

Araştırma Makalesi / Research Article

**Pirojenik Silis İlavesinin Afyonkarahisar Bölgesi Pişmiş
Tuğla Kili Özelliklerine Etkisi**

*¹Gökhan GÖRHAN

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,
ggorhan@aku.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9925-1568>

Geliş / Recieved: 16.05.2020;

Kabul / Accepted: 13.06.2020

Öz

Bu çalışmada, sabit bir basınç altında ve hidrolik el presinde pirojenik silis ilaveli kil tuğlaları üretilmiştir. Kil tuğlaların üretiminde hammadde olarak Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla kili kullanılmıştır. Tuğla karışımlarının hazırlanmasında kilin ağırlıkça % 0.1 - % 0.3'ü oranında HDK-N20 pirojenik silis ilaveleri kil hammaddesine eklenmiştir. Referans karışımlarda dâhil olmak üzere toplam 12 seri için tuğla karışımı hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanmasında 25 mm çaplı metal silindir kalıplar kullanılmış olup numunelerin narinlik oranları iki (2) olacak şekilde şekillendirmeler 70 bar basınç altında yapılmıştır. Akabinde örnekler laboratuvar tipi fırında; 700, 800 ve 900 °C'de ve son sıcaklıklarda 1 saat bekletilmek üzere üç farklı sıcaklıkta sinterlenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde tuğla üretiminde kullanılan pirojenik silisin örneklerin fiziksel özelliklerinde önemli değişimler göstermediği, basınç dayanım değerleri açısından ise 700 °C'de sinterlenen örneklerde pirojenik silis ilavelerinin küçük oranlarda etkili olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte basınç dayanım değerlerinin 5.7 - 24.6 MPa arasında değişkenlik gösterdiği ve XRD bulgularına göre pirojenik silis ilavesinin (%0.3) önemli bir faz gelişimine sebep olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tuğla, Kil, Pirojenik silis, XRD, Basınç dayanımı.

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Görhan, G. (2020). Pirojenik silis ilavesinin Afyonkarahisar bölgesi pişmiş tuğla kili özelliklerine etkisi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 2(1), 13-25.

The Effect of Pyrogenic Silica Addition on Fired Brick Clay Properties of Afyonkarahisar Region

Abstract

In this study, pyrogenic silica addition clay bricks were produced under a constant pressure and in a hydraulic hand press. Brick clay obtained from Afyonkarahisar region was used as raw material in the production of clay bricks. In the preparation of brick mixtures, 0.1% - 0.3% by weight of HDK-N20 pyrogenic silica additions were added to the clay raw material. Brick mixtures were prepared for a total of 12 series, including the reference mixes. In the preparation of the samples, metal cylinder molds with a diameter of 25 mm were used and the shapes were made under the pressure of 70 bar, with the slenderness ratio of the samples being two (2). Then, the samples were sintered at 700, 800 and 900 °C in the laboratory type oven. The samples were kept for 1 hour at final temperatures. When the findings obtained were evaluated, it was observed that the pyrogenic silica additions used in the production of bricks didn't show significant changes in the physical properties of the samples, and in terms of compressive strength values, pyrogenic silica additions have been observed to be effective in small proportions in the samples sintering at 700 °C. However, it was determined that compressive strength values varied between 5.7 - 24.6 MPa and the addition of pyrogenic silica (0.3%) added to the structures didn't cause a significant phase development according to XRD findings.

Keywords: Brick, Clay, Pyrogenic silica, XRD, Compressive strength.

1. Giriş

Ülkemizde Tuğla ve Kiremit üretimi yapan birçok fabrika bulunmakta (Müdüroğlu ve Atak, 1999) ve ilgili fabrikalarda üretilen tuğlalarda hammadde olarak kil malzemesi kullanılmaktadır. Bununla birlikte tuğlaların çok eski zamanlara kadar Mimaride kullanıldığı da bilinmektedir (Era, 2013).

Tuğla, killi toprağın belirli oranlarda su ile karıştırılması sonucu belirli yöntemlerle şekillendirilen ve kurutma işlemlerinin ardından 900 – 1300 °C’de fırınlarda pişirilen bir yapı malzemesidir. Tuğla özelliklerini karışımlarda kullanılan malzemeler ile örneklerin pişirme sıcaklıkları önemli derecede etkilemektedir (Şişman vd., 2006).

Hammaddelerin tuğla özelliklerini önemli ölçüde etkilemesinin yanında kil malzemesinden tasarruf sağlamak ve örnek özelliklerini geliştirebilmek adına bazı katkıların örnek üretimlerinde kullanılabilir olduğuna ait bulguları içeren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, tuğla kiline % 30 oranına kadar bazik pomza ilavesinin yapılması durumunda örneklerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı ve basınç dayanım değerlerinin ise ilgili standartları karşıladığı ifade edilmektedir (Demir vd., 2004).

Yapılan başka bir çalışmada ise, %30 oranına kadar geri dönüşümlü kağıt üretim atıklarının ve talaş tozunun şamot kiline ilave edilmesiyle tuğla örnekleri üretildiği ve 1100 °C’ye kadar

olan yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı yalıtım potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Sütçü ve Akkurt, 2014).

Dolomitin % 20 oranına kadar kullanıldığı tuğla örneklerinin 900 °C’de pişirilmesi durumunda gerekli mekanik özellikleri sağladığı teyit edilirken (Bideci ve Bideci, 2008); yapılan başka bir çalışmada da uçucu külün % 30 oranına kadar tuğla üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir (Söylemez ve Yıldırım, 2016).

Genelde çimentolu ürünlerde kullanım alanı bulunan silisli malzemeler içerisinde nano-silis ve silis dumanı gibi katkıların çimentolu matrislerde örnek özelliğini arttırmak amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Liu vd., 2020; Ma vd., 2020; Yu vd., 2020; Wang vd., 2020).

Nano-silis ile benzer özelliklere sahip olan pirojenik silika, ürünün yoğunlaşmasının ardından yüksek sıcaklıklarda (1873 – 2273 K) bir öncülün ayrışması ile yanma koşullarında üretilen farklı tip bir SiO₂ malzemesini içerir (Khavryuchenko vd., 2011). Pirojenik silika ile normal nano-silis benzer puzolanik özellikler göstermesine rağmen, aralarındaki temel farklılık pirojenik silikanın daha yüksek yüzey alanına sahip gözenekli bir silis olmasıdır (Tobón vd., 2018).

Günümüz teknolojisinde pirojenik silika; elastomer dolgu maddeleri, katalizör destekleri, optik dalga klavuzları, beton katkı maddeleri ve inert kaplamalar olmak üzere farklı uygulamalarda kullanılabilmektedir

(Khavryuchenko vd., 2011). Ayrıca nano malzemelerin çimentolu sistemlerde erken dayanım gelişimi ve durabilite özelliklerini geliştirmelerinden dolayı nano silisin tercih edildiği bilinmektedir (Wang vd., 2020).

Yapılan bu çalışmada ise Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla killerine genelde çimentolu sistemlerde kullanılan ve nano-silise benzer özelliklere sahip olan pirojenik silis ilaveleri yapılmıştır. Bu ilavelerin üretilen örneklerde porozite ve birim hacim ağırlık gibi fiziksel özellikler ile mekanik özelliklerden biri olan basınç dayanım değerlerini geliştirmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmada, 70 barlık sabit bir basınç altında ve hidrolik el presinde kil tuğlaları şekillendirilmiştir. Kil tuğlaların üretiminde hammadde olarak Afyonkarahisar bölgesinden temin edilen tuğla kili kullanılmış olup malzemeye ait XRF analizi Tablo 1’de verilmiştir.

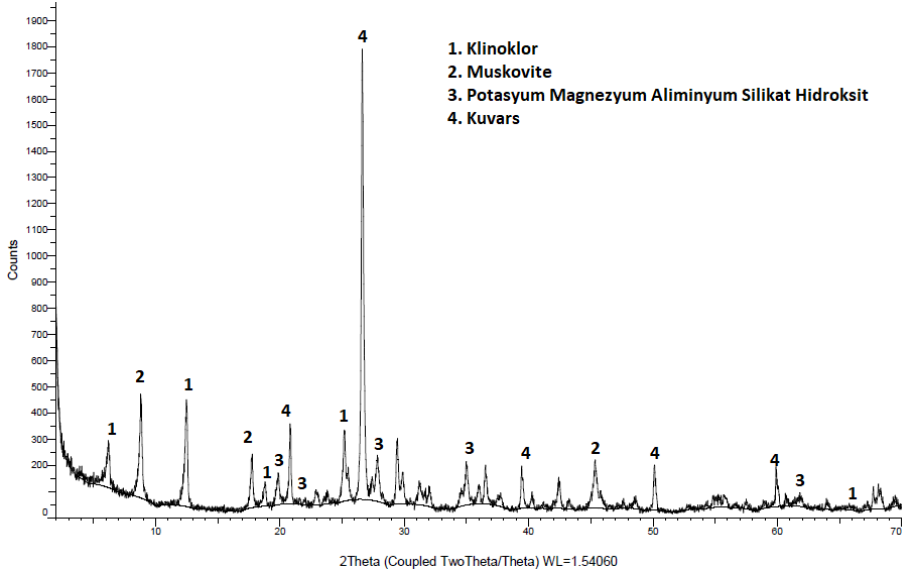
Tuğla örneklerinin üretiminde hammadde olarak kullanılan Afyon kiline ait XRD analizlerinden elde edilen verilere göre malzeme bünyesinde; kuvars, potasyum magnezyum alümina silikat hidroksit, klinoklor ve muskovit gibi minerallerin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 1).

Tuğla karışımlarının hazırlanmasında kilin ağırlıkça % 0.1 - % 0.3’ü oranında HDK-N20 pirojenik silis ilaveleri kil hammaddesine eklenmiştir. Bu aşamada hassas terazi ile plastik kaplarda tartılan pirojenik silis, kil ile öncelikle kuru olarak homojen oluncaya karıştırılmış ardından da karışım suyu eklenerek manuel olarak yoğrulmuştur.

Çalışmada kullanılan pirojenik silisin ihtiva ettiği SiO_2 değeri > % 99.8 ve BET yüzey alanı 170-230 m^2/g ’dır.

Tablo 1. Kil malzemesinin kimyasal kompozisyonu (XRF) (% - ağırlıkça).

Malzeme	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	CaO	K.K.	Toplam
Afyon	45.1	22.07	7.90	2.38	0.83	4.3	0.3	5.16	10.0	98.31
Kili	5					8	5		9	



Şekil 1. Afyon bölgesi tuğla kiline ait XRD difraktogramı.

2.1 Tuğla örneklerin hazırlanması ve pişirilmesi

Referans karışımlarda dâhil olmak üzere toplam 12 seri için tuğla karışımı hazırlanmıştır (Tablo 2). Örneklerin hazırlanmasında 25 mm çaplı metal silindir kalıplar kullanılmış olup numunelerin narinlik oranları iki (2) olacak şekilde şekillendirmeler 70 bar basınç altında yapılmıştır. İlgili örnekler sinterleme işlemi öncesinde değişmez ağırlığa gelinceye kadar laboratuvar tipi etüvde kurutulmuştur. Akabinde örnekler yine laboratuvar tipi fırında; 700, 800 ve 900 °C'de ve son sıcaklarda 1 saat bekletilmek üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilmiştir (sinterlenmiştir).

Sinterleme işlemlerinde pişirme hızı olarak 2.5 °C/dak. uygulanmıştır. Sinterleme işlemlerinin ardından fırın iç sıcaklığı oda sıcaklığına ulaştığında örnekler fırından alınmıştır.

2.2 Uygulanan testler

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen tuğla örneklerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde Arşimet prensibi takip edilmiştir. Bununla birlikte ilgili örneklerin görünen porozite, birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri TS EN 772-4'e (2000) göre su emme değerleri ise TS EN 771-1'e (2005) göre hesaplanmıştır.

Ardından örneklerin mekanik özelliklerinden biri olan basınç dayanım değerleri kırılma yükünün örnek alanına bölünmesi yoluyla belirlenmiştir. Örnek testlerinin tamamlanmasından sonra seçilen numuneler üzerinde mineralojik analizler XRD yöntemiyle, yüzey morfolojisi ve içyapı incelemesi ise SEM-EDX analizleri ile değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Örneklerin üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

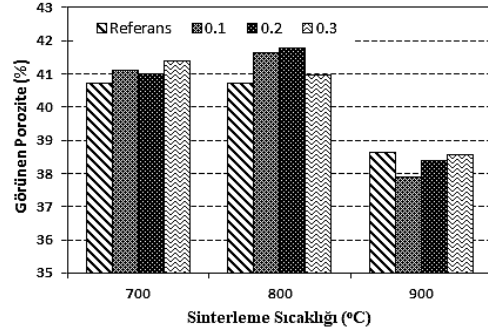
Seri	Kil (g)	Karışım suyu (g)	Pirojenik Silis (%)
R700	550	100	-
R800	550	100	-
R900	550	100	-
0.1 700	550	100	0.1
0.1 800	550	100	0.1
0.1 900	550	100	0.1
0.2 700	550	100	0.2
0.2 800	550	100	0.2
0.2 900	550	100	0.2
0.3 700	550	100	0.3
0.3 800	550	100	0.3
0.3 900	550	100	0.3

3. Bulgular

3.1. Fiziksel ve mekanik özellikler

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen örneklerin bulguları incelendiğinde, uygulanan tüm sinterleme sıcaklıklarında pirojenik silis ilavesinin sonuçlar üzerinde değişken sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Karışımlara ilave edilen pirojenik silisin çok küçük oranlarda olduğu dikkate alındığında fiziksel özelliklerde meydana gelen bu değişimlerin de küçük aralıklarda olduğu görülmüştür.

Sinterleme sıcaklıkları dikkate alındığında 800 °C'de sinterlenen örneklerde en yüksek görünen porozite oranları elde edilirken, 900 °C'de sinterlenen örneklerde bünyede yoğunlukların artarak boşluk oranlarının azalması sebebiyle en düşük porozite oranlarının elde edildiği gözlenmiştir (Şekil 2). Örneklerin görünen porozite oranları % 37.9 - % 41.8 arasında değişkenlik göstermiştir.

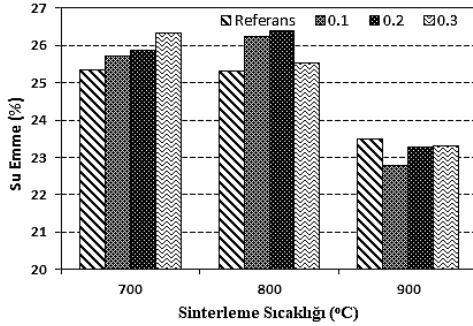


Şekil 2. Tuğlaların görünen porozite oranları.

Görünen porozite verilerine benzer bir eğilimi olan su emme oranları ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Elde edilen verilere göre sadece 700 °C'de sinterlenen tuğla örneklerinde bünyeye ilave edilen pirojenik silis ilavelerinin örneklerde su emme oranlarını arttırdığı görülmüştür. Diğer sıcaklıklarda ise pirojenik silis etkisinin bulgular üzerinde değişken sonuçlar verdiği görülmüştür. Görünen porozite oranlarında olduğu gibi yine en düşük su emme oranlarının 900 °C'de sinterlenen örneklerde elde edildiği ve

tüm tuğla örneklerine ait su emme oranlarının % 22.8 - % 26.4 arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

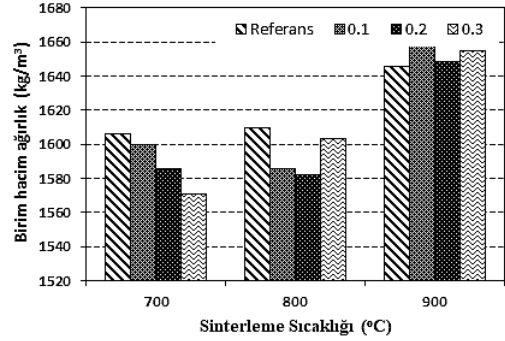
Uçucu kül, ultra ince uçucu kül ve kolloidal formda olan nano-silis gibi mikro ve nano boyutlu katkıların kullanıldığı çimento matrislerinde ise çimento pastasında kullanılan nano-silis miktarlarının artmasıyla işlenebilirlikte azalmalar ve su ihtiyacında artışlar olmaktadır (Snehal vd., 2020). 700 ve 800 °C'de sinterlenen örneklerde ise su ihtiyacı artışının kil karışımlarda da etkili olduğu ve artan pirojenik silis ilaveleri ile karışımların bünyesinde nispeten daha fazla gözenek oluşumu nedeniyle su emme oranlarının referans örneklerden yüksek olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Tuğlaların su emme oranları.

Karışımlara yapılan pirojenik silis ilavesinin yoğunluk değerleri üzerinde etkisinin değişken olduğu ve 700° °C 'de sinterlenen tuğla örneklerinde bünyeye yapılan ilavelerin birim hacim ağırlıkları azalttığı Şekil 4'de görülmektedir. 900 °C'de sinterlenen ve % 0.1 pirojenik silis katkılı tuğla örneklerinde en yüksek birim hacim ağırlık (1664.5 kg/m³) değerleri elde edilirken, tüm örneklerin birim hacim ağırlıkları 1571.1 kg/m³ –

1664.5 kg/m³ arasında değişkenlik göstermiştir.

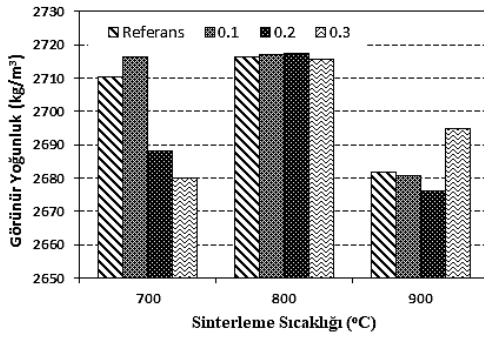


Şekil 4. Tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri.

Bu noktada, literatürde yapılan diğer çalışmalara bakıldığında nano-silis ilaveli çimento matrislerinde bünyenin daha iyi doluluğa ulaşması ve nano malzemenin daha iyi bir puzolanik etki göstermesi nedeniyle malzemelerin daha iyi bir mekanik ve durabilite özelliğe sahip oldukları belirtilmektedir (Liu vd., 2020; Snehal vd., 2020). Üretilen örneklerin birim hacim ağırlıklarındaki değişimlerin ise esasen sinterleme sıcaklığına bağlı olduğu düşünülmektedir.

İlgili tuğla örneklerin görünür yoğunluk değerlerinde ise pirojenik silis ilavesinin 800 °C'de sinterlenen tuğla numunelerinin yoğunluk değerlerini birbirine oldukça yaklaştırdığı gözlenmiştir. Diğer sıcaklıklarda ise pirojenik silis ilavesinin etkisi net değildir. 900 °C'de sinterlenen ve % 0.3 pirojenik silis katkılı tuğla örneklerde 2694.7 kg/m³ ile en yüksek görünür yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

Bununla birlikte, 700 °C'de sinterlenen ve % 0.1 pirojenik silis ilaveli örneklerde, referans örneklerden daha yüksek görünür yoğunluk değerleri elde edilirken; artan pirojenik silis ilavelerinin yoğunluk değerlerini azalttığı gözlenmiştir. Tüm örnekler dikkate alındığında görünür yoğunluklar 2676.1 kg/m³ – 2717.4 kg/m³ arasında değişmektedir (Şekil 5).

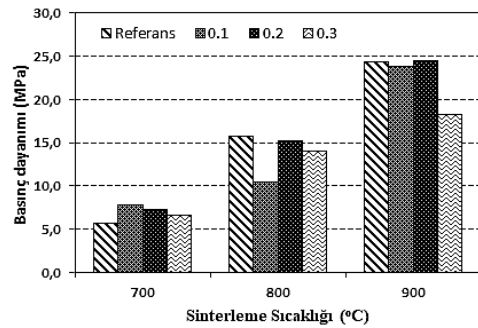


Şekil 5. Tuğlaların görünür yoğunluk değerleri.

Şekil 6'da, üretilen tuğla örneklerin basınç dayanım değerleri gösterilmektedir. Artan sinterleme sıcaklığının basınç dayanımlarını önemli bir biçimde arttırdığı bununla birlikte karışımlara eklenen pirojenik silis ilavelerinin ise ortaya çıkardığı etkinin değişken olduğu ve 800 °C ve üzeri sinterleme sıcaklıklarında örneklerin basınç dayanımlarında pozitif bir katkı vermediği görülmüştür.

Bununla birlikte 600 °C gibi düşük sinterleme sıcaklığında SiO₂ tozlarının faz dönüşümü gerçekleştirmediği belirtilmektedir. Aynı zamanda daha yüksek sinterleme sıcaklıklarında amorf SiO₂ tozlarının tamamen kristobalit yapısına dönüştüğü belirtilmiştir (Saravanan, 2012). Bu bilgi

doğrultusunda çimentolu sistemlerde puzolanik aktivite için malzemenin amorflik derecesi önemlidir. Fakat kil bünyelerde sinterleme süreci malzeme özelliklerinde önemli bir rol oynadığından örneklere uygulanan sinterleme sıcaklıklarındaki artışların neticesinde pirojenik silisin de faz dönüşümü gerçekleştirerek basınç dayanım değerlerini etkilediği ve tuğla örneklerin basınç dayanım değerlerinin 5.7 MPa ile 24.6 MPa arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 6. Tuğlaların basınç dayanım değerleri.

3.2. SEM-EDX ve XRD Analizleri

Referans tuğla örneklerinden elde edilen alansal SEM-EDX analizlerine ait sonuçlar Şekil 7 ve Tablo 3'de; % 0.3 pirojenik silis ilaveli tuğla örneklerinden elde edilen alansal SEM-EDX analizlerine ait sonuçlar ise Şekil 8 ve Tablo 4'de verilmiştir.

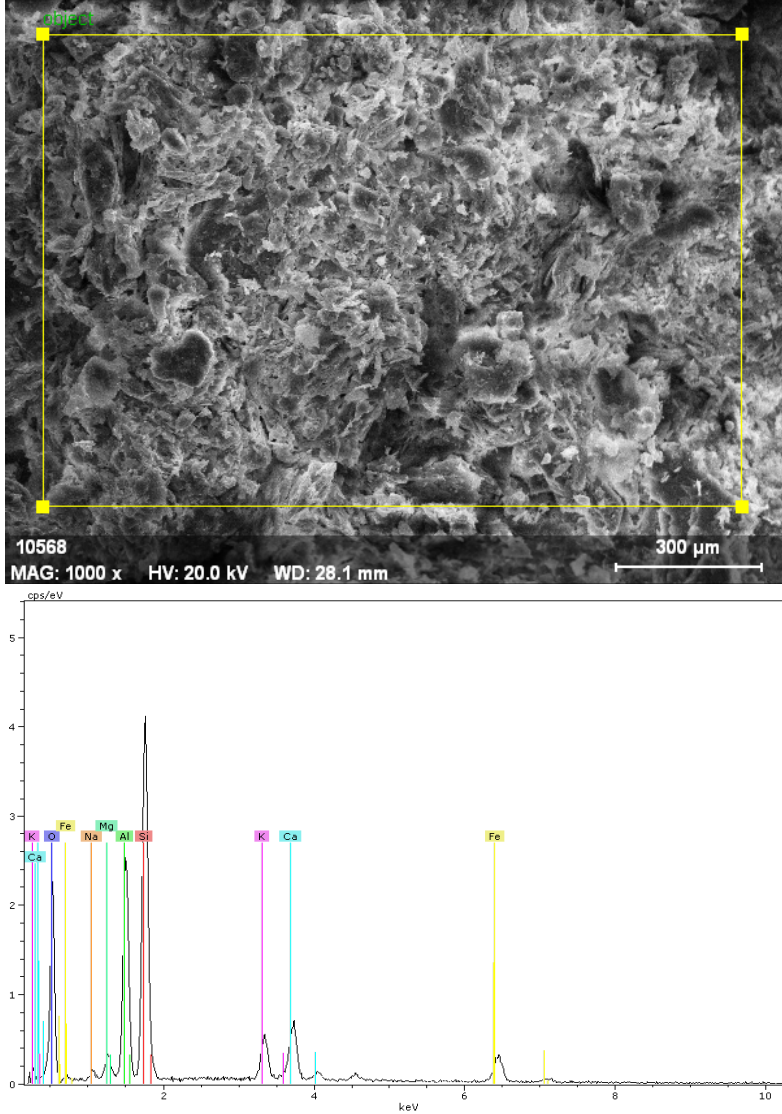
Afyon kili bünyesi gereği örnek analizlerinde sodyum, magnezyum, alüminyum, silis, potasyum, kalsiyum ve demir gözlenmiş olup bünyeye eklenen % 0.3 nano-silis ilaveli örneklerden elde edilen oksit oranlarının

da referans örneklere yakın olduğu tespit edilmiştir.

kuvars ve potasyum alüminyum silikat varlığı tespit edilmiştir.

XRD analiz verilerine göre Afyon bölgesine ait tuğla killeri kullanılarak üretilen tuğla örneklerin bünyesinde

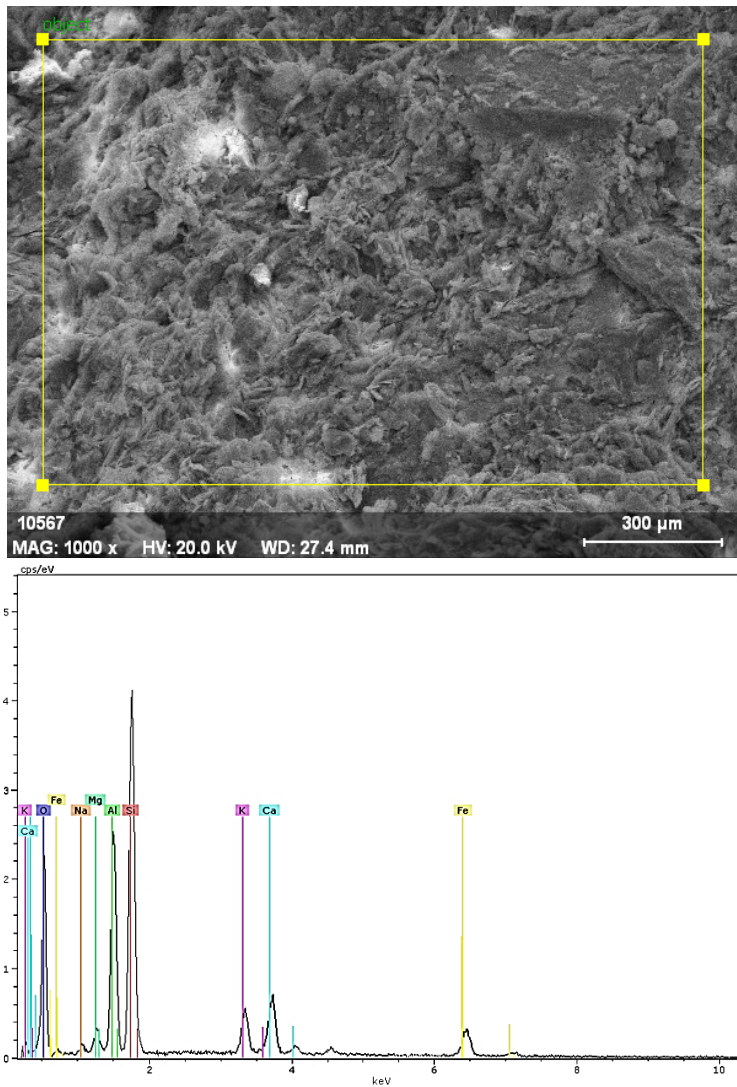
Ayrıca bünyelere eklenen pirojenik silis ilavesinin (%0.3) önemli bir faz gelişimine sebep olmadığı düşünülmektedir (Şekil 9-Şekil 10).



Şekil 7. Afyon kili esaslı R 900 kodlu tuğlanın SEM-EDX analizi.

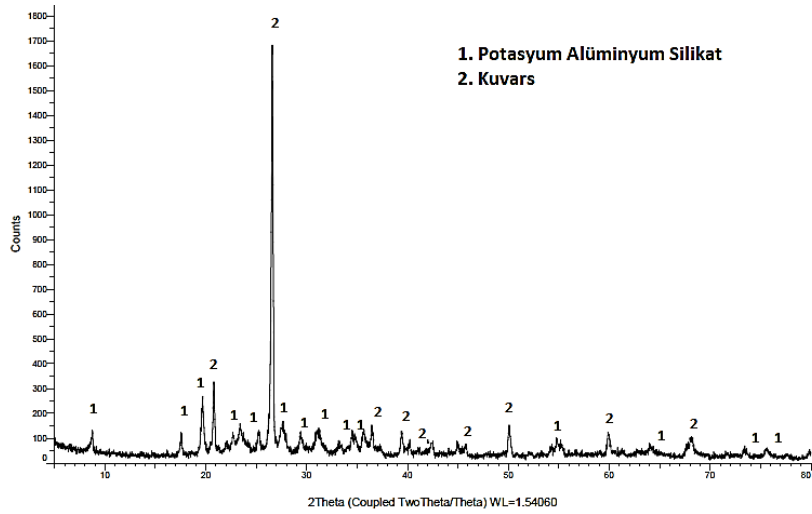
Tablo 3. Afyon kili esaslı R 900 kodlu tuğlanın EDX analizi sonuçları.

Element	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oksit	Oksit C [wt.-%]
Sodyum (Na)	0.78	0.71	0.65	Na ₂ O	1.04
Magnezyum (Mg)	1.84	1.68	1.45	MgO	1.83
Alüminyum (Al)	14.03	12.84	9.98	Al ₂ O ₃	26.43
Silis (Si)	24.44	22.37	16.70	SiO ₂	52.11
Potasyum (K)	3.30	3.02	1.62	K ₂ O	3.96
Kalsiyum (Ca)	4.97	4.55	2.38	CaO	6.93
Demir (Fe)	5.41	4.95	1.86	Fe ₂ O ₃	7.70
Oksijen (O)	54.52	49.89	65.37		10.72

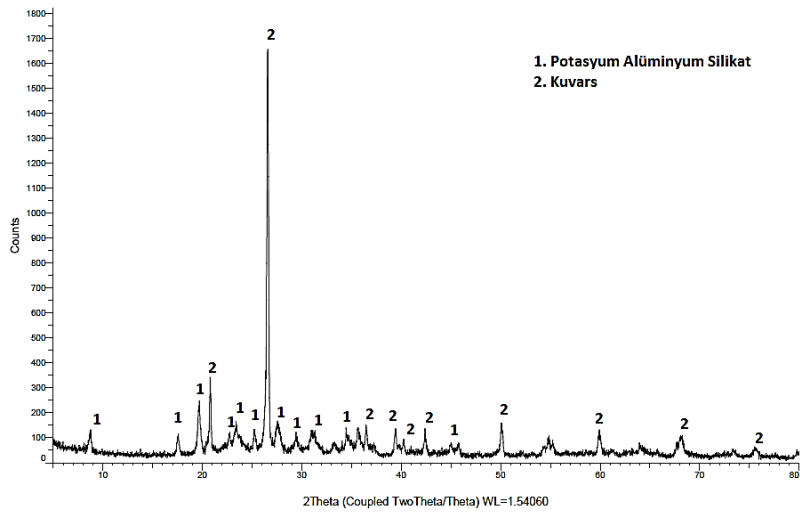
**Şekil 8.** Afyon kili esaslı 0.3 900 kodlu tuğlanın SEM-EDX analizi.

Tablo 4. Afyon kili esaslı 0.3 900 kodlu tuğlanın EDX analizi sonuçları.

Element	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]	Oksit	Oksit C [wt.-%]
Sodyum (Na)	1.14	1.01	0.91	Na ₂ O	1.55
Magnezyum (Mg)	1.80	1.60	1.36	MgO	1.81
Alüminyum (Al)	13.84	12.27	9.39	Al ₂ O ₃	26.26
Silis (Si)	24.89	22.07	16.22	SiO ₂	53.48
Potasyum (K)	3.72	3.30	1.74	K ₂ O	4.51
Kalsiyum (Ca)	3.09	2.74	1.41	CaO	4.34
Demir (Fe)	5.61	4.97	1.84	Fe ₂ O ₃	8.05
Oksijen (O)	58.67	52.03	67.13		15.10



Şekil 9. R 900 örneğinin XRD analizi



Şekil 10. 0.3 900 örneğinin XRD analizi.

4. Sonuçlar

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde tuğla üretiminde kullanılan projenik silis ilavelerinin sonuçlar üzerinde değişken sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Fiziksel özellikler dikkate alındığında projenik silis ilaveli örnekler içerisinde sadece 900 °C'de sinterlenen tuğlaların görünen porozite ve su emme oranları referans örneklerden daha düşük seviyelerde kalmıştır.

Tuğlaların birim hacim ağırlıkları ise 700 °C'de sinterlenen örneklerde projenik silis ilaveleri ile azalmış; 900 °C'de sinterlenen örneklerde ise ilavelere paralel olarak artış göstermiştir.

Artan sinterleme sıcaklıklarının ise basınç dayanımlarını önemli bir biçimde arttırdığı tespit edilmiştir.

Projenik silis ilaveleri açısından basınç dayanım değerleri incelendiğinde ise projenik silis etkisinin değişken olduğu görülmüştür. 700 °C'de yapılan sinterleme işlemlerinde projenik silis ilavelerinin örnek dayanımlarında küçük artışlar göstermesine rağmen 800 °C ve üzeri sinterleme sıcaklıklarında örneklerin basınç dayanımlarına pozitif bir katkı vermediği ve çalışmada üretilen örneklerden elde edilen basınç dayanım değerlerinin 5.7 MPa ile 24.6 MPa arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

İleriki çalışmalarda 700 °C ve altındaki sinterleme sıcaklıklarının araştırılması önerilmektedir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmayı destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinasyon Birimine (AKÜ, BAPK, Proje No: 17. KARİYER. 223) teşekkür eder.

5. Kaynaklar

- Bideci, A., & Bideci, Ö. S. (2008). Diatomit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 69-76.
- Demir, İ., Kıbıcı, Y., & Yıldız, A. (2005). Bazik Pomzanın (Osmaniye-Ceyhan Yöresi) Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması. 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir. Türkiye.
- Era, A. C. (2013). Geleneksel harman tuğlası ve üretimi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 2(2).
- Khavryuchenko, V. D., Khavryuchenko, O. V., & Lisnyak, V. V. (2011). Formation of pyrogenic silica: spectroscopic and quantum chemical insight. *Critical reviews in solid state and materials sciences*, 36(2), 47-65.
- Liu, H., Jin, J., Yu, Y., Liu, H., Liu, S., Shen, J., Xia, X., Ji, H. (2020). Influence of halloysite nanotube on hydration products and mechanical properties of oil well cement slurries with nano-silica. *Construction and Building Materials*, 247, 118545.
- Ma, C., He, J., Qin, T., Long, G., Du, Y., & Xie, Y. (2020). A comparison of the influence of micro-and nano-silica on hydration kinetics of Portland cement under different temperatures. *Construction and Building Materials*, 248, 118670.
- Müdüroğlu, M., & Atak, S. (1999). Tuğla Kiremit Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi. 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 56-66.

- Saravanan, K., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., & Paramasivam, P. (2012). Influence of sintering temperature and pH on the phase transformation, particle size and anti-reflective properties of RHA nano silica powders. *Phase Transitions*, 85(12), 1109-1124.
- Snehal, K., Das, B. B., & Akanksha, M. (2020). Early age, hydration, mechanical and microstructure properties of nano-silica blended cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 233, 117212.
- Söylemez, M., & Yıldırım, A. (2016). Termik Santral Uçucu Külünün Tuğla Dayanımına Etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(4), 19-31.
- Sütçü, M., & Akkurt, S. (2014). Alternatif Hammadde Olarak Kağıt Sanayi Üretim Atığı Kullanılarak Hafif Refrakter İzolasyon Tuğlası Geliştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 505-512.
- Şişman, C. B., Kocaman, İ., & Gezer, E. (2006). Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 32-40.
- Tobón, J. I., Mendoza Reales, O., Restrepo, O. J., Borrachero, M. V., & Payá, J. (2018). Effect of Pyrogenic Silica and Nanosilica on Portland Cement Matrices. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(10), 04018266.
- TS EN 771-1. (2005). Kâğıt Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâğıt birimler (Tuğlalar), TSE, Ankara.
- 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.
- Wang, J., Cheng, Y., Yuan, L., Xu, D., Du, P., Hou, P., Zhou, Z., Cheng, X., Liu, S. & Wang, Y. (2020). Effect of nano-silica on chemical and volume shrinkage of cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 247, 118529.
- Yu, J., Zhang, M., Li, G., Meng, J., & Leung, C. K. (2020). Using nano-silica to improve mechanical and fracture properties of fiber-reinforced high-volume fly ash cement mortar. *Construction and Building Materials*, 239, 117853.