

PIŞİRME HIZININ VE PLASTİKLİK SUYUNUN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Gökhan GÖRHAN¹, Sercan ÇELİK²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar
ggorhan@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar
srcncllk@windowslive.com

Özet

Bu çalışmada farklı pişirme hızları ve plastiklik suyunun tuğla özelliklerinde meydana getirdiği etkiler araştırılmıştır. Çalışmada hammadde olarak kullanılan kil Çorum bölgesinden temin edilmiştir. Karışımların hazırlanması amacıyla kil malzemesi öncelikle laboratuvar tipi seramik bilyeli değirmende tane boyutu maksimum 1 mm oluncaya kadar öğütülmüştür. Ardından iki farklı oranda (% 20 ve % 25) plastiklik suyu eklenerek tuğla çamurları yoğrulmuş ve plastiklik kalitesinin artması amacıyla dinlenmeye bırakılmıştır. Dinlendirilen tuğla çamurları manuel olarak 25 x 50 mm boyutlarında silindir prizma şeklinde şekillendirilmiştir. Üretilen tuğla örnekleri bir gün süreyle laboratuvar ortamında bekletildikten sonra, etüvde +105 C°'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler üç farklı pişirme hızında (yavaş, orta, hızlı) laboratuvar tipi elektrikli fırında pişirilmiştir. Elde edilen bulgulara çift etkenli varyans çözümlemesi (ANOVA) ve ortalama karşılaştırma testleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre pişirme rejiminin tuğla özelliklerinde önemli bir değişime sebep olmadığı ve örnekler arasında önemli bir farklılığın oluşmadığı gözlenmiştir. Karışımların hazırlanması sırasında bünyeye eklenen plastiklik suyunun artması ile örneklerin basınç dayanım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil, Tuğla, Pişirme hızı, Plastiklik suyu

EFFECT OF THE FIRING SPEED AND PLASTICITY WATER ON THE BRICK PROPERTIES

Abstract

The main objective of this study is to investigate the effects of different firing speeds and plasticity water on the properties of bricks. In this study, Çorum clays used as a raw material. Primarily, the clay material was grounded until up to 1 mm grain size for the preparation of mixtures in the laboratory type mill with ceramic ball. Then, brick muds kneading with two different ratios (20 % and 25 %) plasticity water and its left to the rest for increase of its quality. The rested brick muds were shaped with in 25 x 50 mm sizes as cylinder prism. After one day, the brick samples were dried in oven at + 105 °C until its weight does not change. The dried samles were fired at three different firing speed (slow, medium and fast) in a laboratory type electrically furnace. Double-factorial analysis of variance (ANOVA) and average comparison tests were performed to the findings. According to the findins, the firing regime was not significant on the brick properties and there aren't significant differences in between samples. However, it was concluded that increasing plasticity water was decreased the compressive strenght of brick samples.

Keywords: Clay, brick, Firing speed, Plasticity water

1. Giriş

Tuğla üretiminde hammadde olarak kil malzemesi kullanılmaktadır. Bu hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi için öncelikle öğütülmesi gereklidir. Hammaddenin homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için iyice ufalanması ve ince partiküller halini alması gerekmektedir. Homojen bir kil hamuru elde etmek için kilin yeterli miktarda su ile birlikte ezilmesi ve karıştırılması gerekmektedir. Kile su ilave edildiğinde plastiklik bir miktar artmaktadır. Su ilavesi, öğütme öncesinde yapılabildiği gibi öğütme sonrasında da yapılabilmektedir [1, 2].

Bir kili plastikleştirmek için gerekli su miktarı kilden kile farklılık göstermektedir. Kil tipine bağlı olarak, kurutmada alınacak su miktarı kütlece % 10 - % 40 arasında olmalıdır. Yüksek plastikliğe sahip killer, düşük plastikliğe sahip iri taneli killere göre

daha uzun zamanda kurumakta ve bu killerin kuruma küçülmesi de daha yüksek değerlerde olmaktadır. Dolayısıyla kuruma dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir [3].

Tuğla çamurunun dinlendirilmesi, tuğla üretiminde hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Üretilen malzemenin kalitesini etkileyen çok önemli bir unsurdur. Killerin tiksotropik özellikleri dolayısıyla yoğrulmuş çamurun dinlenme esnasında direnç kazanması söz konusudur. Dinlendirme işlemi öğütme işlemlerinden önce veya sonra da yapılabilmektedir [1, 2].

Dinlendirilen tuğla çamurları şekillendirmenin ardından pişirilmektedir. Pişirme prosesi, kil tanelerini birbirleriyle bağ yapacak şekilde sinterlemektedir. Pişirme süresince, kuartz, feldispat, kalsit, dolomit ve hematit gibi mineraller seramik ürünlerin nihai özelliklerini belirleyen bir seri dönüşümler meydana getirir. Sinterleme sürecinde yüksek enerji gereksinimlerinden dolayı tuğla bünye içerisine katılan katkıları ergitici olarak adlandırılmakta ve sinterleme için gerekli olan sıcaklığı düşürmektedir. Sinterleme sıcaklığını düşürmek amacıyla Na_2O ve CaO içeren katkıları kullanılabilir. Sinterleşme, şekillendirilip kurutulmuş tuğla hammaddesinin erimeye yakın duruma kadar pişirilmiş halidir [4-7].

Sinterleme ayrı taneciklerin yapışkan bir kütle içinde bağlanmasıdır. Bu işlem tane sınırlarının fiziksel olarak yeniden düzenlenmesi anlamına gelir. Seramik malzemelerde atomları sınırlarından ayıracak ve farklı bir bölgeye taşıyacak yeterli enerji olmazsa kütle hareket edemez.

Sinterleme hızı üç önemli değişken tarafından belirlenir. Bunlar;

- Süre: sinterleme üzerinde doğrusal bir etkiye sahiptir. Sinterleme süresine paralel olarak sinterleme miktarı gerçekleşir.
- Tane boyutu: sinterleme miktarı üzerinde ters bir güç ilişkisine sahiptir. Ortalama tane boyutunun küçülmesi ile gerekli sinterleme süresi azalacaktır.
- Sıcaklık: sinterlemeyi üstlü olarak etkiler. Sıcaklıktaki küçük bir değişiklik sinterleme üzerinde çok büyük oranda bir etkiye yol açacaktır [8].

Silikat tabakalarının kafes yapılarında bulunan su $450-650$ °C arasında bünyeden uzaklaşır. Bu sıcaklıkta kil plastikliğini kaybeder ve yeni mineral oluşumuyla ilk pişirme safhası başlar. Ürün boyutsal kararlılık kazanır ve hava direnci artmaya başlar. $450-650$ °C arasında ısıtma çok hızlı yapılırsa ani su çıkışı nedeniyle seramik bünyede

çatlamalar meydana gelebilir. Isıtma sırasında 573 °C'de α - β kuvars dönüşümü meydana gelir. Genleşme oranı, kuvarsın tane boyu ve miktarına bağlıdır. Kuvars dönüşüm sıcaklığı çok hızlı geçilirse ani genleşme nedeniyle seramik bünyede gerilmeler ve bunun sonucu olarak da üründe çatlamalar meydana gelebilir [9].

Yapı tuğlaları hem geleneksel yavaş süreli ve hem de hızlı pişirme yöntemi ile pişirilerek, mikro yapı ve mekanik özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçta ürünlerin su emme değerleri her iki pişirme yönteminde de eşit olmuştur. Hızlı pişirme yöntemi örneklerin eğilme mukavemetini ve gözenek boyutlarını artırırken dona dayanımını da iyileştirmiştir. Bununla birlikte örneklerin birim hacim ağırlıkları ise düşmüştür. Pişme küçülmesi ve gözenek boyutu ayrımının karbonat içeriği ve kilin tane boyutuna bağlı olduğu görülmüştür. Hızlı pişirme yönteminde maksimum sıcaklıklar 50-100 °C daha fazla yükseltildiğinde geleneksel pişirme yöntemindeki ürün özellikleri elde edildiği gibi bu özelliklerin daha olumlu olarak geliştiği belirtilmiştir [10].

Bu çalışmada ise tuğla örnekleri, iki farklı oranda plastiklik suyu ilavesi yapılarak şekillendirilmiş ve 900 °C sıcaklıkta bir saat süreyle ve üç farklı pişirme hızında sinterlenmiştir. Böylelikle örneklerin pişirme sıcaklığına ulaşma süreleri ve sıcaklık artışlarının nihai tuğla örnekler üzerinde yaptığı etkiler belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan kil hammaddesi Çorum bölgesinde bulunan bir tuğla fabrikasından alınmıştır. Kilde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ten oluştuğu ve pişirme sonucunda oluşan ağırlık kaybını ifade eden kızdırma kaybı (K.K.) değerinin % 11,7 olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Kilde tuğla üretiminde zararlı olabilecek oranda kireç (mak. %25), kireçtaşı parçaları, organik maddeler ve iri kayaç artıkları gibi ürünlerin olmadığı gözlenmiştir [11].

Tablo 1. Kil hammaddesine ait kimyasal analiz değerleri.

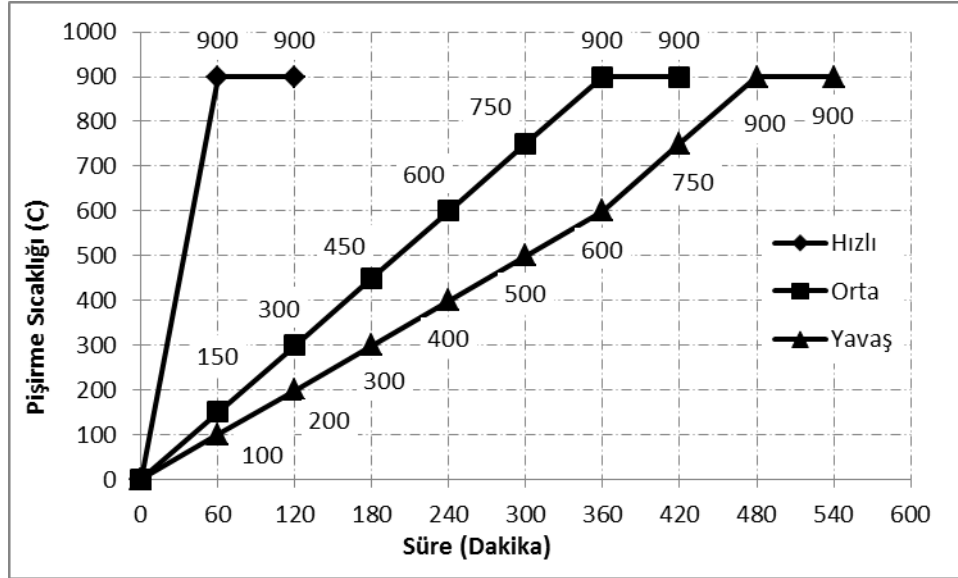
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	SO_3	P_2O_5	K.K.
42,40	15,90	8,97	5,19	9,93	1,10	2,51	1,12	0,209	0,555	0,208	11,70

Karışımların hazırlanması sırasında % 20 ve % 25 oranlarında olmak üzere iki farklı plastiklik suyu karışımlara eklenerek tuğla çamurları hazırlanmıştır. Hazırlanan çamurlar kapalı bir poşete yerleştirilmiş ve ardından plastiklik özelliklerinin gelişmesi amacıyla bir gün laboratuvar ortamında dinlenmeye bırakılmıştır. Daha sonra bu çamurlar 25 x 50 mm ölçülerinde metal silindir kalıp kullanılarak manuel olarak şekillendirilmiştir. Şekillendirilen örnekler bir gün laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmış ardından da etüvde +105 °C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 900 °C sıcaklıkta ve üç farklı pişirme hızında pişirilmiştir. Pişirilen örnekler bir gün sonra fırından alınmıştır. Plastiklik suyu oranı ve pişirme rejimine göre oluşturulan örnek grupları Tablo 2’de, örneklerle uygulanan pişirme rejimleri ise Şekil 1’de gösterilmiştir.

Hızlı pişirme rejiminde örnekler fırına yerleştirildikten sonra, fırın sıcaklığı 900 °C olarak ayarlanmış ve bu sıcaklığa bir saatte çıkılmıştır. Dolayısıyla hızlı pişirme rejiminde örneklerle 15 °C/dak. pişirme hızı uygulanmıştır. Orta pişirme rejiminde ise örnekler altı saat sonunda nihai sıcaklığa ulaşmıştır. Bu nedenle orta pişirme hızında örneklerin pişirme hızı 2,5 °C/dak.’dır. Yavaş pişirme hızında ise örnekler 600 °C’ye kadar 1,67 °C/dak., 600 – 900 °C arasında ise 2,5 °C/dak. pişirme hızında pişirilmiştir.

Tablo 2. Plastiklik suyu ve pişirme hızına göre oluşturulan örnek grupları.

Örnek grubu	Plastiklik Suyu (%)	Pişirme Hızı
A1	20	Yavaş
A2	20	Orta
A3	20	Hızlı
B1	25	Yavaş
B2	25	Orta
B3	25	Hızlı



Şekil 1. Örneklerin pişirme rejimi grafiği.

Piştirilen örneklerin etüv kurusu ağırlıkları (W_1) belirlendikten sonra, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 24 saat süre ile su tankında bekletilerek suya doygun hale gelmeleri sağlanmıştır. Bu örneklerin fiziksel özellikleri Arşimet prensibine göre belirlenerek; su emme, görünen porozite ve birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi sırasında; örnekler su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları (W_2) ve suya doygun yüzey kuru ağırlıkları (W_3) belirlenmiştir. Daha sonra örneklerin; görünen porozite ve birim hacim ağırlık değerleri TS EN 772-4'e [12] göre, su emme değerleri ise TS EN 772-1'e [13] göre ve aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir. Örneklerin basınç dayanım testleri 500 gr/sn yükleme hızında ve bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde TS EN 771-1'e [14] göre gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her bir örnek grubu için on numune kullanılmıştır.

$$\text{Görünen porozite (\%)} = [(W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kg/m}^3\text{)} = [(W_1) / (W_3 - W_2)] \times 1000 \quad (2)$$

$$\text{Su emme (\%)} = [(W_3 - W_1) / (W_1)] \times 100 \quad (3)$$

Örneklerin üretiminde ve hazırlanmasında kullanılan değişkenlerin, değerler üzerindeki etkilerinin araştırılması amacıyla iki faktörlü varyans çözümlemesi (ANOVA) yapılmıştır. Faktörlerin anlamlı bulunmasının ardından farklılıkların hangi gruplarda olduğunu belirlemek amacıyla örneklerin ortalama değerleri alınmıştır. İstatistiksel testlerde güven aralığı % 95 ($\alpha=0,05$) olarak alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı pişirme rejimlerine tabi tutulan örneklerin fiziksel özellikleri arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır. A örneklerinin su emme ve görünen porozitesi, B örneklerine nazaran yakın değerler vermekle birlikte biraz daha düşük değerlerdedir. Dolayısıyla düşük gözenek oranına sahip olan A örneklerinin daha yoğun bir yapıda oldukları gözlenmiştir (Tablo 3).

Basınç dayanım değerleri açısından, örneklerin hazırlanması sırasında kil bünyeye eklenen plastiklik suyunun artması pişmiş tuğla örneklerin dayanım değerlerini önemli oranda düşürmüştür. Burada bünyede bulunan fazla suyun daha fazla gönek oluşuma sebep verdiği ve dolayısıyla yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Örneklerin yavaş veya hızlı pişirilmesinin ise örnek özelliklerinde önemli bir etki yapmadığı görülmüştür. Basınç dayanım değerlerinde A ve B örnek grupları arasındaki esas farklılığın örneklerin hazırlanması sırasında kullanılan plastiklik suyundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bünyede bulunan suyun kil minerallerine adsorbe olması ve bu minerallerin mevcut adsorbe suyun etkisiyle bağ yapılarının A örneklerine nazaran daha zayıf kalması nedeniyle, B örneklerinin daha düşük basınç dayanım değerlerine sahip oldukları düşünülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Örneklerden elde edilen bulgular.

Örnek grubu	Su Emme (%)	Görünen Porozite (%)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)
A1	15,1	32,2	1813	29,7
A2	15,6	33,6	1814	28,5
A3	14,9	31,6	1809	31,8
B1	16,0	33,5	1760	17,5
B2	16,1	33,9	1774	14,6
B3	16,0	33,3	1752	16,7

Plastiklik suyunun % 20 olduğu A örneklerinde hızlı pişirme rejimi basınç dayanım değerlerini arttırmıştır. B örneklerinde ise hızlı pişirme ile mevcut suyun bünyeden uzaklaşması sırasında tuğla bünyede kılcal çatlaklar oluşturduğu ve bu nedenden ötürü pişirme hızının artması ile basınç dayanım değerlerinin azaldığı düşünülmektedir.

ANOVA sonuçlarına göre örneklerin fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular pişirme hızı ve örnek grubundan etkilenmiştir. Bunun yanında basınç dayanım değerleri üzerinde yapılan ANOVA testine göre, örneklere eklenen plastiklik suyu oranı basınç dayanım değerlerini etkilerken ($p = 0,000$), pişirme hızının ($p = 0,679$) değerler üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte plastiklik suyunun ve pişirme hızının ortak etkisinin de ($p = 0,133$) basınç dayanım değerlerine önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Tablo 4-7).

Tablo 4. Su emme oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Örnek grubu (G)	9,813814	1	9,813814	153,408	0,000
Pişirme hızı (H)	1,948169	2	0,974085	15,22674	0,000
G*H	1,229452	2	0,614726	9,609301	0,000
Hata	3,454487	54	0,063972		
Toplam	16,44592	59			

Tablo 5. Görünen porozite oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Örnek grubu (G)	17,94323	1	17,94323	63,69056	0,000
Pişirme hızı (H)	18,58077	2	9,290386	32,97677	0,000
G*H	5,048869	2	2,524435	8,96063	0,000
Hata	15,21316	54	0,281725		
Toplam	56,78603	59			

Tablo 6. Birim hacim ağırlık değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Örnek grubu (G)	38085,51	1	38085,51	520,2039	0,000
Pişirme hızı (H)	1807,585	2	903,7923	12,34476	0,000
G*H	827,6117	2	413,8059	5,652108	0,006
Hata	3953,483	54	73,21266		
Toplam	44674,19	59			

Tablo 7. Basınç dayanım değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Örnek grubu (G)	2794,108	1	2794,108	135,5254	0,000
Piştirme hızı (H)	86,35687	2	43,17844	2,094327	0,133
G*H	16,06675	2	8,033373	0,389651	0,679
Hata	1113,31	54	20,61685		
Toplam	4009,841	59			

Örneklerin ortalama değerleri dikkate alındığında; plastiklik suyu oranındaki artış, su emme ve görünen porozite oranlarını arttırırken, birim hacim ağırlık değerlerini azaltmıştır. Böylelikle birim hacim ağırlık değerlerindeki azalmalar basınç dayanım değerlerinin de azalması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Elde edilen ortalama değerlere göre, tuğla örneklerin hazırlanması sırasında uygun plastiklik suyu oranının % 20 olduğu ve A grubu örneklerinin daha ideal sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Tablo 8).

Tablo 8. Karışımlara göre örneklerin ortalama değerleri.

Örnek grubu	Su emme (%)	Görünen porozite (%)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı (MPa)
A	15,2	32,5	1812,0	30,0
B	16,0	33,6	1761,6	16,4

Tablo 9. Piştirme hızına göre örneklerin ortalama değerleri.

Piştirme rejimi	Yavaş	Orta	Hızlı
Su emme (%)	15,5	15,8	15,4
Görünen porozite (%)	32,8	33,8	32,5
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	1786,2	1793,8	1780,4
Basınç dayanımı (MPa)	23,6	21,6	24,4

Piştirme hızı için örneklerden elde edilen ortalama değerler Tablo 9’da verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre fiziksel özellikler açısından örnekler arasında önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte basınç dayanımı açısından örneklerde yavaş yada hızlı piştirme rejimlerinde yakın ve benzer ortalama basınç dayanım değerleri elde edilebileceği gözlenmiştir. Nitekim basınç dayanım değerlerine yapılan çift etkenli ANOVA testine göre basınç dayanım değerleri üzerinde piştirme hızının önemli bir etkisi olmadığı da gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

Elde edilen bulgulara göre pişirme hızının tuğla özelliklerinde önemli bir değişime sebep olmadığı ve örnekler arasında önemli bir farklılığın oluşmadığı gözlenmiştir. Karışımların hazırlanması sırasında bünyeye eklenen plastiklik suyunun artması ise örneklerin basınç dayanım değerlerini azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Bununla birlikte hızlı pişirme ile yavaş pişirme işleminin örnek özelliklerinde belirgin bir etki yapmaması nedeniyle enerji tasarrufu açısından hızlı pişirme işleminin uygulanabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma ile laboratuvar koşullarında üretilen örnekler üzerinde belirli bazı testler gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç sinterleme sıcaklığına çıkış sürecinde pişirme hızı ve örneklerde bulunan plastiklik suyu etkisinin belirlenmesidir. Dolayısıyla bundan sonraki çalışmalarda örneklerin normal tuğla boyutlarında şekillendirilmesi ve endüstriyel koşullar altında pişirme hızının örneklere olan etkilerinin belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Orhun O, İnşaat Tuğlası ve Kiremit İmaline Elverişli Toprakların Tanınması, Maden ve Teknik Arama Dergisi 1964; 63: 54-58.
- [2] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri-I, DPT: 2615 – ÖİK: 626, 2001.
- [3] Uz V, Özdağ H, Hoccoğlu E, CSH Katkısının Porselen Süspansiyon/Ürün Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2008; 16: 105-112.
- [4] Bayat O, Bayat B, Çimento sanayi atıksu arıtma çamurunun tuğla üretiminde kullanımının araştırılması, Madencilik 1998; 37 (1): 27-34.
- [5] Jordan M M, Sanfeliu T, Fuente C, Firing transformations of Tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies, Applied Clay Science 2001; 20: 87-95.

- [6] Chidiac S E, Federico L M, Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick, *Can. J. Civ. Eng.* 2007; 34: 1458-1466.
- [7] TS 4562, “Fabrika Tuğlaları Duvarlar İçin- Klinker Tuğla”, TSE, Ankara, 1985.
- [8] Pilko C., “Why Aren’t You Firing Faster?”, *Ceramic Industry* (<http://www.ceramicindustry.com>, 28.06.2010)
- [9] Ceylantekin R, Organik ve İnorganik Gözenek Yapıcı Madde Katkılarının Yapı Malzemelerine Etkisi, Dumlupınar Üniversitesi, F.B.E., Y. Lisans Tezi, Kütahya, 2002.
- [10] Dondi M, Marsigli M, and Venturi I, Microstructure and mechanical properties of clay bricks: comparison between fast firing and traditional firing, *British Ceramic Journal* 1999; 98 (1): 12-18.
- [11] D.P.T., 216-Ö.İ.K., 623., 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri 2 (Refrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkon-Disten, Sillimanit, Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu, 1s–23s., Ankara.
- [12] TS EN 772-4, Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara, 2000.
- [13] TS EN 772-1, Kagir Birimler, deney metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2002.
- [14] TS EN 771-1, Kagir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar), TSE, Ankara, 2005.