

## Sodyum Pentaborat Katkılı Tuğla Özelliklerinin Araştırılması

Gökhan GÖRHAN<sup>1</sup>, Suna GEZER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

e-posta: ggorhan@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9925-1568>

e-posta: sunagezer96@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7846-8370>

Geliş Tarihi: 27.09.2019; Kabul Tarihi: 03.10.2019

### Öz

Yapılan bu çalışmada Afyonkarahisar bölgesine ait tuğla kiline farklı oranlarda (% 2.5, % 5 ve % 7.5) sodyum pentaborat katkısı yapılarak tuğla örnekleri üretilmiştir. Üretilen örnekler 25 mm çapında ve narinlik oranı iki olacak şekilde hidrolik el presinde 60 bar basınç altında manuel olarak şekillendirilmiştir. Şekillendirilen tuğla örnekleri 700°C, 800°C, 900°C ve 1000°C'de olmak üzere toplam dört farklı sıcaklıkta ve pişirme hızı 2.5 °C/dakika olacak şekilde pişirilmiştir. Ardından, Arşimet prensibine göre örneklerin; görünen porozite, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ile basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak pişirme sıcaklıklarının ve sodyum pentaborat katkı oranının artması ile tuğla örneklerde su emme ve görünen porozite oranlarının azalırken, birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı bununla birlikte pişirme sıcaklıklarının tüm serilerde basınç dayanımlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Sodyum pentaborat katkısının ise basınç dayanımlarında lineer bir değişime sebep olmadığı ve değişken sonuçlar vermekle birlikte 1000 °C'de pişirilen ve % 2.5 sodyum pentaborat katkılı örneklerden 35.4 MPa ile en yüksek basınç dayanımı elde edildiği tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Sodyum pentaborat;  
tuğla; kil; basınç  
dayanımı.

## Investigation of the Brick Properties with Sodium Penta Borate

### Abstract

In this study, sodium pentaborate was added to brick clay of Afyonkarahisar region in different ratios (2.5%, 5% and 7.5%) and brick samples were produced. The produced samples were shaped manually at a pressure of 60 bar on a hydraulic hand press in a diameter of 25 mm with two slender ratio. The shaped brick samples were fired at four different temperatures (at 700°C, 800°C, 900°C and 1000°C) with a firing speed of 2.5 °C/minute. Then, according to the Archimedes principle; physical properties such as apparent porosity, water absorption by weight, unit volume weight and apparent density and compressive strength values of the brick samples were determined. As a result, water absorption and apparent porosity rates of brick samples decreased with increasing firing temperatures and sodium Penta borate additive ratio. At the same time unit volume weight values increased. However, it has been found that firing temperatures increase the compressive strength of all series. It was found that the sodium pentaborate additive didn't cause a linear change in compressive strength and it's gave the variable results. The highest compressive strength was obtained with 35.4 MPa from samples fired at 1000 °C with 2.5% sodium pentaborate.

### Keywords

Sodium pentaborate,  
brick, clay, compressive  
strength.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Tuğla, genellikle kâgir duvarda kullanılan önemli bir yapı malzemesidir ve diğer duvar malzemelerine

oranla kullanım oranı % 80'lere kadar ulaşmıştır (Şimşek ve Çiftci 2006).

Tuğla, killi toprağın su ile karıştırılıp şekillendirilmesinin ardından belli sıcaklıklarda fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve genellikle kâgir

duvarlarda kullanılan bir yapı malzemesidir (Görhan 2011).

Ortaçağdan beri tuğla üretimi hakkında bilgi birikimi bulunmaktadır. İlk dönemlerde genellikle ilkel bir yöntemle üretilen tuğlalar, teknoloji ve sanayinin gelişmesine paralel olarak modern yöntemlerle ve fabrika ortamında üretilmeye başlanmıştır. Fabrika ortamında üretimlerin çoğalması ve çağdaş yapım sistemlerinin de gelişimi sayesinde yapı sektöründe tuğlaların taşıyıcılık görevinden ziyade bölme duvarlarda kullanım tercihleri artış göstermiştir (Bideci ve Bideci 2008).

Bölme duvarlarda kullanılacak olan tuğlaların taşıyıcılık görevlerinin olmaması nedeniyle bu malzemelerin hafif ve yeterli mukavemete sahip olması istenen özellikler arasında kendine yer bulmuştur (Bideci ve Bideci 2008). Bu nedenle, literatüre bakıldığında tuğlaların özelliklerini geliştirmek için kil bünyeye farklı katkı malzemelerinin eklendiği bazı çalışmalara da rastlanılmaktadır (Çelik vd. 2019; Esmeray ve Atış 2019; Öztürk vd. 2019).

Yapılan bu çalışmada ise Afyonkarahisar bölgesine ait tuğla kilerine bir bor ürünü olan (Tırpan ve Tekin 2005) sodyum pentaborat ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ikamesinin, farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

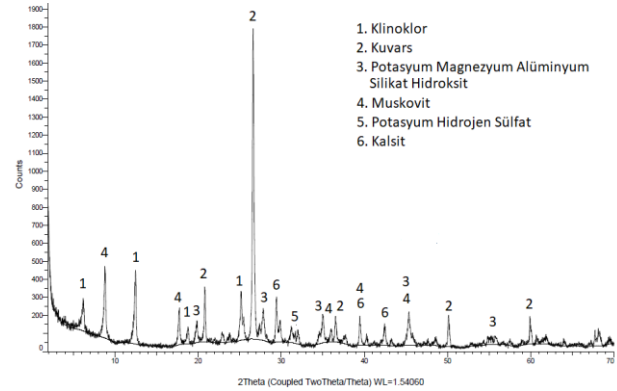
### 2.1 Kullanılan Malzemeler

Tuğla örneklerinin üretiminde Afyonkarahisar bölgesine ait tuğla killeri kullanılmıştır. Bu doğrultuda, çalışmada kullanılan kilin XRF kimyasal analizi (Çizelge 1) Rigaku ZSX Primus cihazında, XRD analizi (Şekil 1) Bruker Marka D 8 Advance Model cihazında, tane boyut analizi (Çizelge 2) ise Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmıştır.

**Çizelge 1.** Afyon kilinin XRF analiz değerleri (Görhan vd. 2019).

Oksit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CaO	LOI
%	45.15	22.07	7.90	2.38	0.83	4.38	0.35	5.16	10.09

Tuğla kilinin XRF analiz sonuçlarından da görüleceği üzere örnek bünyesinde olumsuz bir sonuç ortaya çıkarabilecek bir bileşik bulunmamaktadır.



**Şekil 1.** Afyon kilinin XRD difraktogramı (Görhan vd. 2019).

XRD grafiği incelendiğinde kil malzeme bünyesinde; kuvars, muskovit ve kalsit gibi minerallerin bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 1).

Tane boyut dağılımlarına bakıldığında (Çizelge 2) kil malzemesinin % 90'ı, 40 µm'den; %50'si ise 8 µm'den daha küçük bir tane boyutuna sahip olduğu görülmüştür.

**Çizelge 2.** Afyon kilinin tane boyut analizi (Görhan vd. 2019).

Numune	d <sub>10</sub> (µm)	d <sub>50</sub> (µm)	d <sub>90</sub> (µm)
Afyon Kili	1.347	7.622	39.811

Üretilen tuğlalarda kile ikame olarak kullanılan toz malzeme ise yangın geciktirici özellikli (Güyagüler 2001) ve suda eriyebilen (Demirtaş 2006) bor ürünlerinden biri olan ve Balıkesir bölgesinden elde edilen sodyum pentaborattır ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

### 2.2 Örneklerin Hazırlanması ve Uygulanan Testler

Tuğla örneklerin hazırlanmasında hammadde olarak kullanılan kil, Afyonkarahisar bölgesinden temin edilmiştir. Ardından ilgili kil malzemesi etüvde + 105 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan kil, örneklerin hazırlanabilmesi amacıyla laboratuvar tipi değirmende tane boyutu maksimum 250 µm olacak şekilde öğütülmüştür.

Örneklerin üretimi için biri referans olmak üzere toplam dört farklı reçetede örnekler hazırlanmıştır. Reçetelerde sodyumpentaborat (SB) katkısı ağırlıkça % 2.5, % 5 ve % 7.5 olmak üzere kil malzemesine ikame edilmiş ve hazırlanan reçeteler Çizelge 3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Kullanılan malzemeler ve oranları.

Reçete	(gr)		%	Su/toplam malzeme oranı
	Kil	SB		
R	500	-	0	0.2
2.5 SB	487.5	12.5	2.5	0.2
5 SB	475	25	5	0.2
7.5 SB	462.5	37.5	7.5	0.2

Hazırlanan karışımlardan tuğla örneklerin üretilebilmesi için hidrolik el presi kullanılmıştır. Örneklerin şekillendirilmesinde numunelerin çapı 25 mm, boyu ise 50 mm olacak şekilde üretimler yapılmıştır. Tüm örneklerin üretimi için 60 bar sabit sıkıştırma basıncı altında numuneler preslenmiştir. Her bir reçete grubundan 10’ar adet örnek hazırlanmıştır.

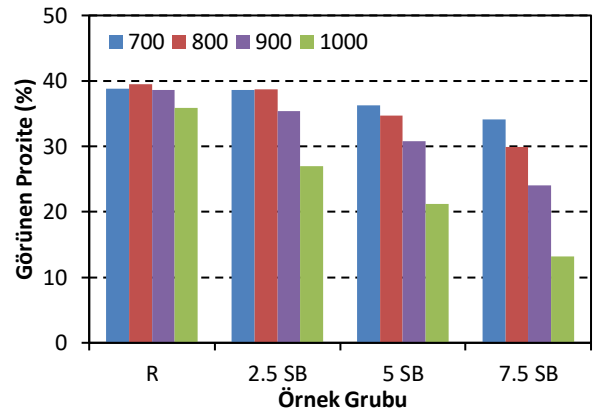
Hazırlanan örnekler daha sonra sinterleme prosesinin gerçekleştirilebilmesi amacıyla elektrikli fırında dört farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Pişirme işlemlerinde tuğla örnekleri 700, 800, 900 ve 1000 °C’de pişirilmiştir. Bu işlemler sırasında pişirme hızı 2.5 °C/dak. olarak uygulanmış olup nihai sıcaklıklarda örnekler bir saat bekletilerek pişirilmiş ardından fırın kapatılarak soğumaya bırakılmıştır.

Pişirme işlemlerini takiben tuğlaların fiziksel özelliklerinden olan; görünen porozite, ağırlıkça su emme, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri Arşimet prensibine ve TS EN 772-4 (2000) ile TS EN 771-1 (2015)’e uygun olarak belirlenmiştir.

Tuğla örneklerin basınç dayanım değerleri ise otomatik kontrollü basınç presi yardımıyla belirlenmiştir. Bu deney sırasında örneklerin kırılma yükü, ilgili numunenin yüzey alanına bölünmek suretiyle basınç dayanım değerleri her bir örnek grubu için ayrı ayrı belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tuğlaların görünen porozite oranları pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak azalma göstermiştir. Bu noktada artan pişirme sıcaklıklarının kil bünyede ergimeyi arttırması sonucu boşlukların azalmasına bağlı olarak açık gözenek oranlarının azaldığı düşünülmektedir. Bununla birlikte sodyum pentaborat ikamesi ile birlikte açık gözenek oranları azalma eğilimi göstermiştir. Sodyum pentaboratlı örneklerde camsı yapının daha fazla olması nedeniyle gözenek oranlarının ve dolayısıyla porozitenin belirgin bir şekilde azaldığı düşünülmektedir (Şekil 2).

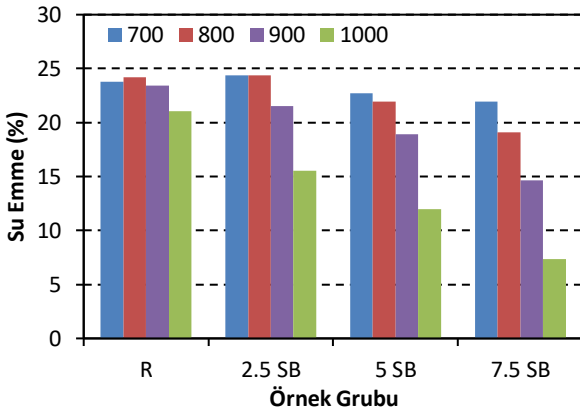


**Şekil 2.** Örneklerin görünen porozite oranları.

Görünen porozite verileri incelendiğinde, referans örneklerde porozite oranları % 35.8 - % 39.5 arasında değişirken sodyum pentaboratlı örneklerde bu değerler % 13.2 - % 38.7 arasında değişkenlik göstermiştir. Bu noktada özellikle 1000 °C’de pişirilen örneklerde porozite oranlarındaki azalmalar dikkat çekici olup en düşük değerler % 7.5 sodyum pentaborat katkılı tuğla örneklerinde elde edilmiştir (Şekil 2).

900 ve 1000 °C’de pişirilen tuğlalarda su emme oranlarının referans örneklerde en yüksek seviyelerde olduğu söylenebilmektedir. Pişirme sıcaklıklarının artışına paralel olarak bünyede ergime ürünlerinin arttığı ve bu artışın gözenekleri doldurması neticesinde gözenek oranlarının azalarak ağırlıkça su emme oranlarını etkilediği düşünülmektedir. Özellikle sodyum pentaborat ikame oranlarında artışların yapılması neticesinde ağırlıkça su emme oranları önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 3).

Referans tuğla örneklerinde su emme oranları % 21.0 - % 24.2 oranları arasında değişkenlik göstermiştir. Sodyum pentaborat katkılı örneklerde ise su emme oranları %7.3 - %24.4 arasında değişmiştir. Bu aralıkta elde edilen değerlerin pişirme sıcaklıkları ve sodyum pentaborat ikamesinin artışına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Örneklerin su emme oranları.

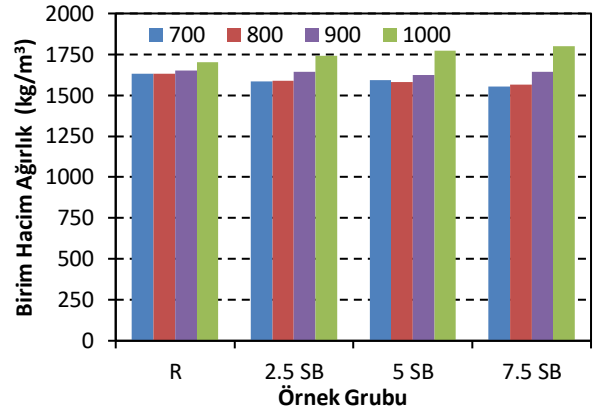
Birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri tuğla örneklerde önemli parametreler arasında yer almaktadır. Tuğla örneklerinden elde edilen veriler Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde porozite verileri ile birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişki rahatlıkla gözlenebilmektedir. Örneklerin görünür porozitesi azaldığında birim hacim ağırlıklarının arttığı tespit edilmiştir. Bu noktada örneklerde uygulanan pişirme sıcaklığının artışına paralel olarak da örneklerin birim hacim ağırlıkları artmıştır.

Sodyum pentaborat ikameli örneklerden elde edilen veriler incelendiğinde 700, 800 ve 900 °C'de pişirilen örneklerin birim hacim ağırlıkları referans örneklerden daha düşük seviyelerdedir. Bununla birlikte, sadece 1000 °C'de pişirilen tuğlaların birim hacim ağırlıkları pişirme sıcaklıklarının ve sodyum pentaborat ikamesinin artmasına bağlı olarak artmıştır (Şekil 4).

Referans örneklerin birim hacim ağırlıkları 1630.5 kg/m<sup>3</sup>-1703.1 kg/m<sup>3</sup> arasında değişkenlik göstermiştir. Sodyum pentaborat katkılı örneklerde ise ikame oranının artmasına bağlı olarak birim

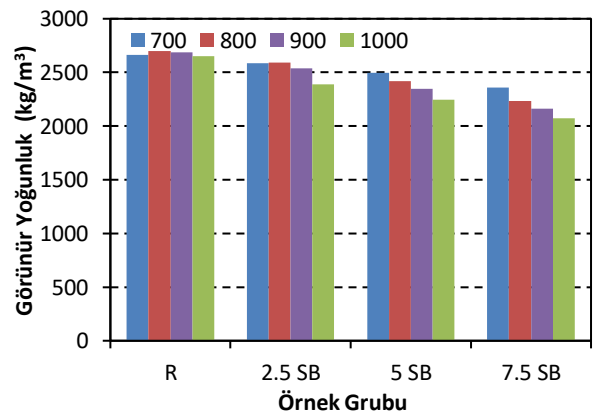
hacim ağırlık değerleri azalma eğiliminde olup sadece 1000 °C'de pişirilen örneklerde artan sodyum pentaborat ikame oranları ilgili tuğlalarda birim hacim ağırlıkları arttırıcı bir etki oluşturmuştur. Sodyum pentaborat ikameli örneklerde birim hacim ağırlıklar 1553.5 kg/m<sup>3</sup>-1801.0 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Örneklerin birim hacim ağırlık değerleri.

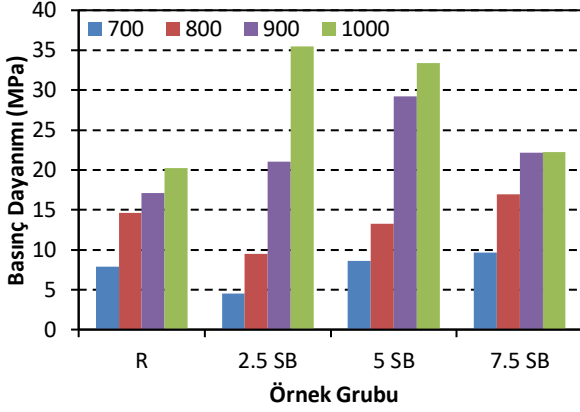
Görünür yoğunluk değerlerinde ise artan pişirme sıcaklıkları ve sodyum pentaborat ikamelerinin örneklerde yoğunluk değerlerini azalttığı ve en düşük görünür yoğunluk değerlerine % 7.5 sodyum pentaborat ikameli tuğlaların sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).

Elde edilen veriler incelendiğinde, referans örneklerde 800 °C'den itibaren artan pişirme sıcaklıklarının görünür yoğunluk değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. Sodyum pentaborat katkılı örneklerde ise genel olarak artan pişirme sıcaklıkları ve ikame oranları ilgili örneklerin görünür yoğunluklarında azalmalara sebep olmuştur.



Şekil 5. Örneklerin görünür yoğunluk değerleri.

Referans örneklerin görünür yoğunluk değerleri 2654.2 kg/m<sup>3</sup>–2700.7 kg/m<sup>3</sup>; sodyum pentaborat ikameli örneklerde ise 2075.1 kg/m<sup>3</sup>–2591.4 kg/m<sup>3</sup> arasında değişkenlik gösterdiği Şekil 5’de görülebilmektedir.



Şekil 6. Örneklerin basınç dayanım değerleri.

Tuğla için en önemli özelliklerden biri olan basınç dayanım değerleri Şekil 6’da gösterilmiştir. Normal şartlarda tuğla örneklerde artan sinterleme sıcaklıklarının basınç dayanım değerlerini geliştirmesi beklenmektedir. Örneklerde elde edilen veriler incelendiğinde ise referans örneklerde artan pişirme sıcaklıklarının basınç dayanım değerlerini geliştirdiği gözlenmiş ve bu örneklerde basınç dayanım değerleri 7.9 MPa – 20.2 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir.

700, 800 ve 900 °C’de pişirilen sodyum pentaborat ikameli örneklerde artan ikame oranlarının ve pişirme sıcaklıklarının tuğla basınç dayanım değerlerini arttırdığı gözlenmiştir.

Üretilen tuğla örnekler içerisinde elde edilen en yüksek basınç dayanım değerleri 1000 °C’de pişirilen örneklerde elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta pişirilen örnekler içerisinde sodyum pentaborat ikameli tüm örneklerin referans örneklerden daha yüksek basınç dayanım değerlerine sahip oldukları Şekil 6’da görülebilmektedir. Sodyum pentaborat ikameli tuğlaların basınç dayanımları 4.5 MPa – 35.4 MPa arasında değişkenlik göstermiştir.

Elde edilen verilere göre en yüksek basınç dayanım değeri % 2.5 sodyum pentaborat ikameli

örneklerde 35.4 MPa ile elde edildiği tespit edilmekle birlikte, tüm pişirme sıcaklıkları dikkate alındığında % 5 sodyum pentaborat ikameli örneklerin referans örneklere kıyasla önemli dayanım gelişimi gösterdikleri tespit edilmiştir (Şekil 6).

#### 4. Sonuçlar

Sodyum pentaborat ikameli tuğlaların üretilmesi ve akabinde ilgili sıcaklıklarda pişirilmelerinin ardından bazı özellikleri belirlenmiş ve elde edilen bulgulara göre bazı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Elde edilen verilere göre;

Tuğlalara uygulanan pişirme sıcaklıklarının artmasına paralel olarak örneklerin görünür porozite oranları, ağırlıkça su emme oranları ve görünür yoğunluklarında azalmalar gerçekleşmiş; birim hacim ağırlıklar ile basınç dayanım değerlerinde ise artışlar olmuştur.

Sodyum pentaborat ikamelerinin artması neticesinde ise görünür porozite ve ağırlıkça su emme oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 700, 800 ve 900 °C’de pişirilen örneklerin birim hacim ağırlıkları referans örneklerden daha düşük seviyelerdedir. Bununla birlikte kendi içerisinde elde edilen değerlerin değişken olduğu ortaya çıkmıştır.

700, 800 ve 900 °C’de pişirilen sodyum pentaborat ikameli örneklerde artan ikame oranlarının ve pişirme sıcaklıklarının tuğla basınç dayanım değerlerini arttırdığı gözlenmiştir. En yüksek basınç dayanım değeri 35.4 MPa ile 1000 °C’de pişirilen % 2.5 sodyum pentaborat ikameli örneklerde elde edilmiştir.

Sonuç olarak, tüm pişirme sıcaklıkları dikkate alındığında sodyum pentaborat ikamesinin örneklerde olumlu sonuçlara sebebiyet verdiği ve en yüksek basınç dayanım değerlerinin % 2.5 ikameli örneklerde ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Pişirme sıcaklıklarının ve sodyum pentaborat ikamesinin artmasına bağlı olarak örnek

yüzeylerinde renk değişimi ve yüzey dokusunda farklılıklar olduğu da gözlenmiştir. Bu nedenle sodyum pentaborat katkısının tuğla üretiminde, kil malzemesine ağırlıkça % 5'in üzerinde kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir.

## 5. Kaynaklar

Bideci, A., Bideci, Ö. S., 2008. Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, **9(2)**, 69-76.

Çelik, A., Kadir, S., Kapur, S., Zorlu, K., Akça, E., Akşit, İ., Cebeci, Z., 2019. The Effect Of High Temperature Minerals And Microstructure On The Compressive Strength Of Bricks. *Applied Clay Science*, **169**, 91-101.

Demirtaş, A., 2006. Bor Bileşikleri ve Tarımda Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **37(1)**, 111-115.

Esmeray, E., Atış, M., 2019. Utilization Of Sewage Sludge, Oven Slag And Fly Ash In Clay Brick Production. *Construction and Building Materials*, **194**, 110-121.

Görhan, G., 2011. Çeltik Kavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Görhan, G., Kürklü, G., Özkan, E., 2019. Taguchi Yöntemi ile Dizayn Edilmiş Kalsine Kil Geopolimer Özelliklerinin Araştırılması, Bilimsel Araştırma Projesi, *Proje No: 16. KARİYER.184*, AKÜ, BAP.

Güygüler, T., 2001. Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19, İzmir –Türkiye.

Öztürk, S., Sütçü, M., Erdoğmuş, E., Gencel, O., 2019. Influence of Tea Waste Concentration in The Physical, Mechanical and Thermal Properties of Brick Clay Mixtures. *Construction and Building Materials*, **217**, 592-599.

Şimşek, O., Çiftci, M. M., 2006. Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği. *Politeknik Dergisi*, **9(4)**, 325-329.

Tırpan, M. B., Tekin, N., 2015. Effects of Boron (Sodium Pentaborate), Added Instead of Tris Components, on Freezing and Post-Thaw Quality of Angora Buck

Semen. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **62**, 295-302.

TS EN 771-1, 2015. Specification for masonry units - Part 1: Clay masonry units, TSE-Turkey.

TS EN 772-4, 2000. Methods of test for masonry units - Part 4: Determination of real and bulk density and of total and open porosity for natural stone masonry units, TSE, Turkey.