

Bor Türevi Atığı Katkılı Şeffaf Sırların Seramik Bünyeler Üzerine Uygulanması

Levent KÖROĞLU¹ ORCID 0000-0003-4696-1459

Ceren PEKŞEN^{*2} ORCID 0000-0002-3378-4804

Melike İNCE² ORCID 0000-0001-9893-8969

Erhan AYAS¹ ORCID 0000-0003-0592-3990

¹Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Samsun

Geliş tarihi: 13.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: KÖROĞLU, L., PEKŞEN, C., İNCE, M., AYAS, E., (2022). Bor Türevi Atığı Katkılı Şeffaf Sırların Seramik Bünyeler Üzerine Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 1031-1038.

Öz

Çalışmanın amacı, seramik bünyeler üzerine uygulamak üzere şeffaf sırların bor türevi atığının katılanması ile daha ekonomik ve çevreci bir yöntem ile üretimidir. Bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırları üretilmiş ve bu sırlar üretilen seramik bünyeler üzerine fritleme yapılmadan doğrudan uygulanmıştır. Değişken pişirme sıcaklığı (950 °C-1150 °C) ve atık katkı oranına (0-15 %ağ.) bağlı olarak XRD ve spektrofotometre kullanılarak sırların faz gelişimleri ve optik özellikleri incelenmiştir. 950 °C'de üretilen sırlarda görülen adacık kusuru ve iğne deliği yüzey hataları 1150 °C'de tüm sırların yapısının tamamen amorflaşması ile giderilmiştir ve atık katkılı sırların parlaklık değerleri artmıştır. Düşük sıcaklıklarda atık miktarı ile artan diopsit fazı parlaklık (60°) değerlerinde azalmaya ve beyazlık (L*) değerlerinde artışa sebep olmuştur. Özetle, 1150 °C'de pişirim yapıldığında %5 atık katkılı sırların parlaklık ve beyazlık değerleri (56,6 ve 87,7) katkısız sıra (49,4 ve 85,3) kıyasla daha yüksektir. Üretilen düşük maliyetli ve çevre dostu bor atığı katkılı sırlar sanatsal seramik çalışmalarında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Şeffaf seramik sır, Seramik bünye, Bor türevi atığı, Faz gelişimi, Optik özellikler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ceren PEKŞEN, cpeksen@omu.edu.tr

Application of Boron Derivative Waste Containing Transparent Glazes on Ceramic Bodies

Abstract

The study aims to produce transparent ceramic glazes to be applied on ceramic bodies via cost-effective and eco-friendly method by incorporation of boron derivative waste. The boron derivative waste incorporated transparent ceramic glazes were produced and applied on the bodies without frit preparation. Phase evolution and optical properties of glazes were investigated using XRD and spectrophotometer with varying parameters such as firing temperature (950 °C-1150 °C) and waste content (0-15 wt.%). Crawling defect and pinholes identified on glaze surfaces at 950 °C were eliminated by full amorphization of crystalline phases at 1150 °C and, gloss values increased. At lower firing temperatures, the crystalline diopside content increased with waste ratio reduced gloss (60°) values and rise whiteness (L*) values. In briefly, gloss and whiteness values of 5 % waste incorporated glaze (56.6 & 87.7) are higher than these of neat-glaze (49.4 & 85.3) at 1150 °C. The low-cost and environmentally friendly boron derivative waste containing transparent glazes can be used in artistic ceramic works.

Keywords: Transparent ceramic glazes, Ceramic bodies, Boron derivative waste, Phase evolution, Optical properties

1. GİRİŞ

Türkiye; 3,3 milyon tonluk toplam kapasitesi ile dünyadaki bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahiptir. Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya olmak üzere belirli bölgelerde bor yatakları bulunmaktadır. Bor minerali olan boraks pentahidratın ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) tamamına yakını tıncal minerallerinin zengin olduğu Eskişehir'deki Eti Maden İşletmeleri Kırka Fabrikası'nda üretilmektedir. Boraks pentahidrat 20. yüzyıldan itibaren seramik, cam, tarım, yalıtım, tekstil, deterjan, inşaat vb. farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Tıncal minerallerinden boraks pentahidratın üretimi sırasında binlerce ton atık ortaya çıkmaktadır. Atıklarının büyük miktarlarda birikmesi, maliyetli depolama sorunlarına ve ciddi çevre kirliliğine neden olmaktadır [1-3]. Bu nedenle bor atıklarının değerlendirildiği birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmalar çoğunlukla, ham atık veya ısıl işlem görmüş atıkların katılanması veya doğrudan kullanılması ile geleneksel seramikler [2,4-6], seramik sırlar [7-10], biyoseramikler [3] ve çimento harçlarının [1,11] üretimine dayanmaktadır.

Seramik sırların üretimine odaklanan dört çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ikisinde [7,9], borik asit (H_3BO_3) yerine bor oksit (B_2O_3) içeren boraks konsantratör atığı frit kompozisyonu içerisine eklemiştir. 1450 °C'de hazırlanan frit öğütüldükten sonra angoplu duvar karosu ticari bünyelerin üzerine uygulanmıştır. Diğer iki çalışmada ise [8,10], bor oksit kaynağı olarak kullanılan boraks konsantratör atığı ve bor türevi atığı ile katılanmış frit kompozisyonları 1500 °C'de hazırlanmış, öğütülmüş ve ardından porselen karosu ticari bünyelerin üzerine uygulanmıştır.

Bu çalışmada, seramik bünyeler üzerine uygulamak üzere şeffaf seramik sırların bor türevi atığının katılanması ile daha ekonomik ve çevreci bir yöntem ile üretimi amaçlanmıştır. Eti Maden İşletmeleri Kırka Boraks Fabrikası'ndan temin edilen bor türevi atığı şeffaf seramik sır kompozisyonuna katılanmış, hazırlanan kompozisyon öğütülmüş ve ardından üretilen seramik bünyelerin üzerine uygulanmıştır. Bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırlar seramik bünye üzerine bu çalışma ile ilk defa uygulanmıştır. Ayrıca, literatürden farklı olarak yüksek sıcaklıklarda ergitme ve hızlı soğutma işlemlerini içeren frit hazırlama prosedürü elimine edilmiştir. Çalışma kapsamında, bünye pişirim

sıcaklığı (950 °C - 1150 °C) ve bor türevi atık miktarının (ağırlıkça %0-15), şeffaf seramik sırlarının faz gelişimi ve optik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Bünyelerin Üretimi

Hammadde olarak ticari seramik kuru döküm çamuru (İkizler Seramik) kullanılmıştır. Seramik çamur 25x25 mm boyutlarında presle şekillendirilerek, 800 °C'de elektrikli fırında 10 °C/dak ısıtma hızı ile 1 saat bisküvi pişirmine tabi tutulmuştur.

2.2. Sırların Üretimi

Eti Maden İşletmeleri Kırka Boraks Fabrikası'ndan temin edilen bor türevi atığı doğrudan şeffaf seramik sırlara katılanmıştır. Bor türevi atığının katılanma oranları ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15'tir. Hazırlanan sır kompozisyonları, bilyeli değirmen kullanılarak sulu ortamda 30 dakika boyunca öğütülmüş ve elekten geçirilerek 800 °C'de fırınlanmış bünyelerin yüzeylerine daldırma tekniği kullanılarak uygulanmıştır [12].

2.3. Sırlı Bünyelerin Pişirimi

Sırların bünye yüzeylerine uygulanmasının ardından, sırlı bünyeler elektrikli fırın kullanılarak 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C'de 1 saat süresince bekletilerek pişirilmiştir. Isıtma hızı 10 °C/dk'dır. Numune isimleri "TSx-y" olarak kodlanmıştır; x, sır kompozisyonuna katılan ağırlıkça % bor türevi atığı miktarını ve y, pişirim sıcaklığını temsil etmektedir. Bir önceki çalışmada belirtildiği üzere seramik bünyeler kuvars (SiO₂), albit (NaAlSi₃O₈) ve mullit (Al₆Si₂O₁₃) kristal fazlarından oluşmaktadır [13].

2.4. Karakterizasyon

Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu X-Işını Floresansı (XRF) tekniği (Primus ZSX, Rigaku) kullanılarak ve bor türevi atığı içerisindeki bor oksit (B₂O₃) miktarı ise Seramik Araştırma Merkezi (SAM, Eskişehir)'nde gerçekleştirilen titrasyon metodu uygulanarak belirlenmiştir. Şeffaf seramik sır, bor türevi atığı ve farklı sıcaklıklarda pişirilmiş şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerinin kalitatif faz analizi, X-Işını Kırınım cihazı (XRD; Miniflex 600, Rigaku) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şeffaf seramik sırların parlaklık (60°) ve renk değerleri, spektrofotometre (CM-2300d, Konica Minolta) kullanılarak 360-740 nm dalga boyu aralığında ölçülmüştür.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

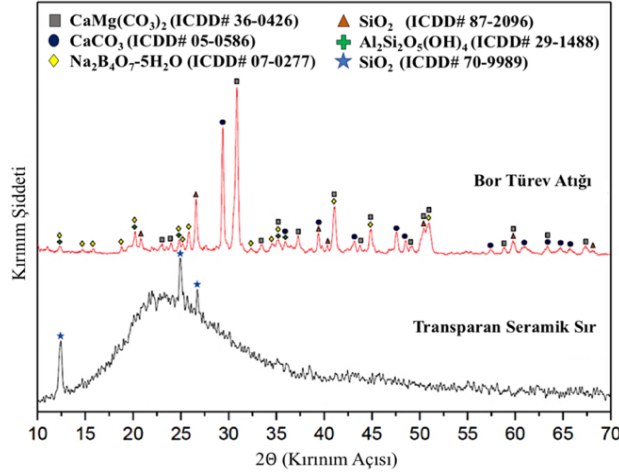
3.1. Şeffaf Seramik Sır ve Bor Türevi Atığının Karakterizasyonu

Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmiştir. Şeffaf seramik sır, başlıca SiO₂, Al₂O₃ ve CaO bileşiklerini içermektedir. Bor türevi atığı ise başlıca SiO₂, CaO, MgO, B₂O₃ ve Na₂O bileşiklerini bünyesinde barındırmaktadır. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının XRD desenleri Şekil 1'de verilmiştir. Tranparan seramik sır kuvars (SiO₂) fazını içerirken, bor türevi atığı ise dolomit (CaMg(CO₃)₂), kalsit (CaCO₃), kuvars, boraks pentahidrat (tinkalkonit, Na₂B₄O₇·5H₂O) ve kaolinit (Al₂Si₂O₅(OH)₄) kristal fazlarını içermektedir. Şeffaf seramik sırların XRD desen eğrisindeki tümseklik (hump) tozun kısmi olarak amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir [12].

Çizelge 1. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının kimyasal kompozisyonu (m.%ağ.).

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O	BaO	K ₂ O
Sır	69,0937	12,7568	8,7214	1,1253	-	2,1234	3,4473	1,0998
Atık	18,9267	2,3140	18,4677	13,5513	7,50	5,2884	0,6627	0,7141
Oksit	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	CuO	Cs ₂ O	Cr ₂ O ₃	
Sır	0,2015	0,1821	0,0278	0,0627	-	-	-	
Atık	0,9111	0,0763	0,7656	0,0246	0,0116	0,1968	0,0383	

Isı Kaybı (1000 °C): 1,1580 (sır); 29,7780 (atık)

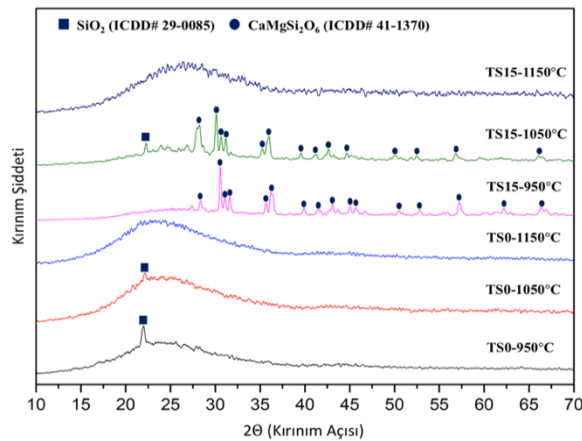


Şekil 1. Şeffaf seramik sır ve bor türevi atığının XRD desenleri

3.2. Şeffaf Seramik Sırların Faz Gelişimi

Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça %0 ve %15 atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerine ait XRD desenleri Şekil 2’de verilmiştir. TS0-950 °C ve TS0-1050 °C sırları bünyesinde kuvars (SiO₂) kristal fazı yer almaktadır. Pişirim sıcaklığının 1150 °C’ye yükselmesi ile birlikte katkısız şeffaf seramik sırın yapısı tamamen amorflaşmıştır. %15 atık katkılı sırların XRD deseni incelendiğinde 950 °C ve 1050 °C’de majör olarak diopsit (CaMgSi₂O₆) ve minör olarak kuvars kristal fazları tespit edilmiştir. 700 °C üzerinde bor türevi atığında meydana gelen

faz dönüşümleri sonucunda Ca-Mg-Si esaslı oksit fazların oluşabildiği bilinmektedir [3]. TS15-1050 °C numunesi majör diopsit fazını ve minör kuvars fazını içermektedir. 950 °C ve 1050 °C’lerde pişirilen TS0 ve TS15 sırları karşılaştırıldığında atık katkılanması etkili bir şekilde kristalleşmenin artmasına sebep olmuştur. Fakat sıcaklığın 1150 °C’ye artırılması ile birlikte TS0-1150 °C numunesinde olduğu gibi yapı tamamen amorflaşmıştır. Bor türevi atığının yumuşama sıcaklığı yaklaşık 1080 °C olarak belirtilmiştir [3]. Dolayısıyla bu sıcaklıkta diopsit fazının amorflaşması mümkün olmuştur.

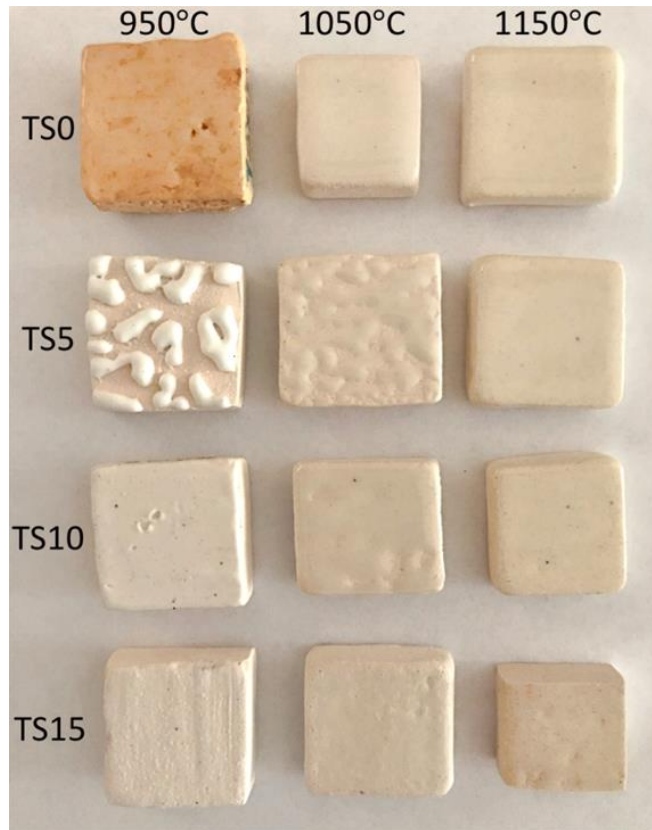


Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça %0 ve %15 atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin yüzeylerine ait XRD desenleri

3.3. Şeffaf Seramik Sırların Optik Özellikleri

Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça farklı oranlarda atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin dijital görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir. Pişirim sıcaklığının artması ile seramik sırlı matlığı belirgin oranda azalmaktadır. Bunun sebebi ise ışık yansımalarına sebep olan kristal fazların tamamen amorflaşmasıdır [13]. Ayrıca TS5-950 °C numunesinde seramik sırlı yüzeyde homojen olarak yayılmamıştır. Sırlı bünye yüzeyinde toplanması literatürde adacık kusuru (crawling defect) olarak tanımlanmaktadır. Adından da anlaşılacağı üzere sırlı bünye yüzeyini tamamen ıslatamadığı için toplanarak adacıkları oluşturmaktadır. Sırlı yüzey gerilimi, sırlı-bünye arasındaki bağ kuvveti ve sırlı

hızlı büzülmesi adacık kusuruna yol açan sebepler arasındadır [13]. %5'in üzerinde atık katkılı olduğunda ise iğne deliği (pinhole) hatalarının olduğu gözlenmiştir. Ham atık içerisinde yüksek oranda bulunan kalsit (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 650 °C üzerinde termal ayrışması gerçekleşmektedir [3]. İğne deliklerinin oluşumu termal ayrışma ile ortaya çıkan CO_2 gaz kabarcıkları ile ilişkilendirilmiştir. Pişirim sıcaklığının artışı ile sırlı yüzeyde daha homojen yayılması, azalan sırlı viskozitesi ile ilgilidir. Yeterli akışkanlığa sahip sırlı 1150 °C'de yüzeyi homojen bir şekilde kaplaması sonucunda bahsedilen yüzey hataları giderilmiştir.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklarda pişirilen ve ağırlıkça farklı oranlarda atık içeren şeffaf seramik sırlı bünyelerin dijital görüntüleri

Şeffaf seramik sırlı bünyelerin parlaklık (60°) ve renk değerleri Çizelge 2'de, sırdaki atık oranına ve

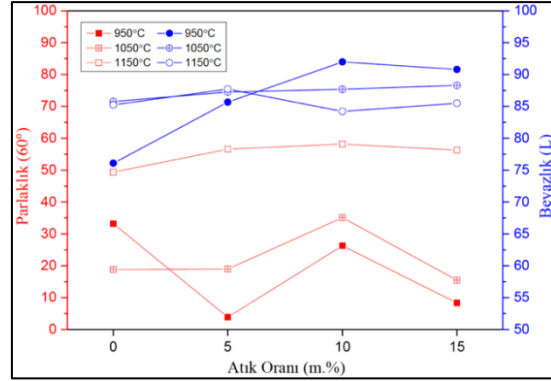
pişirim sıcaklığına bağlı parlaklık (60°) ve beyazlık (L^*) diyagramları ise Şekil 4'de verilmiştir. Katkısız sırlar arasında TS0-1150 °C, 49,4 ile en

yüksek parlaklık değerine sahip iken, TS5-1150 °C, TS10-1150 °C ve TS15-1150 °C numuneleri sırasıyla 56,6, 58,2, 56,3 değerleri ile daha yüksek parlaklığa sahiptir. Ayrıca, aynı oranda atık içeren sır numuneleri kendi arasında kıyaslandığında, pişirim sıcaklığının 1150 °C'ye yükselmesi sonucunda parlaklık değerlerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu iki durumun sebebi ise; 950 °C ve 1050 °C'de numunelerin ışık yansımalarına sebep olan kuvars veya diopsit kristal fazlarını içermesidir.

1150 °C'de ise sır yapısı tamamen amorflaşmakta, bor türevi atığı sır viskozitesini düşürmekte ve camı faz miktarını artırmaktadır. Bor türevi atığı, B₂O₃ başta olmak üzere yüksek miktarda ergitici ajan olarak görev yapan oksitleri içermektedir. Literatürdeki geleneksel seramiklerin ve seramik sırların üretimini içeren çalışmalarda [2,4-10], bor oksit içerikli bor atıkları; borik asit yerine kullanılmak, ergitici ajan olarak üretim sıcaklığını düşürmek ve camı faz miktarını arttırmak amaçlarıyla değerlendirilmiştir. TS5-950 °C yüzeyinde adacık kusurunun bulunması ve TS15-950 °C numunesinin yüksek atık oranı ile düşük pişirim sıcaklığının sonucu olarak yüksek kristallığe sahip olması parlaklık değerlerini oldukça düşürmüştür. Bahsedildiği üzere yüzey hataları ve kristallik, sırnın bünye yüzeyinde homojen olarak yayılmasını engellemekte ve sırnın matlığını arttırmaktadır [13].

Çizelge 2. Şeffaf seramik sırlı bünyelerin parlaklık (60°) ve renk değerleri

Numune Kodu	Parlaklık (60°)	L*	a*	b*
TS0-950 °C	33,2	76,09	10,86	24,54
TS0-1050 °C	18,8	85,77	2,24	8,19
TS0-1150 °C	49,4	85,24	1,71	10,56
TS5-950 °C	3,9	85,67	2,35	6,05
TS5-1050 °C	19,0	87,24	2,66	8,25
TS5-1150 °C	56,6	87,71	1,61	9,91
TS10-950 °C	26,3	91,99	1,49	4,53
TS10-1050 °C	35,1	87,69	2,49	9,06
TS10-1150 °C	58,2	84,22	2,18	11,59
TS15-950 °C	8,4	90,80	1,84	5,50
TS15-1050 °C	15,5	88,30	2,47	8,63
TS15-1150 °C	56,3	85,49	2,62	12,18



Şekil 4. Şeffaf seramik sırlı bünyelerin sırdaki ağırlıkça atık oranına ve pişirim sıcaklığına bağlı parlaklık (60°) ve beyazlık (L*) diyagramları

Sır numunelerinin beyazlık (L*) değerleri incelendiğinde TS0-950 °C numunesi hariç tüm numuneler yüksek beyazlığa sahiptir, L* değerleri 84,2-91,9 aralığında olup birbirine yakındır. Bünyelerin doğal beyaz rengi L* değerinin yükselmesine katkıda bulunmuş olabilir. %5 oranında atık katkılı olduğunda L* değerleri birbirine oldukça yakın iken daha yüksek miktarda atık katkılı olduğunda pişirim sıcaklığının artışı ile beyazlık azalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda L* değerlerinin daha yüksek olması kristal formda yer alan beyaz renkli diopsit fazı ile ilişkilendirilmiştir [14,15].

Numunelerin renk skalaları incelendiğinde, TS0-950 °C numunesi haricinde sırların a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) değerleri sırasıyla 1,5-2,6 ve 4,5 - 12,1 aralıklarındadır. Farklı olarak, TS0-950 °C numunesinin L* değeri daha düşük, a* ve b* değerleri ise daha yüksektir. Şekil 3'de görüleceği üzere TS0-950 °C numunesi turuncu benzeri bir renge sahiptir. Saf beyaz kil eldesinin oldukça zor olduğu bilinmektedir. Bünyeye sıcak bir ton kazandıran demir oksitin yanı sıra, pişirim sıcaklığı, süresi ve fırın atmosferi de nihai bünye rengini etkilemektedir. TS0-950 °C numunesinin açık turuncu bir renge sahip olması demir oksit içerikli kilin düşük sıcaklıkta ve bünye içerisinde üretilen gazların yarattığı oksijence fakir atmosferde (indirgeme) pişirimi ile ilişkili olabilir [16-18]. Pişirim sırasında demir oksitin seramik

bünyeden sıra yayılması mümkün olabildiği için şeffaf seramik sıra bor türevi atığı katkılılandırılmasında bu durum gözlenmemektedir [18,19].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında bor türevi atığı katkılı şeffaf seramik sırlar ticari seramik toz döküm çamurundan üretilen seramik bünyeler üzerine uygulanmış ve ardından sırlı bünyeler farklı sıcaklıklarda (950 °C, 1050 °C, 1150 °C) pişirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, ham şeffaf seramik sır kuvars fazını, ham bor türevi atığı ise yüksek oranda kalsit, dolomit ve kuvars kristal fazlarını içermektedir.

950 °C ve 1050 °C’de uygulanan pişirim sonrasında katkısız sırlar kristal kuvars fazını içermektedir fakat yüksek oranda amorf yapıya sahiptir. Atık katkılı sırlarda ise baskın olarak kristal diopsit fazı tespit edilmiştir. Düşük pişirim sıcaklığı (950 °C) adacık kusuru (crawling defect) ve iğne deliği (pinhole) gibi yüzey hatalarının oluşumuna sebep olmuştur. Adacık kusuru gibi bazı yüzey hataları sanatsal seramik çalışmalarında kasıtlı olarak tercih edilebilir. Pişirim sıcaklığının 1150 °C’ye yükselmesi ile birlikte tüm sırların yapısı tamamen amorflaşmıştır. Azalan sır viskozitesi sayesinde yüzey hataları giderilmiştir ve parlaklık (60°) değerleri yükselmiştir. Bor oksit içerikli bor türevi atığı ilavesi de sır viskozitesini azaltarak sırların akışkanlığını artırmaktadır. Bu sebeple 1150 °C’de pişirim sonrası katkısız sıra (49,4) kıyasla %5, %10 ve %15 atık ilaveli sırların parlaklık değerleri (56,6, 58,2, 56,3) daha yüksektir. Pişirim sıcaklığının azalması ve atık miktarının artması kristal diopsit fazı oluşumuna katkı sağlayarak sırların beyazlık parlaklık (60°) değerlerini azaltmış ve beyazlık (L*) değerlerini artırmıştır. Sonuç olarak, 1150 °C’de gerçekleştirilen pişirim sonrasında bor türevi atığının sır reçetesine ilavesi birçok avantajı beraberinde getirmektedir. %5 atık katkılı sırların parlaklık ve beyazlık değerleri (56,6 ve 87,7) katkısız sıra (49,4 ve 85,3) kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple üretilen düşük maliyetli ve çevre dostu bor atığı katkılı sırlar sanatsal seramik

çalışmalarında kullanılabilir. Pişirim sonrası uygulanacak mekanik ve kimyasal testler sonrası elde edilen veriler doğrultusunda, şeffaf sırların farklı endüstriyel alanlarda kullanım potansiyelinin ortaya çıkacağı öngörülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 1919B011903483 no’lu projenin sağladığı destekle tamamlanmış olup yazarlar TÜBİTAK’a teşekkürü bir borç bilirlir.

6. KAYNAKLAR

1. Yakar Elbeyli, I., 2004. Utilization of Industrial Borax Wastes (BW) for Portland Cement Production. Turkish J. Eng. Env. Sci., 28, 281-287.
2. Kurama, S., Kara, A., Kurama, H., 2006. The Effect of Boron Waste in Phase and Microstructural Development of a Terracotta Body During Firing. J. Eur. Ceram. Soc., 26, 755-760.
3. Koroglu L., Ayas, E., 2018. A Systematic Study on Solid-State Synthesis of Monticellite (CaMgSiO₄) Based Ceramic Powders Obtained From Boron Derivative Waste. Adv. Powder Technol., 29(11), 2835-2844.
4. Kavas, T., 2006. Use of Boron Waste as a Fluxing Agent in Production of Red Mud Brick. Building and Environment, 41, 1779-1783.
5. Karasu, B., Kaya, G., Taykurt, M., Çakır A., Kavas, T., 2006. Boraks Atıklarının Hızlı Pişirim Porselen Karo Cam-Seramik Sırlarının Son Özelliklerine Etkisi. III. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 91-96.
6. Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y., Angelopoulos, G.N., 2009. Use of Boron Wastes in the Production of Heavy Clay Ceramics. Ceram. Int., 35, 447-452.
7. Pekkan, K., Karasu, B., Kucuk, A., 2008. Production and Industrial Adaptation of Fast Single Firing Wall Tile Opaque Glass-Ceramic Glazes Containing Borax Solid Wastes,

- REWAS 2008 Global Symposium on Recycling. Waste Treatment and Clean Technology Bildiriler Kitabı, 371-378.
8. Karasu, B., Kaya, G., Cakir, A., Yesilay, S., 2008. Utilization of Borax Solid Wastes in Fast Single-Firing Porcelain Tile Glass-Ceramic Glazes Under Industrial Working Conditions. REWAS 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology Bildiriler Kitabı, 379-387.
9. Pekkan, K., Karasu, B., 2010. Evaluation of Borax Solid Wastes in Production of Frits Suitable for Fast Single-Fired Wall Tile Opaque Glass-Ceramic Glazes. Bull. Mater Sci., 33(2), 135-144.
10. Kaya, G., Karasu, B., Cakir, A., 2011. Characterization of Diopside-Based Glass-Ceramic Porcelain Tile Glazes Containing Borax Solid Wastes. J. Ceram. Process. Res., 12(2), 135-139.
11. Koroglu, L., Over Kaman, D., Ayas, E., 2021. Optimization of the Particle Size Distribution of Heat-Treated Boron Derivative Wastes in Cement Mortars as Portland Cement Replacements. Constr. Build. Mater., 282, 122640.
12. Cullity, D., Stock, S.R., 2001. Elements of X-Ray Diffraction. Pearson, Third ed., London, 696.
13. Eppler, R.A., Eppler, D.R., 2000. Glazes and Glass Coatings, the American Ceramic Society. Ohio, 332.
14. Cardarelli, F., 2008. Materials Handbook: A Concise Desktop Reference. Springer, Second. ed., Arizona, 2730.
15. Tarhan, M., 2019. Whiteness Improvement of Porcelain Tiles Incorporated with Anorthite and Diopside Phases. J. Therm. Anal. and Calorim., 138, 929-936.
16. Rhodes, D., 2015. Clay and Glazes for the Potter, Martino Fine Books, Connecticut, 248.
17. Hocking, N.R., 2001. Lessons from the Kiln: Reduction Firing in Cypriot Iron Age Pottery. Near Eastern Archaeology, 64(3), 133-139.
18. Lyubomirova, V., Smit, Z., Fajfar, H., Kuleff, I., 2017. Determination of the Chemical Composition of Medieval Glazed Pottery from Drastar (Bulgaria) Using PIXE/PIGE and LA-ICP-MS. Archeo Sciences, 41(1), 69-82.
19. Molera, J., Pradell, T., Salvado, N., Vendrell-Saz, M., 2001. Interactions Between Clay Bodies and Lead Glazes. J. Am. Ceram. Soc., 84(5), 1120-1128.