Yaş Öğütme ve Mekanik Dağıtmanın Kızıldam Halloysit Cevherinin Sinterleme Özelliklerine Etkisi

Effect of Wet Grinding and Mechanical Dispersion on the Sintering Properties of Kızıldam Halloysite Ore

E. Durgut [1], M. Terzi [2], I. Kursun Unver [2], M. Cinar [3], O. Ozdemir [2,*]

[1] *Canakkale Onsekiz Mart University, Can Vocational School, Canakkale, Turkey.*

[2] *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34500, Büyükçekmece, İstanbul, Türkiye.*

(*Sorumlu yazar: orhanozdemir@iuc.edu.tr)

[3] *Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Canakkale, Turkey.*

ÖZET

Kaolin grubu kil cevherleri genellikle seramik endüstrisinde değirmenlerde öğütülerek bünye kompozisyonuna katılmaktadır. Öğütme esnasında iri boyutlu ve sert karakterli empürite olarak sayılan mineraller ince boyuta geçerek bünye kompozisyonuna girmekte ve kalite kaybına neden olan hatalara yol açmaktadırlar. Bu çalışmada Kızıldam halloysit cevherinin sodyum hegzametafosfat varlığında mekanik işlemle dağıtıldıktan sonra 212 µm'luk elek ile sınıflandırılarak, demir içerikli sert minerallerin göreceli olarak daha yumuşak kaolin grubu kil minerallerinden ayrılması sağlanmıştır. Mekanik dağıtma sonucu elde edilen -212 µm tane boyutuna sahip malzeme ve tüvenan cevher ayrı koşullarda hazırlandıktan sonra duvar karosu (1145°C, 49 dk.) ve granit (1205°C, 63 dk.) şartlarında sinterlenerek % küçülme, su emme ve renk değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Tüvenan cevherin yaş öğütülmesiyle elde edilen hammadde pişmesinde L (beyazlık) değeri sırasıyla duvar karosu ve granit pişirim şartlarında 64,55 ve 58,14 olarak elde edilirken, mekanik dağıtma ve sınıflandırma sonucunda elde edilen malzeme için ise 73,07 ve 70,76 olarak bulunmuştur. Mekanik dağıtma ile empürite uzaklaştırma işleminin sinterlenmiş ürünlerin beyazlık (L) değerini arttırıldığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Kil mineralleri, halloysit, mekanik dağıtma, sinterleme, seramik.

ABSTRACT

Kaolin type clay ores are generally ground in mills in the ceramic industry and are included in the body composition. During grinding, hard, coarse-sized impurities are ground into finer size, got involved the body composition and increased defects that cause loss of quality. In this study, the Kızıldam halloyite ore was dispersed by mechanical mixing in the presence of sodium hegzametaphosphate, than it was eliminated from the 212 µm sieve, allowing the separation of hard minerals containing iron-bearing minerals from the relatively soft kaolin group clay minerals. -212 µm sized material that was gained from mechanical mixing and raw halloysite that was ground in the wet media were sintered in the wall tile (1145°C, 49 min.) and porcelain body (1205°C, 63 min.) sintering conditions, then the sintered materials were compared in terms of shrinkage, water absorption and color values. The L (whiteness) values of the materials that were gained with wet grinding were obtained as 64.55 and 58.14 in wall tile and porcelain sintering conditions respectively, while 73.07 and 70.76 were found for

mechanical distribution. It was observed that the empurity removal from the halloysite ore by mechanical mixing increased the whiteness (L) value of the sintered product.

Keywords: Clay minerals, halloysite, mechanical mixing, sintering, ceramics.

GİRİŞ

Kil mineralleri kendine has kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı çok eski dönemlerden beri insanlar tarafından kullanılan, doğada yaygın olarak bulunan önemli bir endüstriyel hammadde grubudur. Killer malzeme tanımı olarak yeterince su ilave edildiğinde plastikleşerek kullanıldığı bünyeye şekil vermeye yarayan, kuruyunca ve pişirildiğinde mukavemet kazanan hammaddeleri ifade etmektedir. Bu özelliklerinden dolayı killerin kullanımıyla ilgili birçok araştırma yapılmış ve günümüzde de yapılmaya da devam etmektedir (Ferrari ve Gualtieri, 2006; Kahraman, 2006; Tarhan ve Tarhan, 2019). Doğal kil mineralleri seramik endüstrisi için önemli hammaddelerdir. Kil mineralleri öncelikle seramik üretimi olmak üzere bunun yanında kâğıt, boya, plastik ve diğer sanayi kollarında da kullanılmaktadır (Murray, 2000). Kilin seramik endüstrisine katkı sağlayan özellikleri kimyasal bileşim, pişme öncesi ve sonrası mukavemet, termal özellikler, sinterleme sırasında oluşturduğu fazlar ve refrakterliktir (Ngun vd., 2011). Bu özelliklerin kil minerallerinin seramik endüstrisinde optimize edilerek kullanılması büyük bir öneme sahiptir.

Kil mineralleri literatürde, oluştukları tabaka sayılarına göre sınıflandırılmaktadır (Bergaya ve Lagali, 2006). Kaolin grubu kil mineralleri bir oktahedral tabakayla bir tetrahedral tabakanın birleşmesiyle oluşmuştur. Grubun en yaygın bulunan kil minerali kaolinit olmakla beraber dikit, nakrit ve halloysit mineralleri de bu grupta yer almaktadır. Kaolin grubu kil mineralleri seramik endüstrisinde sinterleme sonrası sergilediği beyaz pişme rengi, hidrofobisite, düşük görünür porozite, ürüne kattığı optik ve elektriksel özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir (Chandrasekhar ve Ramaswamy, 2002). Kaolin grubu minerallerinin termal davranışı 100°C'ye kadar nem içeriğinin uzaklaşması şeklindedir. Sıcaklık 400-500°C'ye ulaştığında minerale bağlı kimyasal su yapıdan giderilmekte ve metakaolen adı verilen puzolanik malzeme oluşmaktadır. Sıcaklık 900°C'ye ulaştığında birincil mullit kristalleri oluşmaktadır, 1000–1100°C'de ise birincil mullit kristalleri uzayarak ikincil ve üçüncül mullit kristalleri oluşmaktadır (Castelein vd., 2001).

Kil mineralleri feldspatik kayaçların bozunumu ve başkalaşımı sonucunda oluşmaktadır. Birincil kil yatakları yerinde oluşmuş cevherler olup düşük miktarda safsızlık içermektedirler. İkincil kil yatakları taşınmayla birlikte ana kayaçtan uzakta oluşurlar ve bu esnada yapılarına kuvars, mika, demirli ve titanyumlu mineralleri safsızlık olarak alabilmektedirler. Bu safsızlıkların seramik bünye üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Mahmoudi vd., 2017). Özellikle titanyumlu ve demirli mineraller pişirim esnasında ürünün renginin koyulaşmasına neden olarak özellikle sırlı ürünlerde istenilen dekoratif uygulamaların elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Diğer yandan kuvars minerali sinterleme esnasında cam oluşumu sağlayıp bünyeye olumlu etkileri olan mullit kristal oranını azaltmaktadır. Mika mineralleri ise pişirim esnasında ürün üzerinde deliklenmeye neden olarak ürün kalitesini azaltmaktadır.

Türkiye'deki bilinen halloysit kaynakları Biga Yarımadası'nda bulunmaktadır. Biga Yarımadası, Çanakkale/Yenice bölgesindeki Alt Triyas yaşlı Karakaya Karmaşığı'yla ilişkili mostra halindeki temel kayaçlardan oluşmaktadır. Temel kayaçlar üzerinde ise andezitik piroklastik/lavlardan oluşan Alt Miyosen yaşlı volkanojenik yığın bulunmaktadır. Volkanojenik yığın içinde kireçtaşlarıyla alakalı oluşmuş Kuzey-Güney doğrultusunda eni yaklaşık 45-50 m, uzunluğu 125-130 m ve derinliği yaklaşık 12-15 m halloysit zuhuru vardır. Zuhur içerisinde farklı boyutlarda kireçtaşı blokları da haizdir. Bölgede bulunan halloysit mineralleri genellikle 10 Å yapısında olup bunun yanında kaolinit, smektit, illit, alünit, jakopsit, pirokroit, hematit, götit ve birnessit gibi mineraller de bulunmaktadır (Ece vd., 2008). Halloysitleşmenin meteorik ve/veya magmatik kökenli hidrotermal çözeltilerin faylar boyunca yükselerek andezitik

piroklastikleri etkilemesi sonucu gerçekleştiği sanılmaktadır. Bölgedeki halloysit oluşumuna en önemli etkenlerden birisinin ortamın pH'sını düzenleyen kireçtaşlarının olduğu düşünülmektedir (Laçin ve Yeniyol, 2006; Aydın vd., 2019).

Bu çalışmada halloysit cevherine uygulanan mekanik dağıtma işleminin yaş öğütmeye kıyasla hammadde sinterleme özelliklerine ve elde edilen malzemelerin karakterizasyonuna etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Malzeme

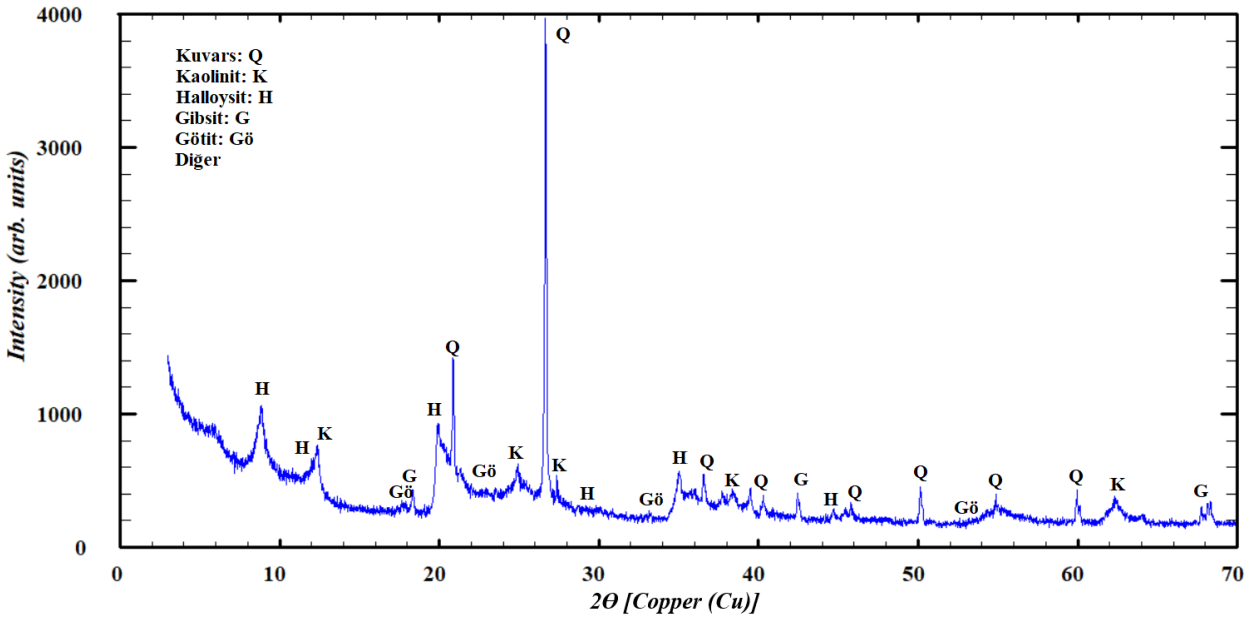
Deneysel çalışmalar için Çanakkale ili Yenice ilçesi Kızıldam köyündeki halloysit kaynağından alınan numune öncelikle çeneli kırıcı ile kırılarak -10 mm tane boyutuna getirilmiştir. Sonrasında konileme-dörtleme yöntemiyle temsili olarak azaltılan örnek üzerinde XRF yöntemi ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Numunenin 105°C'deki etüvde 4 saat boyunca kurutularak ölçülen rutubet içeriği %9,4 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 1'de -10 mm boyutuna getirilmiş tüvenan halloysit numunesinin kimyasal analizi görülmektedir.

Çizelge 1. Tüvenan halloysit numunesinin kimyasal analizi

*K.K.	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
12,0	50,9	29,7	0,7	3,9	0,2	0,4	0,2	1,1

*K.K: Kızdırma kaybı

Çizelge 1'den görüldüğü üzere, numunede halloysit mineralinin kimyasal içeriğinde bulunmayan TiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O ve K_2O de tespit edilmiştir. Ayrıca numunenin kalitatif mineralojik analizinde (XRD) ise kuvars, kaolinit, halloysit, gibsit ve götit minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. (Şekil 2).



Şekil 2. Tüvenan halloysit numunesinin mineralojik analizi

Yöntem

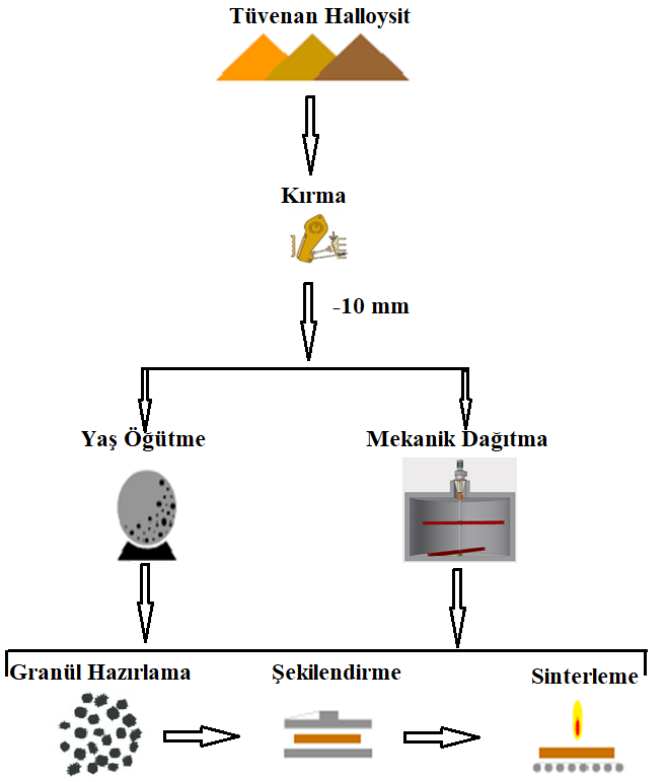
Seramik bünyeler hazırlanırken sinterleme işlemine fayda sağlamak için yüzey alanının oldukça yüksek olması istenir. Bu nedenle bünyeyi oluşturan hammaddeler tane boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmaktadırlar. Seramik bünye hazırlama işlemlerinde kaolin grubu kil mineralleri değirmenlerde öğütülerek tane boyutları küçültülmektedir.

Kızıldam halloysit cevherine uygulanan öğütme ve mekanik dağıtma işlemlerinin sinterleme özelliklerine etkisinin incelenmesi kapsamında yaş öğütme işleminde laboratuvar tipi jet değirmen ve mekanik dağıtma işleminde ise pilot çaplı mekanik dağıtıcı kullanılmıştır.

Yaş öğütme işleminde -10 mm boyutuna kırılmış halloysit cevheri kuru hammadde miktarına oranla dispersant olarak %0,75 sodyum hegzametafosfat ve saf su ile pülpte katı oranı %35 olacak şekilde laboratuvar tipi jet değirmende öğütülmüştür. Pişirme işlemi yapılacak hammaddelerin boyut kontrolü olarak elek üzerindeki kuru madde bakiyesi baz alınmıştır. Bu değerler duvar karosu pişirim şartları için +63 µm ve granit pişirim şartları için +45 µm için %2 olacak şekilde çalışılmıştır.

Mekanik dağıtma işleminde ise -10 mm boyutuna kırılmış halloysit cevheri yine kuru hammadde miktarına oranla dispersant olarak %0,75 sodyum hegzametafosfat ve saf su ile pülpte katı oranı %35 olacak şekilde mekanik dağıtıcıda 500 devir/dk hızında 4 saat süresince karıştırılmış ve eleme ile -212 µm boyutuna sınıflandırılmıştır.

Hazırlanan pülpler 150 µm'lik elek ile sınıflandırılıp etüvde 105^{o}C'de 4 saat süresince kurutulmuştur. Kurutulan pülp agat öğütücü kullanılarak öğütülmüş, %6 rutubetlendirilerek granüle edilmiştir. Elde edilen granüller duvar karosu şartları için 325 kg/cm^2 ve granit şartları için 400 kg/cm^2 sıkıştırma basıncında 5x5 cm'lik dairesel şekilli olacak şekilde el presinde şekillendirilmiştir. Hazırlanan 5x5 cm'lik tabletler yine etüvde 105^{o}C'de 4 saat süresince kurutulduktan sonra duvar ve granit şartlarında pişirilmiştir. Şekil 2'de hammadde hazırlama ve sinterleme işlemlerinin akım şeması halinde gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2. Hammadde hazırlama ve sinterleme işlemleri akım şeması

Pişme sonrası tabletler küçülme, su emme ve renk değerleri olacak şekilde sinterleme özellikleri açısından incelenmiştir. Küçülme ölçümü tabletlerin pişme öncesi ve sonrası kumpasla ölçülerek, ilk ölçüme göre elde edilen % fark şeklinde belirlenmiştir. Küçülme değeri TSE EN 10545-2 standardına, su emme testi TSE EN 10545-3 standardına ve renk ölçümleri ise TSE EN 10545-16 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

-10 mm Boyutuna Kırılmış Halloysit Cevherinin Tane Boyut Dağılımı Analizi

Halloysit cevherinin boyut fraksiyonlarına göre kimyasal içeriğinin değişiminin incelenmesi amacıyla -10 mm boyutuna kırılmış cevher kuru elemeyle -10+5, -5+2, -2+1, -1+0,5 ve -0,5 mm boyut gruplarına ayrılarak her boyut grubu kimyasal analize tabi tutulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. -10 mm boyutuna kırılmış halloysit numunesinin boyut gruplarına göre kimyasal analizi

Tane boyut, mm	K.K.	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
-10+5	10,4	51,6	27,7	0,7	8,0	0,0	0,3	0,0	1,3
-5+2	12,5	50,1	31,0	0,6	4,7	0,0	0,2	0,0	1,0
-2+1	11,9	51,9	30,4	0,6	3,6	0,0	0,2	0,0	1,3
-1+0,5	11,8	52,7	30,2	0,7	3,1	0,0	0,3	0,0	1,2
-0,5	12,5	53,0	29,5	0,7	2,7	0,0	0,3	0,0	1,3

Çizelge 2'den görüldüğü üzere tane boyut artıkça demir içeriğinin arttığı görülmektedir. -0,5 mm boyutundaki Fe_2O_3 içeriği %2,7 iken -10+5 mm boyut grubu için bu değerin %8,0'a çıktığı görülmektedir. Kaolin grubu kil mineralleri kimyasal açıdan Al_2O_3, SiO_2 ve kızdırma kaybı olarak ifade edilen H_2O'dan oluşmaktadır. Buna göre kil minerallerinin Al_2O_3 değerinin en yüksek olduğu (%31,0) -5+2 mm boyut grubunda yoğunlaştığı düşünülmektedir. Diğer yandan kuvars mineralini işaret eden SiO_2 içeriğinin (%53,0) ince boyut grubunda (-0,5 mm) yoğunlaştığı görülmüştür.

-10 mm Boyutuna Kırılmış Halloysit Cevherinin Mekanik Dağıtma Sonuçları

Halloysit cevherinin mekanik dağıtmayla dağıtıldıktan sonra 212 µm'luk açıklığa sahip elekten elenerek iki boyut fraksiyonuna ayrılmıştır. Çizelge 2'de mekanik dağıtma sonrası +212 µm ve -212 µm boyut grubuna ayrılmış fraksiyonların kimyasal analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3. Mekanik dağıtma uygulanmış halloysit cevherinin boyuta göre kimyasal analizi

Boyut	Miktar %	K.K.	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
+212 µm	17,5	11,9	50,2	26,4	0,6	9,6	0,1	0,2	0,1	1,0
-212 µm	82,5	12,2	50,9	31,3	0,7	3,2	0,1	0,3	0,2	1,2

Mekanik dağıtma işlemi sonucunda yaş elemeyle +212 µm boyut grubunda %17,5 ve -212 µm boyut grubunda ise %82,5 oranında malzeme olduğu görülmüştür. Diğer yandan yapılan kimyasal analizler sonucunda Al_2O_3, SiO_2 ve Fe_2O_3 içerikleri +212 µm boyutu için sırasıyla %26,4, %50,2 ve %9,6 iken -212 µm boyutu sırasıyla %31,3, %50,9 ve %3,2 olarak tespit edilmiştir.

Yaş Öğütme ve Mekanik Dağıtma Uygulanmış Halloysit Cevherinin Sinterleme Davranışı

Yapılan öğütme ve mekanik dağıtma çalışmalarından elde edilen malzemelerin seramik özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla sinterleme testleri yapılmıştır. Sinterleme çalışmaları duvar karosu için 1145°C maksimum sıcaklık ve 49 dk sinterleme süresi ve granit için 1205°C maksimum sıcaklık ve 63 dk sinterleme süresi koşullarında gerçekleştirilmiş olup uygulama şartları ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Yaş öğütme ve mekanik dağıtma uygulanmış malzemelerin sinterleme özellikleri

ÇALIŞILAN KRİTERLER			**Birim**	**Yaş Öğütme**	**Mekanik Karıştırma**
Granül/Toz Rutubeti			**%**	6	
Sıkıştırma Basıncı			**kg/cm²**	325	
DUVAR KAROSU PİŞME ÖZELLİKLERİ	Maksimum Pişirim Sıcaklığı		**˚C**	1145	1145
	Pişirim Süresi		**dk.**	49	49
	Pişme Küçülmesi		**%**	9,12	4,90
	Su Emme		**%**	10,51	17,01
	RENK	L		64,55	73,07
		a		10,36	7,12
		b		13,06	10,01
Granül/Toz Rutubeti			**%**	6	
Sıkıştırma Basıncı			**kg/cm²**	400	
GRANİT PİŞME ÖZELLİKLERİ	Maksimum Pişirim Sıcaklığı		**˚C**	1205	1205
	Pişirim Süresi		**dk.**	63	63
	Pişme Küçülmesi		**%**	9,72	6,22
	Su Emme		**%**	7,95	12,72
	RENK	L		58,14	70,76
		a		9,24	6,31
		b		11,52	9,48

Çizelge 4'ten görüldüğü üzere yaş öğütme uygulanmış halloysit cevherinin küçülme/su emme değerleri duvar karosu ve granit pişirim şartlarında sırasıyla %9,12/%10,51 ve %9,72/%7,95 olarak ölçülürken; mekanik dağıtma uygulanmış halloysit cevherinin küçülme/su emme değerleri duvar karosu ve granit pişirim şartlarında sırasıyla %4,90/%17,01 ve %6,22/%12,72 olarak tespit edilmiştir. Mekanik karıştırmayla iri boyutta kalan demir içerikli minerallerin önemli derecede uzaklaştırıldığı görülmüştür. Yaş öğütmede ise demirli mineraller öğünerek bünye içerisine dâhil olmaktadır. Demir mineralleri 900°C'den itibaren indirgenerek FeO'ya dönüşmektedir. Seramik bünyede bulunan FeO ve serbest silika bir araya geldiğinde ötektik oluşturarak camsı faz oluşumu için gerekli sıcaklığın düşürmekte bu da bünyede camsı faz oluşumunu desteklemektedir (Pekdemir, 2008). Yaş öğütmeyle hazırlanan bünyenin mekanik dağıtmayla hazırlanan bünyeye göre su emme değerlerinin düşük ve küçülme değerlerinin yüksek olması demir içeriğinin yüksek olmasıyla açıklanmaktadır. Diğer yandan L (beyazlık) değerleri duvar karosu ve granit pişirim şartlarında sırasıyla yaş öğütmeyle hazırlanan malzeme için 64,55 ve 58,14 olarak elde edilirken, mekanik dağıtma için ise 73,07 ve 70,76 olarak bulunmuştur. Ferro (+2 değerlikli) demir mineralleri seramik endüstrisinde önemli renk problemleri yaratabilmektedir. Çünkü sinterleme aşamasında ferrik (+3 değerlikli) demire dönüşerek, ürünlere turuncu bir renk vermektedir (Marabini vd., 1993). Mekanik dağıtma uygulanmış halloysit cevherinin yaş öğütmeyle hazırlanan malzemeye göre L (beyazlık) değerinin artmasının nedeni yapısındaki demirli minerallerin uzaklaştırılmasıyla ilgilidir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Kızıldam halloysit cevherinin mineralojik analizinde halloysit, kaolinit, kuvars, gibsit ve götit minerallerinden oluştuğu görülmüştür. Cevherin yapılan kuru elek analizinde özellikle demir içerikli minerallerin iri boyutta kaldığı gözlenmiş, mekanik dağıtmayla da demir içeriğinin iri boyutta arttığı analiz edilmiştir. Buradan cevher içerisindeki demirli empüritelerin göreceli olarak diğer minerallere göre daha yüksek sertliğe ve iri tane boyutuna sahip olduğu anlaşılmıştır. Yaş öğütmeyle birlikte bu demirli mineraller öğünerek ince boyuta geçmektedir. Bu durum seramik bünyelerde sinterleme aşamasında ürünün beyazlığını düşürerek özellikle beyaz renk istenilen ürün üretiminde ve sırlı ürünlerde yüzeyde istenilen rengin sağlanmasında zorluklar çıkarmaktadır. Bu çalışmada mekanik dağıtma uygulanarak yaş öğütmeye göre Kızıldam halloysit cevherinin kil mineral içeriğinin arttırıldığı ve seramik bünye çalışmalarında pişme sonrası renginin iyileştirildiği görülmüştür. Mekanik dağıtma sonrası manyetik ayırma ve liç çalışmalarıyla ürünün bu özelliklerinin daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

Aydın, Ü., , Şen, P., , Özmen, Ö., Şen, E., (2019). Biga Yarımadası'ndaki granitoyitlerin (KB Anadolu, Türkiye) petrolojik ve jeokimyasal özellikleri, MTA Dergisi (2019) 160: 81-116.

Bergaya, F., Lagaly, G. (2006). *Chapter 1 General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science*. Developments in Clay Science, 1, 1-18.

Castelein, O., Soulestin, B., Bonnet, J.P., Blanchart, P., (2001). The influence of heating rate on the thermal behavior and mullite formation from a kaolin raw material, *Ceramics International*, 27 (5), 517–522.

Chandrasekhar, S., Ramaswamy, S., (2002). Influence of mineral impurities on the properties of kaolin and its thermally treated products, *Applied clay science,* 21, 133–142.

Ece, O.I., Schroeder, P.A., Smilley, M.J., Wampler, J.M., (2008). Acid-sulphate hydrothermal alteration of andesitic tuffs and genesis of halloysite and alunite deposits in the Biga Peninsula, Turkey. *Clay minerals*, 43 (2), 281-315.

Ferrari, S., Gualtieri, A.F. (2006). The use of illitic clays in the production of stoneware tile ceramics. *Applied clay science*, 32 (1-2), 73-81.

Laçin, D., Yeniyol, M., 2006, Andezitik piroklastikler ile ilişkili oluşmuş halloysit yataklarına bir örnek: Soğucak halloysit yatağı (Yenice-Çanakkale). *İstanbul üniversitesi müh. fak. yerbilimleri dergisi*, 19 (1), 27-41.

Kahraman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu. *KSÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 125-128.

Mahmoudi, S., Srasra, E., Zargouni, F., (2017). Preparation, qualities and defects of ceramic materials from Tunisian clay minerals. *Surface engineering and applied electrochemistry*, 53 (3),295-301.

Marabini, A. M., Falbo, A., Passariello, B., Esposito, M. A., Barbaro, M., (1993). Chemical leaching of iron industrial minerals. XVlll international mineral processing congress, Sydney, p. 23-28.

Murray, H.H., (2000). Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: A general overview, *Applied clay science*, 17, 207–221.

Ngun, B.K., Mohamad, H. Sulaiman, S.K., Okada, K., Ahmad, Z.A., (2011). Some ceramic properties of clays from central Cambodia, *Applied clay science*, 53, 33–41.

Pekdemir A.D., (2008). *Kaolinitik bir kilin sinterleşme özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Türkiye.

Pruett, R.J., Pickering S.M., (2006). Kaolin. Pp. 383-399 in: Industrial minerals and rocks: commodities, markets and uses (J.E. Kogel, N.C. Trivedi, J.M. Barker and S.T. Krukowski, editors) 7th edn. SME. Colorado.

Tarhan, M., Tarhan, B., (2019). Investigation of the usage of Afyon clay in porcelain tile bodies. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 275-281.