

Lateritik Nikel Cevherinden Elde Edilen Nikel-Kobalt Oksit Kompozitinin Stoneware Sırındaki Renk Etkileri

Hale YILDIZAY¹, Eda TAŞÇI²

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Güzel Sanatlar Meslek Yüksek Okulu, Çini sanatı ve Tasarımı Bölümü, Kütahya.

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya.

e-posta: hale.yildizay@dpu.edu.tr, eda.tasci@dpu.edu.tr

Geliş Tarihi: 23.09.2019; Kabul Tarihi: 30.09.2019

Öz

Stoneware sırları çizilmeye ve asidik ortama karşı dirençli, sert ve pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Ayrıca stoneware sırları kullanıldıkları bünye ile uyum göstererek pişirim sonrasında çatlama ve yüzey hataları olmaksızın çeşitli renk karakteristikleri gösterirler. Stoneware sırlarda renk etkisi endüstriyel pişirim koşullarında sır reçetesine ilave edilen oksit, pigment, boya ve çeşitli renklendiricilerle elde edilebilir. Camsı matris içerisinde renk elde edebilmek için çözünmeyen renkli kristal yapıya sahip pigmentleri matris içerisinde dağıtabilmek gereklidir. Dağıtılan kristal pigmentin rengi transparan matrise vermesi ile sıra renk kazandırılması sağlanmaktadır. Bu çalışmada Manisa Gördes bölgesinde çıkarılan lateritik nikel cevherinin işlenmesi sonucu elde edilen Nikel ve Kobalt oksit içeren MHP kompozit hammaddesi stoneware sırlarında renklendirici olarak kullanılmıştır. Bu amaçla MHP kompozit adı verilen hammaddenin fiziksel, kimyasal, mineralojik özellikleri incelenmiştir. Ardından MHP kompozit hammadde, sır reolojisi kontrol edilerek stoneware sırlarına % 0- 15 arasında artan oranlarda ilave edilmiş, hazırlanan sırlı bünyeler endüstriyel pişirim şartlarında yaklaşık 1200 °C'de pişirilmiştir. Sırlı bünyelerin renk özelliği CIE-Lab analizi ile ilave edilen MHP kompozitin pişirme sonrasındaki faz değişimleri XRD ve SEM/EDX analizleri ile incelenmiştir. Ayrıca sırlı numunelere standart Harkort ve kimyasal dayanım testleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda MHP kompozit katkı oranına bağlı olarak sırlarda açık yeşilden koyu yeşile bir renk geçişi olduğu ve katkı oranına bağlı olarak renk tonlarının değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca elde edilen renkli sırların stoneware bünye üzerinde herhangi bir sır-bünye uyumsuzluğuna sebep olmadığı, sır hatası oluşturmadığı, endüstriyel pişirim koşullarına uyum gösterdiği ve harkort testlerini geçtiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Lateritik Nikel, Sır karakterizasyonu, Stoneware Sırları, Endüstriyel Pişirim, Renk, Kobalt Oksit.

Color Effects of Nickel-Cobalt Oxide Composite Produced from Metallurgical Lateritic Nickel Ore in Stoneware Glaze

Abstract

Stoneware glazes are known as their resistance to scratches and to conditions of acidic environment. They have superior hardness and glossy surface. Furthermore, they adapt with the structure which they are prepared and after firing, they expose various colour characteristics without any surface faults or cracks. Color effect on stoneware glazes can be achieved by adding oxide, pigments, paints or various additives to the glaze recipe in industrial firing conditions. To achieve color inside the glassy matrix, non-soluble colored crystal form pigments have to be distributed inside the matrix. Distributed crystal pigments give color to the transparent matrix. In this study, for colorant on stoneware glazes, MHP Composite Material which have Nickel and Cobalt Oxide that are extracted from the lateritic nickel mine file near Manisa/Gördes. Throughout the study, MHP Composite material physical, chemical and mineralogical properties were inspected. After that, glaze rheology of MHP Composite material inside the Stoneware Glaze was checked and added colorant %0-15 increased ratios, fired on 1200°C in industrial firing conditions. Color properties of glazed structures were analysed on laboratory conditions. Phase transformations of MHP Composite Material were inspected with XRD, SEM and EDX analysis. Harcourt and Chemical Strength tests were applied on glazes. As the result of the study, it was observed that color transformation from light green to dark green occurred according to the MHP Composite additive. Also the tone of color changes according to the additive ratio. Furthermore, it was seen that achieved color glazes don't expose any possible problems such as stoneware structure incompatibility or glaze fault. They are compatible with the industrial firing conditions, and they pass the harcourt test.

Keywords

Lateritic Nickel, Glaze Characterization, Stoneware Glazes, Industrial Firing, Color, Cobalt Oxide.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1.Giriş

İnorganik esaslı doğal hammaddelerin reçete haline getirilip, öğütme çamur hazırlama

şekillendirme ve pişirme süreçlerine tabi tutulması ile elde edilen ham ve pişmiş mukavemete sahip seramik ürünlere pişirildikten sonra yüzeyde yumuşak ve dekoratif bir etki

oluşturmak amacıyla sır uygulanmaktadır (Arcasoy 1983). Endüstriyel ve sanatsal ürünlerin geliştirilmesinde çok çeşitli yüzey ve renk dağılımına sahip sırlar mevcuttur. Ürünlerin boyutları, kullanılacakları yer ve ürün üzerine yapılacak uygulama yöntemine bağlı olarak da mevcut sır sistemleri sürekli değişim, gelişim ve çeşitlilik göstermektedir.

Seramik sırları kimyasal olarak alkali ve toprak alkali oksitlerin uygun reçete oranında karıştırılması ve uygun sıcaklıkta eritme ve soğutması ile oluşan camsı tabakadır. Dolayısıyla seramik sırlarının en büyük özelliği üzerine uygulandığı seramik bünye ile normal koşullarda fiziksel ve kimyasal bağlar kurabilmesidir. Sır çeşitlerinin oluşmasında sırn uygulandığı bünyenin yapısına ve endüstriyel ya da sanatsal uygulamaların çeşitliliğine göre, ayrıca en önemlisi de pişme sıcaklıklarına göre sınıflandırma yapılmaktadır (Kartal 1998). Ayrıca seramik sırların renklendirilmesinde doğal ve sentetik oksit ve pigmentler kullanılmaktadır. Doğal pigmentler, doğada basit oksitler olarak bulunmaktadır. Doğal pigmentler arasında farklı renkler verebilen demir oksitler özellikle seramik sektöründe yaygın kullanılmaktadır (Italian Ceramic Society, 2003).

Seramik sanayinde renklendirici pigment üretiminde kullanılan nikel, NiO veya Ni₂O₃ formunda pembeden yosun yeşiline ve maviye kadar değişik renkler elde edilmesinde kullanılmaktadır (Arcasoy 1983). Demir, oksijen, silis ve magnezyumdan sonra yer kabuğunda %0,0008'lik oranda beşinci sırada bulunan nikel doğada oksitler, sülfidler ve silikatlar halinde bulunmaktadır (TMMOB, 2002). Dünya'da nikel rezervlerinin toplamı 89 milyon ton, görünür ve muhtemel rezervlerin toplamı 130 milyon ton civarındadır ve sırasıyla Avustralya, Brezilya, Endonezya, Rusya, Küba, Amerika, Kanada ve Çin dünyada önemli nikel rezervlerine sahiptirler (USGS, 2019).

Dünya'da ortalama yıllık 1.400.000 ton nikel üretimi gerçekleşmektedir. Bunun yaklaşık %60'ı lateritli ve %40'ı da sülfidli yataklarda yer almaktadır. Ancak, birincil nikel üretimi söz

Lateritik cevherlerden nikel kazanımı, magnezyum içeriği ve nikel/demir oranına bağlı olarak, hidrometalurjik, pirometalurjik ve hidrometalurjik pirometalurjik yöntemlerin

konusu olduğunda sülfürlü kaynakların kullanımı %58 olup lateritik kaynaklar ise %42 gibi düşük bir değerde kalmaktadır. Bunun yanı sıra sülfürlü yataklardaki rezervlerindeki azalma lateritik yatakların önemini arttırmaktadır (Chang et al, 2010).

Lateritik cevherler toplam nikel cevherlerinin % 60'ını teşkil etmesine rağmen üretimin yarısından fazlası sülfürlü cevherlerden oluşmaktadır. Bunun nedeni lateritik cevherlerin sülfürlü cevherler gibi zenginleştirilememesidir. Ancak nikel üretimi giderek lateritik cevherlere kaymakta olup, yakın zamanda %50'yi geçmesi beklenmektedir (USGS, 2019, Dalvi et al, 2004).

Ülkemiz nikel ihtiyacını genellikle ithalat ile karşılamaktadır. Türkiye'de bilinen nikel cevher rezervi yaklaşık 106 milyon ton civarındadır. Türkiye gerekli yatırımlar yapılırsa kendi nikel ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Türkiye'de nikel cevherleri genellikle lateritik olup bilinen bazı sülfürlü cevher yatakları da vardır. Ülkemizde bilinen ve önemli nikel yatakları, Bursa-Yapköy, Bitlis-Pancarlı, Sivas-Divriği, Hatay-Dört Yol sülfürlü nikel yatakları ve Manisa-Çaldağ, Manisa-Gördes, Van yöresinde, Bolu-Akçaalan, Eskişehir-Yunus Emre, Uşak-Banaz'da yer alan lateritik nikel yataklarıdır (DPT Raporu,2006).

Türkiye'de ilk olarak Meta Nikel Kobalt Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından 2005 yılının mayıs ayında lateritik nikel yatağında nikel cevheri üretimi gerçekleştirilmiştir. MTA tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Manisa ili sınırları içerisinde META madencilik tarafından işletilen lateritik nikel cevheri yataklarının 5,3 km² alan içerisinde %1 ve üzerinde Ni içeren 68,5 milyon tahmini rezervi olduğu saptanmıştır. Ayrıca yüksek Ni içerikleri limonitli zonda yer almakta ve ana nikelce zengin mineral olan garniyeritler de bu bölgede görülmektedir (Ağaçayak, 2008).

Lateritik nikel yatakları kalıntı yatakların ürünlerinin yağmurla birlikte ultramafik kayaların yüzeylerine taşınarak burada kimyasal ve mekanik olaylarla değişim geçirmesi ile oluşmuşlardır (Çiftçi and Atik,2014).

birlikte uygulanması olmak üzere üç farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Pirometalurjik yöntemler için uygun olmayan lateritik nikel yatakları için de amonyum liçi (Caron prosesi),

veya Yüksek basınçlı sülfürik asit özütlemesi (HPAL) metodu uygulanmaktadır (DPT Raporu, 2006).

Ülkemizde Manisa–Gördes bölgesinden çıkarılan lateritik nikel cevherine metodu yüksek basınçlı sülfürik asit özütlemesi (HPAL) uygulanmaktadır. Lateritik nikel cevherinin nem içeriği oldukça fazladır. Boyutlandırılmış cevher önce 40-45 atm/bar yüksek basınç altında ve otokavlar içinde 250 °C üzerindeki sıcaklıkta sülfürik asitli ortamda çözülür ve çözünen demirin hematit şeklinde çökmesi sağlanarak asit tüketimi kontrol altında tutulur. Daha sonra metallerle yüklü çözelti kireç taşı ile nötürleştirme ve demir çöktürme işlemine tabi tutulur. Çözeltiyi kirleten alüminyum, krom ve birinci arıtma aşamasında çöktürülemeyen demir kalsiyum hidroksitle ikinci aşamada çöktürülür. Arıtılmış çözeltiden nikel ve kobalt magnezyum oksitle çöktürülerek nikel ve kobalt hidroksit (MHP) elde edilir (DPT Raporu,2006, 8).

Sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde, kullanım alanı hızla genişleyen nikel metalinin cevherleşmesine yönelik araştırmalar yoğunlaşmakta, teknolojik gelişmelerin de

Çizelge 1. Stoneware sırlarında kullanılan MHP kompozit hammaddesinin kimyasal analizi.

Oksitler	NiO	MnO	Co ₃ O ₄	MgO	ZnO	SiO ₂	CuO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
%	82.5	7.21	3.97	3.91	0.76	0.6	0.34	0.34	0.3	0.07

Transparan ve opak sırlar içerisine MHP kompozit pigment ilavesi sonrası tüm reçeteler 15 dk jet değirmende öğütülüp ardından 75 mikronluk elekten elenmiş litre ağırlığı 1470 gr/lt olarak ayarlanmış sır süspansiyonu stoneware bünye üzerine daldırma yöntemiyle uygulanarak 1200 °C'lik endüstriyel hızlı pişirim fırınında tüm sırlar aynı atmosferik koşullarda pişirilmiştir (Şekil 1).

Elde edilen renkli stoneware sırlı bünyelerde MHP kompozit pigmentin kullanılabilirliği için ilk olarak gözle kontrol yapılmıştır.

Endüstriyel pişirim koşullarında pişirilen MHP kompozit ilaveli stoneware sırlı ürünlerin renk dağılımları Konica Minolta–Spectrophotometer CM-700 d marka model Lab cihazında ölçülmüş ve renk parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

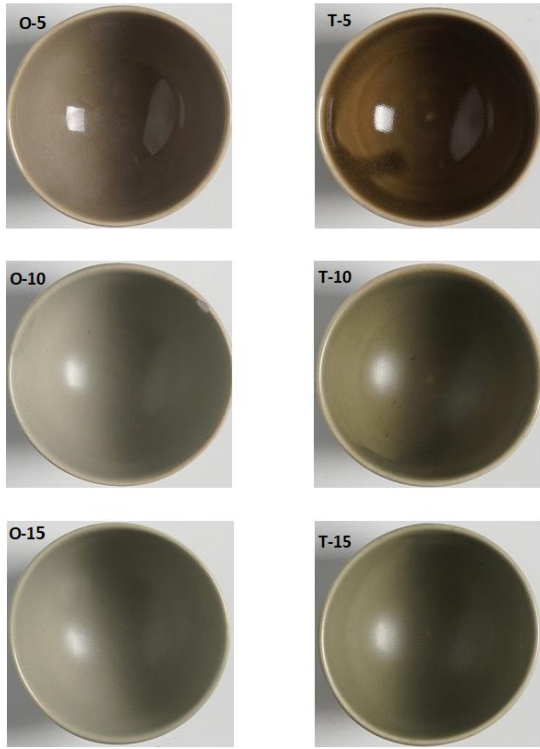
katkısıyla üretim ve tüketimi zaman içinde büyük artış göstermektedir.

Bu çalışmada Manisa–Gördes bölgesinden çıkarılan lateritik nikel cevherinden (HPAL metodu- yüksek basınçlı sülfürik asit özütlemesi) elde edilen, fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiş nikel ve kobalt hidroksit içeren MHP kompozit adı verilen hammaddenin stoneware sırlarında pigment olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla MHP kompozit hammaddesi sır reolojisi kontrol edilerek stoneware sırası içerisine % 0- 15 arasında artan oranlarda ilave edilmiş, hazırlanan sırlı bünyeler endüstriyel pişirim koşullarında yaklaşık 1200 °C'de pişirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

3.Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada Tuluğ Seramik A.Ş. firmasından temin edilen stoneware bünye üzerine uygulanan transparan ve opak sır reçeteleri içerisine Meta Nikel Kobalt Madencilik Sanayi Ve Ticaret A.Ş'den temin edilen kimyasal analizi Çizelge 1'de verilen MHP kompozit hammaddesi %0-15 artan oranlarında ilave edilmiştir.

Ardından sırlı ürünlerin harkort (TS EN ISO 10545-9,1997) (Çizelge 3), asit-baz kimyasallara dayanım (TS EN ISO 10545-13,2000) testleri yapılmıştır (Çizelge 4).



Şekil 1. Opak ve Transparan sırlanmış numunelere ait görseller

MHP kompozit pigmentinin stoneware transparan sırlı ve opak sırlı içerisindeki faz dağılımını ve pigment çözünürlüğünü belirlemek için %0-15 oranında MHP pigmenti içeren sırlara, Cu K α radyasyonu ile 20–70° açı aralığında 2°/dk hız ile PANALYTICAL -EMPYREAN model marka X-ray difraktometresi kullanılarak faz analizi çalışması ve NANO SEM 650 ile SEM çalışması yapılmıştır.

O-5 numunesinde 210 °C’da bünye çatlakları ve 230 °C’da ise bünye çatlakları ilerlemesi sonucu sır çatlakları oluşumu görülmüştür. Diğer opak sırlı numuneler testleri başarıyla geçmiştir. Transparan numuneler 230 °C’a kadar testleri başarıyla geçmiş, T-5 numunesinde sadece 230 °C’da sır çatlakları, T-10 ve T-15 numunesinde 230 °C’da bünye çatlakları ve 250°C’da ise bünye çatlakları ilerlemesi sonucu sır çatlakları oluşumu görülmüştür.

Çizelge 2. MHP kompozitinin transparan ve opak sırlarda oluşturduğu L*a*b* değerleri.

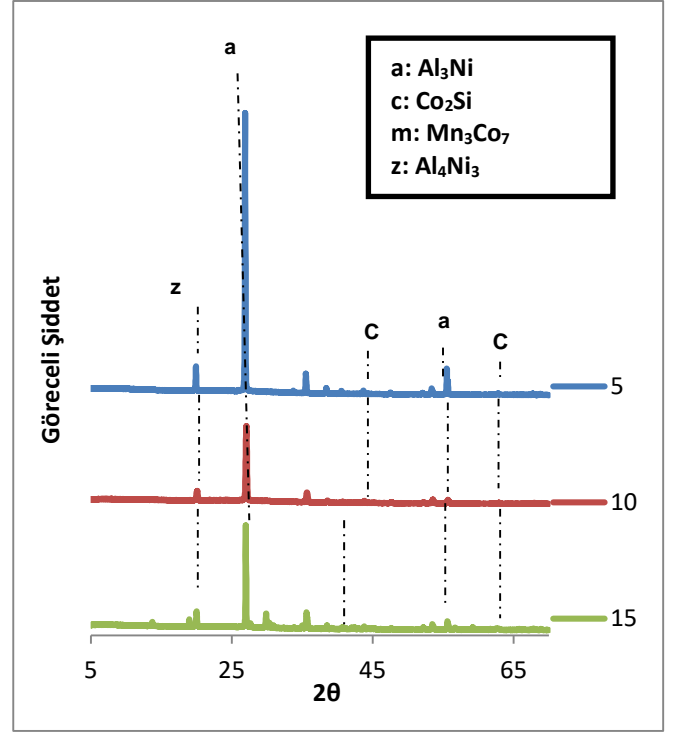
Opak	L*	a*	b*
O-0	90,49	0,61	1,18
O-5	57,51	1,81	9,73
O-10	65,92	1,51	8,81
O-15	64,23	2,06	10,36
Transparan	L*	a*	b*
T-0	87,15	0,19	7,65
T-5	43,65	3,62	14,55
T-10	52,75	1,2	12,5
T-15	56,94	2,19	13,18

Çizelge 3. MHP kompozitinin transparan ve opak sırlardan elde edildiği Harkort test sonuçları.

Sırlı bünye	150°C	170°C	190°C	210°C	230°C	250 °C
O-0	+	+	+	+	-	+
O-5	+	+	+	-	-	+
O-10	+	+	+	+	+	+
O-15	+	+	+	+	+	+
T-0	+	+	+	-	-	+
T-5	+	+	+	+	-	+
T-10	+	+	+	+	-	-
T-15	+	+	+	+	-	-

Çizelge 4. Kimyasal dayanım testi sonrası kütle kayıpları.

	Sırlı numuneler	Kütle kimyasal test öncesi (g)	Kütle kimyasal test sonrası (g)	Kütle kaybı (%)
Alkali dayanımı	O-5	78,61	78,61	----
	O-10	76,00	76,00	----
	O-15	75,26	75,26	----
	T-5	80,60	80,60	----
	T-10	75,17	75,17	----
	T-15	77,62	77,62	----
Asit dayanımı	O-5	78,61	78,61	----
	O-10	76,00	76,00	----
	O-15	75,26	75,26	----
	T-5	80,60	80,60	----
	T-10	75,17	75,17	----
	T-15	77,62	77,62	----

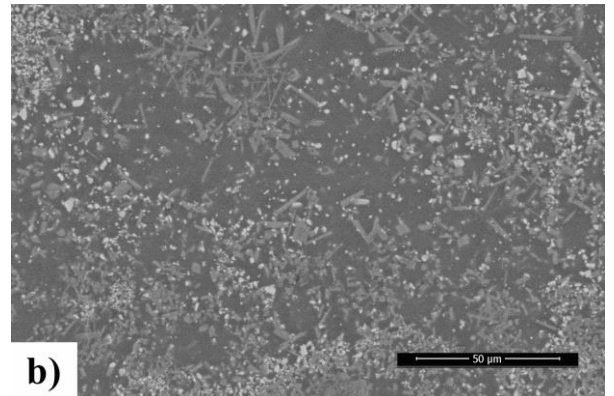
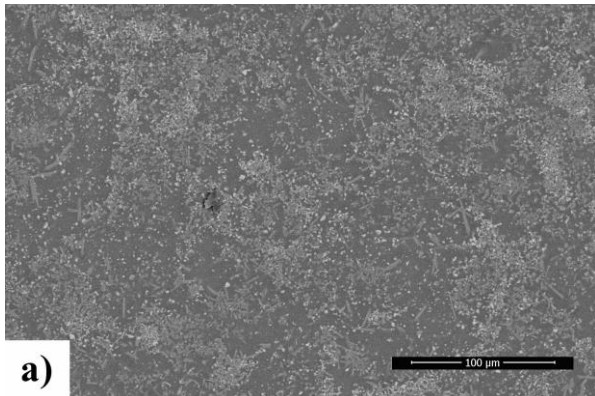


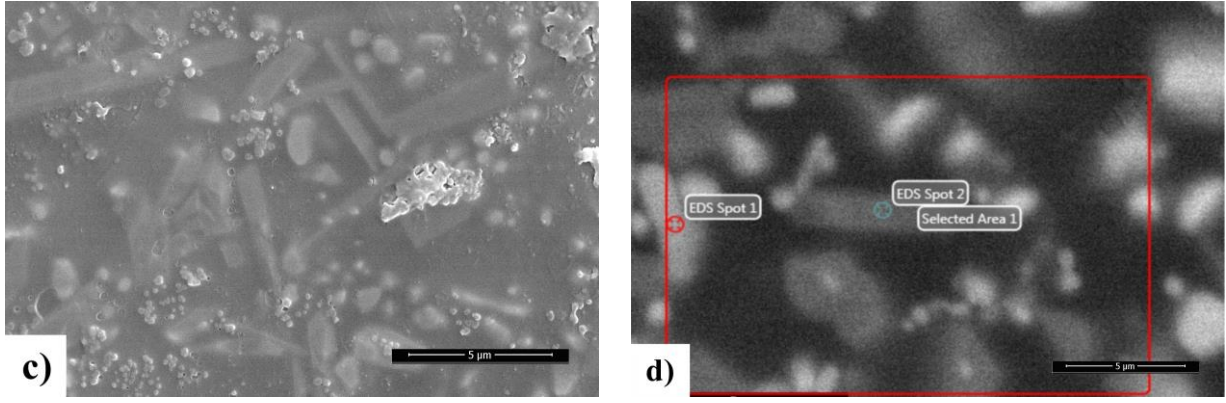
Şekil 2. % 5-10-15 MHP kompozit pigmenti ilaveli stoneware sırlarının XRD sonuçları

Artan oranda MHP kompozit içeren seçilen opak stoneware sırların kırık yüzeyinden alınan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDX analiz sonuçlarına göre opak sır reçetesi içerisine ilave edilen MHP kompozit pigmenti için Al_3Ni , Co_2Si , Al_4Ni_3 fazlarının oluştuğu görülmektedir (Şekil 2).

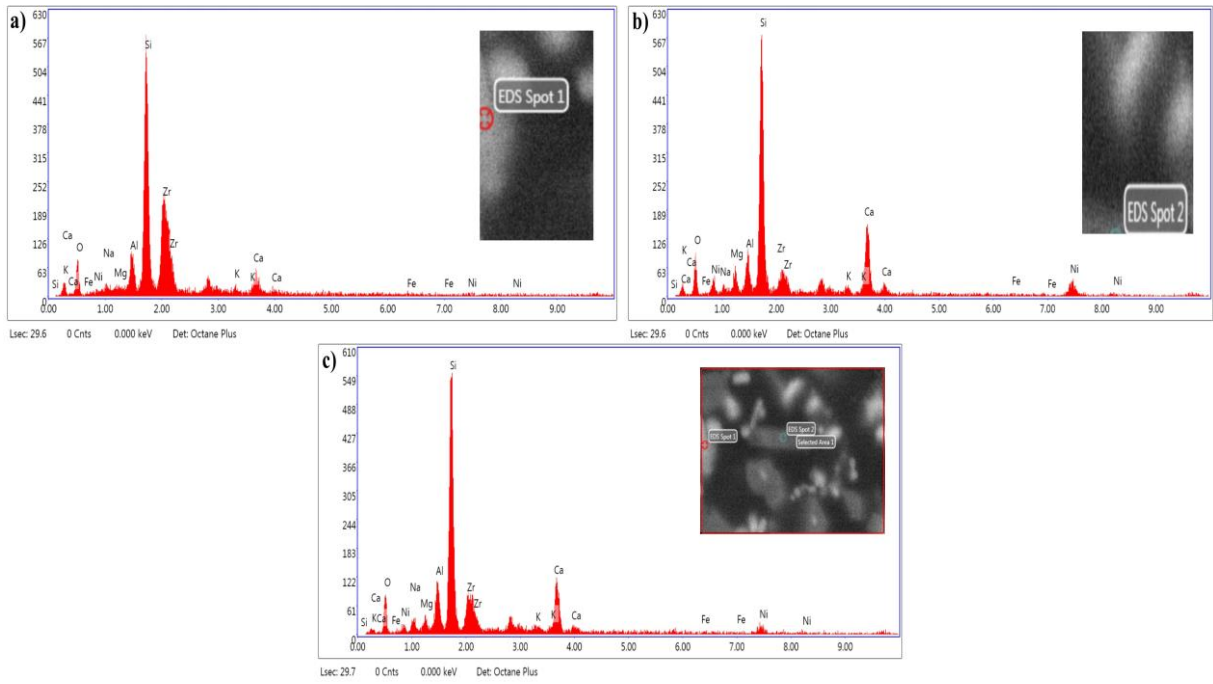
%15 MHP kompozit pigmenti ilaveli opak stoneware sırlarının sırasıyla 1000, 2000, 10000 ve 25000X büyütme SEM görüntülerinde pigmentin sır içerisindeki homojen dağılımı görülmektedir (Şekil 3. a-d).

Aynı numuneye ait sırdan alınan alan EDX analizi ve pigment kristalleri üzerine yapılan EDX analiz sonuçları (Şekil 4.a-c)'de verilmektedir. Bu sonuçlara göre sır içerisinde yüksek oranda SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 bulunurken (Şekil 4-a), pigment ve sır ara yüzeyinde SiO_2 ve Al_2O_3 , CaO , NiO oluşumu görülmektedir (Şekil 4-b). Benzer şekilde kristal yapıda (Şekil 4-c), NiO , CaO oranı artış gösterirken ZrO_2 ve SiO_2 oranı azalma göstermektedir. Pigmentin sır içerisinde çözünmeden kristal formda kaldığını söylememiz mümkündür.





Şekil 3. %15 MHP kompozit pigmentinin a) Sır yüzeyinden alınan 1000X'deki SEM görüntüsü, b)2000X'deki SEM görüntüsü, c) Sır yüzeyinden alınan 10000X'deki SEM görüntüsü, d) 25000X'de EDX analizi için sır yüzeyinden alınan noktalar



Şekil 4. %15 MHP kompozit pigmentinin EDX analizi sonuçları.

4.Sonuçlar

MHP kompozit pigmenti ilavesi ile stoneware sırlarında elde edilen renklerin koyu yeşilden açık yeşile giden bir skala oluşturduğu tespit edilmiştir. Stoneware sırlarında MHP kompozit miktarı arttıkça renk açılmaktadır. Opak sırlı numunelerde yeşil tonlarının daha etkin olduğu gözlenmiştir. %5 katkılarında MHP kompozit koyu renk, %10-15 oranındaki MHP kompozit ilavesinden itibaren renk açılmıştır. Transparan sır reçetesinde %5 MHP kompozit koyu yeşil rengini vermekte, %10'dan sonra opak sırlara göre daha açık yeşil oluştuğu görülmektedir.

MHP kompozit içerisinde bulunan Nikel ve Kobalt geçiş metalleri olduğu için farklı renkler ürettiği ve sır bileşimlerinde karakteristik yeşil ve mavi arasında tonlar elde edildiği bilinmektedir. Ancak sır ve renklendiricinin bileşimindeki farklılıklar sırlı pişirim sonrası elde edilen renkte etkili olmaktadır.

Elde edilen sırların kimyasal dayanım sonuçlarına göre; artan oranda MHP kompozit içeren Stoneware sırları asit (HCl) ve baz (KOH) korozyonuna karşı oldukça iyi kimyasal dayanım sergilediği görülmüştür. Kimyasal test sonrasında

96 saat sonunda kütle kaybının olmadığı görülmüştür. Kimyasal analiz sonrasında gözle bakıldığında numune renklerinin başlangıca göre belirsiz miktarda açıldığı tespit edilmiştir.

Artan oranda MHP kompozit içeren seçilen opak stoneware sırların kırık yüzeyinden alınan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDX analiz sonuçlarına göre opak sır reçetesi içerisine ilave edilen MHP kompozit pigmenti için Al_3Ni , Co_2Si , Al_4Ni_3 fazlarının olduğu görülmektedir.

SEM-EDX sonuçlarının da gösterdiği gibi Nikel oksitin (NiO) ve Kobalt oksitin (CoO) olması, sır renklerinin koyu yeşilden açık yeşile artan oranlarla birlikte yeşil ve tonlarında bir renk yelpazesi sergilemesine yol açmıştır.

Elde edilen bulgular stoneware porselen malzemeleri üreten firmalarda tüketici tarafından tercih edilen farklı renklerin üretilmesinde Lateritik Nikel cevherinin alternatif bir renklendirici olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Hazırlanan sırlar her bileşimde işletmenin stoneware bünyeleri ile uyum sağlayarak, yüzeyi mükemmel derecede kapatması ve herhangi bir çatlama ya da genişleme uyumsuzluğuna neden olmaması dolayısıyla pigmentin sorunsuz bir şekilde sır bileşiminde kullanılabilmesini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde Nikel ve Kobalt hidroksit içeriği yüksek MHP kompoziti sağlanmasında yardımcı olan Meta Nikel Kobalt Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş'ne ve endüstriyel pişirim uyguladığımız Tulu Porselen Fabrikası yönetici ve çalışanlarına, Analizleri yapan KDPU İLTEM çalışanı Mehmet Akkaş'a, Yüksek lisans öğrencileri Musa Akman ve Murat Isparalı'ya teşekkür ederiz.

Kaynakça

Ağaçayak, T., 2008, Karaçam (Eskişehir) Lateritik Nikel Cevherinin Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Zenginleştirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

Arcasoy, A., 1983, Seramik teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Yayın no:2.

Chang, Y., Zhai, X., Li, B., Fu, Y., 2010, Removal of Iron from Acidic Leach Liquor of Lateritic Nickel Ore by Goethite Precipitate, Hydrometallurgy, 101, 84-87.

Çiftçi, H., Atik, S., 2014, Lateritik Cevherlerden Nikel Kazanımında Biyoliç Yöntemi (Nickel recovery from lateritic ores via bioleaching), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30, 4, 273-282.

Dalvi, A. D., Bacon, W. G. and Osborne, R. C., 2004; The Past and Future of Nickel Laterites, PDAC International Convention, pp 1-27.

DPT Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2006; Dokuzuncu Kalkınma Plânı (2007-2013) Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Italian Ceramic Society, (2003). Colour, pigments and colouring in ceramics, 41-42, Sala, Modena

Kartal, A., 1998, Sır ve Sırlama Tekniği, Çizgi Matbaacılık, Banaz.

TMMOB Türkiye Maden Mühendisleri Odası. 2012. Nikel Raporu,52.

İnternet kaynakları

<https://www.usgs.gov/centers/nmic/nickel-statistics-and-information>

<http://www.metanikel.com.tr/hpal>