurin değil görsel ve sanatsal etkisi yüksek sırlar elde edebilmek için de kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

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 nasıl yüzeyler elde edilebileceği konusunda araştırma ve denemeler yapılabilir. Aynı zamanda farklı çamur bünyeler üzerinde bakır cürufu ilaveli aventurin sır denemeleri uygulanarak bu bünyeler üzerinde çalışılabilir.



KAYNAKLAR

- Acartürk, B. (2012). Mısır (pastası) çamurlarında kuru ve sulu sementasyon yöntemleri ile pişirim. *Eskişehir Tepebaşı Belediyesi* (s. 9-22). Eskişehir: 6. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu. <http://pismistoprak.tepebasi.bel.tr/bildiriler/bildiri6.pdf>.
- Ağıl , A., & Karasu, B. (2019). Lüsterli sırların karakterizasyonuna genel bir bakış. *El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 51-79. <https://doi.org/10.31202/ecjse.454149>
- Arcasoy, A. (1983). *Seramik teknolojisi*. Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları.
- Au, D. P. (2021, Nisan 13). Clara Giorrello-Derek Philip Au. *Derek Philip Au*. <https://www.derekau.net/blog/2019/04/13/clara-giorrello>
- Çoruh, S., Ergun, O. N., & Cheng, T.-W. (2006). Treatment of copper industry waste and production of sintered glass-ceramics. *Sage Journals*, 24(3), 234-241. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X06062690>
- Eppler R., A. (2000' den aktaran Yapıncak Göncü 2006, s.2). Glazes and glass coating. 142. Ohio: Am. Cer. Soc
- Foyston, J. (2005, Ağustos 25). Carol Marians. *carol.knighten.org*. <http://carol.knighten.org/AboutCarolMarians.html>
- Genç, P. (1994). *Aventurin oluşturabilen bakır, demir ve krom oksitlerle yapılan sır araştırmaları (1000C- 1200C)*. [Sanatta Yeterlilik Tezi, Anadolu Üniversitesi]. Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- Genç, S. (2013). *Artistik seramik sırları*. Boyut Matbaacılık.
- Genç, S., & Erel, E. B. (2019). Oil spot (yağ benekli) sırların araştırılması ve geliştirilmesi 1200° C. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 274-285. <https://doi.org/10.20488/sanattasarim.691136>
- Genç, S., & Kurt, T. (2017). Etibank Bandırma Boraks Fabrikası atığının aventurin sır bünyelerinde alternatif hammadde olarak kullanımı. *Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 10(19), 187-202. <https://doi.org/10.21602/sduarte.277889>
- Genç, S., & Taçyıldız, E. (2012). Farklı bünyeler üzerinde raku sırlarının araştırılması. *Sanat Ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 42-59.

- Gorai, B., & Jana, R. (2003). Characteristics and utilisation of copper slag- a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 39(4), 299-313. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00171-4](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00171-4)
- Göncü, Y. (2006). *ZnO içeren atıkların kristal sırlarda kullanımının incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi]. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Hopper, R. (1984'den aktaran Zeynep Taşkın, 2009, s.4). *The Ceramic Spectrum*. U.S.A: Krause Publications.
- İn, H. (2014). *Seladon sırları*. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi]. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- İşman, F. (1969' dan aktaran Emel Mülayim 1999, s. 4). Seramik teknolojisi, sır, seramik boyaları ve seramik dekorasyon teknikleri. *Teknik Yayınlar Serisi*. İstanbul Devlet Tatbiki Güzel Sanatlar Yüksek Okulu.
- Karasu, B., & Sarıcaoğlu, B. (2019). Aventurin sırlarına genel bir bakış. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 140-155. <https://doi.org/10.31202/ecjse.460093>
- Kartal, A. (1998, aktaran Yapıncak Göncü, 2006). *Sır ve sırlama tekniği*. Çizgi Matbaacılık.
- Khorassani, S. M., Siligardi, C., Mugoni, C., Pini, M., Cappucci, G. M., & Ferrari, A. M. (2019). 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>
- Marghussian, V., & 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)
- Mirdalı, N. K., & İşler, F. (2008). Kromit atığının duvar karosu sırlarında renklendirici olarak değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 17(1), 11-21. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.315847>
- Mouhebatı, H., & Köseler, A. T. (2019). Püskürtme yöntemi ile seramik yüzeylerde altın lüster. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Özel Sayı*, 81-90.
- Mülayim, E. (1999). *Toplanmalı sırlar 1000c - 1200c*. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi] Eskişehir Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Özel, E., Turan, S., Çoruh, S., & Ergün, O. N. (2006). Production of brown and black pigments by using flotation waste from copper slag. *Sage Journals*, 24(2), 125-133. <https://doi.org/10.1177%2F0734242X06062690>

- Pekkan, K., Taşçı, E., & Gün, Y. (2015). Kristal Sır Uygulamalarında ZnO' İn Kristal Sır Gelişimine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi Cilt 30(2)*, 281-287. <https://doi.org/10.17341/gummfd.37523>
- Şölenay, E. (1995). *1000 C' de gelişebilen redüksiyonlu lüsterli sır araştırmaları*. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi] Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- Taşkın, Z. (2009). *Krakle ve toplanmalı sırlar üzerine bir araştırma*. [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Yang, Z., Lin, Q., Xia, J., He, Y., Liao, G., & Ke, Y. (2013). Preparation and crystallization of glass-ceramics derived from iron-rich copper slag. *Journal Of Alloys And Compounds*, 574, 354-360. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.05.091>

GÖRSEL KAYNAKÇA

- Acartürk, (2012), <http://pismistoprak.tepebasi.bel.tr/bildiriler/bildiri6.pdf>
- URL-1, (2020), <https://amp.onedio.com/haber/dogal-taslar-ve-insanlar-uzerinde-etkileri-446131>
- URL-2, (2021), <http://johnbrittpottery.blogspot.com/2014/07/aventurine-glazes-how-to-article.html>
- URL-3, (2021), <https://www.instagram.com/ziyarati.f/>
- URL-4, (2021), <http://carol.knighten.org/2016-GlazeTests/2016-07-25-aventurine/>
- URL-5, (2021), <https://glazy.org/u/giorello/recipes>
- URL-6, (2021), <https://glazy.org/recipes/948>
- URL-7, (2021), <https://glazy.org/u/giorello/recipes>
- URL-8, (2021), <https://glazy.org/u/giorello/recipes>