

## Doğal Zeolitlerin Seramik Pigment Olarak Kullanılabilirliği

Eda TASCİ<sup>1</sup>, Nihal Derin COŞKUN<sup>1</sup>, KerimanPEKKAN<sup>2</sup> ve Veli UZ<sup>1</sup>

1 Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme ve Seramik Bölümü Kütahya, TÜRKİYE

2 Dumlupınar Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü Kütahya, TÜRKİYE

e-posta: edahoca@hotmail.com, nihaldarin@hotmail.com, kpekk@hotmail.com, veliuz@hotmail.com

Geliş Tarihi: 22.10.2012; Kabul Tarihi: 11.11.2013

### Özet

#### Anahtar kelimeler

"Zeolit";  
"Seramik pigment";  
"Duvar karosu";  
"Sır"

Bu çalışmada; iyon değişimi ve absorpsiyon yapabilme özelliği olan doğal zeolit minerali  $FeCl^{+3}$  tuzu çözeltisi içerisinde farklı sürelerde tutularak demirin zeolit yapısına absorpsiyonu sağlanarak pigment olarak üretilebilirliği araştırılmıştır. Farklı sürelerde çözelti içerisinde bekletilen zeolit örnekleri farklı sıcaklıklarda kalsine edilerek hazırlanmış ve bu örnekler transparan sırda kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda 48 saatlik sürenin demirin zeolit yapısına girmesi için yeterli olduğu ve bu örneklerin kalsine edilmesi sonrasında ve sırda en iyi renk değerlerini verdiği belirlenmiştir

## Usability of Natural Zeolites as Ceramic Pigments

### Abstract

#### Keywords

"Zeolit",  
"Ceramic pigment",  
"Wall tile",  
"Glaze"

In this study; the natural zeolite mineral which has ion exchange and absorption properties has held in  $FeCl$  salt with different times and absorbed to zeolite structures so this mechanism has investigated for using as pigment. The zeolite samples which has waited in the solution in different times has prepared in different temperatures with a calcination operation and used in transparent glaze. The results has shown that for the Fe element's entering to zeolite structure, 48 hours time is adequate and after this sample calcination process an using in the glaze, prefer colour values has determined.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Seramik endüstrisinde sırları renklendirmek için inorganik seramik pigmentler kullanılmaktadır. Camsı matris içerisinde renk elde etmenin yolu çözünmeyen renkli kristal yapıya sahip olan pigmentleri matris içerisinde dağıtmaktır. Dağıtılan kristal pigmentin rengi transparan matrise geçerek sıra renk kazandırır (Özel and Turan, 2003).

İnorganik pigmentler metal oksitler veya metal oksit içeren hammaddelerin karıştırılarak, yüksek sıcaklıklarda (800-1500°C) ısı işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen sentetik minerallerdir. İnorganik seramik pigmentlerin, termal kararlılık, sır içerisinde çözünmezlik, kimyasal bileşenlerin (asit ve bazların) etkisine dayanım, sır yüzeyinde hatalara yol açan gaz çıkışına neden olmaması gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir.

Rengin kararlılığı pigmentin kullanıldığı kompozisyona ve pişirim döngüsüne bağlıdır. Sıcaklığın artması ile seramik renklendiricilerin aralığı daralmaktadır. İnorganik seramik

pigmentlerin sıcaklığın etkisine karşı direnç göstermesi beklenir (Italian Ceramic Society, 2003). Pigmentin kristal yapısına bağlı olarak gösterdiği kararlılık değişmektedir (Eppler, A., R., 2000). Seramiklerde kullanılan inorganik pigmentlerin sır içindeki davranışları farklılık gösterebilir. Camsı faz içerisinde iyon çözünmesi gerçekleştiğinde iyonik renklendirmeden söz edilebilir. Sırın pişirimi sırasında çözünme ve buna bağlı olarak reaksiyonların gerçekleşmesi söz konusu olabilir (I.V.Pishch, et al. 2011).

Katı hal reaksiyonu ile sentezlenen seramik pigmentler, saf  $SiO_2$  kullanılarak hazırlanan renkli pigmentler ile karşılaştırıldığında seramik sırlar için daha uygun olmaktadır. Pigment üretimi için kullanılan hammaddeler çoğunlukla kimyasal empüritesi yüksek tuzlar ve metal oksitler olmaktadır (Bondioli F., et al. 2007).

Bazı mineraller spesifik kristal yapılarındandır ve dolaylı olarak pigment yapısı içerisinde görev yapmaktadır. Doğal olarak oluşan zeolitler bu ana malzemelerden biri olabilir

potansiyeline sahiptir. Türkiye’de 10 milyar dolarlık zeolit rezervi ile dünya rezervlerinin yüzde 40’ına sahip olması ülkemiz ekonomisi açısından değerlendirilmesinde önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu açıdan yüksek maliyetli pigmentlere alternatif bir malzeme olarak değerlendirilmesi önemlidir.

Zeolit, volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda oluşan, yapıları bal peteği şeklinde olan, değişebilir katyonlar ve su ihtiva eden mikro gözenekli malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Pogrebenkov and Sedelnikova, 2002).

Sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri, iyon değişikliği yapabilmesi, açık renkli olması, hafifliği, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmalarını sağlar (IntKyn. 1).  $FeCl_3$  genellikle çözelti halinde kullanılan iyi bir koagülan ve zeolit yapısına  $Fe^{+3}$  iyonu olarak girebilmektedir (Tekbaş, M., 2007). Zeolit yapısında 2- 15 Å arasında değişen molekül boyutundaki kanallar ve boşluklar bulunmaktadır. Zeolit yapısı içerisinde negative yüklü iyonlar  $Si^{+4}$  ve  $Al^{+3}$  yerine geçerek boşlukları yaratırlar. Bu yük dengesizliği yapıda katyonlar ile denge lenir. Böylece katyonlar yapı içerisine kolayca girerek yeni seramik fazlarının oluşmasını sağlarlar. (Pogrebenkov et al. 1998., Tekbaş, M., 2007., Baran, E., 2012. ).

Bu çalışmanın amacı doğal zeolit seramik pigment olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla da, zeolit iyon değiştirme ve absorblama özelliğinden yararlanarak renklendirici olarak  $Fe^{+3}$  iyonunun zeolit kanallarının içerisine girmesi sağlanarak, farklı sinterleme sıcaklıklarında sinterlenerek hazırlanan pigmentler duvar karosu transparan sırında kullanılmış ve renk değişimine etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada klinoptilolit tipi zeolit minerali pigment üretmek için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Zeolit minerali Balıkesir Bigadiç bölgesinden temin edilmiştir.

Çalışma üç aşamada yapılmıştır. İlk aşama hammaddenin karakterizasyonu, ikinci aşama

demir iyonlarının zeolit yapı içerisine girmesinin sağlanması amacıyla belirli sürelerde çözelti içerisinde bekletme ve farklı sıcaklıklarda kalsinasyon yapılmıştır. Son aşamada üretilen pigmentlerin transparan duvar karosu sırında kullanılarak renk üzerine etkilerinin araştırılmasıdır.

Zeolit minerali ilk olarak sodyum, potasyum ve kalsiyum gibi iyonlarının uzaklaştırılması amacıyla 96 saat seyreltilmiş HCl çözeltisi içerisinde liç edilmiştir. Liç işlemi sonarı yıkama yapılarak zeolit örnekleri kurutulmuştur. Temizlenen zeolit örnekleri %20 oranında  $FeCl_3.6H_2O$  çözeltisi içerisinde 24, 48 ve 96 saat sürelerde üç farklı zamanda demir iyonlarının zeolit kanallarına girmesi amacıyla bekletme yapılmıştır (Tuncer, M., 2003, Yener, S., 2003) .

Çözeltide bekletme 200 ml saf su ve  $FeCl_3.6H_2O$  (236489 Sigma-Aldrich) ile atık suyun rengi berraklaşana kadar sürdürülmüştür. Çözelti içerisinde bekletme işlemi tamamlandıktan sonra çözeltiler santrifüjlenmiş ve yıkama işlemi uygulanmıştır. Tozların santrifüjleme işlemi 9000 rpm de 5 dakika da tamamlanmıştır. Daha sonra elde edilen tozlar kurutularak agat havanda öğütülmüştür.

Farklı sürelerde çözelti içerisinde bekletilen örnekler, kurutma sonrası üç farklı 1100, 1150 ve 1200 °C sıcaklıklarında porselen kroze içerisinde, maksimum sıcaklıklarda 1 saat bekletilerek kalsine edilmişlerdir. Kalsine ürünlere tekrar kuru öğütme yapılmış boyutları küçültülmüştür.

Üretilen kalsine tozlar pigment olarak duvar karosu transparan sırası içerisinde kullanılmıştır. Hazırlanan pigmentler duvar karosu transparan sırası içerisine ağırlıkça %3 oranında ilave edilmiş, 5 dakika karıştırılarak homojenleştirilmiştir. Hazırlanan sıranın viskozitesi viskozimetre, yoğunluğu piknometre kullanılarak belirlenmiştir. Hazırlanan sıraların viskozitesi 90 sn, litre ağırlığı 1770 g/l’ye ayarlanmıştır. Hazırlanan sıralar duvar karosu bünyesi üzerine uygulanmış ve 1175°C’ de 27 dakika süreyle pişirilmiştir. Pişirilen sıralı bünyelerin renk ölçümleri yapılmıştır.

Kullanılan hammaddenin kimyasal analizi Spectra marka X-ray difraktometresi kullanılarak, hammadde ve kalsine edilen pigmentlerin minerolojik analizi ve faz içerikleri Cu K $\alpha$  radyasyonu ile 20–70° açı aralığında 2°/dk hız ile Rigaku marka Miniflex model XRD cihazında belirlenmiş ve mikroyapı analizi ise Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği laboratuvarlarında Supra marka 50 VP model elektronmikroskobu cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Üretilen pigment ve sırların renkleri UV-Vis spektroskopisi (model Lambda 19, Perkin Elmer) ve CIE lab metodu kullanılarak L\*, a\* ve b\* olarak ifade edilmiştir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

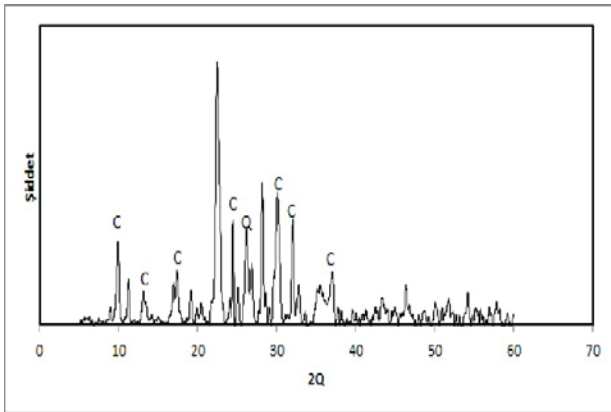
#### 3.1 Ham Zeolit karakterizasyonu

Ham zeolit kimyasal analizi sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir. Zeolit %67,1 SiO<sub>2</sub>, % 11,8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1,79 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir.

**Tablo 1.** Ham zeolit kimyasal kompozisyonu

Oksitler	%Miktar
SiO <sub>2</sub>	67.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.79
CaO	3.87
MgO	1.21
K <sub>2</sub> O	2.29
Na <sub>2</sub> O	0.3
TiO <sub>2</sub>	0.11
LOI**	11.49

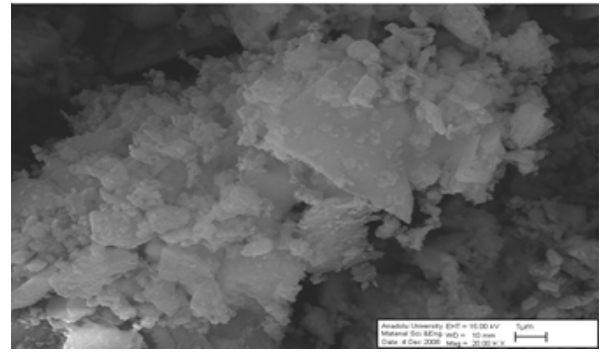
Ham zeolit minerolojik analizinde zeolit grubu minerali olan klinoptilolit olduğu, beraberinde kuvars içerdiği belirlenmiş Şekil 1'de X\*ışınları patternleri verilmiştir.



**Şekil 1.** Ham zeolit XRD patterni (Q: Kuvars, C:

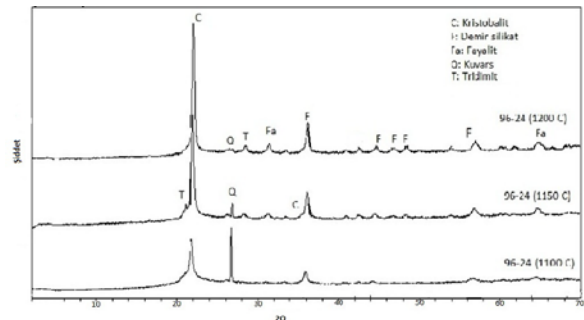
Klinoptilolit).

Klinoptilolit tipi doğal zeolit morfolojisi; çeşitli şekil ve boyutlardaki kristaller amorf yapı içerisinde difüze olarak dağılmış taneleri oluştururlar. Klinoptilolit tipi kristaller yassı, levhamsı veya borucuk şekilli olabilmektedir ve bu kristallerin boyutu 0,1-100 µm arasında değişmektedir. Zeolitik tüflerin içerisinde mordenit meydana geldiğinde kristaller fiber şeklinde olabilmektedir. Feldispatın zeolit içerisindeki varlığı ise daha iri kristallerin oluşmasına neden olmaktadır (Mottana, et al. 1978, Stelzer, et al. 1998, Han, Et al. 1995, Rodriguez et al. 1985 Peci-Donath et al. 1988, Joshi, et al. 1997). Ham zeolit morfolojik özelliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan elektronmikroskop (SEM) görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Klinoptilolit Kristal bir yapı ve az miktarda amorf yapı ile birlikte heterojen bir yapı göstermektedir. SEM görüntülerinden klinoptilolit çok küçük taneli (1 µm) olduğu görülmüştür.



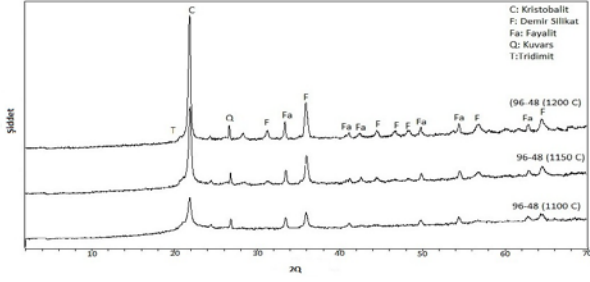
**Şekil 2.** Ham zeolit mikroyapı görüntüsü.

% 20 FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O çözeltisi içerisinde 24, 48 ve 96 saat iyon değiştirme işlemi yapılan ve farklı sıcaklıklarda kalsinasyon işlemi uygulanarak hazırlanan pigmentlerin faz analiz sonuçları Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de ayrı ayrı bekletme sürelerine, kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak verilmiştir.

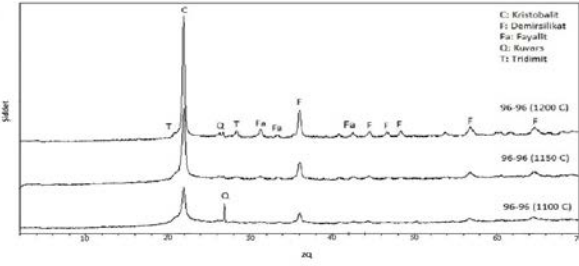


**Şekil 3.** 24 saat işlem yapılan, kalsine edilmiş örneklerin

## XRD patternleri



**Şekil 4.** 48 saat işlem yapılan, kalsine edilmiş örneklerin XRD patternleri



**Şekil 5.** 96 saat işlem yapılan, kalsine edilmiş örneklerin XRD patternleri

Artan süreye bağlı olarak  $FeCl_3$  çözeltisi içerisinde tutulan zeolitlerin kalsinasyon sonrası faz içeriği, 24 saatlik bekleme yapılan örneğin kuvars piki daha şiddetli olmaktadır.  $1100^\circ C$  de kalsine edilen, 24 saatlik işleme tabi tutulan örnekte kuvars piki yüksek olurken 48 saatlik örnekte kuvars azalmakta, 96 saatlik örnekte tekrar kuvars piki artış göstermektedir. 48 saatlik örnekte kuvars piki az olmasına karşın diğer örneklere göre fayalit fazının ( $Fe_2SiO_4$ ) piki yüksektir. 48 saatlik işlem yapılan örnekte diğer işlem sürelerine göre fayalit pik şiddetinin yüksek olması ve kuvars pikinin düşük olması 48 saatlik çözelti doyurma ve demir iyonlarının zeolit yapısına girebilmesi için yeterli bir süre olduğunu göstermektedir. Zeolitin üç farklı sıcaklıkta kalsine edilmesi ile oluşan fazlar kristobalit, kuvars, tridimit, demir silikat ( $FeSiO_3$ ) ve fayalit ( $Fe_2SiO_4$ ) olmaktadır. Artan sıcaklıkla kristobalit, fayalit piklerinin şiddeti artmakta, 48 saatlik işlem gören örnek dışında diğer iki farklı sürede işlem gören örneklerde kuvars azalmaktadır.

48 saatlik işlem gören örnekte kuvars artan sıcaklıkla artmaktadır. Bu örneklerde fayalit yanında  $FeSiO_3$  fazının da geliştiği görülmektedir.

XRD faz analiz paternlerin de camı faz düşük sıcaklıklarda belirgin olarak gözlenirken ( $19-40^\circ$  aralığının kamburluğu) artan sıcaklıkla camı faz şiddeti azalmaktadır. Serbest hematit kristali piklerine rastlanmamıştır. Buda bünyedeki demirin hematit kristali oluşturmak yerine silikatla bağlandığını veya camı fazın içinde kaldığını göstermektedir.

Farklı sürelerde  $FeCl_3$  çözeltisiyle işleme tabi tutulan zeolitlerin farklı sıcaklıklarda kalsine edilmesiyle oluşan fazlar 48 saatlik örneklerde diğerlerine göre farklı olmaktadır. Tüm örneklerde kristobalit, kuvars, fayalit ve az miktarda camı faz bulunurken, 48 saatlik örneklerde  $FeSiO_3$  fazı da oluşmaktadır. Bu örneklerde demir içeren iki kristalin hem fayalit ( $Fe_2SiO_4$ ) hem de  $FeSiO_3$  kristalinin oluşması diğerlerine göre rengini de etkilemektedir. Farklı sürelerde işlem gören ve farklı sıcaklıklarda kalsine edilen örneklerin renk değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Renk değerleri ölçümlerinde artan  $L^*$  değeri beyazlığa, azalan  $L^*$  değeri siyahlığa doğru,  $+a^*$ ; kırmızılık,  $-a^*$ ; yeşillik,  $+b^*$ ; sarılık,  $-b^*$ ; mavilik renk değerlerini göstermektedir.

Ham zeolitin  $L^*$  değeri 81,57 olmakta, çözelti ile işlem gören örneklerin kalsine edildikten sonraki  $L^*$  değerleri azalmaktadır. Ham zeolite göre  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri kalsine edilen örneklerde artmaktadır. Kalsine edilen pigmentlerde en yüksek kırmızılık değeri olan  $a^*$  48 saat bekleme işlemi gören örnekte olmakta artan kalsinasyon sıcaklığıyla  $a^*$  değeri çok az artmaktadır.

**Tablo 2.** Kalsine edilen pigmentlerin renk değerleri

Örnek	Sıcaklık ( $^\circ C$ )	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Transparan sıvı	1175	81.57	0,23	10,27
24 saat	1100	74.92	13.26	29.91
	1150	76.19	11.5	27.42
	1200	70.32	16.25	27.71
48 saat	1100	56.18	28.82	32.45
	1150	52.92	27.99	30.81
	1200	52.22	27.61	28.2
96 saat	1100	76.43	10.39	26.35
	1150	71.27	14.13	29.96
	1200	70.93	14.01	24.05

Örneklerin tümünde kalsinasyon sıcaklığı arttıkça L\* değerleri azalmakta, a\* ve b\* değerleri değişkenlik göstermektedir. Renk vermesi yönüyle bir pigmentin a\* ve b\* değerlerinin yüksek olması renklendirme yeteneğini arttırmaktadır. Farklı süreler göre işlem görmüş örnekler arasında en yüksek a\* ve b\* değeri 48 saatlik örneklerde olmaktadır. Pigment olarak kullanımı düşünüldüğünde 48 saat işlem gören örneklerin diğerlerine göre daha iyi renk değerleri vereceği ve kullanılan sıra bağı olarak sıranın a\* ve b\* değerlerini artırarak sıranın renk kazanmasını sağlayacağı belirlenmiştir. Kalsine edilen örneklerin renkdeğerlerinde artan işlem süresiyle renk değerleri paralel bir değişim göstermemektedir. En düşük L\* değerleri 48 saat işlem görmüş örneklerde olmaktadır. a\* ve b\* değerleri ise diğerlerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Demirin camısı fazda bulunması halinde bulunduğu yapının kompozisyonuna bağlı olarak yeşil renk değerini arttırmaktadır. Demirin kristal bir yapıya bağlanması veya kendi kristal yapısını oluşturması (hematit, manyetit) ile rengi, oluşan kristale bağlı olarak sarı ile kırmızı arası ve siyaha doğru renklerin oluşumunu sağlamaktadır. Doğada silikatlarla bağlandığında yeşil renkler olabilmektedir. Zeolitik bünyeye giren demirin kalsine edilmesi ile a\* ve b\* değerlerinin artması zeolitik yapıda demirin tutunabildiğini ve kalsine edildiğinde yapı içerisinde silikatlarla bağ yaparak kristal oluşturabildiğini göstermektedir.

### 3.3. Sır Çalışmaları

Zeolitik yapıya demirin yerleştirilmesi ile hazırlanan örneklerin kalsine edilmesiyle renk değerlerinin değiştiği ve bünyede demir silikat fazları oluşturduğu belirlenen pigmentlerin transparan sır içerisindeki renk davranışlarının belirlenmesi amacıyla transparan sır içerisine %3 oranında ilave edilmişlerdir. Duvar karosu pişirim fırınında 1175°C'de pişirilen örneklerin L\*a\*b\* değerleri Tablo 4' de verilmiştir.

Kullanılan transparan sıranın L\* değeri 91,08 olmakta, pigment ilaveli sıraların L\* değerleri azalmaktadır.

Farklı sürelerde işlem gören örnekler arasında en yüksek L\* değeri 96 saatlik örnekte, en düşük L\* değeri 48 saatlik örnekte olmaktadır. a\* ve b\* değerlerinde en düşük değerler 96 saatlik örneklerde belirlenmiştir. Kırmızılık değeri olan +a\* en yüksek 48 saatlik örnekte, b\* değeri ise 24 saatlik örnekte olmaktadır. Transparan sır içerisine aynı oranlarda koyulan üç farklı örnekte en iyi renklendirme kabiliyetinin 48 saatlik örnekte olması ve artan sıcaklıkla a\* değerlerinin artması, bu örneklerin kullanılabilir olduğunu göstermektedir. a\* değerlerinin arttırılmasına yönelik olarak pigmentin sıra ilave oranının arttırılması ile daha koyu renklerin elde edilebileceği düşünülmektedir.

**Tablo 3.** Hazırlanan pigmentlerin transparan sırda renk değerleri

Örnek	Sıcaklık (°C)	L*	a*	b*
Transparan sır	1175	91.08	0.54	3.15
24 saat	1100	83.17	6.30	18.57
	1150	83.17	6.37	18.6
	1200	82.19	7.97	17.71
48 saat	1100	78.81	7.98	15.63
	1150	79.35	8.66	16.05
	1200	77.42	10.4	16.04
96 saat	1100	87.51	1.42	11.29
	1150	86.20	2.27	15.79
	1200	86.7	3.32	11.74

Sonuç olarak;demir çözültisi içerisinde artan işlem süresi ile zeolitin içerisine girebilecek demir oranının artmadığı ve demirin zeolit içerisine girebileceği bir doyum oranının olduğu belirlenmiştir. İşlem süresi olarak 48 saatlik işlem süresinin yeterli olduğu, en iyi renk değerlerini bu sürede işlem gören örneklerin verdiği tespit edilmiştir. 48 saatlik işlem gören ve farklısıcaklıklarda kalsine edilen örneklerde artan kalsinasyon sıcaklığı ile demirli fazlar olan fayalit (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) ve FeSiO<sub>3</sub> ün her ikisinin beraber olduğu diğer farklı sürelerdeki örneklerde sadece fayalit fazının olduğu belirlenmiş ve bu süre baz alınarak üretilen pigmentlerin geliştirilmesi gerektiği görülmüştür.

Kalsinasyon işleminde artan sıcaklıkla L\* değerlerinin azaldığı a\* ve b\* değerlerinin

değişiminin sıcaklığa bağlı olarak orantılı bir değişiminin olmadığı belirlenmiştir. Transparan sır içerisine ilave edilerek hazırlanan pigmentler ile en yüksek a\* değeri 48 saatlik örnekte olmuş ancak istenilen kırmızılığın elde edilebilmesi için daha fazla oranlarda pigment ilave edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Sır içerisine ilave edilen farklı sıcaklıklarda hazırlanan pigmentlerde artan sıcaklıkla L\* değerleri çok az değişimlerle azalmakta, a\* değerleri artmakta, b\* değerleri belirli bir sıcaklığa bağlı değişim göstermemektedir. Yüksek sıcaklıkta kalsine edilen örneklerin daha yüksek a\* değeri olması nedeniyle kalsinasyonun yüksek sıcaklıkta yapılarak pigmentin renk değerlerinin de belirgin hale geleceği tespit edilmiştir. 48 saat işlem görerek hazırlanan pigmentlerin kullanımının uygun olduğu ve bu pigmentlerin geliştirilerek endüstriyel uygulamaya yönelik kullanımının mümkün olabileceği belirlenmiştir.

### Öneriler

- Transparan sır içerisinde pigmentlerin %3'ten daha yüksek oranda ilavesi yapılarak renk oluşumu gözlemlenmelidir.
- Çalışma demir dışında farklı renk verici geçiş elementleriyle yapılmalıdır.
- Yüksek ve düşük sıcaklık pigmentleri üretmek amaçlı farklı sıcaklıklardaki değişimler gözlemlenerek renk ölçümleri yapılmalıdır.
- Kristobalit içinde demirin çözünürlüğü ve yapıya girebilirliği araştırılmalıdır.
- Kristobalit içeren pigmentin sır içinde genleşme katsayısına etkisi araştırılmalıdır.
- Oluşan kristallerin renk üzerine etkisi araştırılmalıdır.
- Sertlik ve aşınma, kimyasal direnç dayanımı ölçülmelidir.

### Kaynaklar

Mottana, R. Crespi, G. Liborio, 1978. Guide to Rocks and Minerals, Simon and Schuster Inc., New York.  
Baran, E., 2012. Tekli ve ikili sistemde zeolit yüzeyine malachitegreen ve rhodamine B'nin adsorpsiyonunun araştırılması. *Kilis Üni. FBE YL. Tezi*.  
Bondioli F., Andreola F., Barbieri L., Manfredini T. and

Ferrari A. M. 2007. Effect of rice husk ash (RHA) in the synthesis of (Pr,Zr)SiO<sub>4</sub> ceramic pigment. *J. European Cer. Soc.* **27**, 3483–3488.

Han, in: D.W. Ming, F.A. Mumpton (Eds.), *Natural Zeolites '93, 1995, Occurrence, Properties, Use*, ICNZ, Brockport, New York, 421.

Pecsi-Donath, G. Nagy, in: D. Kallo, H. Sherry (Eds.), *Occurrence, 1988. Properties and Utilization of Natural Zeolites*, AcadeKiado, Budapest, 291.

Eppler, A., R., 2000. Glazes for High-Fire Bodies. *Cer. Eng. Sci. and Proc.* **21**, 2.

Rodriguez-Fuentes, C. Lariot Sanchez, J.C. Romero, R. Roque-Malherbe, in: B. Drzaj, S. Hocevar, S. Pejovnik (Eds.), 1985. *Zeolites – Synthesis, Structure, Technology and Application*, Ljubljana, 375.

Hill, K., Lehman, R., Swiler, D., 2008. The Effect of Selected Processing Variables on Color Formation in Praseodymium-Doped Zircon Pigments. *Ceramic Eng. and Sci. Proc.* **21**, 2.

Italian Ceramic Society, 2003. *Colour, pigments and colouring in ceramics*. SALA, Modena.

Pishch, G.N. Maslennikova, K.B. Podbolotov, Yu.A. Karizna and I.V. Belyakovich, 2011. *Silica Based Pigments*. **68**, (3-4), 71-75)

Stelzer, M. Paulus, M. Hunger, J. 1998. *Weitkamp, Mic. Mesoporous Mat.* **22**, 1.

Joshi, V.V. Joshi, A.L. Choudhari, M.W. Kasture, 1997, *Materials Chemical Physics*. **48**, 160.

Ozel, E., Turan, S., 2003. Production and Characterisation of Iron-Chromium Pigments and Their Interactions with Transparent Glazes. *J. European Cer. Soc.* **23**, 2097-2104.

Lewis, Pigment Handbook, 1988. *Properties and Economics*. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, USA, **1**, 945.

Tekbaş, M., 2007. Fe<sup>+3</sup> ile modifiye edilmiş zeolit katalizi ile azo boya çözümlerinin foto oksidasyonu. *GYTE, FBE YL. Tezi*, Çevre Mühendisliği A.B.D.

Pogrebenkov and M. B. Sedelnikova, 2002. *Ceramic Pigments Based on Natural Minerals, Glass and Ceramics*, 59 (11-12), 396-399.

Pogrebenkov, M. B. Sedelnikova and V. I. Vereshchagin, 1998. *Zeolites: Raw material for ceramic pigments, Glass and Ceramics*, 55 (1-2), 55-56.

### İnternet kaynakları

[www.akvaryum.com](http://www.akvaryum.com), (08.09.2012)

[www.koruma.com/demir3klorur](http://www.koruma.com/demir3klorur) (08.09.2012)

[www.wikipedia.com/zeolit](http://www.wikipedia.com/zeolit), (09.09.2012)