

BOR OKSİT VE BORİK ASİT KATKISININ KİL TUĞLASI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Gökhan GÖRHAN*

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
03200, Afyonkarahisar, Türkiye
ggorhan@aku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada bor oksit (BO) ve borik asit (BA) katkısının tuğla özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hammadde olarak Çorum bölgesine ait killer kullanılmış ve örnekler uygun plastiklik suyu ile yoğrulduktan sonra metal kalıp yardımıyla 30 x 60 mm boyutlarında şekillendirilmiştir. Örneklerin hazırlanması sırasında biri referans örnek grubu olmak üzere toplam beş farklı karışım hazırlanmıştır. Örneklerde vitrifikasyonu arttırmak ve böylelikle su emme oranını azaltmak amacıyla borik asit (BA) ve bor oksit (BO) katkısı, karışımlara ağırlıkça % 1 ve % 2 oranlarında eklenmiştir. Hazırlanan örnekler 800, 900 ve 1000 °C'de pişirilmiştir. Pişmiş tuğla örneklerin; su emme, görünen porozite, birim hacim ağırlık, görünür yoğunluk, kızdırma kaybı ve basınç dayanım değerleri belirlenerek, BA ve BO katkısının tuğla özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular üzerinde çift etkenli varyans çözümlemesi (ANOVA) ve ortalama karşılaştırmaları yapılmıştır. 1000 °C'de pişirilen ve % 1 BO katkısı bulunan örneklerin basınç dayanım değerleri referans örneğe göre daha yüksek değerler vermiştir. Karışımlara % 1 oranında katılan BA ve BO katkıları örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini aynı derecede etkilemiştir. Bununla birlikte yoğunluk ve basınç dayanımı açısından ideal pişirme sıcaklığının 900 °C olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, Kil, Bor oksit, Borik asit.

THE EFFECT OF BORON OXIDE AND BORIC ACID ADDITION ON THE CLAY BRICK PROPERTIES

Abstract

In this study, the effects of boron oxide (BO) and boric acid (BA) were investigated on the properties of brick. For this purpose, Çorum clays used as a raw material and the examples shaped with 30 x 60 mm sizes with using metal mold. Samples were prepared in five different mixture included reference mixture. Boric acid (BA) and boron oxide (BO) additives were added by weight 1 % and 2 % percent, in order to increase vitrification and thus reduce the rate of water absorption in the examples. Prepared samples are fired at 800, 900, and 1000 °C. The properties of fired samples were determined such as water absorption, apparent porosity, bulk density, apparent density, compressive strength and loss on ignition. Thus, the effect of BA and BO additives were investigated on the brick properties. Double-factorial analysis of variance (ANOVA) and average comparisons were performed to the findings. The compressive strength of the samples, which fired at 1000 °C and with 1 % BO, was higher than the reference samples. The physical and mechanical properties of samples are equally affected by 1% BA and BO contributions in the mixtures. However, in terms of density and compressive strength, it was determined that the ideal firing temperature is 900 °C.

Keywords: Brick, Clay, Boron oxide, Boric acid.

1. Giriş

Tuğla, duvarlarda çok yaygın olarak kullanılan oldukça eski bir malzemedir [1, 2]. Bununla birlikte tuğla, genel anlamda kum içeren killi toprakların su ile karıştırılmasıyla elde edilen, plastik hamur haldeki ürünlerin şekillendirilmesinin ardından yavaş kurutulması ve fırınlarda belli sıcaklıklarda pişirilmesiyle ortaya çıkan bir yapı malzemesidir [2-4].

Kristal seramiklerden biri olan kil tuğlaları; tuğlalar arasında en iyi bilinen, yapıların yük taşıma yada bölme duvarlarını inşa etmek amacıyla kullanılan yapısal seramiklerden biridir ve kilden üretilmiş bilinen en eski yapı malzemelerinin başında gelmektedir [1, 5-8].

Tuğlanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, hammaddesi olan kil malzemesinde bulunan minerallerden ve tuğlanın maruz kaldığı ısıdan etkilenmektedir [9]. Kullanılan hammaddenin kompozisyonu, tuğlanın üretim metodu, pişirme yöntemi ve pişirme sıcaklığı tuğlanın kalitesini etkilemektedir [10].

Tuğla gibi duvar elemanlarının özellikleri ile ilgili birçok bilgi bulunmasına rağmen henüz bazı özellikleri tam olarak bilinmemektedir. Tuğlanın hammaddesi olan kil mineralinin sinterleşmesi gerçekleştirilerek, tuğlanın durabilitesi ve dayanıklılığının artırılması amacıyla yapılan pişirme işlemi sonucunda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda tuğla bünyesinde camlaşma oluşumunun başladığı gözlenmektedir. [5, 9].

Pişirme işlemi, tuğlanın dayanım kazanması amacıyla uygulanmaktadır. Pişirmedeki amaç, tuğlanın hammaddesi olan kil mineralinin sinterlenmesi ve böylelikle sağlam ve stabil bir bünye elde edilmesidir. Sinterleme sürecinde yüksek enerji gereksinimlerinden dolayı tuğla bünye içerisine katılan katkılar ergitici olarak adlandırılmakta ve sinterleme için gerekli olan sıcaklığı düşürmektedir [5].

Pişirme prosesi, kil tanelerini birbirleriyle bağ yapacak şekilde sinterleme işlemini gerçekleştirir. Pişirme süresince, kuartz, feldispat, kalsit, dolomit ve hematit gibi mineraller seramik ürünlerin nihai özelliklerini belirleyen bir seri dönüşümler meydana getirir. Sinterleme sıcaklığını düşürmek amacıyla Na_2O ve CaO içeren katkılar kullanılabilir [5, 11].

Malzeme bünyesinde porozitenin farklılık göstermesi malzemenin mekanik dayanıklılığını önemli derecede düşürmektedir [12]. Bununla birlikte yüksek gözenek oranına sahip ve gözenek çaplarının daha büyük olduğu yapı tuğlaları atmosferik olaylardan önemli ölçüde etkilenmektedir [13]. Bu tip olaylardan tuğlanın zarar görmemesi için bünyesindeki gözenek oranının düşük olması ve bünyenin yoğun olması gerekmektedir [14].

Sinterleme sıcaklığının düşürülmesi amacıyla bazı ergitici maddelerin kullanılabilmesi ve boraksında iyi bir ergitici özelliği olduğu bilinmektedir [15]. Önemli boratlardan biri olan borik asit ise temelde ergitici ve bağlayıcı olarak seramik endüstrisinde dayanımı arttırmak ve pişirme sıcaklığını azaltmak amacıyla kullanılan bir bor ürünüdür [16].

Sinterleşme sıcaklığının düşürülmesi, tuğla bünyesinde daha az gözeneklerin oluşması ve daha yoğun bir tuğla bünyesi elde edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada

kil tuğlası üretiminde örneklere bor oksit (susuzlaştırılmış borik asit) ve borik asit katkısı yapılarak tuğla özelliklerinde meydana getirdikleri değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan kil malzemesi, 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 XRF analiziyle belirlenmiştir (Tablo 1). Kilde tuğla üretiminde zararlı olabilecek oranda kireç (mak. %25), kireçtaşı parçaları, organik maddeler ve iri kayaç artıkları gibi ürünlerin olmadığı gözlenmiştir [17]. Kil malzemesinin özgül ağırlığı $2,63 \text{ gr/cm}^3$ 'tür ve TS EN 1097-6 [18]'ya göre piknometre metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bununla birlikte kil malzemesi karışımlara eklenmeden önce tane boyutu maksimum 1 mm oluncaya kadar laboratuvar tipi seramik bilyeli değirmende öğütülmüştür.

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

Örneklerin üretimi sırasında borik asit (BA) ve bor oksit (BO) olmak üzere iki tip katkı kullanılmıştır. Borik asit (BA), Kütahya – Emet ETİBOR işletmesinden temin edilmiştir. Borun bileşikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan borik asit (H_3BO_3), beyaz bir katıdır. Erime noktası 300 – 400 °C, kaynama noktası ise 1860 °C'dir [19]. Diğer katkı malzemesi ticari bor oksit (BO) ise, B_2O_3 formülü ile tanımlanır ve genellikle % 1 oranında su içerir. Genellikle borik asitten uygun sıcaklıkta su kaybettirilerek elde edilir. Renksiz cam görünüşüdür. Oda sıcaklığında higroskopiktir. Bor oksit cam sanayinde çok kullanılan bir üründür. Yüksek sıcaklıkta borik asitten su buharlaşırken B_2O_3 kaybı artmaktadır. Cam üretim projesinde, borik asit yerine, bor oksit kullanılması enerji ve hammadde avantajı sağlamaktadır. Bor oksit porselen sırlarının hazırlanmasında, çeşitli camlarda, ergitme işlemlerinde, seramik kaplamalarda kullanılır. Ayrıca pek çok organik reaksiyonun katalizörüdür. Pek çok bor bileşiğinde başlangıç maddesidir [20].

Çalışmada örneklerin üretilmesi amacıyla biri % 100 kilden olan referans karışımı, diğerleri BA ve BO ilaveli olmak üzere toplam beş farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar ve kullanılan malzeme oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Karışım oranları (Ağırlıkça).

Karışım	Kil (%)	BA (%)	BO (%)
R	100	-	-
BA1	99	1	-
BA2	98	2	-
BO1	99	-	1
BO2	98	-	2

Kil - borik asit/bor oksit karışımlarının homojenliğini sağlamak için, her karışım ayrı ayrı olmak üzere laboratuvar tipi seramik değirmende 30 dakika süre ile bilyesiz olarak kuru halde karıştırılmıştır. Ardından karışımlara su ilave edilmiş ve el ile sert hamur haline gelinceye kadar yoğrulmuştur. Yoğurma suyu her bir karışıma toplam malzeme ağırlığının % 20’si oranında eklenmiştir. Örnekler, 30 mm çaplı metal silindir kalıpta ve narinlik oranı (boy/çap) iki olacak şekilde manuel olarak plastik şekillendirme yöntemine uygun olarak 30 x 60 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Şekillendirilen örnekler bir gün süreyle laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmış ve ardından laboratuvar tipi etüvde + 105 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar (W_1) kurutulmuştur. Her karışımdan 6 adet örnek; 800, 900 ve 1000 °C’de olmak üzere 2,5 °C/dak. pişirme hızında ve son sıcaklık derecesinde bir saat bekletilerek pişirilmiştir. Pişirme işlemlerinin ardından örneklerin pişmiş ağırlıkları (W_2) belirlenmiş ve daha sonra örneklerin kızdırma kaybı (KK) değerleri denklem (1) yardımıyla belirlenmiştir.

$$KK (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Pişirilen örnekler, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 24 saat süre ile su tankında bekletilerek suya doymun hale gelmeleri sağlanmıştır. Bu örneklerin fiziksel özellikleri Arşimet prensibine göre belirlenerek; su emme, görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri belirlenmiştir.

Örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi sırasında; örnekler su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları (W_3) ve suya doymun yüzey kuru ağırlıkları (W_4)

belirlenmiştir. Daha sonra örneklerin; görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri sırasıyla denklem (2, 3 ve 4) kullanılarak TS EN 772-4'e [21] göre, su emme değerleri ise denklem (5) kullanılarak TS EN 772-1'e [22] göre belirlenmiştir. Örneklerin basınç dayanım testleri 500 gr/sn yükleme hızında ve bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde TS EN 771-1'e [23] göre gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Görünen porozite (\%)} = \left(\frac{W_4 - W_2}{W_4 - W_3} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_2}{W_4 - W_3} \right) \times 1000 \quad (3)$$

$$\text{Görünür yoğunluk (kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_2}{W_2 - W_3} \right) \times 1000 \quad (4)$$

$$\text{Su emme (\%)} = \left(\frac{W_4 - W_2}{W_2} \right) \times 100 \quad (5)$$

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

3. Bulgular ve Tartışma

Kızdırma kaybı hammaddede bulunan karbonatların kalsinasyonu, organiklerin yanması ve kil bünyede bulunan absorbe suyun açığa çıkmasından kaynaklanmaktadır. Pişirme sıcaklığının artması ile kızdırma kaybının artması beklenmektedir. Elde edilen bulgulara göre, üretimde kullanılan katkıları referans örneklere göre daha fazla ağırlık kayıplarına sebep olurken, BA katkılı örneklerde bu kayıpların biraz daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kızdırma kaybı oranları (%).

Pişirme Sıcaklığı (°C)	Karışım				
	R	BA1	BA2	BO1	BO2
800	9,9	10,3	10,5	10,3	10,1
900	12,4	10,9	15,3	12,1	11,9

1000 9,8 10,1 10,5 10,1 10,3

Görünen porozite ile malzemenin su emme olayı birbirleriyle ilişkilendirilebilir. Su emme malzemenin ağırlıkça emdiği su miktarını ifade ettiğinden dolayı, bünyede bulunan boşluk miktarı emilecek su üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte malzemenin su emme olayı sadece açık gözenekler ile sınırlı değildir. Malzeme su emme olayında açık gözeneklerini doldurmasının yanında kapalı gözeneklerini de kapiler etkilerle doldurmakta ve bu iki durum dahilinde su emme olayı gerçekleşmektedir.

Numunelerde açık gözenek hacminin artması sonucu görünen porozite oranları artış göstermektedir. Malzeme bünyesinde pişirme sıcaklığının artması ile birlikte, eriyik faz ürünlerinde artış gerçekleşmektedir. Bünyede bulunan boşluklar bu eriyik fazlarla dolmakta ve böylelikle açık gözenekler kapanmaktadır. Bu olay, görünen porozitenin azalması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla normalde beklenen, pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte örneklerin görünen porozite ve su emme oranlarının düşmesidir.

Örneklerden elde edilen bulgular, katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu belirlenmiştir. Tuğlalar, hazırlanma aşamasında ağırlık esasına göre hazırlandığından dolayı pişirme işleminde ne kadar çok ağırlık kaybına uğrarsa, o kadar da düşük bir hacme sahip olabilirler. Dolayısıyla 900 °C’de pişen örneklerde en yüksek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte 1000 °C’de pişen örneklerin hacim değerleri, 800 °C’de pişen örneklerden daha fazla olduğu için bu örneklerin yoğunluk değerleri daha yüksek seviyelerdedir (Tablo 4).

Tablo 4. Örneklere ait fiziksel özellikler.

Karışım	Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)	Görünen Porozite (%)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Görünür yoğunluk (kg/m ³)
R	800	18,1	30,4	1674,5	2405,3
	900	18,9	33,7	1786,1	2694,3
	1000	17,7	30,7	1733,9	2501,0
BA1	800	18,2	30,4	1675,4	2408,7

	900	18,8	33,5	1787,9	2690,3
	1000	17,3	29,9	1734,4	2476,7
BA2	800	18,5	30,3	1642,2	2357,8
	900	18,8	32,9	1753,6	2614,6
	1000	15,2	26,6	1754,8	2392,1
BO1	800	18,3	30,6	1676,0	2415,0
	900	18,8	33,2	1773,0	2655,9
	1000	15,3	27,1	1773,9	2432,7
BO2	800	21,3	32,5	1525,8	2260,6
	900	17,9	31,5	1763,8	2574,8
	1000	16,0	28,0	1751,5	2433,0

Farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerden elde edilen basınç dayanım değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Buna göre tuğla örneklere eklenen katkıların genelde basınç dayanım değerlerinde düşüşe neden oldukları gözlenmiştir.

Tablo 5. Örneklerin basınç dayanım değerleri.

Karışım	Pişirme Sıcaklığı (°C)		
	800	900	1000
R	16,7	18,8	17,2
BA1	15,1	16,2	13,6
BA2	11,0	10,9	12,6
BO1	12,4	14,0	19,0
BO2	5,7	10,3	7,2

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre pişirme sıcaklığı ve karışım grubuna göre elde edilen bulgularda, ANOVA sonuçlarına göre bu iki değişken arasındaki farklar anlamlı bulunmuştur (Tablo 6-11). Başka bir ifadeyle, örneklerden elde edilen bulgular; katkı oranlarından ve pişirme sıcaklığından etkilenmiştir. Uygulanan örnek grubu ve pişirme sıcaklığının ortak etkisinin de anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6. Kızdırma kaybı oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Karışım (K)	30,30211	4	7,575527	19,48856	0,000
Pişirme sıcaklığı (S)	106,7208	2	53,36042	137,2733	0,000

K*S	37,13799	8	4,642249	11,9425	0,000
Hata	29,15375	75	0,388717		
Toplam	203,3147	89			

Tablo 7. Su emme oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Karışım (K)	14,04291	4	3,510727	26,6885	0,000
Pişirme sıcaklığı (S)	122,4153	2	61,20766	465,2997	0,000
K*S	66,9357	8	8,366962	63,60552	0,000
Hata	9,865844	75	0,131545		
Toplam	213,2598	89			

Tablo 8. Birim hacim ağırlık değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Karışım (K)	41540,9	4	10385,23	24,02405	0,000
Pişirme sıcaklığı (S)	308128,6	2	154064,3	356,3956	0,000
K*S	70825,66	8	8853,207	20,48005	0,000
Hata	32421,34	75	432,2845		
Toplam	452916,5	89			

Tablo 9. Görünür yoğunluk değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Karışım (K)	161699,4	4	40424,84	23,46409	0,000
Pişirme sıcaklığı (S)	1220410	2	610205,2	354,186	0,000
K*S	45550,79	8	5693,849	3,304923	0,003
Hata	129212,9	75	1722,838		
Toplam	1556873	89			

Tablo 10. Görünen porozite oranlarının iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
-------------------	-----------------	----	--------------------	---	---

Karışım (K)	32,78898	4	8,197244	20,60206	0,000
Piştirme sıcaklığı (S)	307,0536	2	153,5268	385,8576	0,000
K*S	82,02363	8	10,25295	25,76866	0,000
Hata	29,84135	75	0,397885		
Toplam	451,7076	89			

Tablo 11. Basınç dayanım değerlerinin iki faktörlü ANOVA sonuçları ($\alpha=0,05$).

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	sd	Kareler Ortalaması	F	p
Karışım (K)	1061,813	4	265,4532	59,96631	0,000
Piştirme sıcaklığı (S)	63,61227	2	31,80613	7,185059	0,001
K*S	189,9092	8	23,73864	5,362599	0,000
Hata	332,0029	75	4,426705		
Toplam	1647,337	89			

Tuğla örneklerde üç farklı sıcaklıkta pişirilmiş ve toplam 18 örneğin ortalamalarından oluşan bulgular Tablo 12’de verilmiştir. Buna göre ortalama değerler dikkate alındığında; tuğla bünyesine yapılan katkılar örneklerde daha fazla ağırlık kaybına sebep olurken BA katkısı, BO katkısına oranla kızdırma kaybı oranını arttırmıştır. Bununla birlikte örneklerde ortalama su emme oranları katkı yapıldığında çok küçük bir oranda azalmıştır.

Görünen porozite oranları katkılı örneklerde birbirine yakın olmakla birlikte BA katkılı örneklerde bu oranın biraz daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte R örneklerine nazaran, katkılı tuğla örneklerde görünen porozite oranlarında düşüş gerçekleşmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Karışımlara göre örneklerin ortalama değerleri.

	R	BA1	BA2	BO1	BO2
Kızdırma kaybı (%)	10,7	10,5	12,1	10,8	10,8
Su emme (%)	18,2	18,7	17,5	17,4	18,4
Görünen porozite (%)	31,6	31,3	30,0	30,3	30,7
Birim hacim ağırlık (kg/m^3)	1731,5	1732,6	1716,9	1740,9	1680,4
Görünür yoğunluk (kg/m^3)	2533,5	2525,3	2454,9	2501,2	2422,8
Basınç dayanımı (MPa)	17,6	15,0	11,5	15,1	7,7

Tuğla örneklerde katkı oranının artması örneklerin yoğunluk değerlerinde düşüşler gerçekleştirmiştir. Ortalama değerler göz önüne alındığında BA katkılı örneklerin, BO katkılı örneklere göre daha yoğun oldukları ortaya çıkmıştır.

Katkılar (BA ve BO) ve katkı oranlarındaki artışlar, tuğla örneklerde ortalama basınç dayanım değerlerinin azalması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte katkılı örnekler içerisinde ortalama basınç dayanım değeri olarak BA katkılı örneklerin daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Tablo 13. Pişirme sıcaklığına göre örneklerin ortalama değerleri (°C).

	800	900	1000
Kızdırma kaybı (%)	10,2	12,5	10,2
Su emme (%)	18,9	18,6	16,3
Görünen porozite (%)	30,9	33,0	28,5
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	1638,8	1772,9	1749,7
Görünür yoğunluk (kg/m ³)	2369,5	2646,0	2447,1
Basınç dayanımı (MPa)	12,2	14,0	13,9

Pişirme sıcaklıkları dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda ise ortaya çıkan ortalama değerler Tablo 13'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; 900 °C'de pişirilen örneklerde en yüksek kızdırma kaybı, görünen porozite, birim hacim ağırlık, görünür yoğunluk ve basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Tuğla örneklere ikame edilen BA ve BO katkıları örneklerin özelliklerinde bir takım değişimlere sebep olmuştur. Örneklerden elde edilen bulgular ve yapılan istatistiksel analizler sonucunda BA ve BO katkılarının görünen porozite, görünür yoğunluk ve basınç dayanım değerlerini azalttığı; 900 ve 1000 °C'de pişirilen katkılı örneklerde ise yoğunluk ve basınç dayanımı açısından benzer sonuçların ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Tüm bu bulgular ışığında tuğla üretiminde kullanılacak BA ve BO katkılarının % 1 oranında kullanılması durumunda tuğlalardan yakın sonuçlar alınabileceği gözlenmiş ve yoğunluk ile basınç dayanımı açısından ideal pişirme sıcaklığının 900 °C olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, tuğlanın su emme ve porozite değerlerinin düşürülmesi ile daha yoğun bir yapıya kavuşmasının amaçlandığı bu çalışmada, eklenen katkı oranlarının biraz daha azaltılmasının faydalı olabileceği düşünülmektedir. Nitekim örneklerin pişirme aşamalarında özellikle pişirme sıcaklığının arttırıldığı ve katkı oranının % 2 olduğu örneklerde, numune yüzeylerinde çatlaklar oluştuğu gözlenmiştir. Bu çatlakların örneklerde daha fazla su emme ve açık gözenek oluşumlarına sebep vermesi nedeniyle örneklerde istenilen yoğunluğun ve dayanım değerlerinin elde edilememesine sebep olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Diaz J J D C, Nieto P J, Biempica C B, Gero M B P, Analysis and Optimization of the Heat-Insulation Light Concrete Hollow Brick Walls Design by the Finite Element Method, Applied Thermal Engineering 2007; 27: 1445-1456.
- [2] Cultrone G, Sebastian E, Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks, Construction and Building Materials 2009; 23: 1178-1184.
- [3] Karaman S, Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi 2006; 9 (1): 125-130.
- [4] Arce P L, Guinea J G, Weathering Traces in Ancient Bricks from Historic Building, Building and Environment 2005; 40: 929-941.
- [5] Chidiac S E, Federico L M, Effect of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick”, Can. J. Civ. Eng. 2007; 34: 1458-1466.
- [6] Su S L, Modeling of Coupled Heat and Mass Transfer and Induced Stresses In Drying Ceramics, Thesis of Doctor of Philosophy, Kansas State University, Manhattan, Kansas, (1992).
- [7] Koroneos C, Dompros A, Environmental Assesment of Brick Production in Greece, Building and Environment 2007; 42 (5), 2114-2123.
- [8] Mbumbia L, Wilmars A M, Behavior of Low-Temperature Fired Laterite Bricks Under Uniaxial Compressive Loading, Construction and Building Materials 2002; 16: 101-112.

- [9] Karaman S, Gunal H, Ersahin S, Assesment of clay bricks compressive strength using quantitative values of colour components. *Construction and Building Materials* 2006; 20: 348-354.
- [10] Karaman S, Esmeray A, Determining the Conformity to Standards of Clay Deposits in Tokat-Zile Region As Raw Material in Brick-Tile Production, KSU. *Journal of Science and Engineering* 2006; 9 (1): 130-134.
- [11] 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.
- [12] Lu G, Max Lu G Q. and Xiao Z M, Mechanical Properties of Porous Materials, *Journal of Porous Materials* 1999; 6: 359–368.
- [13] Cultrone G, Sebastian E, Elert K, Torre M J, Cazalla O, Navarro R N, Influence of Mineralogy and Firing Temperature on the Porosity of Bricks, *Journal of the European Ceramic Society* 2004; 24: 547-564.
- [14] Weng C H, Lin D F, Chiang P C, Utilization of Sludge as Brick Materials, *Advanced in Environmental Research* 2003; 7: 679-685.
- [15] Uslu T, Arol A I, Use of boron waste as an additive in red bricks. *Waste Management* 2004; 24: 217-220.
- [16] Uwe E A, Boccaccini A R, Cook S G & Cheeseman C R, Effect of borate addition on the sintered properties of pulverised fuel ash. *Ceramics International* 2007; 33: 993-999.
- [17] 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.
- [18] TS EN 1097-6, 2002, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- [19] Durak E, Borik Asitin Katkı Maddesi Olarak Yağlama Yağında Kullanılmasının Araştırılması, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg., 2003; 5.1, (<http://bor.balikesir.edu.tr/files/BorBau-Pdf/BAUFBE2003-1-10.pdf>).
- [20] Kılıç B., Borik Asit Üretimi, 2005,

Web: <http://www.scribd.com/doc/6705697/Bork-Ast-Uretm>,

Erişim tarihi: 04.04.2012.

- [21] TS EN 772-4, 2000, Kâğıt Birimler, deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâğıt birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara.
- [22] TS EN 772-1, 2002, Kâğıt Birimler, deney metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [23] TS EN 771-1, 2005, Kâğıt Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâğıt birimler (Tuğlalar), TSE, Ankara.