



## INVESTIGATION OF $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ADDITION TO KAOLIN USED IN PORCELAIN PRODUCTION

Veli UZ\* & Hüseyin ÖZDAĞ\*\* & Eda HOCAOĞLU\*

\*Dumlupınar University The Department of Ceramic Engineering, Kutahya/TURKEY  
e-mail: veliuz@dumlupinar.edu.tr

\*\*Osmangazi University The Department of Mining Engineering, Eskisehir/TURKEY

Geliş tarihi: 20.09.2007

Kabul tarihi: 13.05.2008

### ABSTRACT

In this study, the effects on the rheology of kaolin-based ceramic suspension of sulphate salt with  $\text{Ca}^{+2}$  cation were investigated. Drying and firing behaviors of ceramic structure obtained from this suspension by using casting and semi solid shaping methods were also studied. Viscosity, plasticity, drying and physico-mechanical characteristic tests for suspension formed by adding  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  to Kaolin were applied. It was observed that the ratio of 0.25 % - 0.50 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  decreased the viscosity of kaolin. It was determined that this ratio is adequate for plasticity in semi-solid shaping. This ratio affects the drying behaviors positively and also improves the physico-mechanical characteristics. On the other hand, it was observed that this ratio deteriorate the color of ceramic structure.

**Key Words:** *Kaolin, Porcelain, Additive, Viscosity*

## CSH KATKISININ PORSELEN SÜSPANSİYON/ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

### ÖZET

Bu çalışmada, porselen üretiminde kullanılan kaolene  $\text{Ca}^{+2}$  değerlikli katyona sahip  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  tuzu ilave edilerek oluşturulan süspansiyonun vizkozite, plastiklik, kurutma davranışları ve fiziko-mekaniksel özellikleri incelenmiştir. % 0,25  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  oranının kaolenin vizkozitesini düşürdüğü, yarı katı şekillendirmede önemli olan plastiklik değeri için bu oranın yeterli olduğu, kurutma davranışlarını olumlu yönde etkilediği ve fiziko-mekaniksel özellikleri iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ancak kaolen içerikli seramik bünyelerde çözülebilir sülfat tuzlarının % 0,25 oranında kullanımının seramik bünye rengini bozduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Kaolen, Porselen, Katkı Maddesi, Vizkozite*

### 1. GİRİŞ

Kil minerali; tabakalı yapıya sahip, sulu alüminyum-silikat grubu minerallere verilen genel bir isimdir. Killerin plastik özellik kazanmasını kuruma veya pişme sonucu sertleşmesini bu mineraller sağlar [1]. Kil mineral gruplarından olan kaolen mineralleri, izomorf yer değiştirmenin büyük oranda meydana gelmediği nadir silikatlardandır [2]. Kaolin mineralinde yapının düzlemsel yüzeyinde bulunan oksijen ve hidroksil valansları tamamen doymuştur. Bununla birlikte, kenarlarda bulunan alüminyum, silis, oksijen ve hidroksil iyonları doymamıştır. Bu doymamış valanslar (veya daha yaygın ismiyle kırık bağlar) yapının parçası olmayan dış iyonlarla doymun hale gelir ve elektriksel nötrlük sağlar. Killerde katyon değişiminin diğer bir olası nedeni, temel hidroksil gruplarının oksijen ve hidrojen iyonları üzerinde negatif bir yük üretmek için iyonize olmasıdır. Bu durum diğer katyonların yer değiştirmesine olanak sağlar [3]. Kil mineralinin katmanları arasında bulunan  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  gibi katyonlar inorganik ve organik tüm katyonlarla yer değiştirebildiklerinden dolayı “değişebilen katyonlar” olarak adlandırılmaktadır [4].

Seramik kaolinlerinde mevcut değişebilir katyonlar çoğunlukla çok değerlikli ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  gibi) olmasına rağmen bazen alkali ( $Na^{+}$  ve  $K^{+}$ ) ya da hidrojen iyonları da olabilir. Böylesi katyonlar, genişleme özelliği bulunmayan illit ve hidrate mika kil minerallerinin plakaları/tabakaları arasında bulunmaktadır [5]. Kil-su süspansiyonunda tam deflokülasyon olması için partikül köşelerindeki yükün negatif olması gerekir. Bunun için çok değerli iyonların tek değerli alkali iyonları ile katyon değişimi gerçekleştirilerek suda kısmen çözünmeyen silikatlar veya karbonatlar halinde sistemden ayırmak gerekir [6].

Bir seramik süspansiyonundaki deflokülant kullanımı, yüksek katı konsantrasyonunda istenilen akışkanlıkta bir süspansiyon oluşumunu sağlar. Yüksek katı oranına sahip bir süspansiyonun düşük sıvı oranından dolayı yoğunluğu artacak ve şekillendirilen ürünün kurutma hızında artış sağlanacaktır. Kuruma küçülmesinde azalma ve buna bağlı olarak kurutma sonrası üründe oluşabilecek çarpıklıklar ve çatlaklar azalacaktır [7,8,9]. Sülfonat ( $-SO_3^-$ ) içeren polielektrolitlerin suya karşı afiniteleri yüksektir ve alkali polisülfonatlar oldukça güçlü yüzey etken madde ve deflokülantlardır. Kil taneciklerinin yüklü olması sonucu taneciklerin birbirini itmeleri yanında elektriksel çekme kuvvetlerini etkin olduğu durumlarda yüzeye yakın atomların titreşmesi sonucu oluşan geçici dipoller, Van Der Walls tipi çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olur [10]. Çok valanslı katyonların tuzları, tek valanslı katyonların tuzlarına göre daha etkili flokulantlardır. Doğal killerin deflokülasyonunu önlemek için çözünür tuzlar (genellikle kalsiyum, magnezyum veya demir sülfatlar) kullanılabilir [3].

Killerin şekillendirilmesinde önemli olan plastiklik genellikle koloidal boyuttaki başlıca taneciklerin birleşmesi olarak kabul edilir. Kilin karakteristik özelliği uygun oranda su ile karıştırıldığında yapışkan bir kütle haline gelmesi olup bu özelliği sayesinde istenilen şekli kazanması sağlanabilir [2]. Reolojik açıdan, kilin plastik bünyeleri süspansiyonlara benzemez. Ana fark şekillendirmede katı konsantrasyonun daha yüksek olmasıdır.

Çözülebilir tuzların eklenmesi killerin plastisitesini etkilemektedir. İtici kuvvetler katyon veya anyon absorpsiyonunun bir sonucu olarak kütle içindeki taneleri değiştirebilir ve aynı zamanda sıvı ortamın yüzey gerilimi de değişir. Her iki durumda kil kütlelerinin plastisitesinde güçlü bir etkiye sahiptir [2]. Yüksek şarjlı katyonlar birçok anyonik polielektrolitleri koagüle edebilir, negatif polimer zincirleri ile negatif şarjlı taneler arasındaki itmeyi azaltır. Bağlayıcı, süspansiyon içerisindeki partikül tanenin yüzey şartlarına bağlı olarak çözücüye oranla daha büyük bir çekime sahipse, bağlayıcının absorpsiyonu gerçekleşmeyebilir [11].

Bir kili plastikleştirmek için gerekli su miktarı kilden kile farklılık gösterir [12]. Kil tipine bağlı olarak kurutmada alınacak su miktarı kütlece %10-40 arasındadır [13]. Yüksek plastikliğe sahip killer düşük plastikliğe sahip iri taneli killere göre daha uzun zamanda kurur ve bu killerin kuruma küçülmesi de yüksek olur [14]. Kuruma dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir [15]. Porselen üretiminde kullanılan killerle birlikte çözünebilir tuzlar gelmekte ve bu tuzlar porselen döküm çamurunun özelliklerini etkilemektedir. Özellikle sülfat tuzları hem reolojiiyi hemde pişme esnasında ürün rengini bozabilmektedir. Bu çalışmada  $Ca^{+2}$  değerlikli katyona sahip sülfat tuzunun kaolen içerikli seramik süspansiyonlarındaki etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOD

Deneylerde kullanılan kaolen yüksek sıcaklık porselen üretiminde kullanılmaktadır ve Kütahya Porselen A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. Kaolenin kimyasal analizi Perkin Elmer 1100B model atomik absorpsiyon spektroskopisi ile Kütahya Porselen A.Ş. Ar-Ge laboratuvarında, mineralojik analizi Rigaku Miniflex marka XRD cihazı ile Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Kaolene ilave olarak katılan  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , katı miktarı üzerinden % 0.25 - % 0.50 - % 0.75 ve % 1 olarak eklenmiştir. Daha sonra kaolenin, viskozite, plastiklik, kuruma hızı, kurutulmuş ve pişirilmiş örneklerin fiziko - mekaniksel özellikleri incelenmiştir.

Vizkozite ölçümlerinde Brookfield DVII vizkozimetre cihazı kullanılmış ve katı oranı % 40 olarak alınmıştır. Kaolen etüvde  $80^\circ C$ ' de 24 saat kurutulduktan sonra merdaneli kırıcı ile 1mm' nin altına indirilmiştir. Şekillendirme amacıyla kaolene Pfefferkorn plastiklik testine göre 24 mm' ye karşılık gelen oranda su ilave edilerek plastik çamurlar hazırlanmıştır [16]. Çamurun elle hazırlanmasından kaynaklanabilecek homojen olmayan nem dağılımını önlemek için çamur, hava girmeyecek şekilde izole edilmiştir. Nemin çok olan yerden az olan yere hareketini sağlamak için güneş ışığından uzakta 24 saat süreyle bekletilmiştir. Bir gün süreyle bekletilmiş olan çamur, 15 cm x 2,5 cm x 1,5 cm boyutlarındaki dikdörtgenler prizması şeklindeki alçı kalıpta şekillendirilmiştir. Şekillendirilen örneklerin ağırlıkları ölçülmüş ve yüzeylerine kuru küçülmelerinin tespiti için 10 cm' lik (ön ve arka yüzeylere 2, yan yüzeylerine 1 adet) işaretler konulmuştur. Örneklerin bir kısmı kuru

küçülme ölçümlerini yapmak için 110°C'de etüvde kurutmaya, bir kısımda örneklerin periyodik zamanlarda ölçümleri yapılarak elde edilen kuruma davranışlarını tespit etmek için 80°C'lik etüve yerleştirilmiştir.

Kurutulan numuneler 960°C pik sıcaklıkta pişirilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan numunelere kuru küçülme, pişme küçülmesi, su emme, porozite ve ham-pişişmiş mukavemet testleri uygulanmıştır. Kurutma davranışlarının tespitinde zamana bağlı olarak çizilen ağırlık kaybı ve küçülme grafiklerinde "Büküm Noktaları" ve "Büküm Son Noktaları" tespit edilmiştir. Lineer artan bölüme kadar olan doğrusal fonksiyon lineer regrasyonla bulunmuştur. Bu noktadan itibaren başlayan e-fonksiyonu, kurutma eğrisinin tekrar doğrusallaşmaya başladığı noktaya kadar (değişmez ağırlık noktasına kadar) regrasyon analizi ile belirlenmiştir. Belirlenen fonksiyonların zamana göre türevi alınmıştır. Elde edilen değerler ile ağırlık kaybı hızı hesaplanmıştır. Aynı fonksiyon hesaplamaları küçülme grafikleri için de yapılarak küçülme hızları tespit edilmiştir. Her grup için zaman-su kaybı ve zaman-küçülme hız grafikleri verilmiştir. Küçülme ve su kayıp oranının zamana bağlı olarak tek bir grafikte küçülmeye bağlı olarak su çıkışı (Bigot Eğrisi) grafikleri çizilmiştir.

### 3. BULGULAR

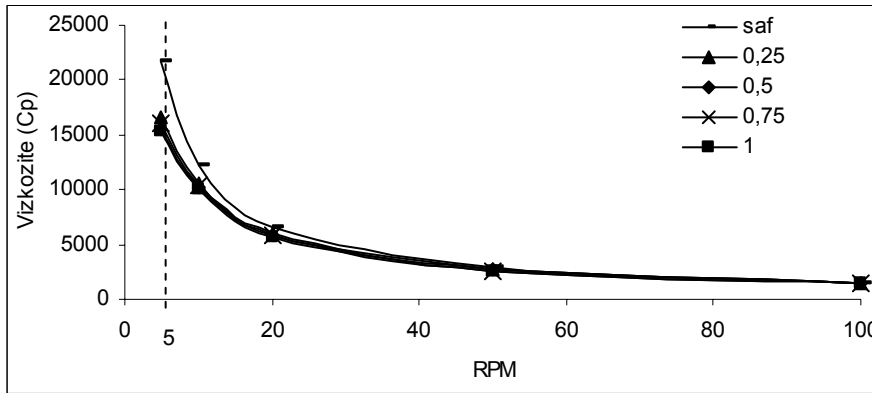
Deneylerde kullanılan kaolenin kimyasal ve çoğunluk sırasına göre mineralojik bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kaolenin % kimyasal ve mineralojik analiz sonuçları .

Kimyasal analiz(%)								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	A.Z.
45,65	37,63	0,73	0,30	0,27	0,62	2,40	0,13	11,91
Mineralojik analiz								
Kaolinit+klorit, muskovit+illit, kuvars, feldispat								

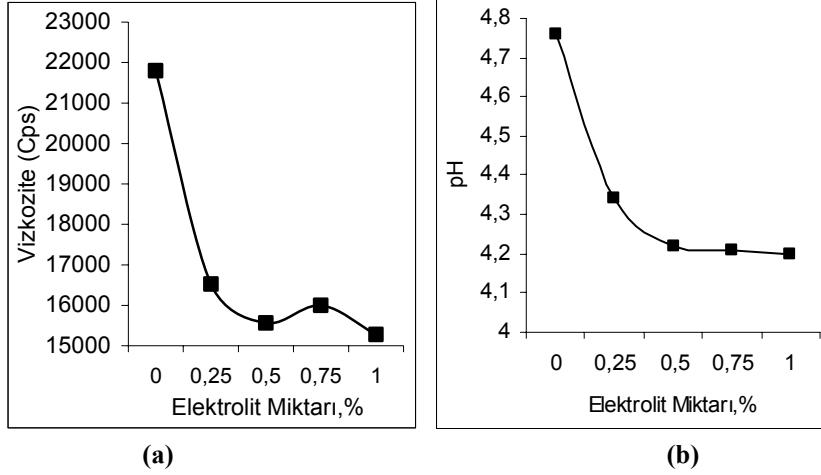
#### 3.1. Vizkozite ve pH'ya Etkileri

Kaolenin katı oranı tespit edildikten sonra hazırlanan süspansiyonlara % 0,25 - % 0,50 - % 0,75 - % 1 oranlarında CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O katılmış ve vizkozite ölçümleri yapılmıştır. Artan dönme hızlarına göre farklı oranlarda katkı içeren kaolenlerin vizkoziteleri Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle artan dakikadaki devir sayısı (RPM) ile vizkozite değişim eğrileri

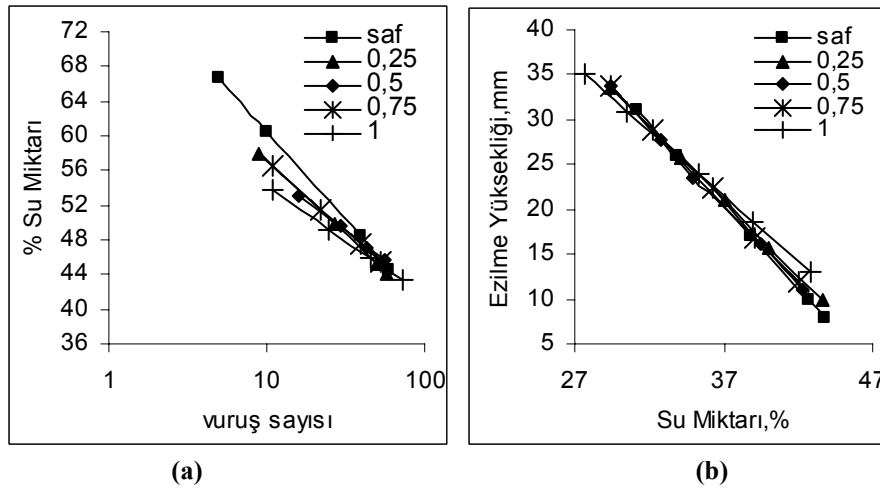
Kaolen süspansiyonlarında farklı oranlarda katkılarla artan dakikadaki devir sayısı ile ölçülen vizkozite değerlerinin gruplar arasında ve birbirleri arasında karşılaştırmasını yapmak için, en uygun ve en belirgin farklılığın olduğu dakikadaki 5 devir sayısındaki vizkozite değerleri alınarak mukayese yapılmıştır (Şekil 2a). Kaolendeki artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi vizkozite ve pH değerini düşürmektedir. Özellikle % 0,25 ve % 0,50 ilavesiyle belirgin olarak katkısız kaolenin vizkozitesine göre düşüş olmakta, bu oranların üzerindeki artan ilavelerle vizkozite ve pH'daki bu düşüş azalmaktadır(Şekil 2a, 2b).



Şekil 2. Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle vizkozite (a) ve pH (b) grafikleri

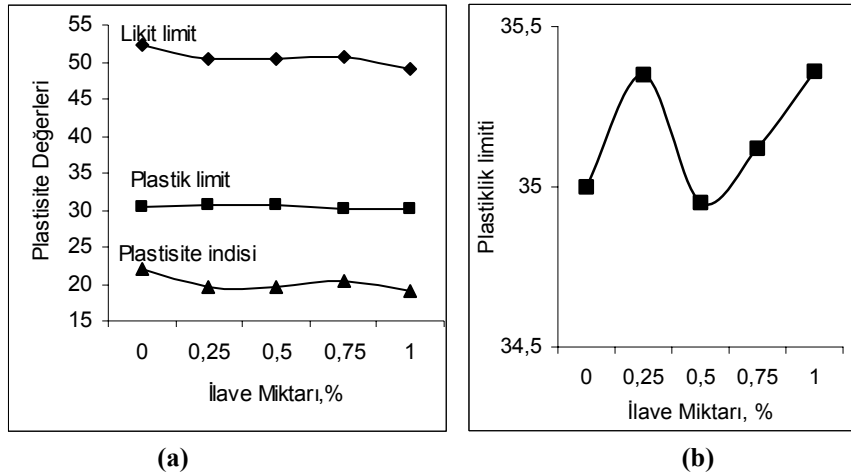
### 3.2. Plastikliğe Etkisi

Attenberg likit limit eğrileri, katkılı kaolenlerin 25 vuruşa karşılık gelen likit limit değerleri kaolendeki artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O miktarına göre okunarak elde edilmiştir (Şekil 3a). Kaolendeki artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi ile likit limit değerlerinde azalma görülmektedir. Saf kaolenin likit limit eğrisi ile artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O katkılı kaolenlerin likit limit eğrileri karşılaştırıldığında, artan ilavelerle likit limit eğrileri aşağıya ve sola doğru kaydığı görülmektedir (Şekil 3a). En düşük likit limit değeri % 1 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinde % 49,17 olmuştur. Vizkozite ölçümlerinde, CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi su içeriği yüksek süspansiyonda vizkoziteyi belirgin olarak düşürmekte iken, CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin su içeriği düşük yarı katı süspansiyonda ise vizkozite üzerine etkisi daha az olmaktadır. Süspansiyondaki su oranının azalmasıyla süspansiyon ortamından plastik ortama doğru CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O'nun taneler arasındaki etkisi azalmaktadır. Artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveleri kaolende Pfefferkorn eğrileri üzerinde fazla bir etki yapmadığı Şekil 3b'de görülmektedir.



Şekil 3. Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle likit limit (a) ve Pfefferkorn (b) eğrileri

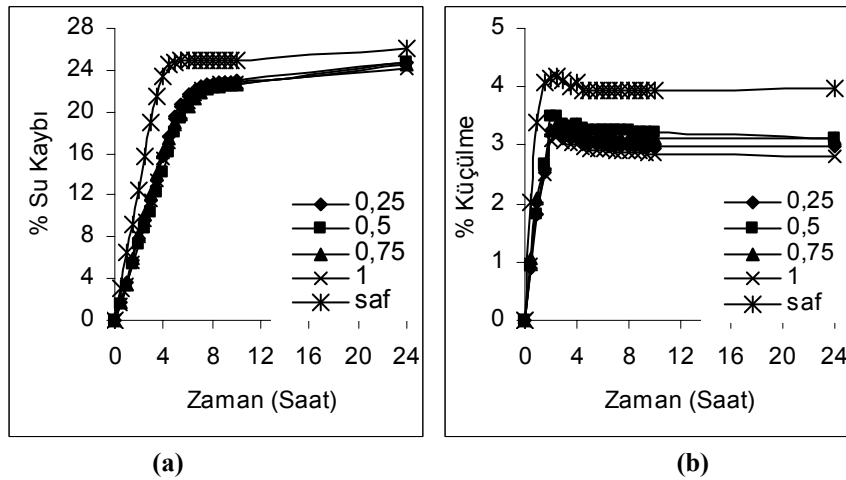
Kaolende artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi ile plastisite indisi değerleri azalmaktadır (Şekil 4a). En düşük plastisite indisi değeri % 1 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinde % 19,06 olarak elde edilmiştir. İlavelerin Pfefferkorn plastiklik değerlerinde CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi ile kaolende % 0,50 ilavede % 34,84 olarak bulunmuştur. % 0,50 ilave oranında çok az bir plastiklik düşüşü görülmüş, diğer ilave oranlarında saf kaolenin plastiklik değerlerine göre çok belirgin artış olmamakta ve plastiklik değişimi % 0,5 aralığında kalmaktadır (Şekil 4b).



Şekil 4. Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle Atterberg (a) ve Pfefferkorn (b) plastiklik limitleri

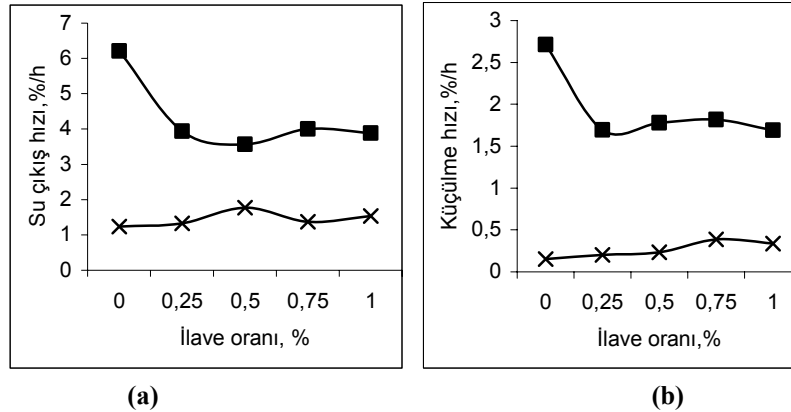
### 3.3. Kurutma Davranışlarına Etkisi

CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin kaolenin kurutma davranışlarına etkisi incelendiğinde, zamana ve katkı miktarının artmasına bağlı olarak su çıkış oranı ve küçülme oranları azalmaktadır. Şekil 5a'daki su çıkış oranı grafiğinde ve Şekil 5b'deki küçülme oranı grafiğinde CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O katkılı kaolen numune eğrilerinin saf kaolen numune eğrilerinin altında kalması su çıkış ve küçülme oranındaki azalmayı göstermektedir. Su çıkış oranı grafiğinde katkılı örneklerde katkısız kaolene göre su, kurutma sonunda bünyede bulunmaktadır. Küçülme oranı grafiğinde küçülmeler % 1 oranında azalmaktadır.



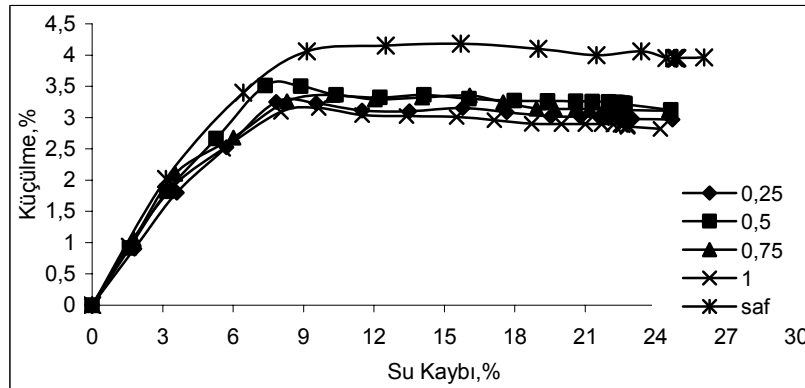
Şekil 5. Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle zamana göre su kaybı (a) ve küçülme (b) grafikleri

Zamana bağlı su çıkışı ve küçülme oranı grafiklerinin lineer bölümünde hesaplanan su çıkış ve küçülme hızı artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle hem su çıkış hızı, hem de küçülme hızı saf kaolene göre azalmaktadır. Su çıkışı ve küçülme oranı grafiklerinin azalan bölümünde her iki hız katkısız kaolene göre artmaktadır. Bu bölümden kurutmanın hızlandırılabilceği görülmektedir. Kurutmada, hız grafiklerine göre % 0,25 ve % 0,50 ilavelerin yeterli olduğu artan ilavelerle hız değişiminin çok az olduğu ve optimum katkı oranının % 0,25 olduğu görülmektedir (Şekil 6a ve Şekil 6b).



Şekil 6. Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle su çıkış hızı (a) ve küçülme hızı (b) grafikleri

Kaolene artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesiyle yapılan numunelerin bigot eğrilerinde küçülme azalmakta bununla birlikte daha az su çıkışı ile büküm noktaları yakalanmaktadır. Saf kaolene göre su çıkış hızı ve küçülme hızı yavaş olmasına rağmen daha az küçülme ile büküm noktaları oluşması sayesinde artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolenlerde daha kısa sürede büküm noktası elde edilmektedir (Şekil 7). Bigot eğrilerine göre CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli numunelerde kurutma esnasında oluşabilecek deformasyona rastlanmayacağı görülmektedir.



Şekil 7. Kaolende artan oranlarda CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinde bigot eğrileri

Bigot eğrilerine göre elde edilen dönüm noktalarında, lineer bölümde süre olarak tüm örnekler 1,5 saatte tamamlanmakta ve küçülme oranı olarak katkısız kaolene göre CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli örneklerin küçülme oranları ve su kaybı oranları azalmaktadır. Bigot eğrilerindeki azalan bölümde katkısız kaolene dönüm noktası 5 saatte olmakta iken artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolen numunelerinde dönüm noktası 3-3,5 saat olmaktadır. Küçülme ve su kaybı oranları da katkısız kaolene göre azalmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Kaolende CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin Bigot eğrilerinde dönüm noktaları

İlave Oranı %	Lineer Bölüm			Azalan Bölüm		
	Saat	%Küçülme	% Su Kaybı	Saat	%Küçülme	% Su Kaybı
Saf	1,5	4,06	9,14	5,0	3,95	24,80
0,25	1,5	2,53	5,72	3,5	3,10	13,51
0,50	1,5	2,66	5,28	3,5	3,32	12,26
0,75	1,5	2,68	6,01	3,0	3,29	12,04
1,00	1,5	2,50	5,57	3,0	3,04	11,50

### 3.4. Fiziko-Mekaniksel Özelliklere Etkisi

Bünyeden suyun tamamen atılması ile (110°C' de) kuru küçülmeler katkısız kaolenin küçülme değerlerine yakın çıkmaktadır. Toplam küçülme değerlerinde % 0,25 ve % 0,75 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolen numunleri katkısız kaolen numunelerine göre % 5,09 ile % 5,03 artış göstermiştir. Artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolen numunelerinde su emme ve porozite değerlerinde % 1-2 oranında artma ve azalmalar görülmektedir. Özellikle artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolen numunelerinde mukavemet değerlerinde artış görülmektedir (Tablo 3). Ekonomik olarak en düşük ilave oranı olan % 0,25 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilaveli kaolen numunelerinin katkısız kaolene göre mukavemet değerlerinde belirgin olarak artış sağladığı görülmektedir.

**Tablo 3.** Kaolende artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin fiziko-mekaniksel özelliklere etkisi

Fiziko-Mekaniksel Testler	% İlave Oranı				
	Saf kaolen	0,25	0,50	0,75	1
Kuru Küçülmesi (%)	3,24	3,64	3,38	3,62	3,12
Pişme Küçülmesi (%)	1,01	1,45	0,88	1,41	1,10
Toplam Küçülme (%)	4,25	5,09	4,26	5,03	4,22
Su Emme (%)	28,92	27,59	26,79	29,68	28,19
Porozite (%)	42,26	40,54	39,38	43,25	41,33
Kuru Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	9,54	12,19	10,18	12,93	9,08
Pişmiş Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	35,12	49,49	48,71	48,29	40,28

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışma sonrasında aşağıda verilen bulgular elde edilmiştir.

- Su oranı yüksek süspansiyonlarda % 0,25 ve % 0,50 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi kaolenin vizkozite değerlerini belirgin olarak (yaklaşık % 30 oranında) azaltmıştır.
- Su oranı düşük olan ortamlarda özellikle yarı katı şekillendirmede önemli olan plastiklik değerlerinde % 0,25 ve % 0,50 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavelerinin yeterli olduğu, daha yüksek oranlardaki CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavelerinin plastiklik değerinde fazla değişim sağlamadığı tespit edilmiştir.
- Su oranı yüksek süspansiyonlarda artan CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi yarı katı çamurlara göre daha etkili olmaktadır.
- Su çıkış hızında ve küçülme hızında % 0,25 ve % 0,50 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin etkisinin artan ilavelere göre daha belirgin olduğu bulunmuştur.
- CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin artması ile kaolen numunelerinde zamana bağlı olarak su çıkış oranının ve küçülme oranının azaldığı bunun sonucu olarak kurutma özelliği üzerine negatif etkisi olduğu görülmüştür.
- Bigot eğrilerinde daha az küçülme değerlerinde dönüm noktasının yakalanması, kurutmada CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin problem yaratmadan ürünün kurutulabileceğini göstermiştir.
- % 0,25 ile % 0,50 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesi fiziko-mekaniksel özelliklerde; özellikle kuru ve pişmiş mukavemet değerlerini katkısız kaolene göre % 30-40 oranlarında arttırmıştır.
- Kaolene CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavelerinde vizkozite, plastiklik, kurutma davranışları ve fiziko-mekaniksel özelliklerin incelenmesi sonucunda ekonomik olarak % 0,25 CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O ilavesinin yeterli olacağı ve bu oranın kaolenin seramiksel özellikleri üzerinde olumlu yönde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çözülebilir sülfat tuzlarının kaolen içerikli seramik bünyelerde çok düşük oranlarda olması durumunda seramik bünyede rengi bozmakta ancak kaolen süspansiyonunun reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilerinin olduğu görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Işık, İ., 1996, *Kil ve Kil Minerali Tanımı*: AIPEA ve CMS Terminoloji Komitelerinin Ortak Raporu (Çeviri), Seramik Dünyası Dergisi, Temmuz-Ağustos sayısı, 15 s.
- [2] Grimshaw, R.W., 1971, *The Chemistry And Physics Of Clays*, Tech Books, 4012
- [3] Worrall, W.E., 1986, *Clays and ceramic raw materials*, Elsevier science publishing co., In., 52, Vanderbilt Avenue, New York, NY 10017, USA, 27-47 p.
- [4] Adams J. M. and Evans, S. ,1979, *Determination of cation exchange capacity (layer charge) of small quantities of clay minerals by nephelometry*. Clay and clay Minerals, 27: 137- 13 p.
- [5] Phelps, G.W, Maguire, S.G., Kelly, W.J. and Wood, R.K., 1982, *Rheology and Rheometry of Clay-Water Systems*, Cyprus Industrial Minerals, Sandersville, CA,39-41 p.
- [6] Phelps, G.W., 1982, *Slip Casting*, Ceramic Monographs-Handbook of Ceramics, Verlag Schmid GmbH, Freiburg, 1 p.
- [7] Uz, V., Özdağ, H., Işık, İ. ve Yılmaz, B., *Bazı Katkı Maddelerinin Tuğla Ve Kiremit Kilinin Vizkozite ve pH Değerlerine Etkisinin Ön Araştırması*, 12. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı (Ed: T.Yakupoglu, M., Açlan ve O. Köse), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 2005.
- [8] Uz, V., Özdağ, H., Işık, İ. Ve Erdinç, E., M., (2005), *Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> İlavesinin Kiremit Kilinin Özelliklerine Etkisinin Ön Araştırması*, (Ed: B. Karasu, A. T. Özen, F. S. Alanyalı ve R. Yamaçlı): Seres III. Uluslar arası katılımlı Seramik, Cam, Emaye, Sır ve Boya Semineri, 221-231, 17-19 Ekim 2005, Eskişehir.
- [9] Uz, V., Isik, I., Ozdag, H., *The effect of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> addition on ceramic grade kaolin*, (in Turkish); Journal of Clay Science and Technology, 2006
- [10] J. Amer. Ceram. Soc. 41, 1958, *Theory of ion exchange and development of charge in kaolinite-water systems*, 136-140 p.
- [11] Reed, J., 1986, *Introduction to the principles of ceramic processing*, Wiley-Interscience Publications, New York, 134-144, 230-231, 380-386 p.
- [12] Chiari, B.V., 1986, *Investigations on Drying Sensitivity (part 1)*, cfi/ber. DKG 9/10-86, 410-412 p.
- [13] Bender, W., Handle, F., 1982, *Brick and Tile Making, Procedures and Operating Practice in the heavy clay Industries*, Wiesbaden und Berlin, Deutschland, 272-282 p.
- [14] Chiari, B.von., 1986, *Investigations on drying sensitivity ( a survey), (part 2)*, cfi/Ber. DKG 9/10 86 , 482-486 p.
- [15] Ryan, W., 1968, *Properties of ceramic raw materials*, 69-75 p.
- [16] Uz, V., 2004, *İnorganik, Organik ve Biyolojik Bazlı İlavelerin Kilerin Seramik Özellikleri Üzerine Etkisi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 507 s., Eskişehir.