

**YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE UÇUCU KÜLÜN TUĞLA ÜRETİMİNDE KATKI  
OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**Okan SÜRÜL**

**Bülent Ecevit Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

**ZONGULDAK**

**Temmuz 2015**

**KABUL:**

Okan SÜRÜL tarafından hazırlanan “Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 13/07/2015

**Başkan:** Doç. Dr. Turhan BİLİR  
Bülent Ecevit Üniversitesi



**Üye:** Doç. Dr. Murat Emre KARTAL  
Bülent Ecevit Üniversitesi



**Üye:** Doç. Dr. Osman GENÇEL  
Bartın Üniversitesi



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .... / .... / 20....



Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Okun SÜRÜL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans**

### **YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE UÇUCU KÜLÜN TUĞLA ÜRETİMİNDE KATKI OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

**Okan SÜRÜL**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Turhan BİLİR**

**Temmuz 2015, 69 sayfa**

Bu tezde, tuğla üretiminde uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) katkıları kullanılarak yüksek mühendislik özelliklerine sahip tuğla üretilmesi amaçlanmıştır. UK ve YFC, tuğla üretiminde kile katkı olarak ağırlıkça; % 10, % 20, % 30, % 40 oranlarında ayrı ayrı ve toplam katkı oranı % 40'ı aşmamak üzere % 10, % 20, % 30 değişik oranlarda birlikte kullanılarak tuğla örnekleri oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan kil Bartın İlinden, uçucu kül Zonguldak İli Eren Enerji Termik santralinden ve YFC Karabük İli KARDEMİR demir çelik fabrikasından alınmıştır. Tuğla örnekleri farklı sıcaklıklarda (850, 950 ve 1050 °C) pişirilerek fiziksel ve mekanik deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre UK katkılı tuğla örneklerinde kızdırma kaybı, su emme ve görünür porozite değerleri azaltmıştır. UK katkı oranının artması ile tuğla örneklerin basınç mukavemet değerlerini azaltmıştır. YFC katkılı tuğla örneklerinde ise kızdırma kaybı, su emme ve görünür porozite değerleri azalmıştır. YFC katkı oranının artması ile tuğla örneklerin net birim hacim ağırlık ve basınç mukavemet değerleri artmıştır. Pişirme sıcaklığının artması örneklerin, basınç mukavemeti değerlerini arttırıcı etki etmiştir. Tuğla üretiminde katkı olarak ısı yalıtım özelliği bakımından

## **ÖZET (devam ediyor)**

850 °C pişirme sıcaklığında % 40 oranında UK katkısı, basınç mukavemeti bakımından 950 °C pişirme sıcaklığında % 40 oranında YFC katkısı kullanılabilir olduğu ve 950 °C 'de pişirme sıcaklığında, YFC ve UK katkılarının % 10 oranlarında birlikte kullanıldığı tuğlalarda, katkısız tuğlalara göre daha iyi ısı yalıtım özelliği ve basınç mukavemeti değeri yönleri ile kullanılabilir olduğu düşünülmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Uçucu kül, yüksek fırın cürufu, basınç mukavemeti, ısıl iletkenlik

**Bilim kodu:** 624.05.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc.**

### **INVESTIGATION OF THE USE OF BLAST FURNACE SLAG AND FLY ASH AS ADDITIVES IN BRICK PRODUCTION**

**Okan SÜRÜL**

**Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Turhan BİLİR  
July 2015, 69 pages**

Purpose of this thesis study is to produce clay brick with high isolation and engineering characteristics via addition of fly ash (FA) and blast furnace slag (BFS). Milled FA and BFS were added to clay at the ratios of; 10 %, 20 %, 30 % and 40 % separately and 10 %, 20 %, 30 % together without exceeding 40 % of total weight. In the study, clay is provided from Bartın Province, FA is provided from Eren Energy Thermal Reactor located at Zonguldak Province and Finally BFS is provided from Kardemir Iron Steel Industry Trade & Co. Inc. located at Karabük Province. The shaped samples are cooked at different temperatures (850, 950 and 1050 °C) and physical and mechanical tests are conducted on these samples. According to the test results, addition of FA reduces the loss on ignition values, water absorptions and porosities of brick samples. In addition to this, increase in FA replacement ratio reduces the compressive strengths of brick samples. Addition of BFS reduces loss on ignition values, water absorptions and porosities of brick samples. Increase in BFS also increases the bulk densities and compressive strengths of brick samples. Increase in cooking temperature has an increasing effect on compressive strengths of samples. In terms of heat insulating brick production, addition of 40 % FA, at 950 °C cooking temperature, can be useful; in terms of

## **ABSTRACT (continued)**

high compressive strength brick production, addition of 40 % BFS, at 950 °C cooking temperature, can be used. Also, brick samples, produced via addition of BFS and FA together at the replacement ratios of 10 % for each additives, at 950 °C cooking temperature, are thought to have better heat insulations and compressive strengths compared to bricks without any addition.

**Keywords:** Fly ash, blast furnace slag, compressive strength, isolation

**Science Code:** 624.05.01

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde kıymetli bilgi birikimi, katkı ve desteklerini esirgemeyen, danışman hocam Doç. Dr. Turhan BİLİR ve değerli hocam Doç. Dr. Osman GENÇEL' e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmanın gerçekleşmesinde desteklerinden dolayı:

- Bartın Üniversitesi' ne,
- Bartın Çimento San. ve Tic. A.Ş.' ne,
- Alagözler Kum-Çakıl Ticaret San. A.Ş.' ne,
- Pelenkoğlu Hazır Beton Yapı Elemanları İnş. Taah. San. Ltd. Şti.' ne,

teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her türlü desteği sağlayan eşim Nilay SÜRÜL ile kızım Nehir SÜRÜL 'e ve öğrenim hayatım boyunca vermiş olduğu desteklerden dolayı annem ve babama ayrıca teşekkür ederim.





## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL: .....  | ii           |
| TEŞEKKÜR .....  | vii          |
| İÇİNDEKİLER.....  | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | xi           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                     | xiii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                         | xiv          |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ .....   | 1            |
| 1.1 TUĞLANIN ÖNEMİ .....                                    | 2            |
| 1.2 TUĞLANIN ÜRETİLMESİ.....                                | 3            |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 2 KİL VE ÖZELLİKLERİ.....                             | 5            |
| 2.1 KİL TÜRLERİ.....  | 5            |
| 2.2 KİL MİNERALLERİNİN TANIMI.....                          | 6            |
| 2.3 KİL MİNERALLERİNİN YAPISI .....                         | 6            |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 3 KATKI MADDELERİ .....                               | 11           |
| 3.1 UÇUCU KÜL.....  | 11           |
| 3.2 YÜKSEK FIRIN CÜRUFU .....                               | 13           |
| 3.3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....                                 | 15           |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT .....                             | 19           |
| 4.1 KULLANILAN MALZEMELER.....                              | 19           |
| 4.2 ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI .....                           | 20           |
| 4.3 UYGULANAN DENEYLER.....                                 | 24           |
| 4.3.1 Mineralojik, Mikroyapısal ve Kimyasal Analizler ..... | 24           |

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4.3.2 Plastiklik Suyu, Kuruma Küçülmesi ve Toplam Doğrusal Küçülme Deneyi.....   | 24           |
| 4.3.3 Kızdırma Kaybının Belirlenmesi .....                                       | 25           |
| 4.3.4 Porozite, Yoğunluk, Su Emme ve Net Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi..... | 25           |
| 4.3.5 Basınç Mukavemeti Deneyi.....  | 27           |
| 4.3.6 Donma-Çözülme Deneyi .....   | 28           |
| 4.3.7 Isıl İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi.....                             | 28           |
| <b>BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>   | <b>29</b>    |
| <b>5.1 HAMMADDE VE UYGULANAN ANALİZLER.....</b>                                  | <b>29</b>    |
| 5.1.1 Mineralojik Analizler (XRD Analizi).....                                   | 29           |
| <b>5.2 ÜRETİLEN TUĞLANIN ÖZELLİKLERİ .....</b>                                   | <b>31</b>    |
| 5.2.1 Kuru ve Toplam Doğrusal Küçülme.....                                       | 31           |
| 5.2.2 Kızdırma Kaybı.....  | 33           |
| 5.2.3 Görünen Porozite .....   | 35           |
| 5.2.4 Su Emme.....   | 37           |
| 5.2.5 Net Birim Hacim Ağırlık .....  | 40           |
| 5.2.6 Görünür Yoğunluk .....   | 42           |
| 5.2.7 Basınç Mukavemeti .....  | 44           |
| 5.2.8 Donma-Çözülme.....   | 46           |
| 5.2.9 Isıl İletkenlik Katsayısı .....  | 49           |
| 5.2.10 Pişmiş Tuğla Örneklerinin Mikroyapısal Analizi (SEM).....                 | 51           |
| 5.2.11 Pişmiş Tuğla Örneklerinin Elementel SEM-EDS Analizleri.....               | 56           |
| <b>BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>61</b>    |
| <b>6.1 SONUÇLAR.....</b>   | <b>61</b>    |
| <b>6.2 ÖNERİLER .....</b>  | <b>62</b>    |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>65</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>69</b>    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakaların sıralanışı (URL-1).....                           | 8            |
| 2.2 İki, üç ve dört tabakalı kil minerallerinin kristal yapısı (URL-1). ....  | 9            |
| 2.3 Kil minerallerinin yaprakçıklarının arasına su moleküllerinin girişinin mineralin tabakalı yapısı ile ilişkisi (URL-1)..... | 10           |
| 4.1 Manuel basınç presi.....  | 21           |
| 4.2 Tuğla kalıbı. ....  | 21           |
| 4.3 Pişirilmemiş tuğla örnekleri. ....  | 22           |
| 4.4 1200 °C pişirme kapasiteli laboratuvar tipi elektrikli fırın. ....  | 22           |
| 4.5 Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerinin pişirme rejimi.....   | 23           |
| 4.6 Pişmiş tuğla örnekleri.....   | 23           |
| 4.7 Shimadzu marka elektronik terazi.....   | 26           |
| 4.8 Sudaki ağırlık tartımı işlemi.....  | 26           |
| 4.9 Bilgisayar kontrollü basınç presi.....  | 27           |
| 5.1 Tuğla kili hammaddesinin XRD analizi.....   | 29           |
| 5.2 Uçucu kül hammaddesinin XRD analizi.....  | 30           |
| 5.3 Yüksek fırın cürufu hammaddesinin XRD analizi.....  | 30           |
| 5.4 YFC katkılı tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%). ....  | 32           |
| 5.5 UK katkılı tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%). ....   | 32           |
| 5.6 YFC ve UK katkılı tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%). ....  | 33           |
| 5.13 YFC katkılı tuğla örneklerinin su emme oranları (%). ....  | 39           |
| 5.14 UK katkılı tuğla örneklerinin su emme oranları (%). ....   | 39           |
| 5.15 YFC ve UK katkılı tuğla örneklerinin su emme oranları (%). ....  | 40           |
| 5.16 YFC katkılı tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm <sup>3</sup> ). ....                                | 41           |
| 5.17 UK katkılı tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm <sup>3</sup> ). ....                                 | 41           |
| 5.18 YFC ve UK katkılı tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm <sup>3</sup> ). ....                          | 42           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.19 YFC katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri ( $g/cm^3$ ). .....  | 43           |
| 5.20 UK katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri ( $g/cm^3$ ). .....   | 43           |
| 5.21 YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri ( $g/cm^3$ ). .....  | 44           |
| 5.22 YFC katkıli tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....  | 45           |
| 5.23 UK katkıli tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....   | 46           |
| 5.24 YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....  | 46           |
| 5.25 YFC katkıli tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....  | 47           |
| 5.26 UK katkıli tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....   | 48           |
| 5.27 YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa). .....  | 48           |
| 5.28 YFC katkıli tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK). .....  | 50           |
| 5.29 UK katkıli tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK). .....   | 50           |
| 5.30 YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK). .....  | 51           |
| 5.31 Pişmiş, katkısiz tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod. ....                              | 52           |
| 5.32 Pişmiş, ağırlıkça % 40 YFC katkıli tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod. ....            | 53           |
| 5.33 Pişmiş, ağırlıkça % 40 UK katkıli tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod .....             | 54           |
| 5.34 Pişmiş, ağırlıkça % 20 YFC ve % 20 UK katkıli tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod ..... | 55           |
| 5.35 850°C de pişmiş katkısiz tuğla örneğinin (1 nolu örnek) EDS analizi.....   | 56           |
| 5.36 850°C de pişmiş YFC katkıli tuğla örneğinin (5 nolu örnek) EDS analizi.....  | 57           |
| 5.37 850°C de pişmiş UK katkıli tuğla örneğinin (9 nolu örnek) EDS analizi.....   | 58           |
| 5.38 850°C de pişmiş YFC ve UK katkıli tuğla örneği (15 nolu örnek) EDS analizi.....  | 59           |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Yaygın kil mineral tiplerinin kimyasal oluşumu (Türköz 2007).....             | 7            |
| 2.2 Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri (Türköz 2007).....             | 8            |
| 4.1 Tuğla örneklerinin ağırlıkça karışım oranları (300 g).....                    | 20           |
| 5.1 Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri (TS 825, 1998)..... | 49           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|           |   |
|-----------|---|
| $\lambda$ | : Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK         |
| Å         | : Angström                                |
| Ld        | : Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm)    |
| Lf        | : Deney numunesinin pişmiş uzunluğu (mm)  |
| Lp        | : Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm) |
| Wk        | : Numunenin kuru ağırlığı (g)             |
| Wp        | : Numunenin pişmiş ağırlığı (g)           |
| Wy        | : Numunenin yağ ağırlığı (g)              |

### KISALTMALAR

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ASTM</b>     | : American Society for Testing and Materials |
| <b>EDS</b>      | : Enerji Dağılımlı X-Işınları Analizi        |
| <b>KARDEMİR</b> | : Karabük Demir Çelik Fabrikası              |
| <b>SEM</b>      | : Taramalı Elektron Mikroskobu               |
| <b>TS</b>       | : Türk Standardı                             |
| <b>TSE</b>      | : Türk Standartları Enstitüsü                |
| <b>UK</b>       | : Uçucu Kül                                  |
| <b>YFC</b>      | : Yüksek Fırın Cürufu                        |
| <b>XRF</b>      | : X Işınları Floresans                       |
| <b>XRD</b>      | : X Işınları Difraktogramı                   |

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi sanayisinin gelişmesi ile doğru orantılıdır. Sanayi ürünleri üretimi ve tüketimi önemlidir. Dünyadaki en gelişmiş ülkeler sanayi bakımından önde olan ülkelerdir. Ülkelerin ihracatında sanayi maddeleri oranı ne kadar fazla ise o ülke o kadar gelişmiş demektir. Ülkemiz ekonomisinin gelişmesinde sanayi faaliyetlerinin yeri sürekli artmaktadır. Sanayinin gelişmesi ile birlikte ülkelerde insanların barınmak, dinlenmek, eğlenmek, çalışmak vb. ihtiyaçları için yapılara ihtiyaç duyarlar. İnsan hayatında önemli bir yeri olan yapıların güvenli, estetik, ekonomik ve amacına uygun bir şekilde yapılması gerekir. Yapılar kullanım sırasında ya da zamanla en iyi performansı verecek şekilde tasarlanmalıdır. Yapıların kullanım sırasında fazla deformasyon kaybına uğramaması ve doğal afetler sırasında büyük hasarların oluşmaması, güvenli bir şekilde ayakta kalması istenir. Bu nedenle yapılarda kullanılan malzemelerin istenilen özelliklerde olması için malzemenin hammaddesi önemlidir. En çok kullanılan yapı malzemelerinin başında tuğla gelmektedir. Tuğlalarda ısı yalıtım, basınç mukavemeti, porozite oranı, su emme oranı ve dış etkenlere karşı dayanıklılık gibi özellikleri kullanım amacına göre önemlidir. Tuğlayı oluşturacak en uygun hammaddenin seçilmesi ve uygun yöntemlerle üretilmesi gereklidir (Örüng vd. 1997).

Tuğla killerin şekillendirilip pişirilmesiyle yapılması eski bir geçmişe sahiptir. Dünya tarihinde üretimi yapılan ilk yapı malzemelerinin başında tuğla gelmektedir. Tuğla, tarih boyunca önemli yapılarda kullanılmıştır. Pişmiş tuğlanın endüstriyel anlamda ilk üretimi M.Ö. 4000 yılında Babil Kulesinin yapımıdır. Bu kulede 85.000 adet tuğla kullanıldığı hesaplanmıştır. Kilden üretilen tuğlaların dayanıklı olmaları, düşük ses ve ısı geçirgenlikleri, üretiminin ekonomik olması, dış etkenlere ve yanmaya karşı dirençleri ile günümüzde de en çok kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Tuğla üretimi günümüzde endüstriyel boyut kazanmıştır (Şahin 2008). Türkiye’ de 1950’li yıllarda şehirleşme oranındaki artış ile tuğla sanayisi gelişme göstermiş özellikle 1980’li yıllardan sonra tuğla



retiminde ciddi artış olmuştur. Ülkemizde üretiminin büyük bir kısmı özel sektör tarafından gerekleştireilmek üzere, yıllık tuğla üretimi yaklaşık 1.010.000.000 adettir (Şahin 2001).

Kil terimi genellikle belli oranda su ile plastik davranış gösteren ve kuruduktan sonra sertleşen, temelde ince granüler minerallerden oluşan doğal malzemeler için kullanılır ve genelde filosilikatlar'dan meydana gelmiştir (Bormans 2003). Kil terimi mineralojide, temelde kompozisyonları ne olursa olsun boyutu 2 µm'nin altında olan tüm sedimanter kayaçların tanımı için kullanılmaktadır (Su 1992).

Ülkemizde de güncelliğini koruyan en önemli konulardan biri enerji ve hammaddelerden tasarruftur. Endüstriyel hammadde kaynakları bakımından yeterli sayılabilen ülkemizde özellikle enerji tasarrufu önemli bir yere sahiptir. Bunun için inşaat sektöründe kullanılmak üzere bünye yapısı hafif, dayanımı ve ısı yalıtım değerini yüksek yapı elemanları üretimine önem verilmesi gerekmektedir (Demir vd. 2008).

Tuğla retiminde atıkların kullanılması ile bünyenin hafiflemesi ve ısı yalıtım değerinin yükselmesi sonucunu ortaya çıkmaktadır. Çevresel kaygıların başında gelen uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi katı atık veya endüstriyel yan ürünler depolama ve ortadan kaldırma problemlerini beraberinde getirmelerinden dolayı bu atıkların yapı sektöründe kullanılması önemlidir.

## **1.1 TUĞLANIN ÖNEMİ**

Toprak malzemelerin pişirilmesi ile oluşturulan tuğlalar; Toprak malzemesinin kolaylıkla temin edilmesi, pişirilmesinin ekonomik olması ve yapıda kullanımının kolay olması sebebiyle en çok kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir. Son yıllarda hızla gelişen sanayi kollarından biri olan tuğla imalatı da Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Tuğlanın ham maddesi kildir. Tuğla dış etkenlere karşı ve yanmaya karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tuğla, keşfedildiği günden bugüne dizaynı ve boyutları değişik boyutlarda kullanılmıştır. Ham maddesi olan killi toprak doğal ve ucuz olması sebebiyle kullanımından vazgeçilmemiştir. Pişmiş tuğlanın kullanılmasına M.. 4. Yüzyılda, insanların daha sağlam binalar ve yüksek kuleler inşa etmek istemesi neticesinde başlanmıştır (Görçiz 2000).

Tuğlanın; istenilen özellikte olan kil toprağının bulunduğu her yerde yapılabilmesi, birim ağırlığının diğer bölme duvar malzemesi olan taş ve betona göre az olması yönüyle yapının ağırlığını azaltması, basınç mukavemeti, su emme, dış etkenlere karşı dayanıklı ve ısı yalıtım özellikleri olan istenilen boyutlarda üretilerek istenilen kalınlıkta bölme duvar yapılarak yapının yararlı alanının artırılması gibi faydaları vardır. Ancak tuğladan en iyi şekilde fayda sağlayabilmek için üretiminden işin tamamlanmasına kadar kontrol ve deneylerinin yapılması önemlidir (Görçiz 2000; Ekmekyapar vd. 1993; Kocataşkın 1975).

## 1.2. TUĞLANIN ÜRETİLMESİ

Tuğla, kilin belli oranlarda su ile karıştırılıp plastik hamur şekline getirildikten sonra şekil verilip doğal ortamda kurutulduktan sonra özel ocak ve fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900-1300 °C) pişirilmesi ile üretilmektedir (Yüksel ve Şişman 2003).

Tuğlanın özellikleri, kil toprağının yapısına ve karışım oranına (kum-kil), pişirme rejimine, pişirildiği sıcaklık derecesine ve üretim tekniğine bağlı olarak değişir. Tuğla ülkemizde üretim tekniği olarak fabrika tuğlası ya da el ile harman tuğlası olarak üretilmektedir. Harman tuğlalarının mukavemetleri fabrika tuğlalarına göre düşüktür. Bu sebeple harman tuğlaları az katlı yapılarda bölme duvar olarak, fabrika tuğlaları ise bölme duvar haricinde taşıyıcı özelliğe sahip duvar yapımında kullanılmaktadır. Fabrika tuğlası üretimi pişirme sıcaklığı, hammadde ve karışım oranı sebebiyle farklı mukavemet gösterirler (Özçelik 1975).

Genel olarak tuğla üretimi hammadde hazırlığı, şekil verme, kurutma ve pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Hammaddenin hazırlanması, tuğla üretiminde kullanılan killerin uygun özelliklere sahip olması için boyut ve bileşimi olarak hazırlanmasından oluşmaktadır. Hazırlık aşamasında, hammaddenin homojen olarak karıştırılması için içerisinde bulunan iri taş ve maddeler elenir ve kurutulup öğütülür. Öğütülen hammadde daha sonra su ile karıştırılarak plastik hamur kıvamına gelene kadar yoğrulur. Yoğurma işleminden sonra malzeme direnç kazanması için dinlendirilir daha sonra şekil verme aşamasında geçilir. Şekillendirme makine ile ve mekanik olarak yapılabilir. Makine ile yapılan şekil verme ile istenilen boyut ve şekillerde tuğla üretilebilmektedir. Mekanik olarak elle yapılan tuğlalarda presleme ve telle kesme yöntemi kullanılmaktadır (Dönmez 1993).

Şekil verilmiş olan tuğlaların yüksek sıcaklık kapasiteli fırınlarda pişirilmesi öncesinde belirli bir direnç kazanmaları ve pişirme esnasında oluşabilecek rötrelere ve çatlaklarının oluşmasını önlemek için önceden kurutulmaları gereklidir. Kurutma işlemi doğal ortamda ya da sıcaklığın ve nemin kontrol edildiği özel kurutma odalarında yapılabilmektedir (Öneş 1988). Tuğla şekillendirilip kurutulduktan sonra pişirme aşamasına geçilir. Pişirme aşaması tuğla üretiminin en son aşamasıdır. Pişirme işlemi yüksek pişirme kapasiteli özel fırınlarda yapılmaktadır. Pişirme sırasında tuğla hammaddesi olan kil minerali kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. Pişirme sıcaklığı yaklaşık 300 °C'ye ulaştığında bünyedeki organik maddeler tamamen yanar, 550 °C sıcaklıkta hapsolan su bünyeyi terk ederek karışım silis ve alümin haline gelerek ayrışır ve 550-900 °C arasında ise silis ve alümin tekrar birleşip metakaolin silikati ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) oluşur. Bu malzeme sert, şekli sabit, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Tuğlanın pişirme sıcaklığının artması ile basınç mukavemeti arttırmakta, birim ağırlığı arttırmakta ve su emme değeri azaltmaktadır. Ancak tuğlanın çok yüksek pişirme sıcaklığında pişirilmesi camlaşmasına neden olmakta ve harca yapışma özelliğini etkilemektedir. Bu sebeple pişirme sıcaklığının 900–980 °C arasında olması uygundur (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

## BÖLÜM 2

### KİL VE ÖZELLİKLERİ

Kil, seramik ve diğer teknolojik üretimdeki önemi ve yeri dolayısıyla çağlar boyunca ilk insandan günümüze kadar sürekli bir ihtiyaç malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kil kavramı yeryüzünde; doğal kolloidal, sulu, inorganik maddeler için verilen bir addır. Kil tane boyutu 2 µm'den küçük olup çok ince taneli bir sediman mineralidir. Sulu alüminyum silikat mineralleri kili oluşturan ana elemanlardır. Bu minerallerin başında kaolen gelmektedir. Montmorillonitin ana bileşen olması halinde kil, bentonit olarak adlandırılmaktadır (Görhan 2011).

İç yapıları X ışınlarıyla belirlenen killerin sıcaklık yapısında değişiklikleri, DTA (Diferansiyel Termal Analiz) aletleri ile ölçülmekte ve kesin olarak kil cinsleri belirlenebilmektedir. Killerin ergime noktası 1150 °C ile 1785 °C arasındadır. Kil minerallerinin özgül ağırlıkları, illit için 2.76-3.0 halloysit için 2.0-2.2 ve kaolinit için 2.60-2.68 gr/cm<sup>3</sup>'tür (Karaman ve Kibici 2008).

Kil, belli bir kristal bünyeye sahip, toprağımsı, ince taneli, belli miktarda su katıldığı zaman plastikliği artan bir malzemedir. Kil mineralleri esas itibariyle alüminyum hidrosilikatlardır. Alüminyumun yerini bazı minerallerde tamamen veya kısmen Fe ve Mg alır. Killerin bazıları tek bir kil mineralinden ibarettir. Fakat çoğu, birkaç mineralin karışımından oluşmaktadır. Killerin içinde kil olmayan malzeme olarak kil mineraline ilaveten; kuvars, pirit, feldspat ve kalsit gibi mineraller bulunurlar. Kil malzemelerinin birçoğu organik madde ve suda çözünebilir tuzları ihtiva eder (Dengiz 2009).

#### 2.1 KİL TÜRLERİ

Kil minerallerinin belirli sıcaklık, iyonlar, basınç vb. gibi özellikli vardır. Kil mineralleri jeokimyasal ve fiziksel şartların uyumu sonucunda oluşur. Genellikle kil mineralleri tek mineralli yataklar oluşturmazlar. Çoğunlukla bir kil örneği birden çok kil türü içerir. Killeri,

aynı kimyasal bileşime fakat farklı fiziksel karakteristiklere sahip başlıca üç tipte oluşur. Bunlar; yüzey killeri, ateş killeri ve şeyllerdir. Bu killerin üçü de; silika, metalik oksitlerle başkalaştırılmış alümina ve diğer safsızlıkları içerir. Metalik oksitler teknik bakımdan safsızlıklarda bir arada tutulmayı sağlar ve özellikle Fe, Mg, Ca pişmiş ürünün rengini etkiler (Görhan 2011).

Üreticiler killeri karıştırma ile kimyasal kompozisyonundaki değişme miktarını ve fiziksel özellikleri azaltırlar. Killerin temizlenmesi bununla birlikte masraf gerektirir (Dengiz 2009).

## **2.2 KİL MİNERALLERİNİN TANIMI**

Tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişme ile sertleşen mineraller için kil minerali tanımı kullanılır. Kil kelimesi petrografik, mineralojik ve tane boyu ölçüsü bakımından üç farklı anlam taşımaktadır. Tane boyu olarak 2 µm-0.2 µm boyutundaki taneler, kohezyonlu malzeme veya çok ince taneli sedimanter kayaçlar, petrografik olarak kohezif topraklar, mineralojik olarak da bir mineral grubu anlamında kullanılmaktadır (Görhan 2011).

Kil mineralleri alüminyum, silis ve suyun farklı şekillerdeki kompozisyonlardan oluşmuş, karmaşık alüminyum hidro-silikatlardır (Dengiz 2009).

## **2.3 KİL MİNERALLERİNİN YAPISI**

Silikat grubu mineraller olarak kuvars, feldspat, mika, piroksen, amfibol ve kil mineralleri bilinmektedir. Silikat minerallerinin kristal yapı kafeslerinin önemli molekülleri silis tetrahedraları (SiO<sub>4</sub>) ve alüminyum oktahedraları {Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>}'dır.

Kil minerallerinin birim kristal kafesleri, alüminyum tabaka veya zincirleri ile silis tabaka veya zincirlerinden meydana gelir. Silis tetrahedraları ve alüminyum oktahedraları iki yönde eşit büyüklükte tabaka şeklinde ve iki yönde eşit sayıda düzenlenerek, bir yönde sınırlı sayıda ve diğer yönde daha çok sayıda dizilerek şerit şeklinde ağ oluşturmaktadır. Bu suretle amfiboller gibi bir yönde çubuk gibi uzun kristaller veya mika gibi iki yönde aynı boyutta kristaller meydana gelmektedir (Dengiz 2009).

Kil mineralinin içyapısı, atomlar arası bağ kuvvetleri ve atomların diziliş biçimine bağlıdır. Atomların dizilişi düzensiz ve rastgele ise “amorf” yapı, düzenli ise “kristal yapı” oluşur. Tekrarlılık düzenli dizilişin temel niteliğidir. Düzenli bir yapıda herhangi bir doğrultu boyunca atomların çevreleri özdeş ve atomlar arası uzaklık eşittir (Görhan 2011).

Kil minerallerin birçoğu, kafes kristal yapı oluşturan atom birleşimine sahiptir. Kristaldeki atomların veya iyonların üç boyutlu olarak düzgün bir şekilde tekrarlanmasından kristal kafes oluşmaktadır. Kristal boyutlarının ufak olması kil minerallerinin önemli bir özelliğidir. Bu kristal yapıların tanımlanmasında X-ışını kırınım yöntemi ve elektron mikroskobu kullanılır. Kil minerallerinin atomik yapısının tekrarlanan çok sayıda kristal levhadan meydana geldiğini X-ışını kırınımı göstermiştir. Kil mineralleri, kristallerin düzenlenmesine göre gruplandırılır ve karışık yapıli kristaller şeklindedir. Kristal düzenine göre oluşturulan gruplar genel olarak bu grup isimleriyle tanımlanır ve hemen hemen benzer özellikler gösterir. Buna göre bazı kil mineralleri Çizelge 2.1’ de verilmiştir (Türköz 2007).

**Çizelge 2.1** Yaygın kil mineral tiplerinin kimyasal oluşumu (Türköz 2007).

| Kil Minerali Tipi | Kimyasal Formülü                            |
|-------------------|---|
| Montmorillonit    | $Al_2(OH)_2Si_4O_{10}$                      |
| Kaolinit          | $K_{0-2}Al_4(Si_{8-6}Al_{0-2})O_{20}(OH)_4$ |
| İllit             | $Al_2(OH)_2Si_2O_5$                         |

Kil mineralleri genellikle mühendislik amaçlı sınıflamalarda üç grup içinde değerlendirilir (Şekil 2.1):

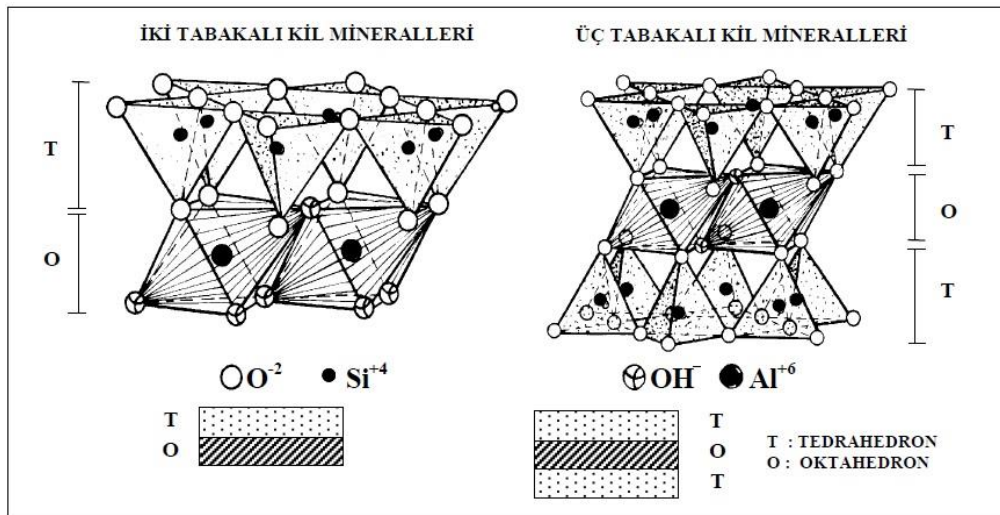
- Kaolinit grubu, genellikle genleşmez.
- Mika grubu, illit ve vermikulit tipi killeri içerir, fakat genleşmeleri önemli problemlere neden olmaz.
- Smektit grubu, montmorillonitleri kapsar. En problemlili kil mineral tipidir. Yüksek şişme potansiyeline sahiptir.

Mühendislik amaçları açısından kil minerallerinin değerlendirilmesi ve tanımlanmasına yönelik olarak literatürde değişik çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 2.2’de mühendislik amaçları için yapısal grupları temsil eden üç ana kil mineral tipinin, karşılaştırmalı olarak tipik özellikleri verilmektedir (Türköz 2007).

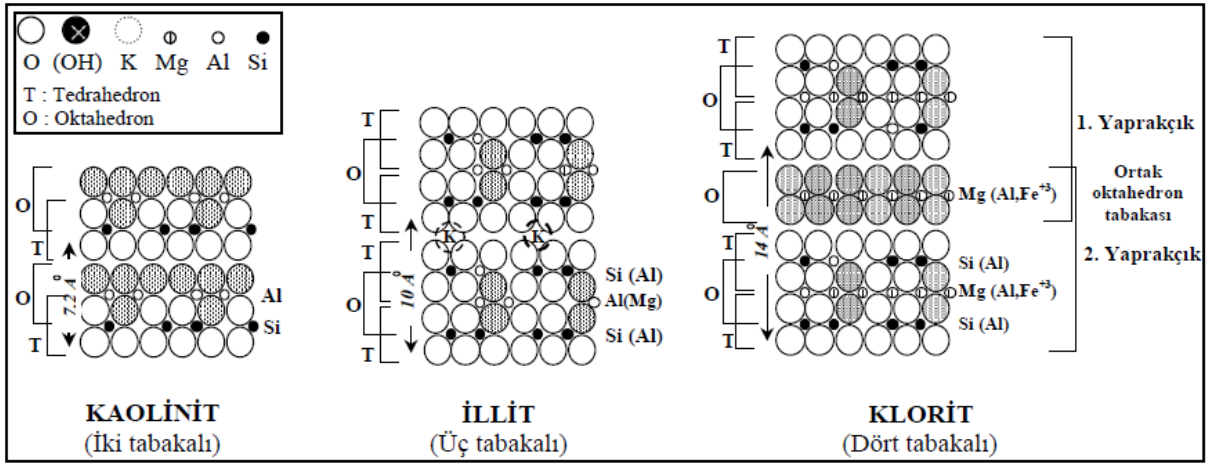
**Çizelge 2.2** Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri (Türköz 2007).

| Özellik                                      | Montmorillonit                                  | İllit             | Kaolinit     |
|--|---|-------------------|--------------|
| Tane Boyutu ( $\mu\text{m}$ )                | 0.01-1.0  | 0.02-2.0          | 0.5-5.0      |
| Tane Şekli                                   | Eş boyutlu yaprak                               | Pul               | 6 Köşeli pul |
| Dış Yüzey Alanı ( $\text{m}^2/\text{g}$ )    | 70-120  | 70-100            | 10-30        |
| İç Yüzey Alanı ( $\text{m}^2/\text{g}$ )     | 550-650   | -                 | -            |
| Plastisite                                   | Yüksek  | Orta              | Düşük        |
| Likit Limit                                  | 110-710   | 60-120            | 29-70        |
| Plastisite İndisi                            | 51-100  | 34-60             | 26-38        |
| Kohezyon                                     | Yüksek  | Orta              | Düşük        |
| Şişme Kapasitesi                             | Yüksek  | 1.0               | Düşük        |
| Elektrik Yükü                                | 0.5-0.9   | 1.0-1.5           | 0            |
| KDK ( $\text{meq}/100\text{g}$ )             | 1.0-2.0   | 10-40             | 3-15         |
| Özgül Gravite                                | 2.35-2.7  | 2.6-3.0           | Hidrojen     |
| Tabakalar arası mesafe (nm)                  | 80-150  | Orta              | 0.7          |
| Tabakalar arası bağ                          | Van der Waal's bağları<br>(zayıf çekim kuvveti) | 1.0               | 2.6-2.8      |
| Net negatif yük ( $\text{cmolc}/\text{kg}$ ) | 80-120  | Potasyum iyonları | 0.7          |

Kil mineralleri iki, üç veya dört tetrahedron ve oktahedrondan oluşan yaprakçıklardan meydana gelmektedir. Tetrahedronlar  $\text{Si}^{+4}$  etrafındaki  $4\text{OH}^-$  'dan oktahedronlar ise  $\text{Al}^+$  etrafındaki  $6\text{OH}^-$  'dan oluşmaktadır. Tetrahedronlar ve oktahedronların oksijen köprüleri ile üst üste gelerek bağlanması sonucunda yaprakçıklar oluşmaktadır. Yaprakçıkların üst üste gelmesi sonucunda da kil mineralleri meydana gelmektedir (Şekil 2.1), (URL-1).



**Şekil 2.1** Kil minerallerinin yaprakçıklarında tetrahedron ve oktahedron tabakaların sıralanışı (URL-1).

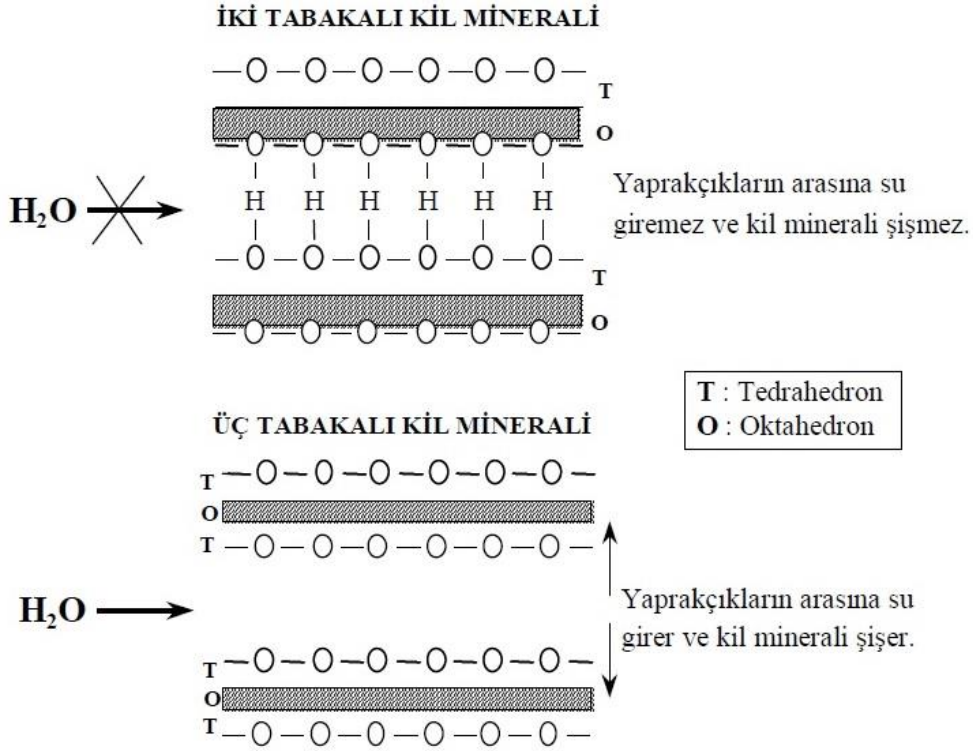


**Şekil 2.2** İki, üç ve dört tabakalı kil minerallerinin kristal yapısı (URL-1).

Tetrahedronların oksijenleri, iki tabakalı kil minerallerinde yaprakçığın üst yüzeyinde oksijen tabakası oluşturur. Oktahedronların alt yüzeyindeki oksijenler açıkta kalan (-) yüklerinin hidrojenle birleşmesi sonucu ise  $\text{OH}^-$  tabakası oluşur (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2), (URL-1).

Bu şekilde iki tabakalı bir kil yaprakçığının diğeri ile üst üste gelmesiyle tetrahedronların oksijen ile oktahedronların HO tabakaları karşı karşıya gelir ve iki tabaka arasında bulunan  $\text{H}^+$  iyonları bir OH-O bağlantısının oluşmasına sebep olurlar. Böylece yaprakçıklar arasında elektriksel bir çekim gücü oluşur. Elektriksel çekim gücünden dolayı yaprakçıklarının arasına su molekülleri giremez. Böylece iki tabakalı kil minerallerinde yaprakçıklar birbirinden çok fazla uzaklaşamaz (URL-1).





**Şekil 2.3** Kil minerallerinin yaprakçıklarının arasına su moleküllerinin girişinin mineralin tabakalı yapısı ile ilişkisi (URL-1)

Üç tabakalı yaprakçıkların ortada bir oktahedron, alt ve üstte birer tetrahedron tabakası şeklinde yapısı vardır (Şekil 2.2). Tetrahedronların oksijen tabakaları yaprakçığın iki yüzeyinde bulunur. Kil yaprakçıklarının üst üste gelmesiyle oksijen tabakaları da karşı karşıya gelir. Oksijen tabakaları negatif yüklü olduklarından birbirlerine bağlanmaları için gerekli olan kation olmadığı için birbirine bağlanamazlar. Dolayısıyla aralarında elektriksel çekim gücü olmaz. Bu sebeple aralarına su girer. Örnek olarak montmorillonitte yaprakçık aralığı 3.4 Å iken su alınca yaprakçıklar arasındaki mesafe 14-18 Å'a çıkar. Yaprakçık aralığındaki mesafenin artması, kil mineralinin su alarak şişmesi demektir (Şekil 2.3), (URL-1).

## BÖLÜM 3

### KATKI MADDELERİ

Günümüzde teknoloji ve bilim, insanoğlunun hayatını kolaylaştırmak ve daha iyi hayat koşullarında yaşamasını sağlamak için sürekli atak halindedir. İnsanoğlunun yaşamını sürdürmesi bakımından barınma ve yaşama mekânı olarak yapılaşmada nasibini almaktadır. Daha iyi, rahat, güvenilir yapılarda yaşayabilmek için yapı malzemeleri sürekli gelişme göstermektedir. Yapılaşmada en önemli unsurlardan biri olan tuğlalar da gerek hammaddesi, gerekse alternatifleri ile artan ve sürekli geliştirilen katkı maddeleri ile daha iyi hizmet vermeye yöneltilmektedirler. Tuğlaya katkı ilavesi ile basınç mukavemeti, ısı yalıtım, su emme oranı, dış etkenler karşı dayanıklılık gibi kullanım amacına göre istenilen özellikte tuğla üretebilmek için tuğla hammaddesine katkı maddeleri ilave edilerek araştırmalar yapılmaktadır. Katkı maddeleri olarak atık malzemeler ve endüstriyel yan ürünler kullanarak hammadde olan kil doğal kaynakların korunmasının yanında, atık maddelerin veya endüstriyel yan ürünlerin çevreye verdiği etkilerinin azaltılması, geri dönüşümde kullanılarak ülke ekonomisine katkı sağlaması için çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde tuğla üretimine katkı olarak kullanılan atık madde ve endüstriyel yan ürünler olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu, mermer ve granit atığı, atık kağıt, atık çay, kanalizasyon çamuru, pomza, öğütülmüş cam, çeltik kavuzu, borik asit vs. gibi örnekleri verebiliriz.

#### 3.1 UÇUCU KÜL

Uçucu küller, endüstride yakıt olarak kullanılmayan ve düşük kalorili kömürlerin, toz haline getirilerek, yakılması sonucu, bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince küllerdir. Uçucu küller, bacanın üst kısmında elektro filtre veya hava ile tozu birbirinden ayırmaya yarayan konik konstrüksiyon şeklindeki toz tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınırlar. Uçucu küller çok hafiftirler ve boyut olarak yaklaşık 1-100 µm arasında olup aglomera ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir. Baca gazları ile sürüklenerek ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanırlar. Tuğla üretiminde kullanılan killer  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve

Na<sub>2</sub>O den oluşmaktadır. Uçucu küllerde yapısal olarak killeri ile aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilirler. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile tuğlaların kuruma ve pişme esnasındaki küçülmeleri azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küller içerdikleri karbon sayesinde, tuğlalara katkı olarak kullanıldığında tuğlaların daha düşük sıcaklıklarda pişirilmesi ile enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır (Öztürk 2001).

Uçucu küllerin özellik ve bileşimleri üzerinde kömür önemli bir etkidir. Bileşiminde ağırlıklı olarak SiO<sub>2</sub> olan, bir miktar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bulunan ve CaO oranı ise çok düşük olan uçucu küllere silikoalüminöz denir. Linyit kömürünün yakılması ile açığa çıkan uçucu küller, bileşimlerine göre silikokalsik veya sülfokalsik olarak adlandırılır. Silikokalsiklerde SiO<sub>2</sub> oranı sülfokalsik bileşimlerine göre daha yüksek iken iki uçucu kül tipinde de önemli miktarda CaO yer alır. Sülfokalsik bileşimlerinde ise CaO' in yanında SiO<sub>3</sub> de vardır. ASTM C 168 standardına göre uçucu küller F ve C olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflama ya göre % 70 > SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ % 50 olanlar C sınıfı olarak, SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ % 70 olanlar ise F sınıfı olarak kabul edilmektedir (Erdoğan 2003).

Uçucu küllerin inşaat sektöründe önemli uygulama alanları vardır. Çimento ya belli oranlarda katıldıkları gibi, çimentonun son üretim aşamasında klinkere katılabilir ya da betona kullanım aşamasında belli oranlarda mineral katkı maddesi olarak eklenebilir. Bunun yanında çimento özelliklerini iyileştirici yönde etkisi de vardır. Hidratasyon ısısının düşürülmesi, beton işlenebilirliğinin geliştirilmesi, alkali reaksiyonunun azaltılması gibi etkileri de vardır. Tüm bu kullanım şekillerinde kendisinin bir endüstriyel yan ürün olması nedeniyle atıkların bertaraf edilmesi ve çimento maliyetinin düşmesine de önemli katkısı vardır. Bununla birlikte gaz betonu üretimi, kile katılarak ya da aktive edici maddelerle birlikte tuğla üretimi, hafif agrega üretimi, zemin stabilizasyonu, yol inşaatı, baraj inşaatında sıkıştırılmış beton çalışmalarında da kullanılmaktadır (Türker vd. 2004).

Ülkemizde yıllık yaklaşık olarak 18 milyon ton uçucu kül atık olarak çıkmaktadır (URL-2). Çimento ve beton sektöründe uçucu kül yan ürün olarak değerlendirilmektedir. Ancak açığa çıkan uçucu kül miktarının yıllık ortalama değerinin çok fazla olması nedeniyle çimento ve beton sektöründe yan ürün olarak değerlendirilmesi yetersiz kalmakta ve uçucu külden kaynaklanan atığın tamamının bertaraf edilmesi mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, uçucu külün başka alanlarda kullanılmasının araştırılması gerekmektedir.

### 3.2 YÜKSEK FIRIN CÜRUFU

Demir cevherinin içerisinde demirin ayrılabilmesi için demir cevheri yüksek sıcaklıktaki fırında eritilmektedir. Bu eritme işlemi sırasında kok kömürün karbonu, demir cevherinin demir oksitindeki oksijenle birleşip CO ve CO<sub>2</sub> ile birlikte fırını terk edip 1400-1600 °C sıcaklıkta eriyik halde yüksek fırın cürufu açığa çıkar. Ham demir üretiminde atık malzeme olarak açığa çıkan cüruf, ham demirden daha hafif olmasından dolayı ham demirin üzerinde kalır. Normal hava şartlarında kendiliğinden soğumaya bırakılarak yavaş yavaş soğutulan cüruflar “havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu” olarak adlandırılırlar. Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu kristal bir yapıya sahiptir ve bağlayıcı özellikleri yoktur. Beton agregası olarak kullanılabilirler.

Eriyik halde bulunan yüksek fırın cürufu su ile aniden soğutulursa “granüle yüksek fırın cürufu” adını alır. Granüle yüksek fırın cürufu, camsı bir yapıya sahiptir, görünüm itibarıyla kum taneciklerine benzer, hidrolik bağlayıcıdır ve hidrasyon hızı düşüktür. Granüle yüksek fırın cürufunun hidrolik bağlayıcı özellikte olması; kimyasal kompozisyonu, inceliği ve içerisindeki camsı yapı miktarına bağlıdır (Tokyay ve Erdoğan 1998).

Granüle YFC çimentoda hidrasyon hızını artırmak için öğütülüp çimentoya karıştırılır. Hidrolik bağlayıcılığı, olabildiğince çok ince öğütülmesine bağlıdır ve portland çimentosundan daha ince olacak şekilde en az 400 m<sup>2</sup>/kg inceliğe kadar öğütülmelidir (Newman and Choo 2003).

Granüle YFC’ nin tek başına suyla reaksiyonu, portland çimentolarının hidrasyonundan daha yavaş gelişir. Cürufun su içinde kısmi olarak erimesiyle C-S-H, hidrate alüminatlar ve hidrate siliko alüminatların çökmesi cürufun hidrasyonu olarak tanımlanabilir. Cürufun bu reaksiyonu hızlandırması için aktivatörler; alkalin aktivatörler (soda, kireç vb.) diğeri de sülfat aktivatörleri (alçı, fosfojips vb.) olmak üzere iki ana grupta toplanmıştır (Tumluer 2006).

Çimentoda puzolan olarak kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal yapısı incelendiğinde çimentoya benzerliği gözlenmiştir (Kavak ve Bilgen 2005).

Granüle YFC beton katkısı olarak kullanılır. Granüle YFC katkılı betonun mukavemeti beton karışımı içerisindeki cüruf/çimento oranına, granüle YFC'nin inceliğine ve camsı yapısına bağlıdır (Malhotra 1987).

Granüle YFC ince olarak öğütülerek beton içerisinde çimentoya katkısı olarak kullanıldığında, betonun işlenebilme özelliğini artırdığı, beton karışımındaki su oranını ve betonun terlemesini azalttığı belirlenmiştir (Neville 1999).

Granüle YFC 'nin çimento hammaddesi olarak kullanımı ilk kez 1883 yılında olmuştur. 1892 yılında Almanya'da portland çimentosu klinkerini granüle YFC ile birlikte öğüterek portland yüksek fırın cürufu çimentosunun üretimi başlamıştır (Sönmez 2008).

İnce taneli durumdaki granüle YFC 'nin kalsiyum hidroksitle ve suyla birleşmelerinden elde edilen hidrolik bağlayıcılık özelliği 1774 yılından itibaren bilinmektedir. 1889 yılında bu malzemeye elde edilen bağlayıcılar Paris metrosu inşaatında kullanılmıştır. Ancak, günümüzde bu kullanım çok azdır (Öz 2006). Karayolu üst yapısında agrega olarak kullanılabilirliği hakkında yapılan çalışmalar oldukça olumlu sonuçlar vermiştir (İlcalı 1998).

Cüruf demir-çelik fabrikalarında 1 ton çelik üretiminde yaklaşık 300 kg YFC ortaya çıkmaktadır (İlcalı 1998). Türkiye'de demir-çelik üretimi sonucunda elde edilen, endüstriyel yan ürün olan granüle YFC miktarı yaklaşık olarak yılda 690.000 tondur (Majumdar 1992).

Demir çelik üretiminde yan ürün veya atık olarak elde edilen, büyük miktarlara ulaşan bu malzemelerden kurtulabilmek için bunları depolamak veya atmak, çoğu kez büyük güçlükler yaratmakta ve çevre için yeni sorunların kaynağı olabilmektedir. Bu sebeple bu malzemelerin diğer sektörlerde kullanılması önemlidir (Bilim 2006).

Bu çalışmada tuğla üretimine katkı olarak, ince olarak öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun etkisi araştırılmıştır.

### 3.3 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ulusoy (2008), yaptığı çalışmada atık uçucu-tekstil külü ve bazaltik pomzanın, yüksek kalitede pişmiş kil tuğlaların üretiminde belirli oranlarda katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırmıştır. Her numune 8 saatlik süreçlerde 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Sonuç olarak tekstil külü ve bazaltik pomzanın ikisi ve belirlenen oranda uçucu külün uygun katkıları olduğu ve pişmiş tuğla üretiminde faydalı bir şekilde kullanılabileceği neticesine varılmıştır (Ulusoy 2008).

Kibar (2009), yaptığı çalışmada tuğla kiline öğütülmüş cam katkısının tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Afyon ilinden alınan tuğla kiline, ağırlıkça % 0, % 2.5, % 5 ve % 10 oranlarında öğütülmüş cam katılarak tuğla örnekleri üretilmiştir. Örnekler, yüksek sıcaklık kapasiteli laboratuvar tipi elektrikli fırınında; 850 °C, 950 °C ve 1050 °C' de sıcaklıklarda pişirilmiştir. Öğütülmüş cam katkılı pişmiş örneklerde, porozite ve buna bağlı olarak su emme değerlerinin azaldığını, katkısız örneklere göre birim hacim ağırlığın nispeten arttığını ve basınç mukavemeti değerlerinin büyük ölçüde artırdığını belirlemiştir (Kibar 2009).

Görhan (2011), yaptığı çalışmada çeltik kavuzu katkısı ile tuğla üretimi yapmıştır. Kile, çeltik kavuzu katkısını hacimsel olarak; % 5, % 10 ve % 15 oranlarında, öğütülmüş ve ham halde olmak üzere eklemiştir. Şekil verilen örnekleri 700, 800, 900 ve 1000 °C sıcaklıklarda pişirerek örneklerin fiziksel ve mekanik deneylerini yapmıştır. Çeltik kavuzu katkısının tuğla örneklerin kızdırma kaybı, su emme ve görünür porozite oranlarını artırdığını belirlemiştir. Çelik kavuzu katkı oranının artmasının, tuğla örneklerin net birim hacim ağırlığı, basınç mukavemet ve ısı iletkenlik katsayısı değerlerini azalttığını, pişirme sıcaklığının artmasının ise örneklerin ısı iletkenlik katsayısını artırdığını belirlemiştir (Görhan 2011).

Aydın (2007), yaptığı çalışmada tuğla üretiminde ana malzeme olarak Seyitömer termik santral uçucu külü kullanmıştır. Bununla birlikte bağlayıcı olarak kil ve katkı malzemesi olarak da borik asit kullanmıştır. Farklı karışım oranlarında tuğla örnekleri üreterek bunlar üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak % 10 kil ve % 2.5 borik asit katkı katılarak Seyitömer termik santral uçucu külü ile optimum şartlarda yapı tuğlası üretilebileceğini belirlemiştir (Aydın 2007).

Bentli vd. (1996), yaptıkları çalışmada Seyitömer termik santral uçucu küllerinin tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Seyitömer termik santralinden alınan uçucu baca külü ile tuğla fabrikasında % 2.5, % 5, % 10, % 15 oranlarda baca küllü tuğlalar hazırlanmış ve fiziksel, mekanik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak katkısız tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlık değerini çok az miktarda arttırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülme değerlerinde belirgin bir değişime neden olmamıştır. Üretilen tuğla örneklerinde, su emme oranı değeri referans tuğlaya göre azalmış ve tuğla örneklerinin tamamında referans tuğlada elde edilen mukavemet değerine ulaşamadığını belirlemişlerdir (Bentli vd. 1996).

Demir (2006), tarafından yapılan bir çalışmada atık çaylar ile tuğla üretilmiş ve yapılan deneyler sonucunda ise katkılı örneklerin pişirilen ve pişmemiş örneklerinde basınç mukavemetlerinde olumlu artışlar olduğu ve bünyede herhangi bir çatlak ve kırılmalar olmadığı gözlenmiş ve bu atıkların tuğla üretiminde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Demir 2006).

Segadaes et al. (2005), kırmızı kil tuğla yapımı sırasında karışıma % 30'a kadar yeterli inceliğe kadar öğütülmüş ve düşük demir minerali içeren mermer ve granit atıklarının kil ile karıştırılarak tuğla üretiminde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir (Segadaes et al. 2005).

Menezes et al. (2005), granit artıklarının kullanıldığı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada tuğla üretimi amacıyla kil ile granit artıklarını karıştırmışlardır. Çalışma sonucunda tuğla bünyesinde, granit atıklarının geleneksel seramik hammaddeleri ile benzer özellikler gösterdiği ve fiziksel ve mineralojik açıdan tuğlaların aynı özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir (Menezes et al. 2005).

Milheiro et al. (2005), mermer ve granit artıklarını pişmiş kil tuğlası karışımında kullanmış ve tuğlanın mekanik özelliklerinin çok etkili bir şekilde geliştiğini saptamışlardır (Milheiro et al. 2005).

Liew et al. (2004), tarafından kanalizasyon çamurunu tuğla üretiminde kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, tuğla bünye içerisine ağırlıkça, % 10'dan % 40'a kadar değişen oranlarda kanalizasyon çamuru katkısı yapılmıştır. Kanalizasyon çamuru katkılı kil tuğlaların yüzeylerinde ve dokusunda normal kil tuğlalarına göre biraz daha fazla bozukluk

tespit edilmiştir. Kimyasal ve fiziksel özellik olarak, % 40'a kadar kanalizasyon çamuru içeren tuğlalar konu ile ilgili standartları karşıladığı belirtilmekle birlikte tuğlalarda atık oranı % 30'u aşması durumunda kullanılmamaları tavsiye edilmektedir. Bunun sebebi olarak elle hafifçe dokunulduğunda bile kolayca kırılabilirdikleri belirtilmiştir. Kanalizasyon çamur katkılı tuğlalar görüntünün ön planda olduğu yerlerde kullanılmamak kaydı ile gerekli görülen yerlerde kullanılabilceği belirtilmiştir (Liew et al 2004).

Michael (2006), tarafından yapılan bir çalışmada kil tuğlayı stabil bir bünye yapmak için çeltik kavuzu katılarak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada % 0, % 1, % 2, % 3, % 4, % 5 ve % 10 oranında pirinç kabuğu bünyeye katılmıştır. Tuğlalardan bir örnek grup yaklaşık 3-4 saat süresince 1005 °C'de pişirilmiştir. Çalışma sonucunda ise katkı miktarının basınç mukavemetini azalttığı ve katkılı tuğlaların katkı miktarının artmasıyla birlikte daha hafif olduğu belirlenmiştir (Oyetola ve Abdullahi 2006).

Sütçü ve Akkurt (2009), tarafından yapılan çalışmada kağıt atıkları tuğla yapımı için uygun kaolen ve kireç içermektedir. Ayrıca lifli yapıda oldukları için kurutma sırasında yapıya destek sağlarlar. Buna ilaveten % 30'a kadar kil bünyeye yapılan kağıt atık katkısının tuğla örneklerde ısı iletkenlik katsayılarını azalttıkları da belirtilmiştir (Sütçü ve Akkurt 2009).

Demir vd. (2005), tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise kağıt atıkları tuğla bünye içerisine % 10'a kadar değişen oranlarda ilave edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda atık oranının artmasıyla; plastiklik suyu (% 30-40) ve kuruma küçülmesi artmıştır (% 4.4-5.2). Katkı miktarı arttıkça porozite ve su emme oranlarında artış meydana gelirken, basınç mukavemet değerlerini düşürdüğü fakat TS EN 771'de istenilen basınç mukavemet değerlerini karşıladığı belirtilmiştir (Demir vd. 2005).





## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE METOT

#### 4.1 KULLANILAN MALZEMELER

Örneklerin hazırlanmasında kullanılan kil malzemesi Bartın ilinde özel tuğla fabrikasından elde edilmiştir.

Katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu kül (UK) Eren Enerji termik santralinden, Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ise Karabük Demir Çelik Fabrikasından elde edilmiştir. Kullanılan YFC granüle yüksek fırın cürufudur.

Tuğla üretiminde kile katkı olarak, toplam ağırlığın % 10, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında ayrı ayrı YFC ve UK katkısı ilave edilmiştir. Ayrıca YFC ve UK katkıları birlikte karıştırılarak karışımlar oluşturulmuştur. UK katkısı ağırlıkça % 10 oranında sabit tutulup YFC katkı oranı % 20, % 30 oranında ve YFC katkısı ağırlıkça % 10 oranında sabit tutulup UK katkısı % 20, % 30 oranında kullanılmıştır. Ayrıca YFC ve UK katkıları ağırlıkça % 10'ar ve % 20'şer eşit oranlarda kullanılmıştır.

Tuğla üretiminde, YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldığı karışımlarda tuğla kiline katkı olarak YFC ve UK katkıları ağırlıkça % 10 oranlarda kullanarak toplam ağırlığın % 20' si olacak şekilde oluşturulmuştur. % 5' er eşit oranlarda kullanıp toplam katkı oranı % 10 olarak kullanıldığında, katkı oranının karışıma etkisini tam olarak tespit edilemeyeceği ve katkı kullanımının tuğla üretiminde düşük kalacağı düşünüldüğünden kullanılmamıştır. Çizelge 4.1' de 300 g için ağırlıkça tuğla örneklerinin karışım oranları verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Tuğla örneklerinin ağırlıkça karışım oranları (300 g).

| Karışım No | YFC ağı. (%) | UK ağı. (%) | Kil ağı. (%) |
|------------|--------------|-------------|--------------|
| 1          | 0            | 0           | 100          |
| 2          | 10           | 0           | 90           |
| 3          | 20           | 0           | 80           |
| 4          | 30           | 0           | 70           |
| 5          | 40           | 0           | 60           |
| 6          | 0            | 10          | 90           |
| 7          | 0            | 20          | 80           |
| 8          | 0            | 30          | 70           |
| 9          | 0            | 40          | 60           |
| 10         | 10           | 10          | 80           |
| 11         | 20           | 10          | 70           |
| 12         | 30           | 10          | 60           |
| 13         | 10           | 20          | 70           |
| 14         | 10           | 30          | 60           |
| 15         | 20           | 20          | 60           |

#### 4.2 ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Örneklerin üretiminde kullanılan malzemeler, öncelikle 200 lt hacime sahip etüvde  $105 \pm 5$  °C’ de etüv kurusu ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra her bir karışımdan 300 g olacak şekilde ağırlıkça karışım oranlarına göre 15 adet karışım oluşturulmuştur. Gençel (2015)’ in çalışmasında uygulamış olduğu yöntemle göre karışımlara su ilave edilmiştir. Her bir karışım homojen şekilde karışması için kuru halde iyice karıştırılmıştır. Daha sonra karışımlara ağırlıkça yaklaşık % 15 oranında yağmurlama yöntemiyle, sprey ile su püskürtülerek su ilavesi yapılmıştır. Su ilavesi yapılırken karışımda homojenliği sağlamak ve topaklanma olmaması için bir defada 8 kez olmak üzere toplam 3 defa sprey ile su püskürtülerek, her defasında karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlardan manuel basınç presi ile 22 mm çaplı ve 10 mm yüksekliğindeki özel kalıpta tuğla örnekleri oluşturulmuştur (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Her bir örnek karışımdan 10 adet olmak üzere üç farklı sıcaklık için (850, 950, 1050 °C) toplam  $10 \times 3 \times 15 = 450$  adet tuğla örneği üretilmiştir (Şekil 4.3), (Gençel 2015).



**Şekil 4.1** Manuel basınç presi.



**Şekil 4.2** Tuğla kalıbı.

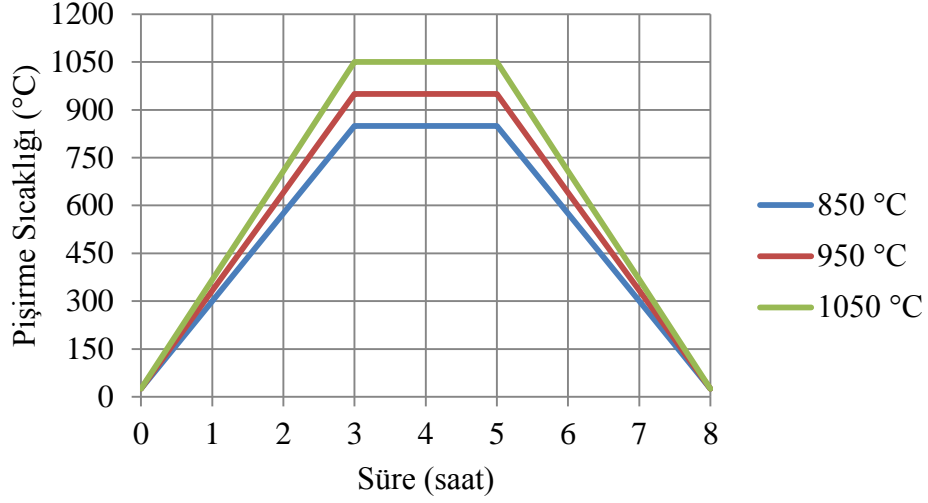


**Şekil 4.3** Pişirilmemiş tuğla örnekleri.

Üretilen tuğla örnekleri, pişirme sırasında çatlamalara maruz kalmaması için pişirme öncesinde 24 saat 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Daha sonra üç farklı sıcaklıkta (850 °C, 950 °C ve 1050 °C) pişirilmiştir. Pişirme işlemi 500 lt hacimli 1200 °C pişirme kapasiteli laboratuvar tipi elektrikli fırında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4** 1200 °C pişirme kapasiteli laboratuvar tipi elektrikli fırın.



**Şekil 4.5** Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerinin pişirme rejimi.

Kil hammaddesi türü, YFC ve UK katkı maddelerine bağlı olarak yapılan ön deneme çalışmaları sonucunda en uygun pişirme rejimi belirlenmiştir. Pişirme rejimi Şekil 4.5' te verilmiştir. Tuğla örneklerinin pişirilmesi, oda sıcaklığından (25 °C) 3 saat sonra pişirme sıcaklığına ulaşır, pişirme sıcaklığında 2 saat pişirildikten sonra, 3 saat içinde tekrar oda sıcaklığına ulaşılacak şekilde programlanarak gerçekleştirilmiştir. Pişmiş tuğla örnekleri Şekil 4.6 'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.6** Pişmiş tuğla örnekleri.

## 4.3 UYGULANAN DENEYLER

### 4.3.1 Mineralojik, Mikroyapısal ve Kimyasal Analizler

Çalışmada tuğla kili ve katkı hammaddelerinin kristal faz içeriklerinin tespit edilmesi için X-ışını kırınımı (XRD) analizi yapılmıştır. Çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufun tuğlanın hammaddesi olan kil ile yapmış olduğu kimyasal bozulmalara ışık tutması için elektron mikroskop (SEM) ve elementel EDS analizleri yapılmıştır. Her grup örneği temsil eden örnekler alınmış, mikro yapıları incelenmiştir.

### 4.3.2 Plastiklik Suyu, Kuruma Küçülmesi ve Toplam Doğrusal Küçülme Deneyi

Örnekler etüvde +100 °C' de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminin öncesi ve sonrasında örneklerin çap ve ağırlık ölçümleri gerçekleştirilerek, her bir örnek grubuna ait kuruma küçülmesi ve plastiklik suyu değerleri ile örneklerin pişirilmesinin ardından elde edilen toplam doğrusal küçülme oranları TS 4790'a göre, Eşitlik 4.1-4.3 kullanılarak belirlenmiştir. Değerler, her bir örnek grubu için üç örneğin ortalaması alınarak elde edilmiştir (TS 4790, 1986).

$$\text{Plastiklik suyu (\%)} = \frac{W_y - W_k}{W_k} \times 100 \quad (4.1)$$

Burada;

Wy: Numunenin yaş ağırlığı (g),

Wk: Numunenin kuru ağırlığı (g)' dir.

$$\text{Doğrusal kuruma küçülmesi (\%)} = \frac{L_p - L_d}{L_d} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\text{Toplam doğrusal küçülme (\%)} = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100 \quad (4.3)$$

Burada;

Lp: Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm),

Ld: Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm),

Lf: Deney numunesinin pişmiş uzunluğu (mm)' dur.

### 4.3.3 Kızdırma Kaybının Belirlenmesi

Piştirme işlemleri sırasında tuğla bünyesinde meydana gelen ağırlık kaybı, kızdırma kaybı olarak tanımlanmaktadır. Kızdırma kaybı oranları, piştirme işleminden önce ve piştirme işleminden sonraki ağırlık tartımlarına göre Eşitlik-4.4 'e göre belirlenmiştir (TS 4790, 1986).

$$\text{Kızdırma kaybı (\%)} = \left( 1 - \left( \frac{W_p}{W_k} \right) \right) \times 100 \quad (4.4)$$

Burada;

Wp: Numunenin pişmiş ağırlığı (g),

Wk: Numunenin kuru ağırlığı (g)'dir.

### 4.3.4 Porozite, Yoğunluk, Su Emme ve Net Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi

Örneklerin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pişirilen örnekler kap içerisinde 3 saat süreyle su içerisinde kaynatılarak bekletilmiştir. Örnekler kap içerisinden alınarak, su içerisindeki asılı ağırlıkları (W2) ve suya doygun yüzey kuru ağırlıkları (W3) ölçülmüştür. Daha sonra örnekler etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur (W1). Bulunan değerlere göre örneklerin net birim hacim ağırlık, görünen porozite ve görünür yoğunluk değerleri TS EN 772-4'e, su emme değerleri ise TS EN 771-1'e göre aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla (Eşitlik 4.6-4.9) hesaplanmıştır. Değerler, her bir örnek grubu için üç örneğin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Örneklerin ağırlık tartımları Şekil 4.7 'de gösterilen Shimadzu marka hassas elektronik terazi ile yapılmıştır. Örneklerin sudaki ağırlık tartımı işlemi ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir (TS EN 772-4, 2000 ; TS EN 771-1, 2005).





Şekil 4.7 Shimadzu marka elektronik terazi.



Şekil 4.8 Sudaki ağırlık tartımı işlemi.

$$\text{Görünen porozite (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (4.5)$$

$$\text{Net birim hacim ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{W1}{W3 - W2} \quad (4.6)$$

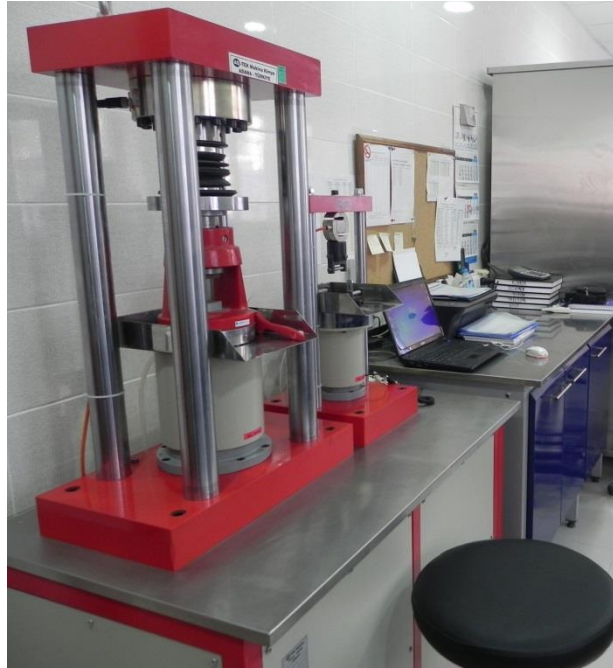
$$\text{Görünür yoğunluk (g/cm}^3\text{)} = \frac{W1}{W1 - W2} \quad (4.7)$$

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{W3 - W1}{W3} \times 100 \quad (4.8)$$

#### 4.3.5 Basınç Mukavemeti Deneyi

Mekanik özelliklerden biri olan basınç mukavemeti deneyi TS EN 772-1' e göre, bilgisayar kontrollü basınç presinde (Şekil 4.9) basınç mukavemeti deneyi yapılmıştır. Örneklerin basınç mukavemeti değeri kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Karışımların basınç mukavemet değerleri 3 adet tuğla örneğinin basınç mukavemet değerinin ortalaması ile elde edilmiştir (TS EN 772-1, 2012).

Örnek boyutları küçük olduğundan (22 mm çaplı ve 10 mm yüksekliğinde silindir), kırılma yükünün bulunmasında tek yönlü basınç uygulanması yeterli olmuştur.



Şekil 4.9 Bilgisayar kontrollü basınç presi.

#### **4.3.6 Donma-Çözülme Deneyi**

Donma-çözülme deneyi TS 3449' a uygun olarak, her bir karışım örnek grubundan üçer adet örnek alınarak 1 saat süresince suda bekletilmiş, ardından iki saat donma, bir saat çözülme döngüsünü takip edecek şekilde 25 kez tekrarlanarak donma-çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme deneyine maruz kalan numunelerin basınç mukavemeti değerleri belirlenmiştir (TS 3449, 1980).

#### **4.3.7 Isıl İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi**

Üretilen farklı karışım oranlarına ait tuğla örneklerinin ısı yalıtım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, ısı yalıtım özelliğinin bir ölçütü olan ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere tuğla örnekleri 22 mm çap ve 10 mm yüksekliğinde silindirik boyutlu hazırlanmıştır. Gençel (2015)' in çalışmasında uyguladığı yöntemle göre tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir. Her bir tuğla örneği üçer defa ölçülerek ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır (Gençel 2015).

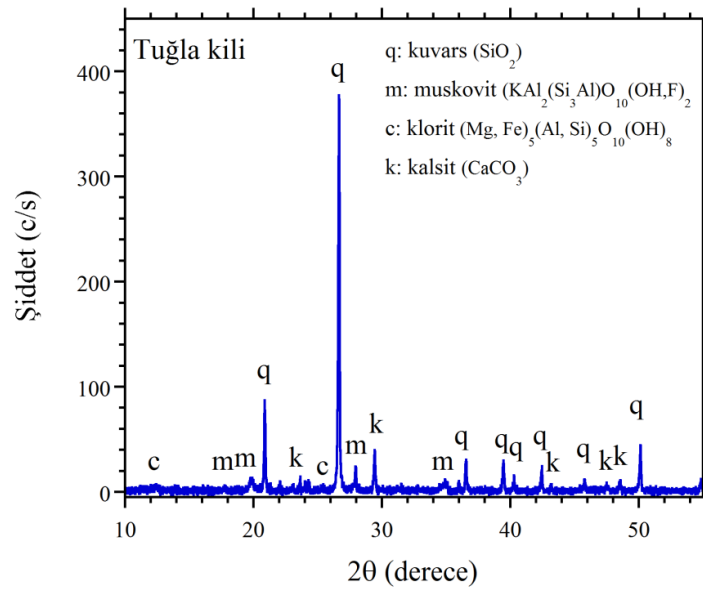
## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1 HAMMADDE VE UYGULANAN ANALİZLER

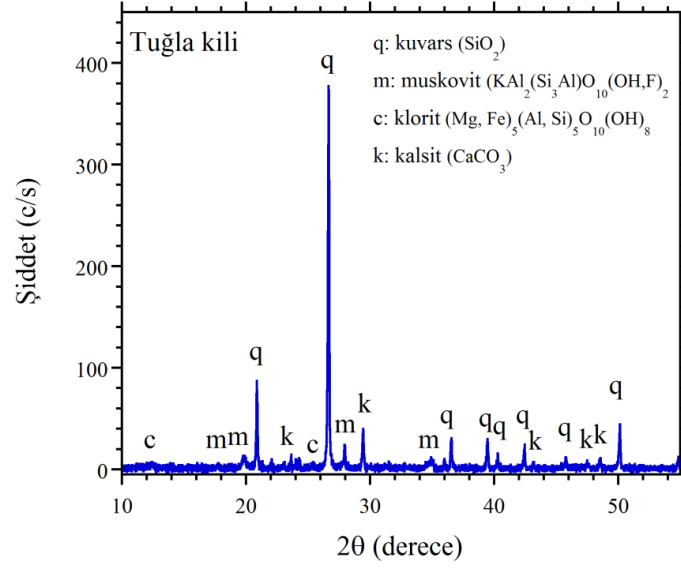
##### 5.1.1 Mineralojik Analizler (XRD Analizi)

Kil hammaddesi , YFC ve UK katkılarında bulunan minerallerin belirlenmesi amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Şekil 5.1' de kil hammaddesinin XRD analizi verilmiştir. Buna göre, kil hammaddesinin kuvars, muskovit, klorit ve kalsit kristal faz içeriğine sahip olduğu görülmektedir.



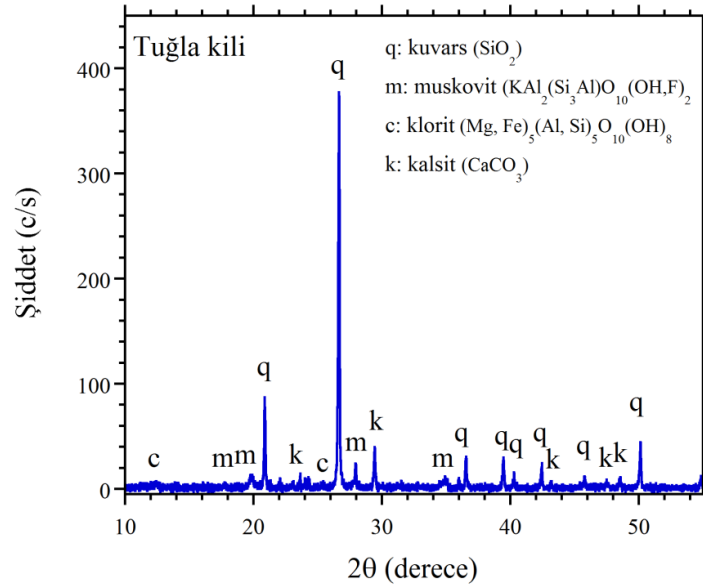
Şekil 5.1 Tuğla kili hammaddesinin XRD analizi.

Şekil 5.2' de tuğla karışımlarında katkı olarak kullanılan uçucu kül hammaddesinin XRD analizi verilmiştir. Buna göre, uçucu kül hammaddesinin kuvars, mullit ve kalsit kristal faz içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, kristal fazların yanısıra amorf (camsı) yapıya sahip olduğu  $10^\circ$ -  $40^\circ$  arasındaki eğriden görülmektedir.



Şekil 5.2 Uçucu kül hammaddesinin XRD analizi.

Şekil 5.3' te tuğla karışımlarında diğer bir katkı olarak kullanılan yüksek fırın cürufu hammaddesinin XRD analizi verilmiştir. Buna göre, yüksek fırın cürufu hammaddesinin yüksek derecede amorf (camsı) yapıya sahip olduğu  $10^\circ$ - $40^\circ$  arasındaki eğriden görülmektedir.



Şekil 5.3 Yüksek fırın cürufu hammaddesinin XRD analizi.

## 5.2 ÜRETİLEN TUĞLANIN ÖZELLİKLERİ

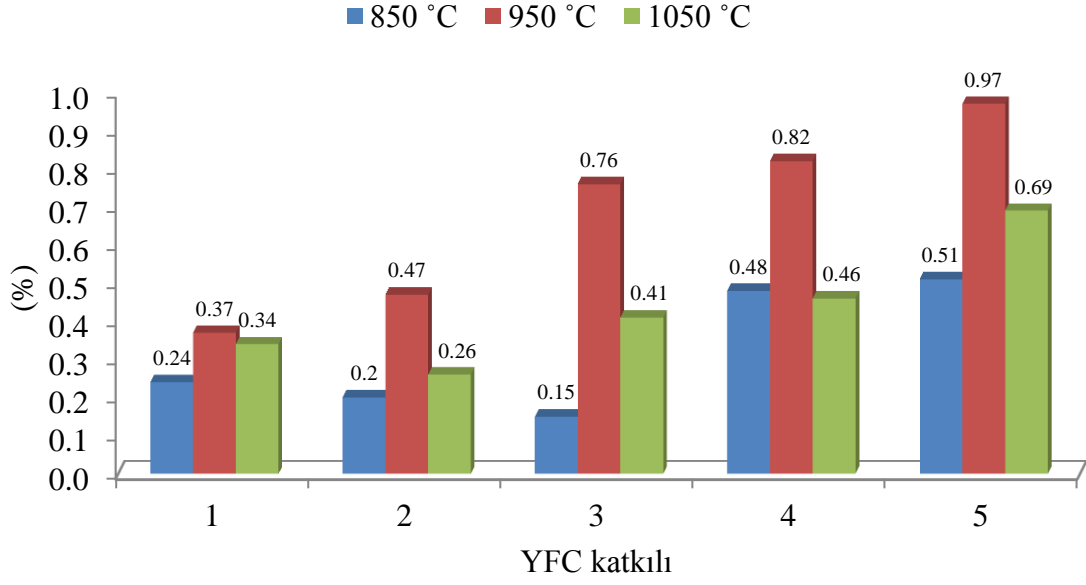
### 5.2.1 Kuru ve Toplam Doğrusal Küçülme

Yüzeyde su çıkışı daha fazla olduğu için bu yüzeyler daha fazla küçülür ve sistemde gerilme ortaya çıkar. İç ve dış bölgeler arasındaki gerilmeler sebebiyle bünyede çatlak veya deformasyonlar oluşabilir. YFC ve UK camsı yapı özelliği göstermesi nedeniyle boyutlarda küçülme meydana getirirken küçülme sırasında çatlak oluşumunu engeller.

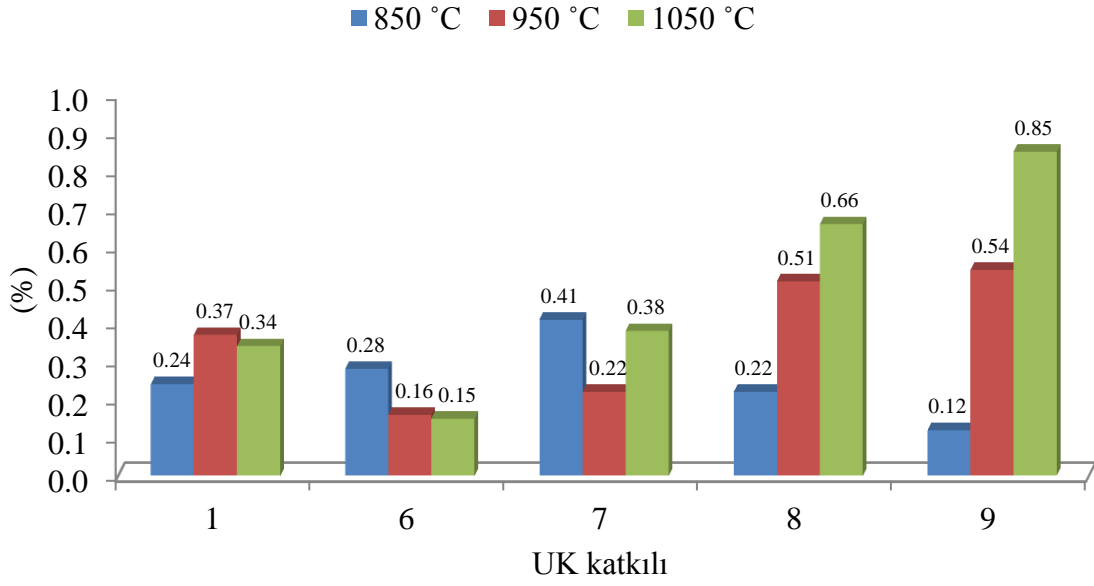
850, 950 ve 1050 °C sıcaklıklarda pişirilen örneklerin doğrusal küçülme oranları belirlenmesi için örneklerin pişirme öncesinde ve sonrasındaki çap ölçümleri yapıp TS 4790 Eşitlik 4.3' e göre hesaplanmıştır. Her bir örnek gruptan üçer tanesinin doğrusal küçülme oranları belirlenip ortalaması alınmıştır (Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6).

Referans örnekte (1 nolu örnek) 950 °C pişirme sıcaklığında en büyük doğrusal küçülme oranı gerçekleşmiştir. YFC katkılı örneklerin doğrusal küçülme oranları % 0.15–0.97 arasında olup YFC katkı oranının artmasıyla doğrusal küçülme oranları artmıştır. UK katkılı örneklerin doğrusal küçülme oranları % 0.12-0.85 arasında olup UK katkı oranının artması doğrusal küçülme oranları ile artmıştır. YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldığı karışımlarda doğrusal küçülme oranları % 0.18-0.93 arasında değişmektedir.

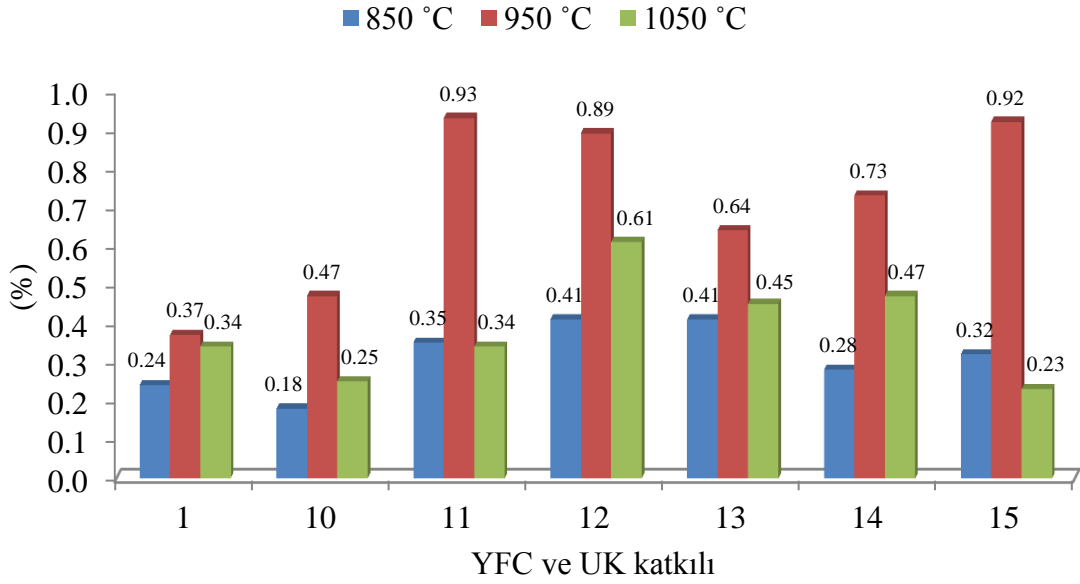
Örneklerin doğrusal küçülme oranları standarttaki doğrusal küçülme oranını (maksimum % 8) aşmamıştır. YFC ve UK katkılı örneklerde referans örneğe göre doğrusal küçülme oranlarında artış olmuştur. YFC katkılı örneklerde artış, UK katkılı örneklere göre daha fazla olmuştur. Bu artışın, UK katkılı örneklerin bünyede gözenekli yapılardan oluşması ve bu gözeneklere hapsolan suyun pişirme sırasında bünyeden gitmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. UK katkılı örneklerin kürecikleri, sıcaklık artışına rağmen şeklini koruyup ve deforme olmadığı SEM görüntülerinde belirlenmiştir.



Şekil 5.4 YFC katkıli tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%).



Şekil 5.5 UK katkıli tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%).



Şekil 5.6 YFC ve UK katkılu tuğla örneklerinin doğrusal küçülme oranları (%).

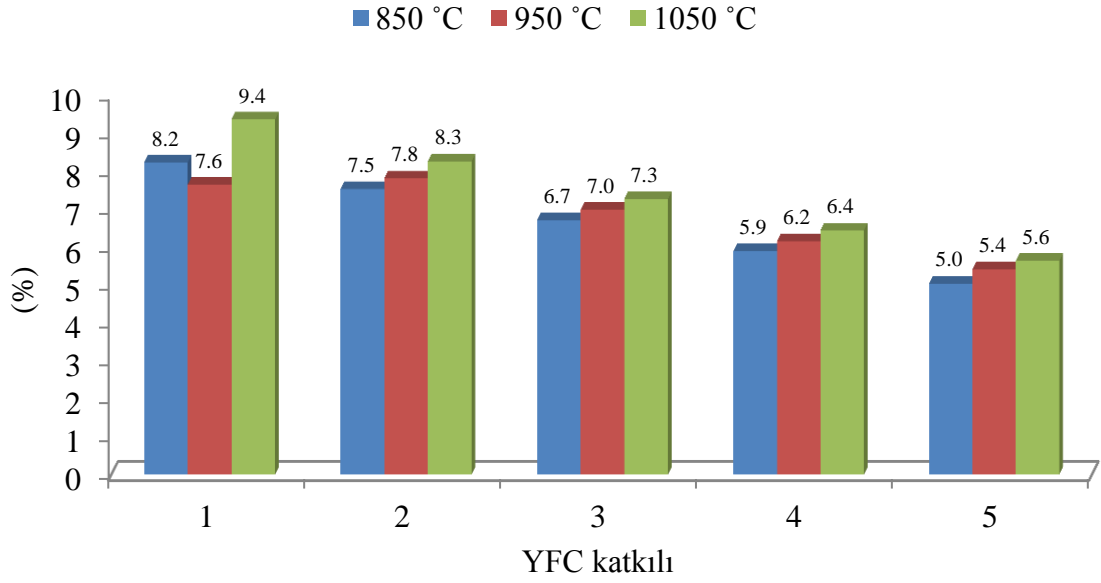
### 5.2.2 Kızdırma Kaybı

Pişirme sıcaklığına bağlı olarak kızdırma kaybı oranlarında farklılıklar meydana gelmiştir. Kızdırma kaybı bünyedeki organiklerin yanması (400–550 °C) ve kil bünyede kimyasal suyun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Kızdırma kaybı oranları, örneklerin pişirilmeden önce ve pişirildikten sonra ağırlıkları tartılarak TS 4790 Eşitlik 4.4 'e göre belirlenmiştir. Her bir örnek grubundan üçer tanesinin kızdırma kaybı belirlenip ortalaması alınmıştır (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9).

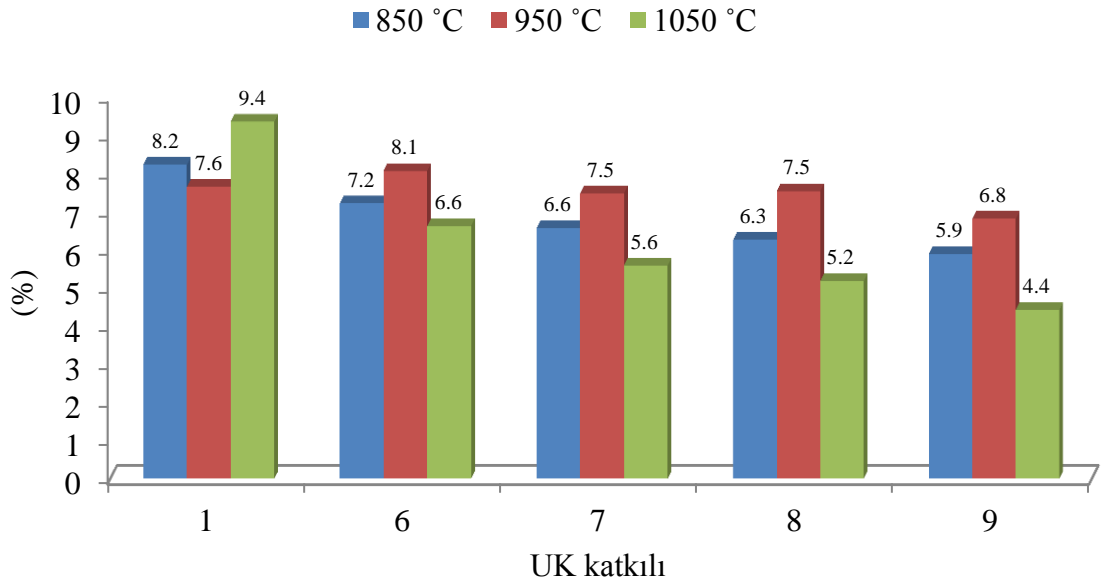
Kızdırma kaybı oranları referans örnekte (1nolu örnek) % 7.6 - 9.4 arasında olup 1050 °C pişirme sıcaklığında en yüksek değer elde edilmiştir. YFC katkılu örneklerde kızdırma kaybı % 5 - 8.3 arasında olup YFC katkı oranının artması ile azalmış, sıcaklığın artması ile artmıştır. Bunun nedeni YFC' nin bünyede camı ve kristal yapısının yüksek sıcaklıkta erimesi ve kaybolmasından kaynaklanmıştır. UK katkılu örneklerde kızdırma kaybı oranı % 4.4 - 8.1 arasında olup UK katkı oranının artması ile azalmış, 1050 °C sıcaklıkta en düşük değerler elde edilmiştir. UK katkılu örneklerde bünyedeki gözenekli yapı yüksek sıcaklıkta kaybolmadığından YFC katkılu örnekler kadar kızdırma kaybı olmamıştır. YFC ve UK



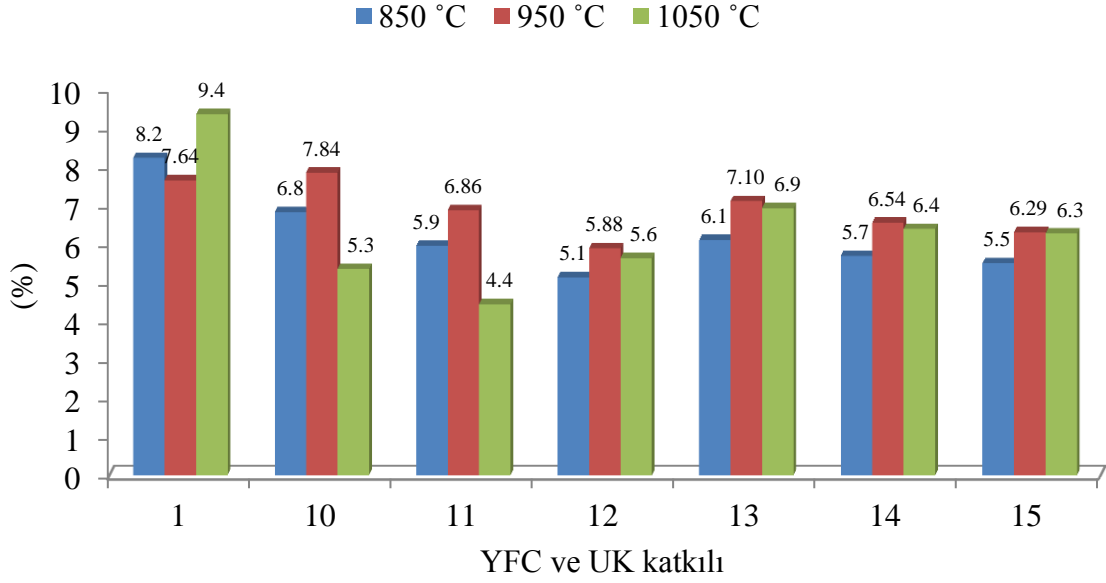
katkılarının birlikte kullanıldığı örneklerde sıcaklık ve katkı oranları kızdırma kaybı oranlarına etkileri belirlenmiş ve % 4.4-7.8 arasında değerler elde edilmiştir.



Şekil 5.7 YFC katkıli tuğla örneklerinin kızdırma kaybı oranları (%).



Şekil 5.8 UK katkıli tuğla örneklerinin kızdırma kaybı oranları (%).



**Şekil 5.9** YFC ve UK katkılı tuğla örneklerinin kızdırma kaybı oranları (%).

### 5.2.3 Görünen Porozite

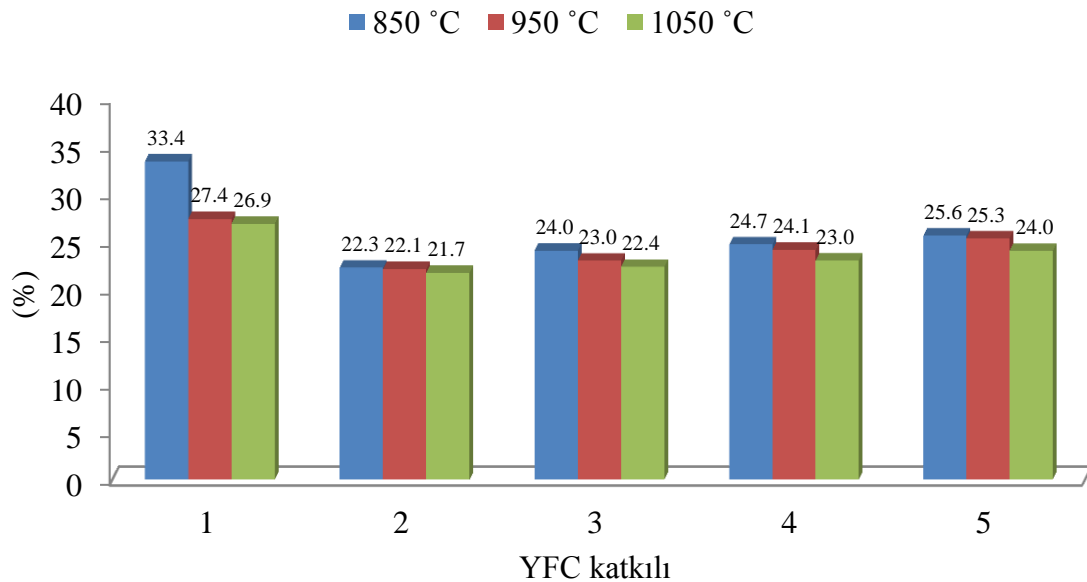
Porozite ve gözeneklerin boyut dağılımı, farklı yapı malzemeleri açısından durabilite özelliğini belirleyen önemli parametrelerdir. Porozite şiddetli yağışlara maruz kalan yapı tuğlaları açısından oldukça önemlidir. Yüksek gözenek oranına sahip ve gözenek çaplarının daha büyük olduğu yapı tuğlaları, donma çözünme ve çiçeklenme başta olmak üzere hava olaylarından önemli ölçüde etkilenmektedir (Cultrone et al. 2004). Tuğla gözenekli bir yapıya sahip olup bu gözenekli yapılarda nem tamamen doymuş ya da kuru halde bulunabilmektedir (Miniotaite, 2005). Porozitedeki değişkenlikler yapı tuğlalarının mekanik dayanıklılığını önemli derecede etkilemektedir (Lu et al. 1999).

Tuğla örnekleri 3 saat su içerisinde kaynatılarak suya doymuş hale getirilmiş ve ağırlıkları tartılmıştır. Su içerisindeki asılı ağırlıkları tartılmıştır. 24 saat 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulup ağırlıkları tartılmıştır. Örneklerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra TS EN 772-4 Eşitlik 4.5 'e göre porozite oranları belirlenmiştir (Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 ).

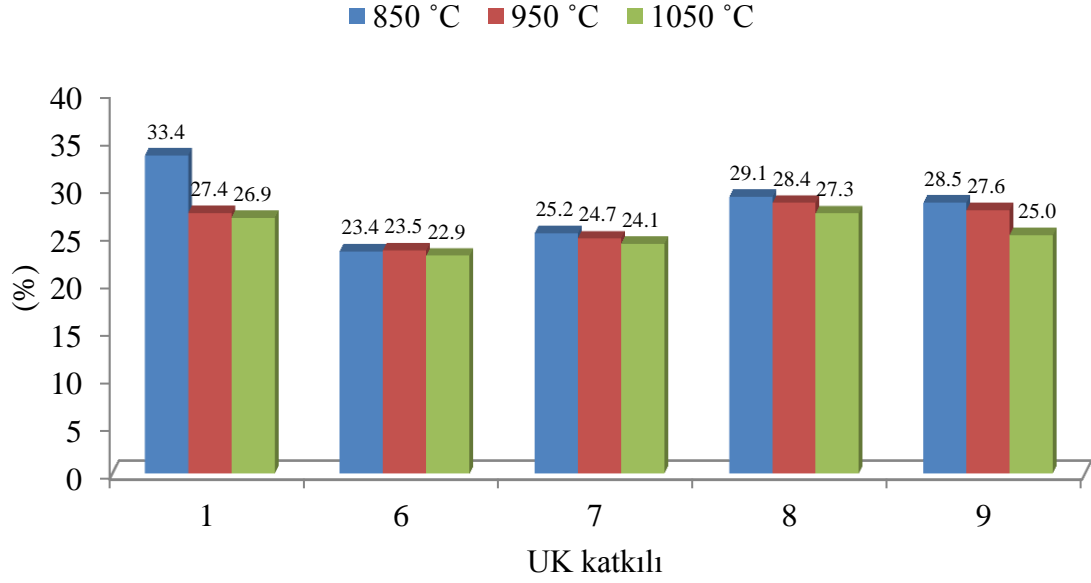
Referans örneğin (1) porozite oranı 850 °C pişirme sıcaklığında % 33.4, 950 °C pişirme sıcaklığında % 27.4 ve 1050 °C pişirme sıcaklığında % 26.9 olarak belirlenmiştir. Sıcaklık artışı ile porozite oranının azalması; pişmiş bünyede yeterli sinterlemenin gerçekleşmemesi ve

pişirme sıcaklığının artması ile bünyedeki camsı faz miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. YFC katkılı örneklerde porozite oranı % 21.7-25.6 arasında olup referans örneklere göre azalmıştır. YFC katkı oranının % 10, 20, 30 ve 40 oranında olduğu örneklerde (2, 3, 4 ve 5 nolu tuğla örnekleri) porozite oranının YFC katkı oranının artışı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. UK katkılı örneklerde porozite oranı % 22.9-29.1 arasında olup referans örneklere göre azalmıştır. UK katkı oranının % 10, 20, 30 ve 40 oranında olduğu örneklerde (6, 7, 8 ve 9 nolu tuğla örnekleri) porozite oranının, UK katkı oranının artışı ile doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. UK katkı oranının artması ile porozite oranının artması, uçucu külün bünyedeki kapalı gözenekli yapıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldıkları örneklerde porozite oranı, % 22.2-28.7 arasında değişmekte olup en yüksek değer 850 °C pişirme sıcaklığında YFC katkısının % 10 ve UK katkısının % 30 olduğu örnek karışımında (14 nolu örnek) gerçekleşmiştir. UK katkı oranının porozite oranını ciddi bir şekilde artırdığı anlaşılmaktadır.

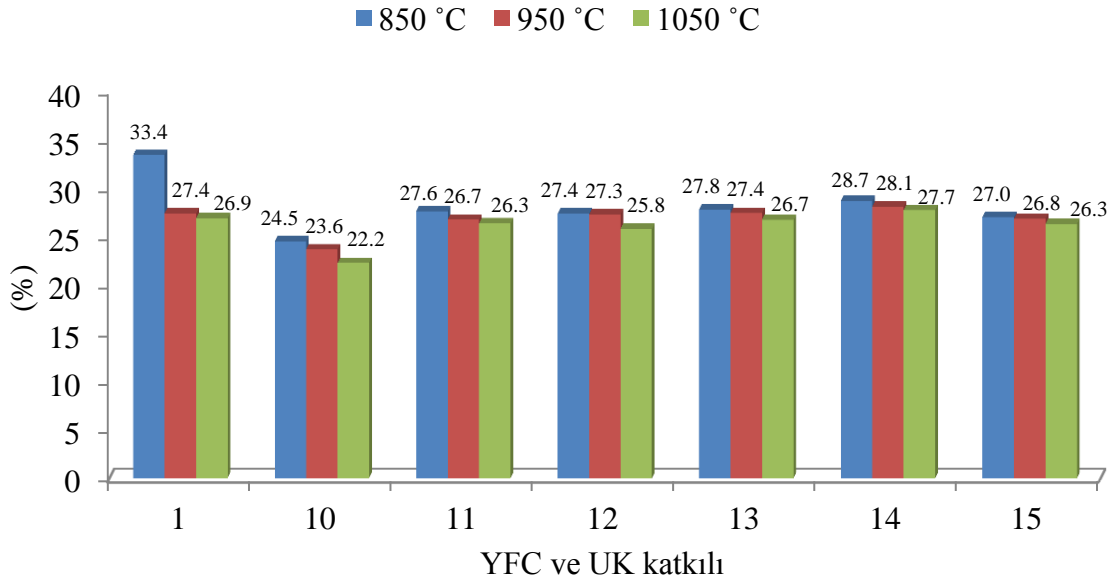
Porozite oranları ile doğrusal küçülme ve kızdırma kaybı oranları karşılaştırıldığında; sıcaklık artışı ve katkı oranlarının artışı ile kızdırma kaybı ve doğrusal küçülme oranlarının arttığı bulgularına göre porozite oranı beklendiği gibi azalmıştır.



**Şekil 5.10** YFC katkılı tuğla örneklerinin görünen porozite oranları (%).



Şekil 5.11 UK katkıli tuğla örneklerinin görünen porozite oranları (%).



Şekil 5.12 YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin görünen porozite oranları (%).

#### 5.2.4 Su Emme

Su emme, tuğla örneğinin yüzeyiyle bağlantılı olan açık gözeneklerin hacmiyle ilişkilidir. Ayrıca yoğunluk ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Gözenekler, sinterleme devam ettikçe

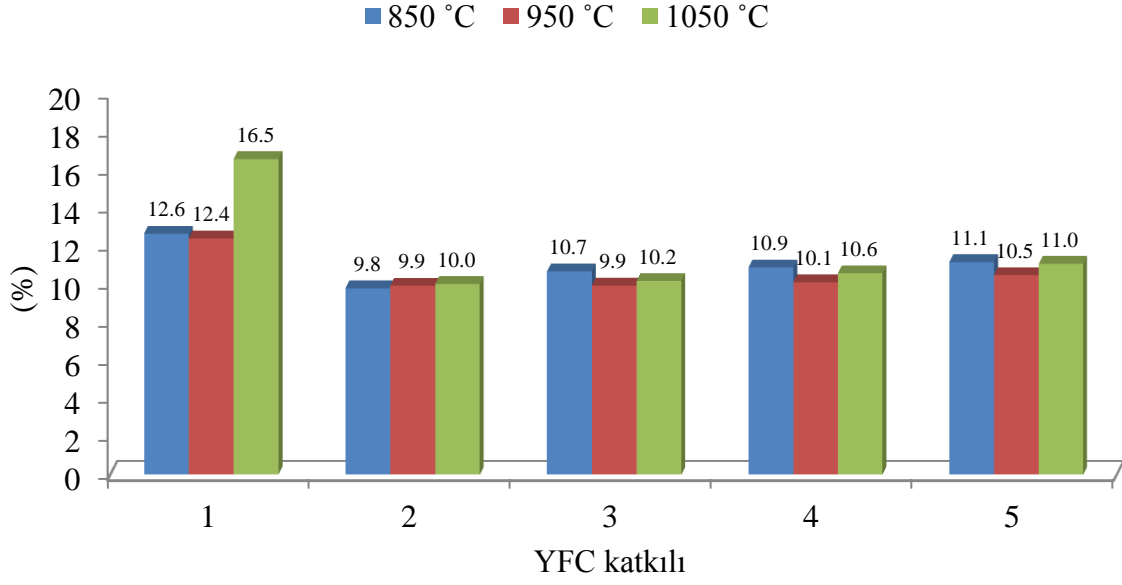
yuvarlaklaşmakta, katı haline göre küçülmektedir. Sinterlemenin sonucunda gözenekler dış yüzeyden izole olarak kapanmaktadır. 950 °C üzerinde sinterleme hızlı ve camsı faz şeklindedir. Camsı faz, gözenekleri penetre olarak kapamakta ve komşu gözeneklerden ayırmaktadır. Bu olay sinterleme sıcaklığının artışı ile su emmenin azalmasını açıklayabilmektedir (Milheiro et al. 2005).

Tuğla örnekleri 3 saat su içerisinde kaynatılarak suya doymun hale getirilmiş ve ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra 24 saat 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulup ağırlıkları tartılmıştır. Örneklerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra TS EN 771-1 Eşitlik 4.8 'e göre su emme oranları belirlenmiştir (Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15).

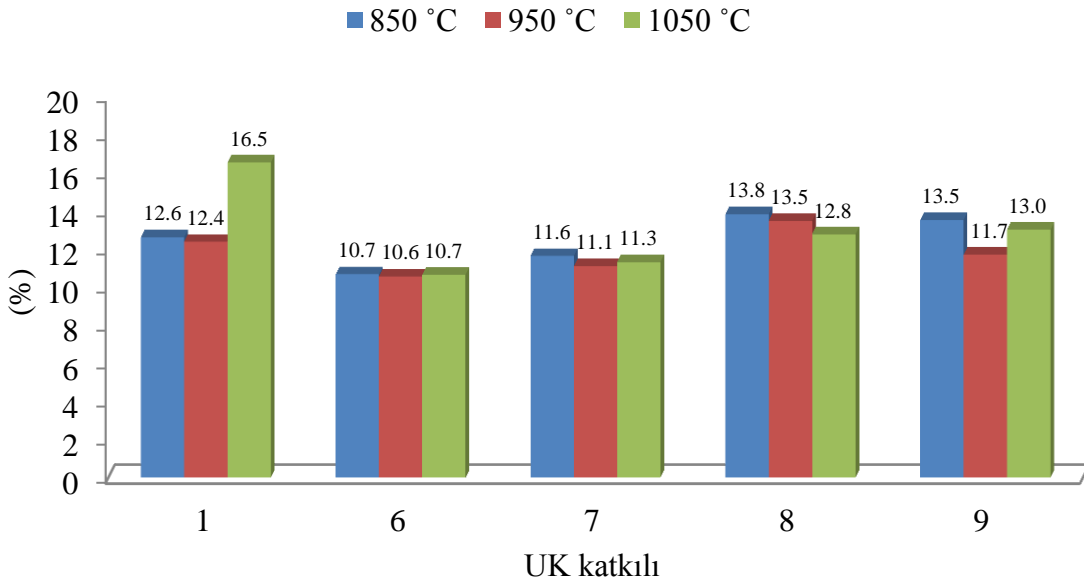
Su emme oranları referans (1) örnekte % 12.4-16.5, YFC katkılı örneklerde % 9.8-11.1 ve UK katkılı örneklerde % 10.6-13.8 arasında değişmektedir. En düşük su emme değeri 850 °C pişirme sıcaklığında YFC katkısının % 10 oranında kullanıldığı 2 nolu örnekte % 9.8 olarak belirlenmiştir. En yüksek su emme değeri ise 850 °C pişirme sıcaklığında UK katkısının % 30 olduğu 8 nolu örnekte % 13.8 olarak belirlenmiştir. UK katkısının tuğla örneklerinde su emme oranını arttırdığı açık olarak görülmüştür.

Örneklerin su emme değerlerine; genel olarak sıcaklık artışı azaltıcı, katkı oranları artışı ise artırıcı yönde etki etmiştir. Su emme değeri düşük sıcaklıkta yüksek değerde olup katkı oranının artmasıyla az da olsa artış göstermiştir. Düşük pişirme sıcaklığında su emme değerlerinin fazla olması, yeterli sinterlemeye ulaşamadığından kaynaklanmış olabilir.

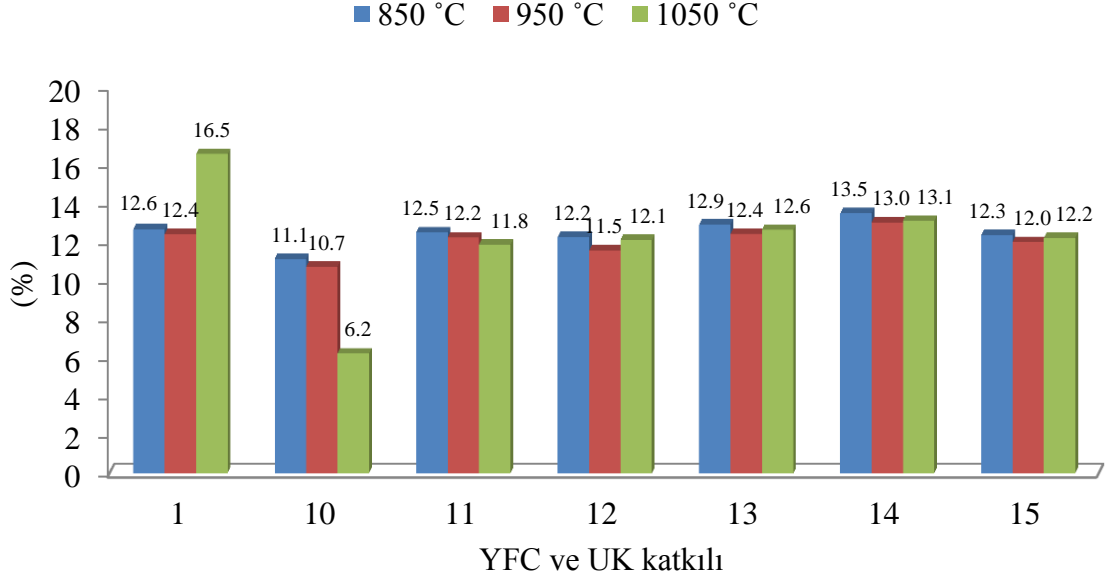
Elde edilen bulgulara göre örneklerin su emme değerleri ile porozite oranları karşılaştırıldığında, porozite oranının artması ile su emme oranının arttığı görülmektedir. TS 705' te tuğla için su emme değeri en fazla % 18 olup örneklerde bu değer aşılmamıştır.



Şekil 5.13 YFC katkıli tuğla örneklerinin su emme oranları (%).



Şekil 5.14 UK katkıli tuğla örneklerinin su emme oranları (%).



**Şekil 5.15** YFC ve UK katkılu tuğla örneklerinin su emme oranları (%).

### 5.2.5 Net Birim Hacim Ağırlık

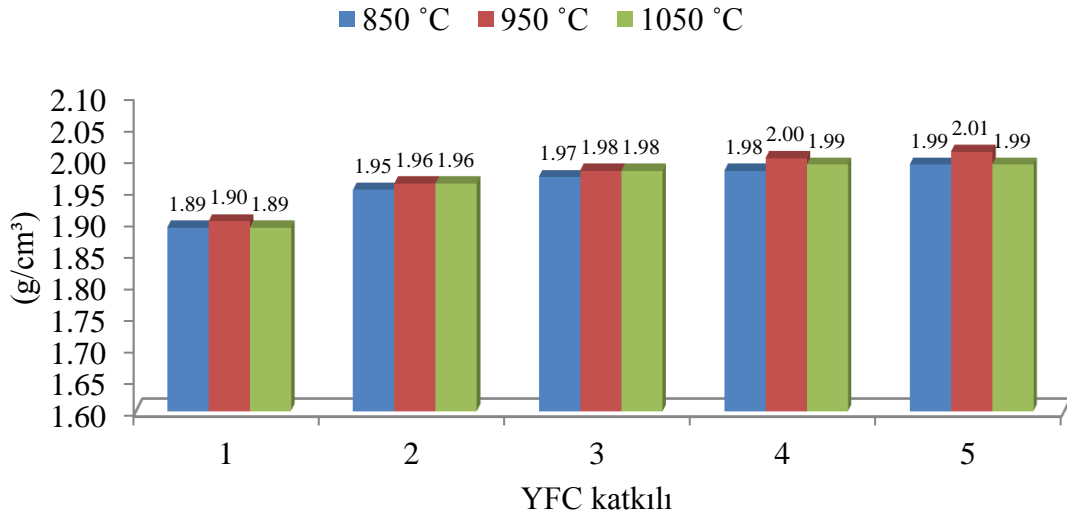
Tuğla örnekleri 3 saat su içerisinde kaynatılarak suya doymun hale getirilmiş ve ağırlıkları tartılmıştır. Su içerisindeki asılı ağırlıkları tartılmıştır. 24 saat 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulup ağırlıkları tartılmıştır. Örneklerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra TS EN 772-4 Eşitlik 4.6 'ya göre net birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18).

Elde edilen sonuçlara göre net birim hacim ağırlık değeri; referans tuğla örneğinde (1 nolu örnek) 1.89-1.90 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. YFC katkılu örneklerde net birim hacim değerleri 1.95-2.01 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmekte olup referans örneğe göre artmıştır. YFC katkılu tuğla örneklerinde en yüksek değer YFC katkısının % 40 oranında olduğu 5 nolu örnekte 2.01 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Tuğla örneklerinde YFC katkısının ağırlıkça oranı artmasıyla net birim hacim ağırlık değeri artmıştır.

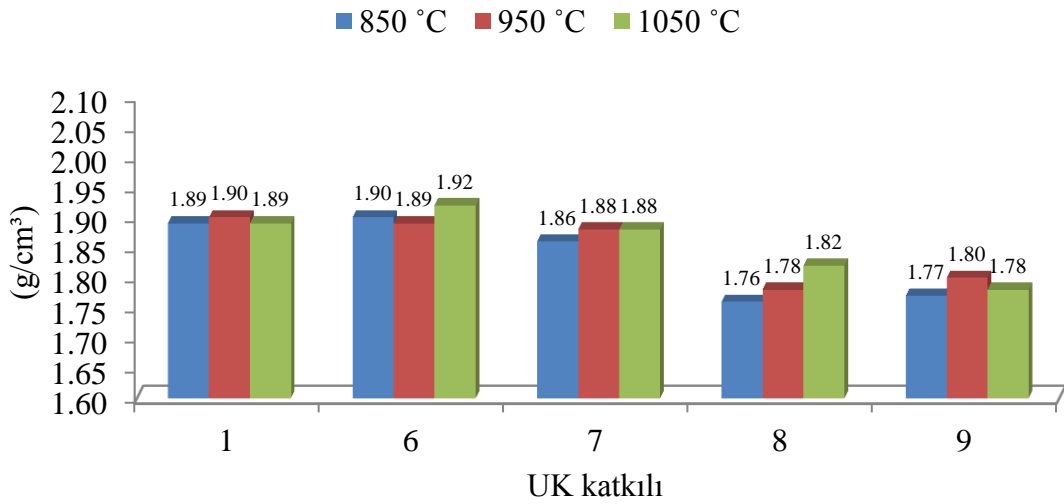
UK katkılu örneklerde net birim hacim ağırlık değerleri 1.76-1.92 g/cm<sup>3</sup> arasındadır. Tuğla örneklerinde net birim hacim ağırlık değeri, UK katkı oranı artmasıyla ise azalmıştır. Bunun nedeni olarak UK yoğunluğunun kilden daha az olmasından kaynaklanmıştır.

YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldıkları karışımlarda net birim hacim ağırlık değerleri katkıların ağırlıkça oranlarına göre değişkenlik göstermiştir.

Net birim hacim ağırlığı pişirme sıcaklığının artması ile artış göstermiştir. Bu artış, sıcaklık artışı ile porozite yani boşluk oranının azalması ile açıklanabilir. TS 705' te tuğlanın birim hacim ağırlığı için sınırlandırma yoktur. Fakat yapı toplam ağırlığını azaltmak için birim hacim ağırlığı düşük olan tuğlaların kullanılması faydalı olacaktır.

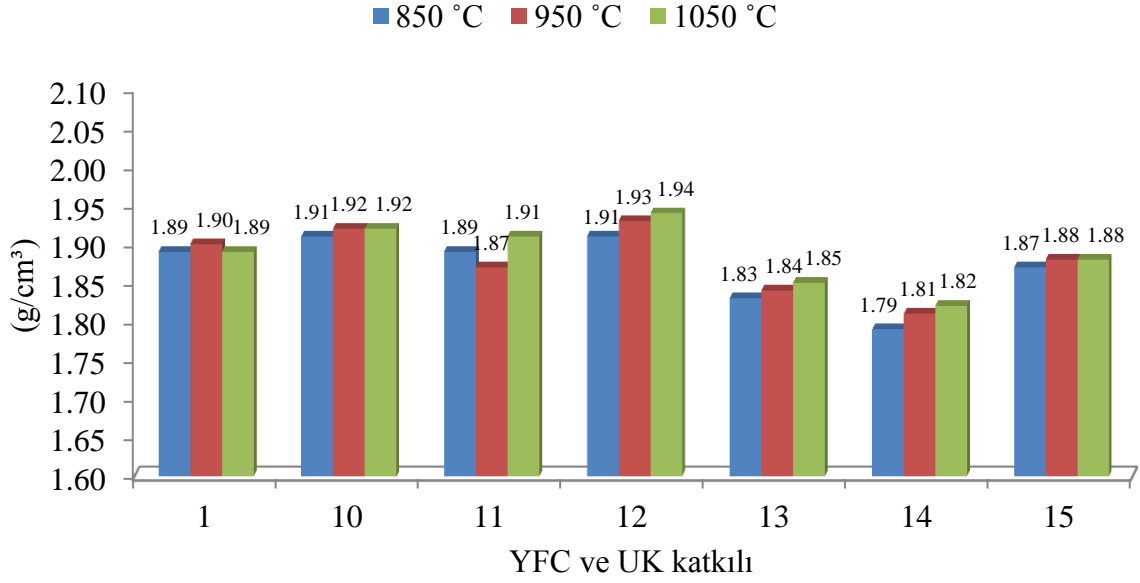


Şekil 5.16 YFC katkıli tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm<sup>3</sup>).



Şekil 5.17 UK katkıli tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm<sup>3</sup>).





**Şekil 5.18** YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin net birim hacim ağırlık değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

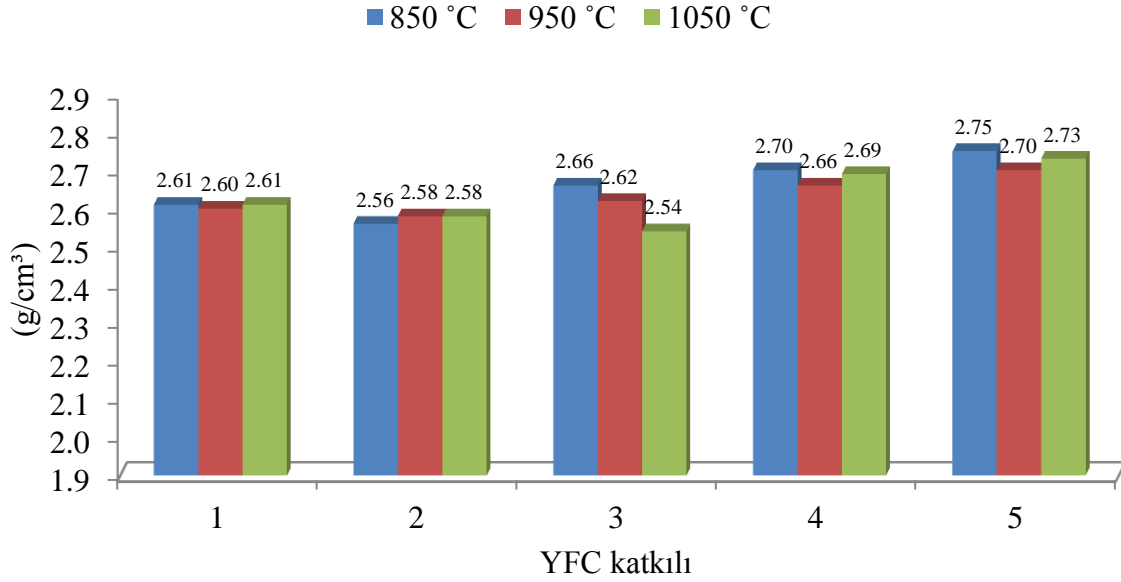
### 5.2.6 Görünür Yoğunluk

Tuğla örneklerinin su içerisindeki asılı ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra 24 saat 100 °C sıcaklıkta etüvde kurutulup ağırlıkları tartılmıştır. Örneklerin ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra TS EN 772-4 Eşitlik 4.7 'ye göre görünür yoğunluk değerleri belirlenmiştir (Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21).

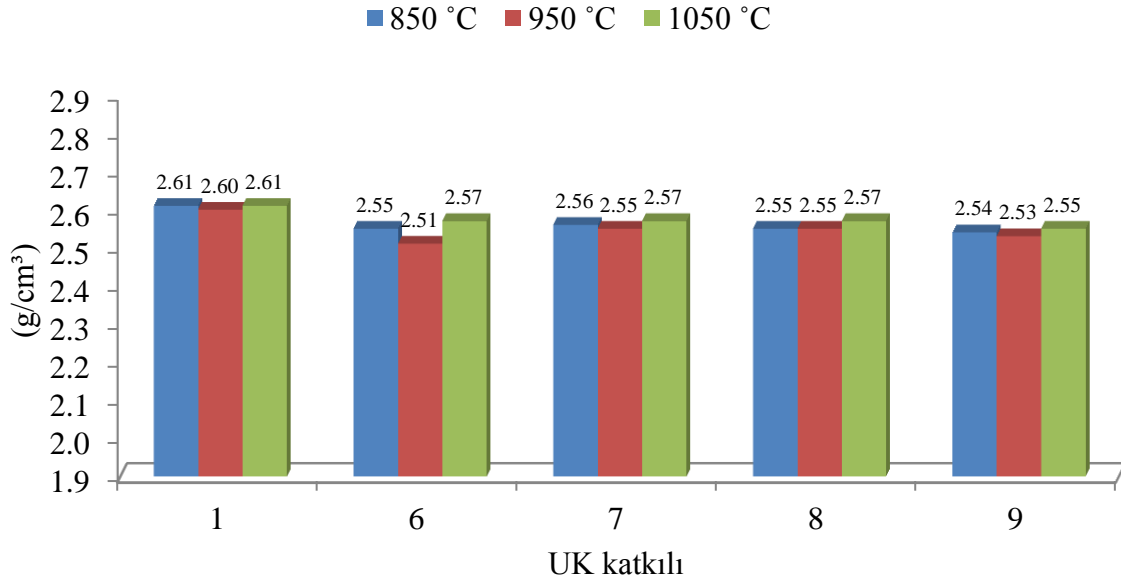
Elde edilen sonuçlara göre referans örneğin (1 nolu örnek) görünür yoğunluk değerleri 2.60-2.61 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. YFC katkıli tuğla örneklerin görünür yoğunluğu 2.54-2.75 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmekte olup YFC katkısının ağırlıkça % 40 oranında olduğu 5 nolu örnekte 2.75 g/cm<sup>3</sup> olarak en yüksek görünür yoğunluk değeri elde edilmiştir. UK katkıli örneklerde görünür yoğunluk değerleri 2.51-2.57 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmekte olup referans örneğe göre görünür yoğunluk değerleri azalmıştır. Örneklerde görünür yoğunluk değeri genel olarak, YFC katkısının ağırlıkça oranının artması ile artmış, UK katkısının ağırlıkça oranının artması ile azalmıştır.

YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldıkları örneklerde görünür yoğunluk değeri katkıların ağırlıkça oranlarına göre değişkenlik göstermiş olup 2.57-2.74 g/cm<sup>3</sup> arasında değerler elde edilmiştir. UK ve YFC katkılarının birlikte kullanıldıkları 11 ve 12 nolu örneklerde UK oranı

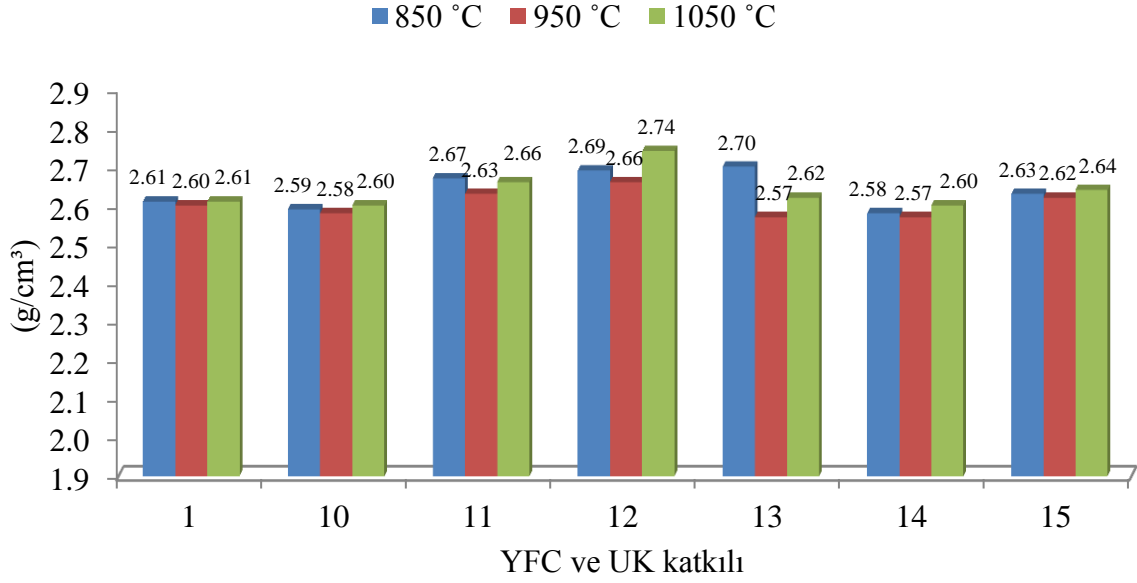
sabit olup YFC katkı oranının artması ile görünür yoğunluğun arttığı, 13 ve 14 nolu örneklerde ise YFC katkı oranının sabit tutulup UK katkı oranının artmasıyla görünür yoğunluğun azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.19 YFC katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).



Şekil 5.20 UK katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).



**Şekil 5.21** YFC ve UK katkıli tuğla örneklerinin görünür yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

### 5.2.7 Basınç Mukavemeti

Basınç mukavemeti tuğlanın en önemli özelliğidir. Tuğlanın porozitesi, pişirilme ısısı, üretim biçimi, delikli tuğla ise deliklerin miktarı, yeri, kenarlarının biçimi, yükleme yönü, vb. basınç mukavemeti üzerinde etkili olan faktörlerdir. Tuğlanın yapıldığı toprağın cinsinin de tuğla basınç mukavemeti üzerinde etkisi vardır. Basınç mukavemeti, yapı malzemelerinde mühendislik kalitesinin sağlanması için kullanılan çok önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle üretilen tuğla örneklerin basınç mukavemet değerlerinin belirlenmesi önemlidir (Mahllawy, 2008). Örneğin yaklaşık uzunluğu 190 mm, genişliği 90 mm ve yüksekliği 50 mm olan dolu harman tuğlasının TS EN 771-1 'e göre olması gereken ortalama basınç mukavemeti 3-5 MPa arasında değişmektedir (TSE EN 771-1, 2005).

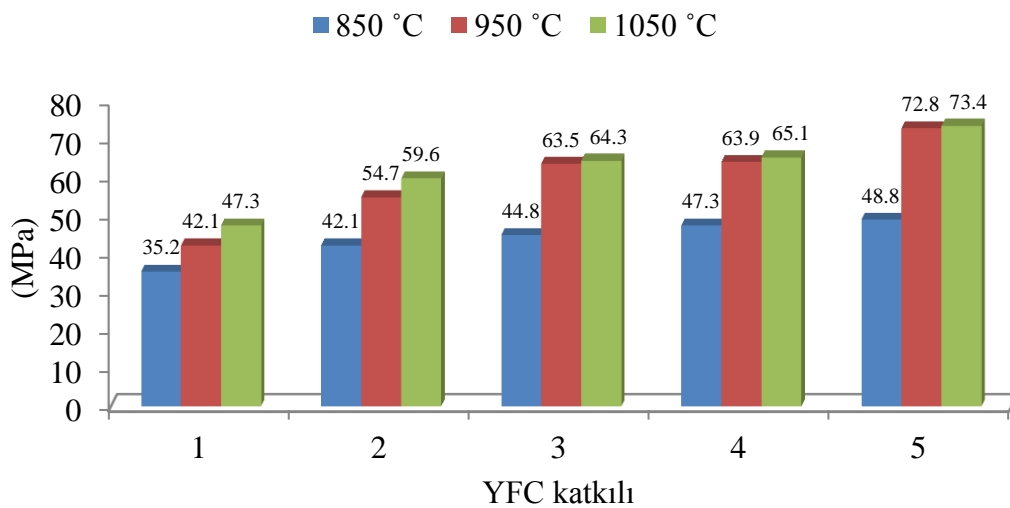
Tuğla örnekleri bilgisayar kontrollü basınç presinde kırılarak kırılma yükleri belirlenmiştir. Belirlenen kırılma yükleri yüzey alanına bölünerek örneklerin basınç mukavemetleri TS EN 772-1' e göre belirlenmiştir. Her bir örnek gruptan üçer adet tuğla üzerinde deney yapıp ortalaması alınmıştır (Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24).

Elde edilen sonuçlara göre, referans örneğin basınç mukavemeti değerleri 35.2-47.3 MPa arasında değişmektedir. YFC katkıli tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri 42.1-73.4

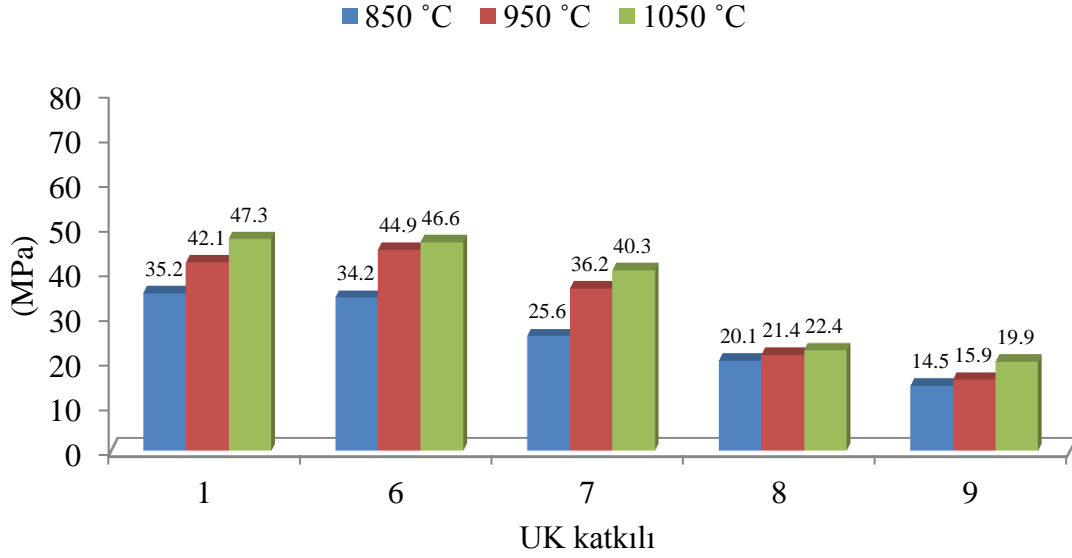
MPa arasında değişmekte olup referans örneklere göre artış göstermiştir. YFC katkısının ağırlıkça oranının artması ile basınç mukavemet değerinin arttığı belirlenmiştir. YFC katkı oranının artması ile basınç mukavemeti değerinin artması, faz oluşumları ve camsı faz içeriğinin katkısı ile açıklanabilir. UK katkılı tuğla örneklerin basınç mukavemeti değerleri 14.5-46.6 MPa arasında olup UK katkısının ağırlıkça oranı artması ile basınç mukavemetinin azaldığı belirlenmiştir. UK katkı oranının artışı ile basınç mukavemeti değerlerinde azalma olması ise gözenek oranının artması ile açıklanabilir.

YFC ve UK katkılılarının birlikte kullanıldığı örneklerde UK katkı oranı basınç mukavemetini azaltıcı, YFC katkı oranı ise artırıcı yönde etkili olduğunu, katkıların birlikte kullanıldıkları tuğla örneklerde görülmektedir. Bu katkıların basınç mukavemetine olan etkisini; YFC katkı oranının sabit tutulup UK katkı oranının artırıldığı 11, 12 nolu örnekler ve UK katkısı oranının sabit tutulup YFC katkısı oranının artırıldığı 13, 14 nolu örneklerin basınç mukavemeti değerlerindeki değişimlerden anlaşılmaktadır.

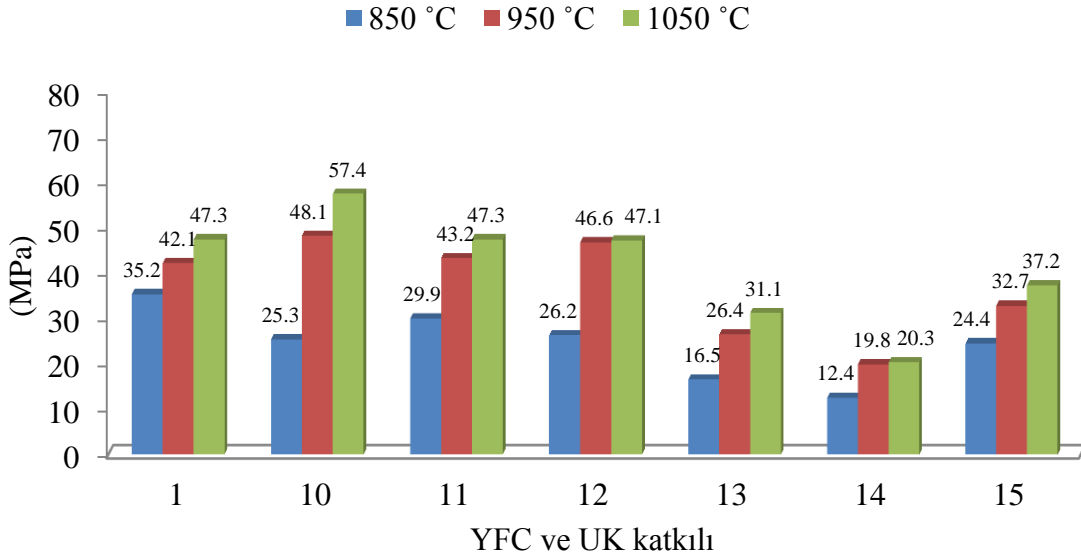
Tuğla örneklerinde, pişirme sıcaklığının artması ile basınç mukavemeti değeri artmıştır. Bu artış sıcaklığın artması ile tuğla bünyesinde daha fazla sinterlenme gerçekleşmesi ve vitrifikasyonun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen bulgulara göre basınç mukavemetinin porozite oranının artması ile azaldığı ve görünür yoğunluk ile net birim hacim ağırlık değerlerinin artması ile arttığı söylenebilir.



Şekil 5.22 YFC katkılı tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa).



Şekil 5.23 UK katkılu tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa).



Şekil 5.24 YFC ve UK katkılu tuğla örneklerinin basınç mukavemeti değerleri (MPa).

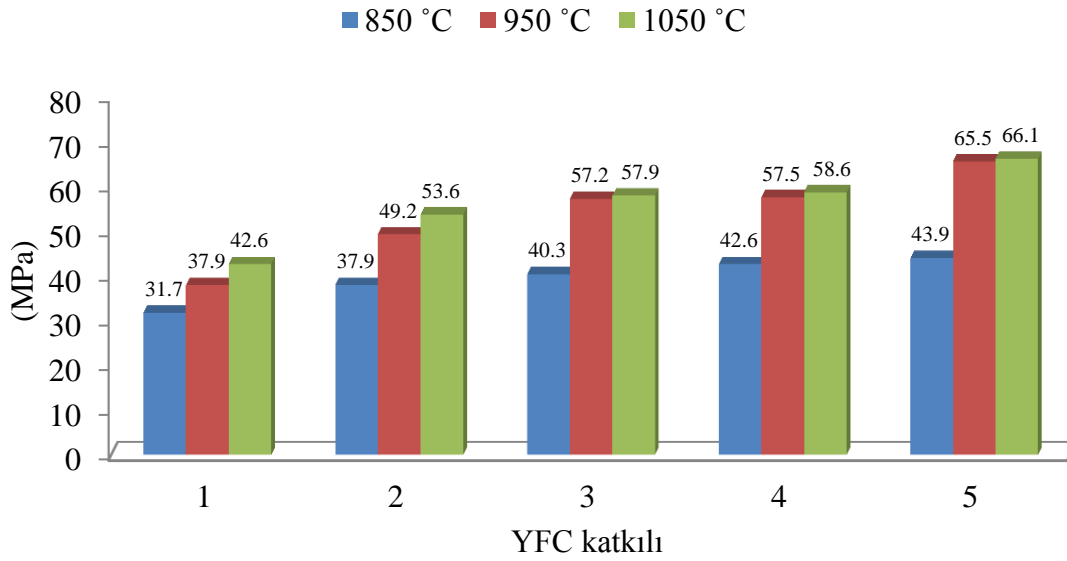
### 5.2.8 Donma-Çözülme

Üretimi yapılan örneklerinin donma-çözülme deneyi ardından örnekler basınç mukavemeti deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgulara göre örneklerin donma –çözülme deneyi sonrası basınç mukavemeti değerleri belirlenmiştir.

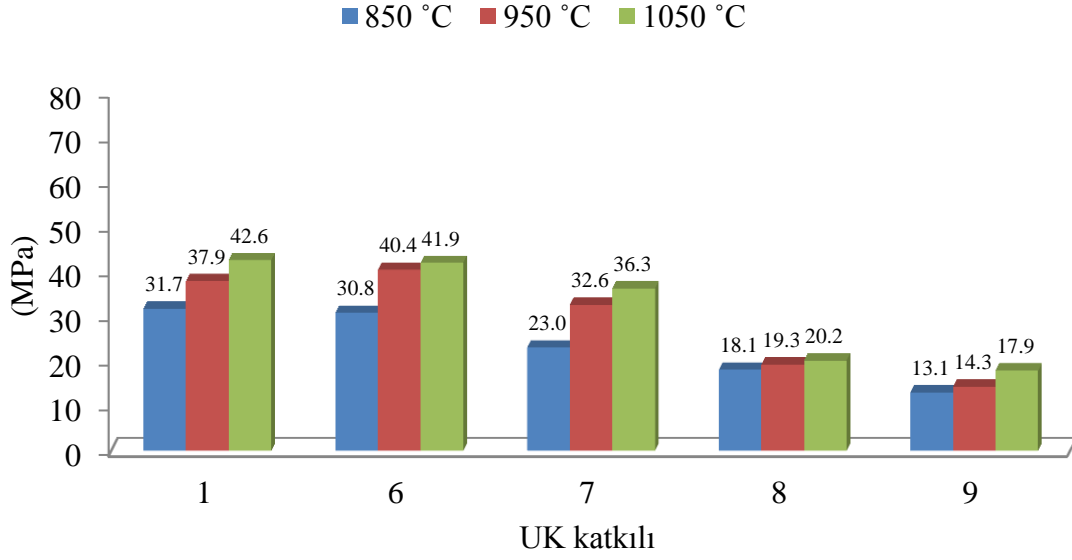
Donma –çözülme deneyi sonrasında numunelerde parçalanma olayı görülmemiştir. Donma çözülme sonrası basınç mukavemet değerleri YFC katkı oranı artışı ile doğru orantılı, UK oranı artışı ile ters orantılı olduğu görülmektedir (Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27).

Elde edilen sonuçlara göre donma çözülme sonrasında basınç mukavemeti değerleri; referans örneklerde 31.7-42.6 MPa arasında, YFC katkılı örneklerde 37.9-66.1 MPa arasında, UK katkılı örneklerde 13.1-41.9 MPa arasında olup YFC ve UK katkılarının birlikte kullanıldıkları örneklerde ise 11.2-51.6 MPa arasında değerler elde edilmiştir.

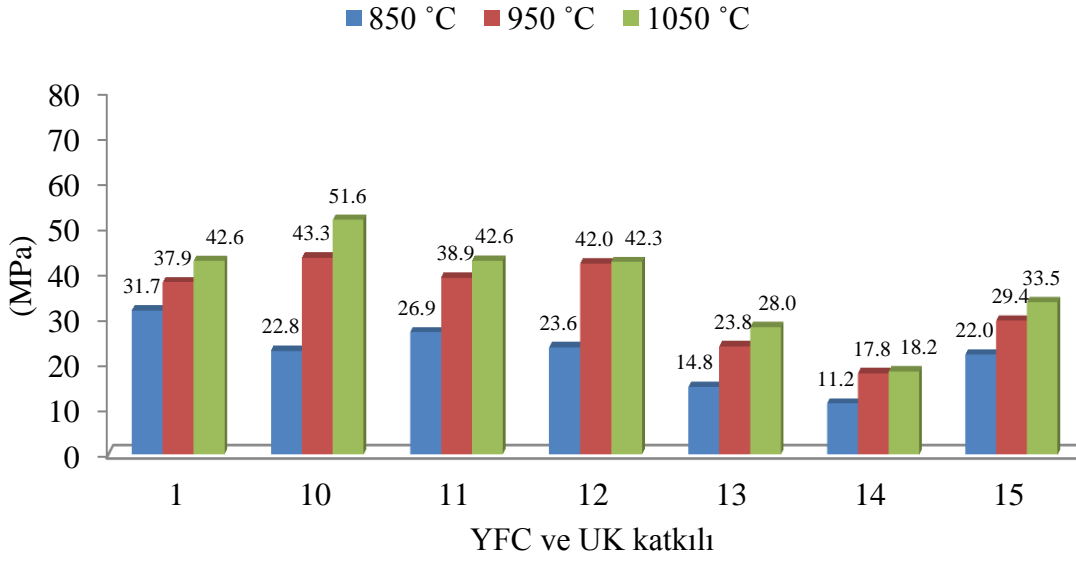
UK katkılı örneklerde bulunan gözenek miktarları, YFC katkılı tuğla örneklerine kıyasla daha fazladır. Bu sebeple donma-çözülme döngüsü içerisinde bünyede daha fazla çatlak oluşması ile basınç mukavemet değerlerinin düştüğü düşünülmektedir. Genel olarak donma-çözülme deneyi sonunda, örneklerde basınç mukavemet değerleri düşmüştür.



**Şekil 5.25** YFC katkılı tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa).



Şekil 5.26 UK katkılı tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa).



Şekil 5.27 YFC ve UK katkılı tuğla örneklerinin donma-çözülme sonrası basınç mukavemeti değerleri (MPa).

## 5.2.9 Isıl İletkenlik Katsayısı

Üretilen tuğla örneklerinden elde edilen ısı iletkenlik değerlerinin benzer yapı malzemeleriyle karşılaştırmalarını yapmak amacıyla TS 825'te bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayı değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

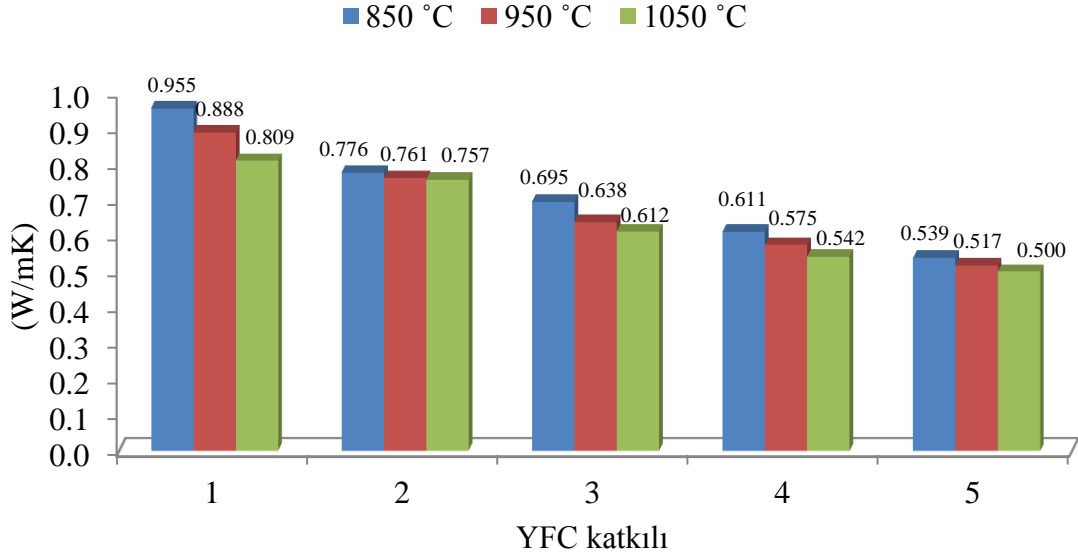
**Çizelge 5.1** Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri (TS 825, 1998)

| Malzeme veya bileşenin çeşidi | Hacim küt. (kg/m <sup>3</sup> ) | Isı İlet. ( $\lambda$ ); (W/mK) |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Pomza blok                    | 500-800                         | 0.20-0.39                       |
| Gaz beton bloklar             | 400-800                         | 0.20-0.29                       |
| TS 704, 705 tuğlalar          | 1200-2000                       | 0.50-0.96                       |
| Yatay delikli tuğlalar        | $\leq 1000$                     | 0.45                            |
| Normal beton (donatılı)       | 2400                            | 2.10                            |
| Donatısız beton               | 2200                            | 1.74                            |

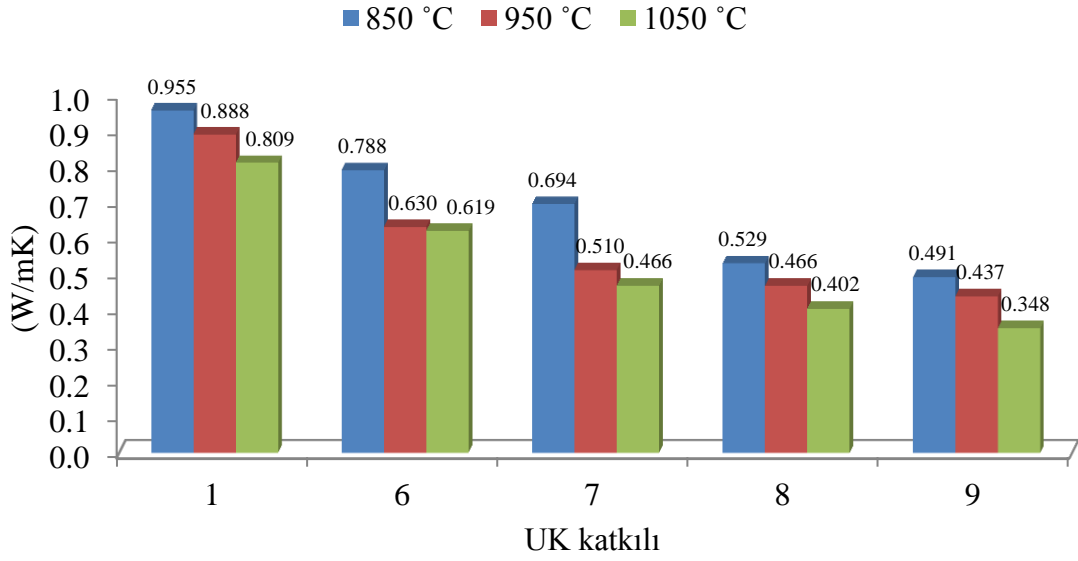
Çalışmada üretilen tüm örneklerin ısı iletkenlik katsayıları, ilgili standartta verilen limitlere uygun olduğu belirlenmiştir. Örneklerin ısı iletkenlik katsayıları incelendiğinde sıcaklık artışı ve katkı oranının artmasıyla değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Referans örnekte pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte ısı iletkenlik katsayısının azaldığı ve 0.955-0.809 W/mK arasında olduğu belirlenmiştir. YFC katkılı örneklerde ısı iletkenlik değerlerinin (0.500-0.776 W/mK), UK katkı oranlı karışımlara göre (0.348-0.788 W/mK) daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı değeri 850 °C'de pişirilen referans örnekte 0.955 W/mK olarak elde edilirken, en düşük değer 1050 °C'de pişirilen YFC katkı oranının % 10, UK katkı oranının % 30 olduğu 14 nolu örnekte (0.329 W/mK) elde edilmiştir (Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30).

Isıl iletkenlik katsayısının, porozite oranının artması ile azaldığı ve görünür yoğunluk değerinin azalması ile azaldığı belirlenmiştir. Bunun sebebi, uçucu külün yüksek fırın cürufuna göre daha çok boşluklu, hafif ve yoğunluğu az olmasındandır. Tuğla örneklerinde ısı iletkenlik katsayısının düşmesi yani ısı yalıtım özelliğini artırmak için hafif ve boşluk malzemelerin seçilmesinin uygun olacağı görülmüştür.

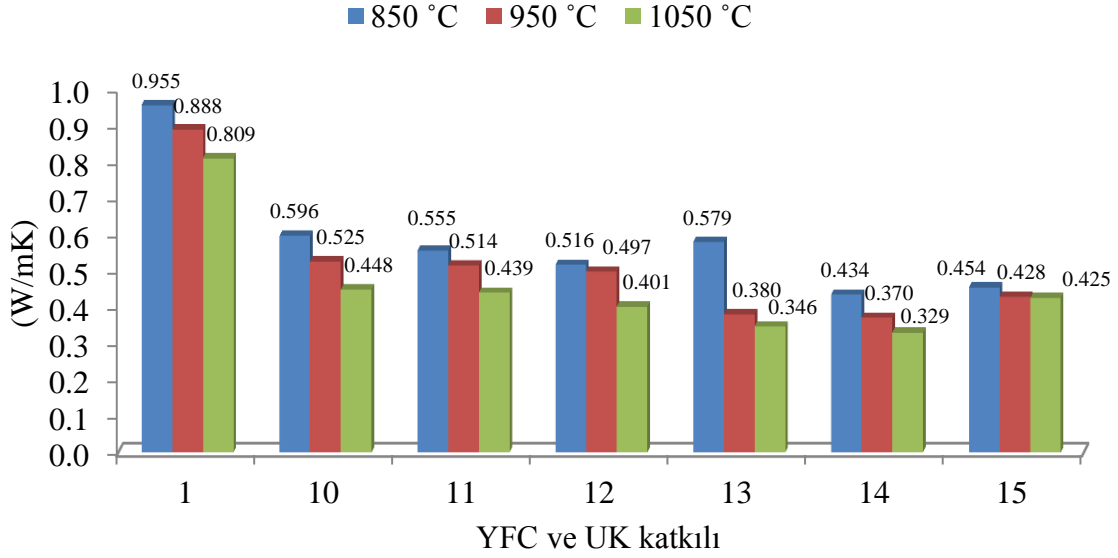




Şekil 5.28 YFC katkılı tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK).



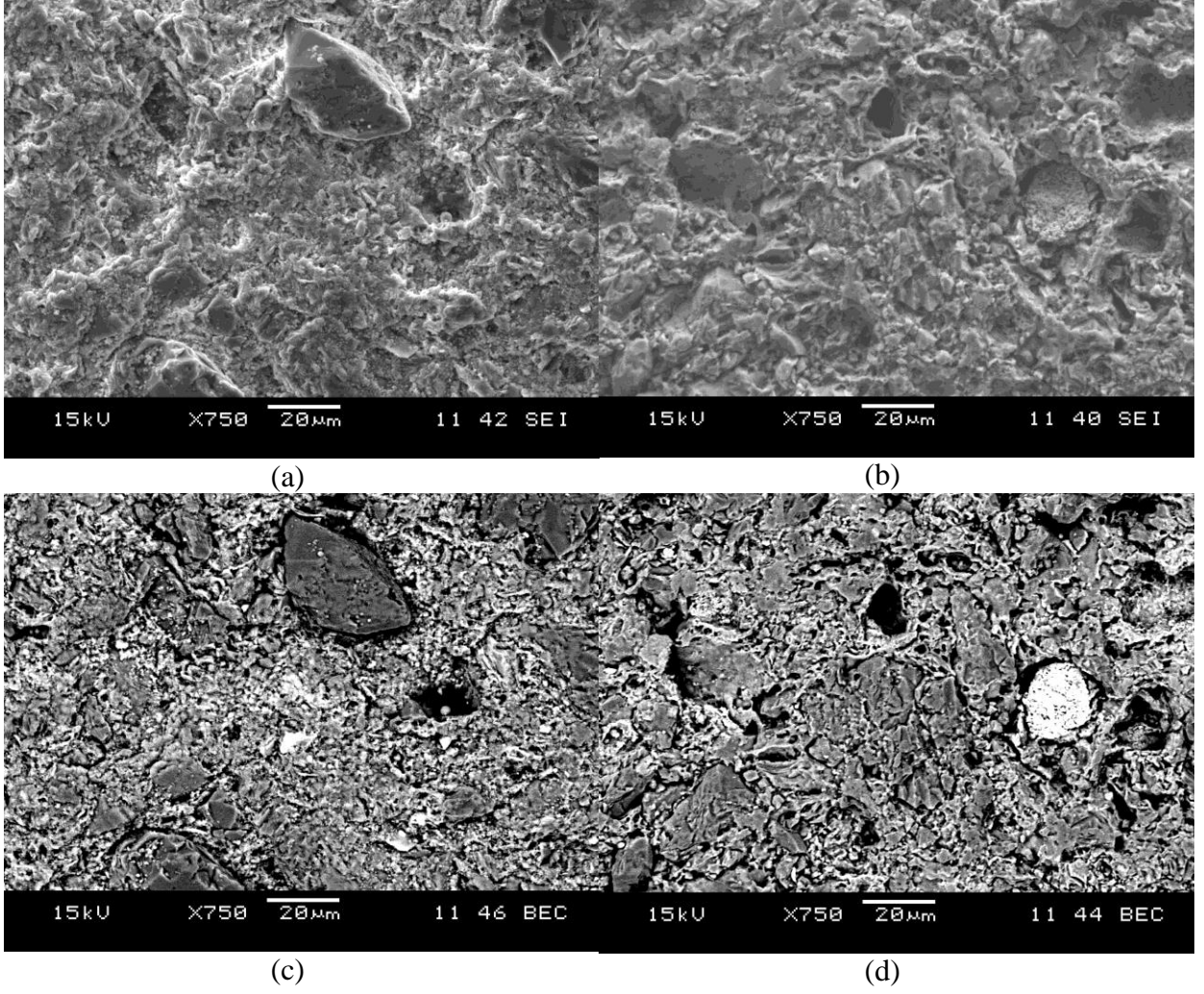
Şekil 5.29 UK katkılı tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK).



Şekil 5.30 YFC ve UK katkılu tuğla örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerleri (W/mK).

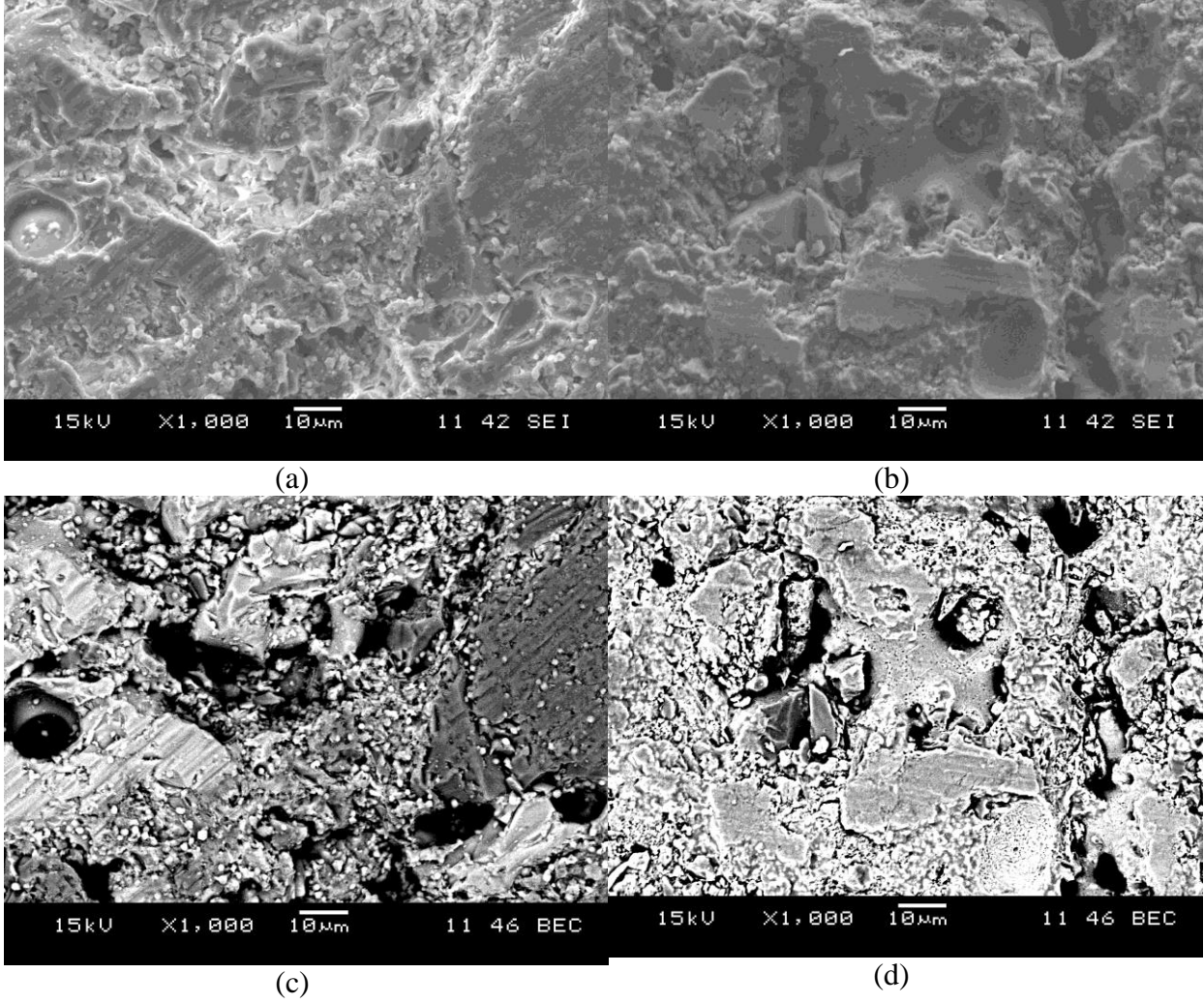
### 5.2.10 Pişmiş Tuğla Örneklerinin Mikroyapısal Analizi (SEM)

Seçilmiş örnekler üzerinde yapılan elektron mikroskop taramasının görüntüleri Şekil 5.31-5.34 arasında verilmiştir. Şekil 5.31’de 850 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda pişmiş katkısız tuğla örneklerinin SEM ile iki farklı modda çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Aynı bölgenin iki farklı modda görüntülenmesi, SE mod için yüzey morfolojisi hakkında bilgi verirken BSE modda çekilmiş görüntüsü bölgesel faz farklılıklarını göstermektedir. Buna göre, bünyede sıcaklık artışıyla yoğunlaşmanın arttığı görülmektedir. Şekil 5.31 a)’ da bünye içindeki yaklaşık 30 µm boyutlu kuvars partikülü görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.31 d) ’de bünye içinde görünen parlak bölgeler demir oksitçe zengin bölgelerdir. Bu bölgeler SEM-EDS analizi ile tespit edilmiştir. Söz konusu görüntüler yapılan yorumları desteklemektedir.



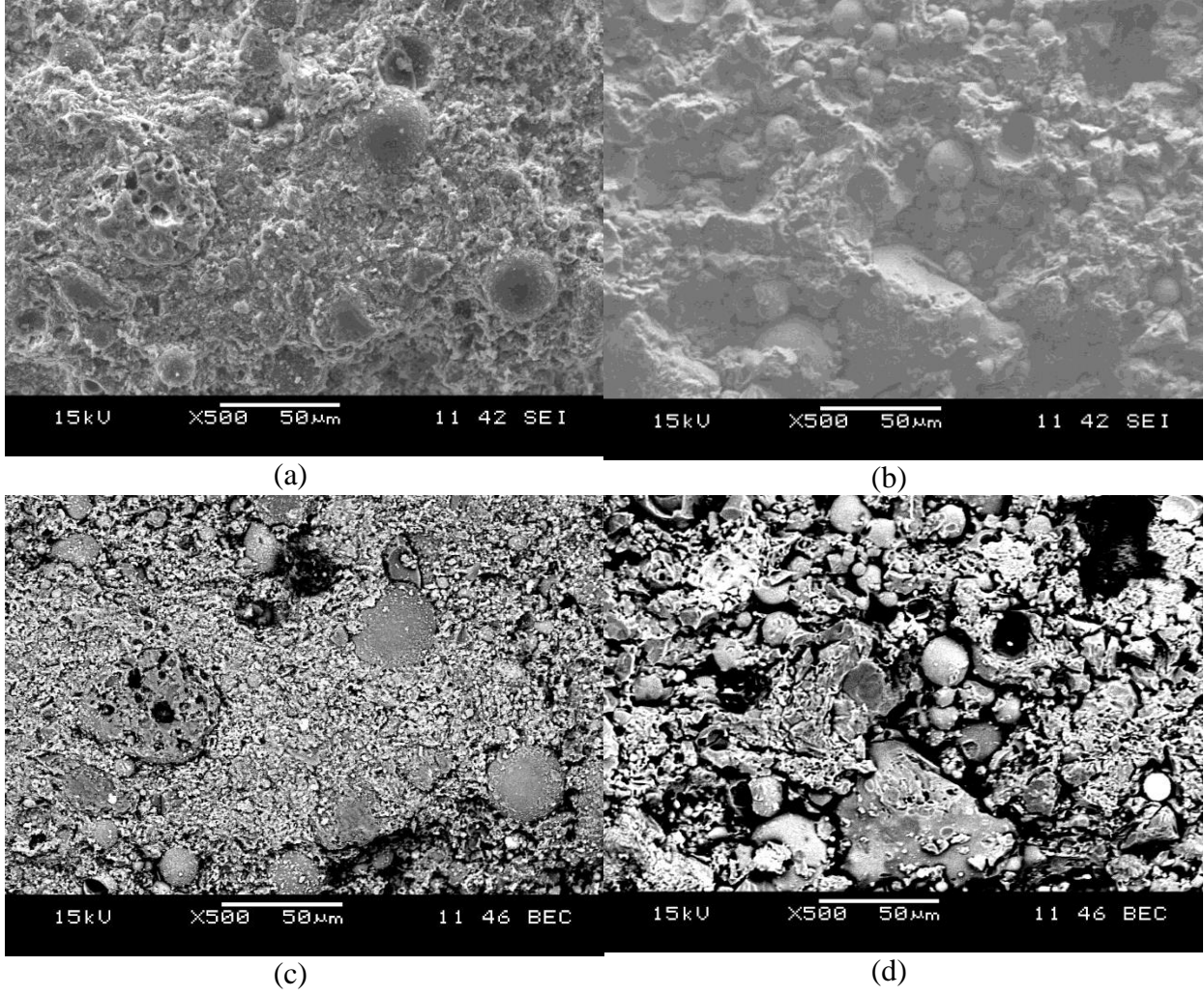
**Şekil 5.31** Pişmiş, katkısız tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod.

Şekil 5.32’ de 850 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda pişmiş ağırlıkça % 40 YFC katkıli tuğla örneklerinin SEM ile çekilmiş görüntüleri verilmektedir. YFC katkısının sıcaklık artışıyla içeriğinden dolayı kısmi ergimeye (vitrifikasyon) neden olduğu ve böylelikle bünye yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Ayrıca kısmi ergimeden dolayı gözeneklerin etrafı yuvarlaklaşmış ve kapalı mikro-gözeneklerin oluşumuna neden olduğu görülmektedir.



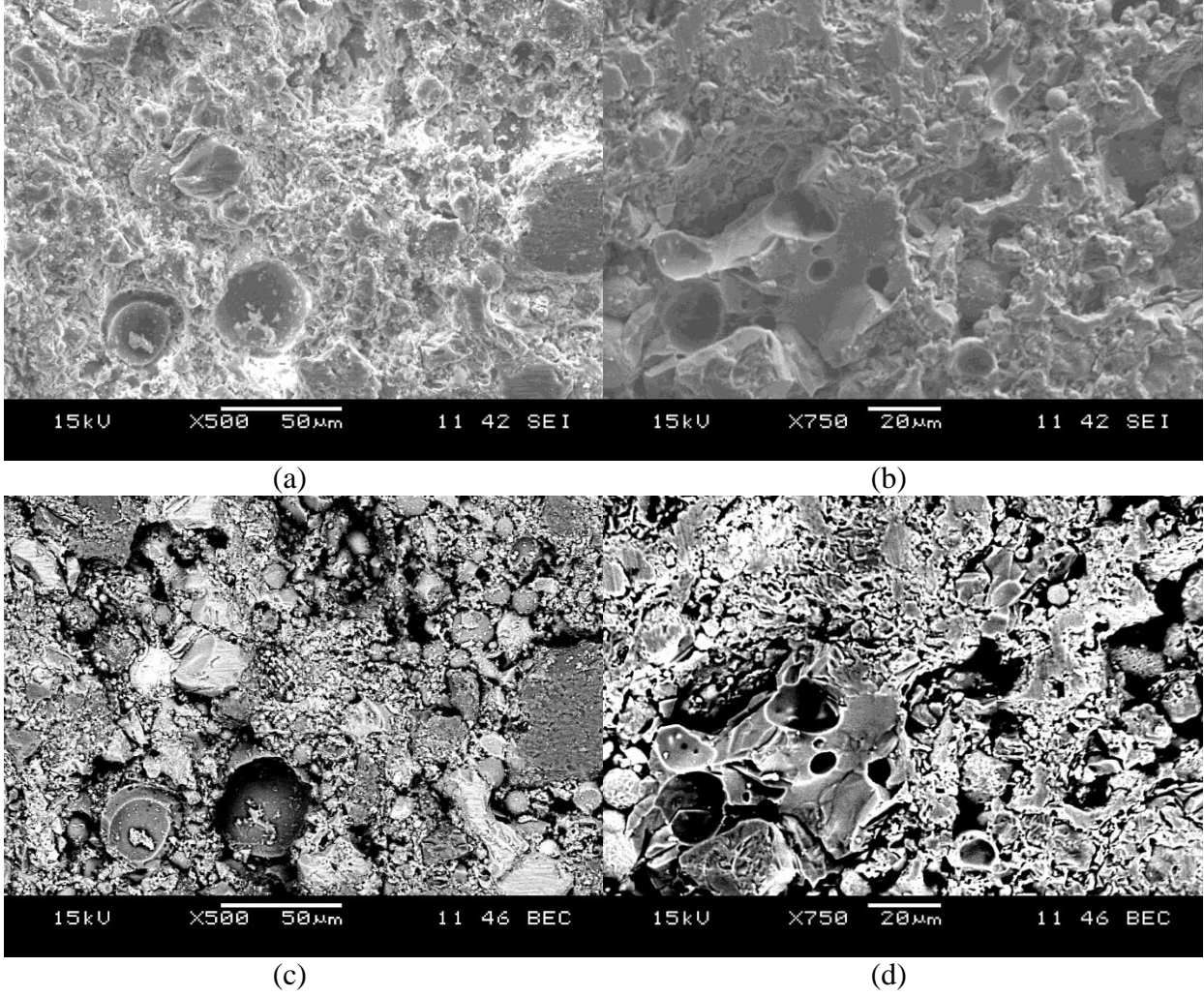
**Şekil 5.32** Pişmiş, ağırlıkça % 40 YFC katlı tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod.

Şekil 5.33’ te 850 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda pişmiş % 40 UK katlı tuğla örneklerinin SEM ile çekilmiş görüntüleri verilmektedir. UK morfolojisinin içi boş kürecikler (<40 mikron) şeklinde olduğu ve tuğla bünyesi içinde homojen olarak dağıldığı görülmektedir. UK katkısının sıcaklık artışıyla kısmi ergimeyle yoğunlaşmaya neden olduğu görülmektedir. Sıcaklık artışına rağmen UK kürecikleri şeklini korumuş deforme olmamıştır. Bu içi boş mikro küreler, tuğlanın ısı iletkenlik katsayısının düşürülmesinde büyük rol oynamaktadır.



**Şekil 5.33** Pişmiş, ağırlıkça % 40 UK katkılı tuğla örneğinin SEM görüntüleri a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod.

Şekil 5.34’ de 850 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda pişmiş ağırlıkça % 20 YFC ve % 20 UK katkılı tuğla örneklerinin SEM ile çekilmiş görüntüleri verilmektedir. Şekilde YFC ve UK katkısının tuğla bünyesindeki etkisi görülmektedir. YFC bölgeleri vitrifikasyonla ergiyik camsı bölgeler olarak görülmektedir. Ucucu küllerin oluşturduğu boşluklar da bünye içinde ayrıca görülmektedir.



**Şekil 5.34** Pişmiş, ağırlıkça % 20 YFC ve % 20 UK katkılı tuğla örneğinin SEM görüntüleri

a) 850 °C SE-mod, b) 1050 °C SE-mod, c) 850 °C BSE-mod, d) 1050 °C BSE-mod

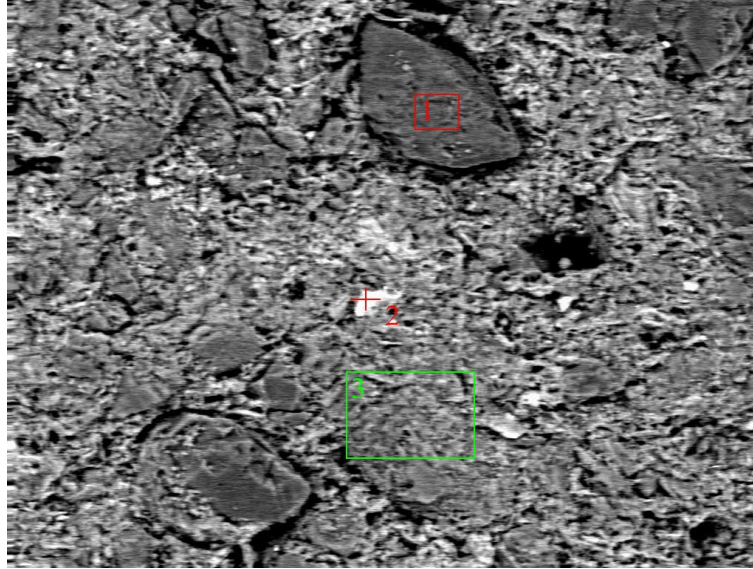
Örneklerin mikroyapısal görüntülerine göre (SEM) genel değerlendirme yapılacak olursa, 1050 °C’ de sinterleşmiş bir yapı gerçekleştiği ve sıkı bir yapı olduğu görülmektedir. Katkılı tuğla örneklerinde basınç mukavemeti değeri referans örneğe göre, UK katkılı örneklerde azalmakta ve YFC katkılı örneklerde ise artmaktadır. Genel olarak tuğla örneklerinde sıcaklık artışı ile basınç mukavemeti değerleri artmaktadır.

Tuğla maliyetleri açısından değerlendirme yapılacak olursa, yüksek pişirme sıcaklığı tuğla maliyetini artırmaktadır. SEM görüntülerine göre 850 °C’ de sinterleşmenin tam olarak gerçekleşmediği, 1050 °C’ de sinterleşmenin gerçekleştiği sıkı bir yapı görülmektedir. Elde edilen deney sonuçlarına göre ise 950 °C’ de basınç mukavemeti ve ısıl iletkenlik açısından uygun değerler elde edilmiştir. Pişirme sıcaklığının maliyete etkisi göz önüne alındığında en

uygun pişirme sıcaklığı 950 °C olduğu düşünülmektedir. Katkı türü dikkate alındığında atık bu ürünlerin ekonomik değeri olmadığından maliyetleri artırmayacaktır.

### 5.2.11 Pişmiş Tuğla Örneklerinin Elementel SEM-EDS Analizleri

Farklı sıcaklıklarda pişmiş tuğla örneklerinin SEM cihazında yapılan EDS analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Buna göre, Şekil 5.35’ de gösterilen bölgelerin elementel içeriği tabloda verilmiştir. 1 nolu bölgenin kuvars (SiO<sub>2</sub>) partikülleri olduğu, 2 nolu beyaz parlak bölgenin demirce zengin içeriğe sahip olduğu ve 3 nolu bölgenin de tuğla bünyesinin genelini oluşturan bileşenlerden oluşan matris olduğu görülmektedir.

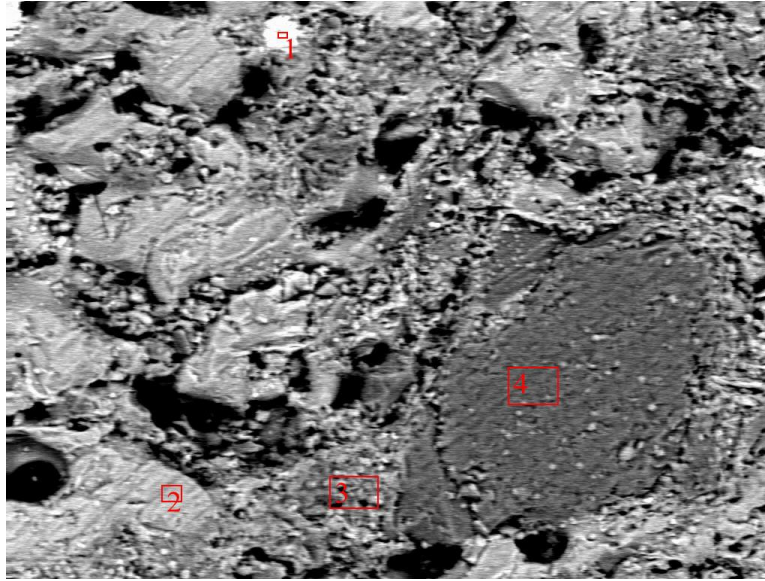


| 1 nolu bölge |            |         |      | 2 nolu bölge |            |         |      | 3 nolu bölge |            |         |      |
|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|
| Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% | Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% | Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% |
| O            | 19.850     | 12.252  | wt.% | O            | 14.896     | 5.865   | wt.% | O            | 14.992     | 8.642   | wt.% |
| Si           | 78.184     | 84.709  | wt.% | Mg           | 6.246      | 3.736   | wt.% | Na           | 2.604      | 2.157   | wt.% |
| Ca           | 1.965      | 3.039   | wt.% | Al           | 10.137     | 6.731   | wt.% | Mg           | 1.063      | 0.931   | wt.% |
|              | 100.000    | 100.000 | wt.% | Si           | 12.554     | 8.677   | wt.% | Al           | 17.539     | 17.049  | wt.% |
|              |            |         |      | Ca           | 2.118      | 2.089   | wt.% | Si           | 50.089     | 50.682  | wt.% |
|              |            |         |      | Ti           | 7.028      | 8.279   | wt.% | K            | 5.119      | 7.211   | wt.% |
|              |            |         |      | Fe           | 47.022     | 64.623  | wt.% | Ca           | 6.975      | 10.071  | wt.% |
|              |            |         |      |              | 100.000    | 100.000 | wt.% | Fe           | 1.619      | 3.257   | wt.% |
|              |            |         |      |              |            |         |      |              | 100.000    | 100.000 | wt.% |

Şekil 5.35 850°C de pişmiş katkısız tuğla örneğinin (1 nolu örnek) EDS analizi.

Şekil 5.36’ da gösterilen bölgelerin elementel içeriği tabloda verilmiştir. 1 nolu beyaz parlak bölgenin demirce zengin içeriğe sahip olduğu, 2 nolu bölgenin kalsiyum silikat yapıda olduğu ve bu yapının yüksek fırın cürufu katkısıyla oluştuğu, 3 nolu bölgenin ise tuğla bünyesiyle

cürufun bileşenlerinin reaksiyonuyla oluşan matris fazı olduğu ve 4 nolu bölgenin de kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) partikülü olduğu görülmektedir.

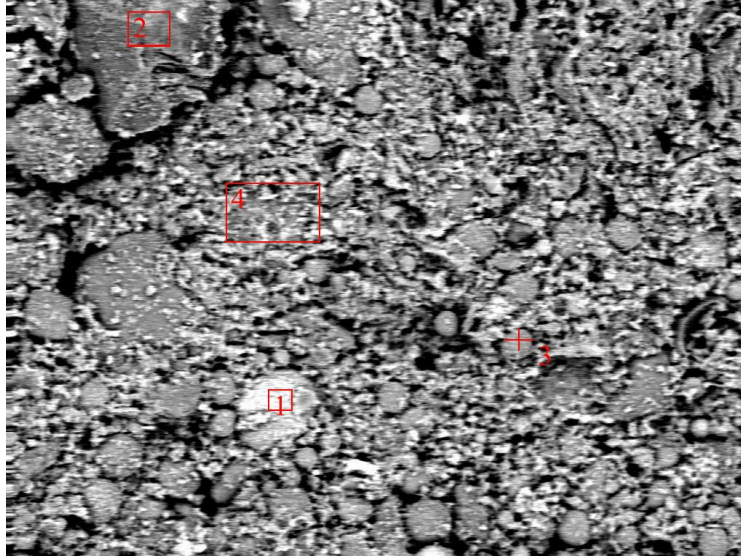


| 1 nolu bölge |            |         |      | 2 nolu bölge |            |         |      | 3 nolu bölge |            |         |      | 4 nolu bölge |            |         |      |
|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|
| Component    | Mole Conc. | Conc.   |      | Component    | Mole Conc. | Conc.   |      | Component    | Mole Conc. | Conc.   |      | Component    | Mole Conc. | Conc.   |      |
| O            | 15.662     | 6.361   | wt.% | O            | 16.868     | 9.364   | wt.% | O            | 16.287     | 9.264   | wt.% | O            | 17.774     | 10.899  | wt.% |
| Mg           | 2.749      | 1.696   | wt.% | Mg           | 6.226      | 5.251   | wt.% | Si           | 56.060     | 55.973  | wt.% | Si           | 80.943     | 87.130  | wt.% |
| Al           | 11.810     | 8.089   | wt.% | Al           | 9.701      | 9.083   | wt.% | Na           | 0.736      | 0.601   | wt.% | Ca           | 1.283      | 1.971   | wt.% |
| Si           | 16.309     | 11.627  | wt.% | Si           | 41.167     | 40.119  | wt.% | Mg           | 1.042      | 0.900   | wt.% |              | 100.000    | 100.000 | wt.% |
| K            | 1.969      | 1.954   | wt.% | Ca           | 25.261     | 35.130  | wt.% | Al           | 10.643     | 10.208  | wt.% |              |            |         |      |
| Ca           | 6.826      | 6.944   | wt.% | K            | 0.776      | 1.053   | wt.% | K            | 3.387      | 4.707   | wt.% |              |            |         |      |
| Fe           | 44.674     | 63.329  | wt.% |              | 100.000    | 100.000 | wt.% | Ca           | 9.225      | 13.143  | wt.% |              |            |         |      |
|              | 100.000    | 100.000 | wt.% |              |            |         |      | Fe           | 2.621      | 5.204   | wt.% |              |            |         |      |
|              |            |         |      |              |            |         |      |              | 100.000    | 100.000 | wt.% |              |            |         |      |

Şekil 5.36 850°C de pişmiş YFC katkılı tuğla örneğinin (5 nolu örnek) EDS analizi.

Şekil 5.37' de gösterilen bölgelerin elementel içeriği tabloda verilmiştir. 1 nolu beyaz parlak bölgenin demirce zengin içeriğe sahip olduğu, 2 nolu bölgenin kuvars partikülü olduğu, 3 nolu bölgenin ise tuğla bünyesine katılan uçucu kül partikülü üzerinden alınan EDS analizi olduğu ve 4 nolu bölgenin de kil ve kül karışımlarının yüksek sıcaklık reaksiyonuyla oluşan matris fazının elementel analizi olduğu görülmektedir.

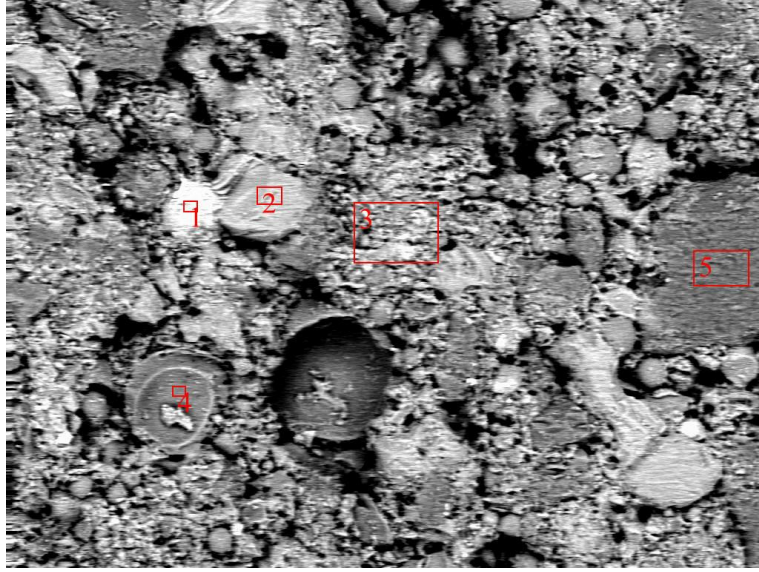




| 1 nolu bölge |            |              | 2 nolu bölge |            |              | 3 nolu bölge |            |              | 4 nolu bölge |            |              |
|--------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|--------------|
| Component    | Mole Conc. | Conc. wt.%   | Component    | Mole Conc. | Conc. wt.%   | Component    | Mole Conc. | Conc. wt.%   | Component    | Mole Conc. | Conc. wt.%   |
| O            | 14.863     | 7.607 wt.%   | O            | 15.700     | 9.402 wt.%   | O            | 20.034     | 11.870 wt.%  | O            | 14.453     | 7.935 wt.%   |
| Al           | 17.887     | 15.438 wt.%  | Si           | 78.526     | 82.548 wt.%  | Si           | 54.409     | 56.591 wt.%  | Si           | 47.697     | 45.969 wt.%  |
| Si           | 37.483     | 33.677 wt.%  | Al           | 1.248      | 1.260 wt.%   | Al           | 12.693     | 12.683 wt.%  | Mg           | 0.937      | 0.781 wt.%   |
| Mn           | 1.877      | 3.299 wt.%   | Ca           | 4.526      | 6.790 wt.%   | Na           | 1.369      | 1.166 wt.%   | K            | 5.406      | 7.253 wt.%   |
| Fe           | 14.459     | 25.831 wt.%  |              | 100.000    | 100.000 wt.% | Mg           | 1.379      | 1.242 wt.%   | Ca           | 12.244     | 16.840 wt.%  |
| Mg           | 6.020      | 4.680 wt.%   |              |            |              | K            | 2.480      | 3.591 wt.%   | Fe           | 3.554      | 6.812 wt.%   |
| K            | 1.084      | 1.356 wt.%   |              |            |              | Ca           | 5.025      | 7.459 wt.%   | Al           | 14.720     | 13.630 wt.%  |
| Ca           | 6.327      | 8.112 wt.%   |              |            |              | Fe           | 2.610      | 5.399 wt.%   | Na           | 0.989      | 0.780 wt.%   |
|              | 100.000    | 100.000 wt.% |              |            |              |              | 100.000    | 100.000 wt.% |              | 100.000    | 100.000 wt.% |

Şekil 5.37 850°C de pişmiş UK katkılı tuğla örneğinin (9 nolu örnek) EDS analizi.

Şekil 5.38' de gösterilen bölgelerin elementel içeriği tabloda verilmiştir. 1 nolu beyaz parlak bölgenin demirce zengin içeriğe sahip olduğu, 2 nolu bölgenin kalsiyumca zengin silikat yapıda olduğu, 3 nolu bölgenin de kalsiyum alümina silikat yapıda olduğu, 4 nolu bölgenin tuğla bünyesine katılan uçucu kül partikülü üzerinden alınan EDS analizi olduğu ve 5 nolu bölgenin de silika parçacığının elementel analizi olduğu görülmektedir.



| 1 nolu bölge |            |         |      | 2 nolu bölge |            |         |      | 3 nolu bölge |            |         |      |
|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|--------------|------------|---------|------|
| Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% | Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% | Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% |
| O            | 14.640     | 6.901   | wt.% | O            | 15.689     | 8.664   | wt.% | Al           | 15.503     | 14.335  | wt.% |
| Na           | 0.621      | 0.421   | wt.% | Mg           | 6.607      | 5.542   | wt.% | Si           | 42.645     | 41.044  | wt.% |
| Mg           | 4.834      | 3.461   | wt.% | Al           | 10.243     | 9.529   | wt.% | O            | 17.525     | 9.609   | wt.% |
| Al           | 8.588      | 6.826   | wt.% | Si           | 41.153     | 39.893  | wt.% | K            | 3.630      | 4.864   | wt.% |
| Si           | 36.718     | 30.380  | wt.% | K            | 0.880      | 1.188   | wt.% | Ca           | 13.775     | 18.919  | wt.% |
| K            | 0.751      | 0.866   | wt.% | Ca           | 25.427     | 35.174  | wt.% | Fe           | 5.056      | 9.676   | wt.% |
| Ca           | 9.727      | 11.485  | wt.% |              | 100.000    | 100.000 | wt.% | Mg           | 1.865      | 1.553   | wt.% |
| Mn           | 0.866      | 1.401   | wt.% |              |            |         |      |              | 100.000    | 100.000 | wt.% |
| Fe           | 23.255     | 38.260  | wt.% |              |            |         |      |              |            |         |      |
|              | 100.000    | 100.000 | wt.% |              |            |         |      |              |            |         |      |
| 4 nolu bölge |            |         |      | 5 nolu bölge |            |         |      |              |            |         |      |
| Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% | Component    | Mole Conc. | Conc.   | wt.% |              |            |         |      |
| O            | 3.336      | 1.550   | wt.% | O            | 18.692     | 11.492  | wt.% |              |            |         |      |
| K            | 12.164     | 13.811  | wt.% | Si           | 79.657     | 85.967  | wt.% |              |            |         |      |
| Fe           | 17.459     | 28.313  | wt.% | Ca           | 1.650      | 2.541   | wt.% |              |            |         |      |
| Al           | 18.420     | 14.432  | wt.% |              | 100.000    | 100.000 | wt.% |              |            |         |      |
| Si           | 42.186     | 34.405  | wt.% |              |            |         |      |              |            |         |      |
| Ca           | 6.435      | 7.490   | wt.% |              |            |         |      |              |            |         |      |
|              | 100.000    | 100.000 | wt.% |              |            |         |      |              |            |         |      |

Şekil 5.38 850°C de pişmiş YFC ve UK katkılı tuğla örneği (15 nolu örnek) EDS analizi.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 6.1 SONUÇLAR

YFC ve UK katkılarının tuğla kiline, ağırlık olarak belirli oranlarda yer değiştirmeleriyle üretilen örneklerden elde edilen bulgulara göre;

- Pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte doğrusal küçülme ve kızdırma kaybı oranları artış göstermiştir. Genel olarak YFC ve UK katkıları kızdırma kaybı oranı değerlerini azaltmış, doğrusal küçülme oranı değerlerini artırmıştır. Tüm örnek karışımlarda 950 °C pişirme sıcaklığında genellikle en yüksek doğrusal küçülme ve kızdırma kaybı oranı değerleri elde edilmiştir.
- YFC ve UK katkıları görünen porozite değerlerini azaltıcı etki etmiştir. YFC ve UK katkı oranlarının artışı ile porozite oranı artmıştır. UK katkılı örneklerdeki artış YFC katkılı örneklerle göre daha fazla olmuştur.
- Su emme değeri düşük sıcaklıkta yüksek değerde olup katkı oranının artmasıyla artış göstermiştir. Su emme değerlerinin düşük olması bünyede kapalı gözeneklerin olduğunu göstermektedir.
- Tuğla örneklerinde, net birim hacim ağırlık ve görünür yoğunluk değerleri YFC katkısı ile artmış UK katkısı ile azalmıştır.
- Tuğla örneklerinde basınç mukavemeti değerleri, pişirme sıcaklığının artması ve YFC katkı oranının artması ile artış göstermiş, UK katkı oranının artışı ile azalma göstermiştir.

- 950 °C' de pişirilen ve YFC katkısının % 40 oranında olduğu tuğla örneğinde basınç mukavemeti değeri, aynı sıcaklıkta pişirilen katkısız tuğla örneğine göre yaklaşık % 20 artış göstermiştir.
- Donma-çözülme deneyi sonucunda tüm örnek karışımlarda basınç mukavemeti değerleri yaklaşık % 10 oranında azalmıştır.
- Pişirme sıcaklığının ve katkı oranlarının artması ile ısı iletkenlik katsayısının düştüğü belirlenmiştir. UK katkı oranının % 40 olduğu ve 950 °C de pişirilen tuğla örneğinde; ısı iletkenlik katsayısı (0.437 W/mK), aynı sıcaklıkta pişirilen referans örneğin ısı iletkenlik katsayısı değerine (0.809 W/mK) göre yaklaşık % 50 oranında düşüş göstermiştir.
- Tuğla örneklerinde porozite oranının azalması ile net birim hacim ağırlık değerleri artmıştır. Porozite oranının artması ile su emme oranı artmış, ısı iletkenlik katsayısı ve basınç mukavemeti azalmıştır.

## 6.2 ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmaya göre değinilmesi gereken bazı hususlar aşağıda verilmiştir. Buna göre;

- Tuğlada YFC ve UK kullanılmasıyla; atık ürünlerin geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliği önleneceği ve ülke ekonomisine destek sağlayacağı, oluşumu uzun yıllar süren toprağın kullanımı azaltılarak, çevresel bir yarar sağlanacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, potansiyel hammadde kullanımını azaltmayı amaçlayıp, geri dönüşümde kullanılacak katkıların kullanılmasına gayret edilmelidir.
- Enerjinin etkin şekilde kullanımının amaçlandığı günümüzde malzemelerin düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları istenmektedir. Tuğla gibi yapı malzemelerinde bu durum ancak bünyenin gözenekli olması ile gerçekleşebilir. UK, tuğlanın birim hacim ağırlığını azaltarak örneklerin ısı iletkenlik katsayısını düşürmüştür. Bu sebeple, enerji tasarrufu açısından UK katkılı tuğlaların önemli oranda yalıtım özelliklerine sahip oldukları ve kullanılabilir oldukları düşünülmektedir.

- Katkısız tuğlalara göre, YFC katkılı tuğlaların basınç mukavemeti daha yüksek olduğundan taşıyıcı özelliğe sahip yığma yapı tuğla üretiminde YFC katkısı kullanılabilir.
- Isı yalıtım özelliğine sahip bölme duvar tuğlası üretiminde katkı olarak UK, 950 °C pişirme sıcaklığında ve ağırlıkça % 40 oranında kullanılması önerilmektedir.
- Tuğla pişirme sıcaklığının 950 °C ve katkı olarak YFC katkısının % 40 oranında kullanılması basınç mukavemetini % 20 oranında artırdığından bu oran ve pişirme sıcaklığı, taşıyıcı özelliği sahip yığma tuğla üretiminde önerilmektedir.
- Sonuç olarak; Tuğla üretiminde katkı olarak, ısı yalıtım özelliği bakımından 950 °C pişirme sıcaklığında % 40 oranında UK katkısı, basınç mukavemeti bakımından 950 °C pişirme sıcaklığında % 40 oranında YFC katkısı kullanılabilir olduğu ve 950 °C 'de pişirme sıcaklığında, YFC ve UK katkılarının % 10 oranlarında birlikte kullanıldığı tuğlalarda, katkısız tuğlalara göre daha iyi ısı yalıtım özelliği ve basınç mukavemeti değerleri elde edildiğinden birlikte kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır.



## KAYNAKLAR

- Aydın O** (2007) Termik Santral Atığı Küllerin Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, Afyon, 81 s.
- Bentli İ, Uyanık A O, Demir U, Şahbaz O ve Çelik M S** (2005) Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı. *19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir, 385-389.
- Bili C** (2006) Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği anabilim Dalı, Adana, 222 s.
- Bormans P** (2003) *Ceramics are More than Clay Alone*. 13th edition, ISBN: 9781898326779, Cambridge International Science Publishing, Cambridge, 359.
- Cultrone G, Sebastian E, Elert K, Torre M. J, Cazalla O and Navarro R N** (2003) Influence of Mineralogy and Firing Temperature on the Porosity of Bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24: 547-564.
- Demir İ, Başpınar M S ve Orhan M** (2005) Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment*, 40: 1533-1537.
- Demir İ** (2006) An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment*, 41 (9): 1274-1278.
- Demir İ, Başpınar M S, Orhan M, Evcin A, Kumlulaş D, Görhan G, Kahraman E ve Şahin M** (2008) Uçucu Külün Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanımının Araştırılması TÜBİTAK Projesi. *TUBİTAK*: Proje no:106M002.
- Dengiz E** (2009) Değirmisaz Kömür Üstü Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 63 s.
- Dönmez S** (1995) *Yapı Bilgisi-3* (Çeviri), Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, Ankara, 149-173.
- Ekmekyapar T ve Örüng I** (1993) İnşaat Malzeme Bilgisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları* No: 145, Erzurum, 22-36.
- Erdoğan T Y** (2003) Beton. *METU Press Publishing Company*, Ankara, 741.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gençel G** (2015) Characteristics of fired clay bricks with pumice additive. *Energy and Buildings*, 102: 217-224,
- Görçiz G** (2000) Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi. *TUKDER yayınları*, Sayı: 9, Manisa, 26-32.
- Görhan G** (2011) Çeltik Kavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 136 s.
- Ilıcalı M** (1988) Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 148 s.
- Karaman M E ve Kibici Y** (2008) *Temel Jeoloji Prensipleri*. ISBN: 9789759497019, Gazi Kitabevi, 3. Baskı, 483 s.
- Kavak A ve Bilgen G** (2005) Yüksek Fırın Cürufu ve Kirecin Katkı Olarak Kil Üzerindeki Etkileri ve Yol Yapımında Kullanımının Araştırılması. *I. Geoteknik Sempozyumu*, Adana, 393-407.
- Kibar H** (2009) Cam Atık Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Aba Bilim Dalı, Afyon, 43 s.
- Kocataşkın F** (1975) *Yapı Malzemesi Bilimi, Özellikler ve Deneyler*. 4. Baskı, Arpaz Matbaası, İstanbul, 132 s.
- Liew A G, İdriz A, Wong C H K, Samad A A, Noor M J M M and Baki A M** (2004) Incorporating of sewage sludge in clay brick and its characterization. *Waste Management and Research*, 22 (4): 226-233.
- Lu G, Max Lu G Q and Xiao Z M** (1999) Mechanical Properties of Porous Materials. *Journal of Porous Materials*, 6: 359-368.
- Mahllawy M S** (2008) Characteristics of Acid Resisting Bricks Made From Quarry Residues and Waste Steel Slag. *Construction and Building Materials*, 22:1887-1896.
- Majumdar A J** (1992) Properties of Some Blended High Alumina Cements. *Cement and Concrete Research*, 22: 1101-1114.
- Malhotra V M** (1987) Properties of Fresh and Hardened Concrete Incorporating Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Canadian Government Publishing Centre*, Ottawa, 231-331.
- Menezes R R, Ferreira H S, Neves G A, Lira H and Ferreira H C** (2005) Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 25: 1149-1158.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Milheiro F A C, Freire M N, Silva A G P and Holanda J N F** (2005) Densification Behaviour of a Red Firing Brazilian Kaolinitic Clay. *Ceramics International*, 31:757-763.
- Miniotaitte R** (2005) Hygric Properties of Building Materials. *Proceedings 7th symposium on Building Physics in the Nordic Countries*.
- Neville A M** (1999) Properties of Concrete, *Longman*, 4th Edition.
- Newman J and Choo B S** (2003) Advanced Concrete Technology. *Constituent Materials, Butterworth-Heinemann*, Oxford.
- Oyetola E B and Abdullahi M** (2006) The use of rice husk ash in low-cost sandcrete block production. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 8: 58-70.
- Öneş A** (1988) *İnşaat Malzeme Bilgisi*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, 67-75.
- Örüng I, Okuroğlu M, Yaganoğlu A V ve Şahin S** (1997) Erzurum'da Üretilen Harman Tuğlasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. *Atatürk Üniv. Ziraat fak. Dergisi*, 28(4), 576-583, Erzurum.
- Öz A** (2006) Doğal Zeolit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 102 s.
- Özcelik N** (1975) İnşaat Bilgisi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 211*, İstanbul.
- Öztürk A Ç** (2001) Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Doktora Tezi*, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 107 s.
- Segadaes A M, Carvalho M. A and Acchar W** (2005) Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. *Applied Clay Science*, 30: 42-52.
- Su S. L** (1992) Modeling of Coupled Heat and Mass Transfer and Induced Stresses In Drying Ceramics. *Thesis of Doctor of Philosophy*, Kansas State University, Manhattan, Kansas.
- Sütçü M ve Akkurt S** (2009) The Use of Recycled Paper Processing Residues in Making Porous Brick With Reduced Thermal Conductivity. *Ceramics International*, 35: 2625-2631.
- Şahin S** (2001) Türkiye'de Tuğla ve Kiremit Sanayinin Genel Görünümü ve Çorum İli Örneği. *Gazi Üniversitesi Eğitim fakültesi Dergisi*, Ankara, 21(2): 19-41.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Şahin Ş E** (2008) Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 91s.
- Tokay M ve Erdoğan K** (1998) Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu. *TÇMB Ar-ge*, Ankara.
- TS 4790** (1986) Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu. TSE, Ankara.
- TS 3449** (1980) Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 772-4** (2000) Kâgir Birimler, Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kâgir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini. TSE, Ankara.
- TS 825** (1998) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. TSE, Ankara.
- TS EN 771-1** (2005) Kâgir Birimler, Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar). TSE, Ankara.
- TS EN 772-1** (2012) Kâgir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- Tumluoğlu G** (2006) Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 173 s.
- Türköz M** (2007) Yüksek Plastisiteli Killerin Şişme Potansiyelinin Direkt Deneylerle Belirlenmesi ve Karşılaştırmalı Analiz. *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 198 s.
- Türker P, Erdoğan B, Katnaç F ve Yeğinoğlu A** (2004) Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. *TÇMB Ar-ge*, Ankara.
- URL-1** <[www.dogankantarci.com/toprak-ilm/](http://www.dogankantarci.com/toprak-ilm/)>, Ziyaret tarihi: 01.04.2015
- URL-2** <[www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)>, Ziyaret tarihi: 01.04.2015
- Ulusoy A** (2008) Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 149 s.
- Yüksel A N ve Şişman C B** (2003) Tarımsal İnşaat. Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:278, Ders Kitabı No:36, Tekirdağ.

## ÖZGEÇMİŞ

06.11.1983 tarihinde Zonguldak'ta doğmuştur. İlkokul öğrenimini 1989-1994 yılları arasında Zonguldak Sefercik İlkokulu'nda, ortaokul öğrenimini 1994-1997 yılları arasında Zonguldak Hisarönü Ortaokulu'nda, lise öğrenimini 1997-2001 yılları arasında Zonguldak Çaycuma Süper Lisesi'nde tamamlamıştır. 2001-2005 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2012 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

Temmuz-Ağustos 2005 tarihleri arasında Hitit İnşaat San. Tic. Ltd. Şti.'nde, Bartın-Çaycuma Yol İnşaatı (9 km) İşinde saha mühendisi görevinde çalışmıştır. Ağustos 2005-Şubat 2006 tarihleri arasında Hitit İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde, Kayseri Bahçelik Hidroelektrik Santrali Yapım İşinde saha mühendisi görevinde çalışmıştır. Şubat 2006-Aralık 2006 tarihleri arasında Tekirdağ Çerkezköy'de Teknik El Yapı Denetim Ltd.Şti.'nde yapı denetim kontrol elemanı görevinde çalışmıştır. Haziran 2007-Ağustos 2010 tarihleri arasında Zonguldak Çaycuma'da Sürül Mühendislik-Mimarlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.'nde şirket ortağı olarak statik proje çizimi, kontrollük ve taahhüt işlerinde çalışmıştır. Ağustos 2010-Kasım 2011 tarihleri arasında Zonguldak Perşembe Belediyesinde Fen İşleri Müdürü Vekili görevinde çalışmıştır. Kasım 2011 tarihinden itibaren de halen çalışmaya devam ettiği Bartın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde Proje ve Yapım İşlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü ve Altyapı Kentsel Dönüşüm Hizmetlerinden Sorumlu Şube Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi ve Şube Müdürü Vekili görevlerinde çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 74100 BARTIN  
Tel : (378) 227 5565  
Faks : (378) 227 6103  
E-posta : okansurul@hotmail.com