

**T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI BİLEŞEN ORANLARININ VE ÜRETİM SICAKLIKLARININ
ÜRETİLEN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

Fatma DAĞCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI BİLEŞEN ORANLARININ VE ÜRETİM SICAKLIKLARININ
ÜRETİLEN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

Fatma DAĞCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BİLEŞEN ORANLARININ VE ÜRETİM SICAKLIKLARININ
ÜRETİLEN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

**Fatma DAĞCI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi
tarafından FYL-2016-2121 nolu projeye ve ATSO tarafından desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2018

T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI BİLEŞEN ORANLARININ VE ÜRETİM SICAKLIKLARININ
ÜRETİLEN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Fatma DAĞCI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 06.06/2018... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Doç. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU

Dr. Öğr. Üyesi Osman KAYA



ÖZET

FARKLI BİLEŞEN ORANLARININ VE ÜRETİM SICAKLIKLARININ ÜRETİLEN TUĞLA ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Fatma DAĞCI

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. N. Uğur KOÇKAL

Haziran 2018, 93 sayfa

Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve küreselleşme sonucu artan ticaret, elektrik enerjisine olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla dünyada ve ülkemizde çeşitli bölgelere termik santral tesisleri kurulmuştur. Termik santrallerde kömür ve kömür türevi yakıtların yakılması sonucu çıkan kimyasal enerji, mekanik enerjiye, mekanik enerji de elektrik enerjisine dönüştürülür. Termik santrallerde kömürün yanmasıyla birlikte birçok atık oluşur. Bu atıklar uçucu kül, taban külü, cüruf ve baca gazı gibi atıklardır. Ülkemizde de yüksek miktarlarda uçucu kül atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum hem çevresel hem de ekonomik problemleri beraberinde getirmektedir. Oysaki uçucu küller endüstriyel atık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme olup, değişik sektörlerde değerlendirme olanakları vardır. Bu sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. İnşaat sektöründe bu atık, çimento ve betonda ikame ve katkı malzemesi, agregalarda hafif agrega üretimi, asfalt ve betonun birlikte kullanıldığı yollarda yol stabilizasyonunu sağlama ve filler malzeme, tuğla ve kerpiç üretimi, yalıtım malzemesi üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada iki farklı termik santralden (Seyitömer Termik Santrali ve Çayırhan Termik Santrali) temin edilen uçucu kül ile kil farklı oranlarda yer değiştirmiş ve farklı sıcaklıklarda sinterlenerek tuğla numuneler üretilmiştir. Üretilen tuğla numunelere fiziksel ve mekanik testler (birim hacim ağırlık, kuruma ve sinterleme büzülmesi, su emme, mukavemet testleri), renk ölçümü ve mikro yapı analizleri yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Fiziksel ve mekanik özellikler, Kil, Renk, Sinterlenme sıcaklıkları, Tuğla, Uçucu kül

JÜRİ: Doç. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Doç. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU

Dr. Öğr. Üyesi Osman KAYA

ABSTRACT

EFFECTS OF DIFFERENT COMPONENT RATIOS AND PRODUCTION TEMPERATURES ON THE PRODUCED BRICK CHARACTERISTICS

Fatma DAĞCI

MSc. Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. N. Uğur KOÇKAL

June 2018, 93 pages

Increasing population, industrialization, urbanization and globalization are increasing the demand for electricity. In order to meet these needs, thermal plant have been established in various regions in the world and our country. The resulting chemical energy by combustion of coal and coal-derived fuels in thermal power plants is converted into mechanical energy, and mechanical energy into electrical energy. In coal-fired power plants, many wastes form together with the burning of the coal. These wastes are such as fly ash, bottom ash, slag and flue gas. In our country too, fly ash emanates as waste. This brings about both environmental and economic problems. However, fly ash is a convenient material to be recycled as industrial waste and has evaluation possibilities in different sectors. The construction sector is at the forefront of these sectors. In the construction sector, many areas such as, cement and concrete substitute and additive materials, light aggregate production in aggregates, road stabilization in asphalt and concrete roads, filler material, brick and mudbrick production and insulation material production are used this waste.

In this study, fly ash supplied from two different thermal power plants (Seyitomer Thermal Power Plant and Cayirhan Thermal Power Plant) were replaced by clay at different ratios and brick samples were produced by sintering at different temperatures. Physical and mechanical tests (unit volume weight, drying and sintering shrinkage, water absorption, strength tests), color measurements and micro structure analyses were performed on the brick samples.

KEYWORDS: Physical and mechanical properties, Clay, Colour, Sintering temperatures, Brick, Fly ash

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL

Assoc. Prof. Dr. Hasan Erdem ÇAMURLU

Asst. Prof. Dr. Osman KAYA

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmamı yaptığım süre boyunca, desteklerini esirgemeyen ve her zaman bilgi ve tecrübesiyle katkı sağlayan, daima olumlu yaklaşımlarıyla beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. N. Uğur KOÇKAL'a teşekkür ederim.

Deneylerde kullanmış olduğum malzemenin temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU ve Ersin KARAMAN'a teşekkür ederim. Deney aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini paylaşan Nihan GÜLMEZ ve Özge BEYCAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli anneme, babama, kardeşime ve eşim Uğur DAĞCI'ya teşekkür ederim.



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Bileşen Oranlarının Ve Üretim Sıcaklıklarının Üretilen Tuğla Özelliklerine Etkileri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

06/06/2018

Fatma DAĞCI

F. Dağcı

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
AKADEMİK BEYAN	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Uçucu Kül.....	4
2.2.1. Uçucu küllerin sınıflandırılması	4
2.2.2. Uçucu küllerin özellikleri	5
2.2.1.1 Uçucu küllerin fiziksel özellikleri.....	5
2.2.1.2 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri	5
2.2.1.3 Uçucu küllerin kimyasal özellikleri	6
2.2.3. Uçucu küllerinin inşaat sektöründe kullanılması.....	7
2.2.3.1 Uçucu külün çimento ve beton üretiminde kullanılması.....	8
2.2.3.2 Uçucu külün agrega olarak kullanılması.....	10
2.2.3.3 Uçucu külün gazbeton üretiminde kullanılması.....	11
2.2.3.4 Uçucu külün geoteknik uygulamalarda kullanılması	11
2.2.3.5 Uçucu külün yol inşaatlarında kullanılması	11
2.2.3.6 Uçucu külün inşaatın diğer uygulamalarında kullanılması.....	11
2.2.3.7 Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması	11
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Kullanılan Bileşenler	16
3.1.1. Kil	16
3.1.2. Karışım suyu	16
3.1.3. Uçucu küller.....	17
3.2. Bileşenlerin Karakterizasyonu	17
3.2.1. Kimyasal analizler	17

3.2.2. Minerolojik analizler.....	17
3.2.3. Yüzey karakterizasyon analizi	17
3.2.4. Lazer difraksiyon analizi	18
3.3. Bileşenlerin Fiziksel Özellikleri.....	18
3.4. Numunelerin Hazırlanışı ve Deneyleri.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Kullanılan Bileşenlerin Karakterizasyon ve Fiziksel Test Sonuçları.....	27
4.1.1. Kimyasal analiz sonuçları.....	27
4.1.2. Minerolojik analiz sonuçları	29
4.1.3. Yüzey karakterizasyon sonuçları	31
4.1.4. Lazer difraksiyon analiz sonuçları.....	32
4.1.5. Bileşenlerin fiziksel özellikleri	34
4.2. Üretilen Numunelerin Test Sonuçları.....	34
4.2.1. Kuruma büzülme ve sinterleme büzülmesi sonuçları.....	34
4.2.2. Kızdırma kaybı sonuçları.....	44
4.2.3. Kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı sonuçları.....	54
4.2.4. Kılcal geçirimsizlik deneyi sonuçları.....	57
4.2.5. Renk ölçüm sonuçları	62
4.2.6. XRF analiz sonuçları	66
4.2.7. Basınç dayanımı sonuçları	69
4.2.8. Eğilme dayanımı sonuçları	72
4.2.9. TG-DTA analiz sonuçları	74
4.2.10. SEM-EDAX analiz sonuçları.....	79
5.SONUÇLAR	84
6.KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

mm	: Milimetre
g	: Gram
cm	: Santimetre
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece
a	: Kırmızılık koordinatı
b	: Sarılık koordinatı
L	: Açıklık koordinatı
E	: Toplam Renk Farkı Değeri
sn	: Saniye
cm ²	: Santimetre Kare

Tez metni içerisinde ondalık sayıların gösterimi virgül kullanılarak “1,25” şeklinde yapılmıştır.

Kısaltmalar

MMO	: Mimar ve Mühendisler Odası
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi
ASTM	: American Society for Testing Materials
XRD	: X-Işınları Kırınım Cihazı
TG	: Termogravimetrik Analiz
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
SEM	: Scanning electron microscope
K ₁ N	: Birim ağırlık, su emme, kılcal geçirimsizlik deneylerine tabi tutulmamış %100 killi bir numaralı numune
K3K	: Birim ağırlık, su emme, kılcal geçirimsizlik deneylerine tabi tutulmuş %100 killi üç numaralı numune
10S ₁ N	: Birim ağırlık, su emme, kılcal geçirimsizlik deneylerine tabi tutulmamış %10 Seytömer uçucu küllü bir numaralı numune
20Ç ₃ K	: Birim ağırlık, su emme, kılcal geçirimsizlik deneylerine tabi tutulmuş %20 Çayırhan uçucu küllü üç numaralı numune

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Termik santral enerji dönüşüm şeması	2
Şekil 1.2. Çayırhan Termik Santralinin çalışma mekanizması	2
Şekil 3.1. Antalya Elmalı kili.....	16
Şekil 3.2. a) Çayırhan uçucu külü; b) Seyitömer uçucu külü	17
Şekil 3.3. Le Chatelier balonu.....	18
Şekil 3.4. a) Bileşenlerin tartılması; b) Bileşenlerin karıştırılması ve öğütülmesi	20
Şekil 3.5. Kalıpların yağlanması.....	20
Şekil 3.6. Basma işlemi.....	21
Şekil 3.7. Dijital kumpasla boy ölçülmesi	21
Şekil 3.8. a) Numunelerin etüvde kurutulması; b) Numunelerin fırında sinterlenmesi..	22
Şekil 3.9. a) Artimet terazisi; b) Numunelerin suda bekletilmesi; c) Numunelerin tartılması.....	23
Şekil 3.10. Kılcal geçirimsizlik için suda bekletme işlemi.	24
Şekil 3.11. Renk ölçümü.....	25
Şekil 3.12. Hazırlanan numuneler.....	25
Şekil 3.13. Basınç ve eğilme dayanım testleri	26
Şekil 4.1. Kullanılan kilin XRD grafiği.	29
Şekil 4.2. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün XRD grafiği	30
Şekil 4.3. Kullanılan Çayırhan uçucu külünün XRD grafiği	31
Şekil 4.4. Kullanılan kilin lazer difraksiyon grafiği	32
Şekil 4.5. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün lazer difraksiyon grafiği.....	32
Şekil 4.6. Kullanılan Çayırhan uçucu külünün lazer difraksiyon grafiği	33
Şekil 4.7. Killi numune ve Seyitömer uçucu küllü numuneler (850°C)	62
Şekil 4.8. Killi numune ve Çayırhan uçucu küllü numuneler (850°C).....	63
Şekil 4.9. Killi numune ve Seyitömer uçucu küllü numuneler (950°C)	63

Şekil 4.10. Killi numune ve Çayırhan uçucu küllü numuneler (950°C).....	64
Şekil 4.11. Seyitömer uçucu küllü numuneler (1050°C)	64
Şekil 4.12. Çayırhan uçucu küllü numuneler (1050°C).....	65
Şekil 4.13. 850°C’ de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği.....	69
Şekil 4.14. 950°C’ de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği.....	70
Şekil 4.15. 1050°C’ de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği.....	70
Şekil 4.16. 850°C’ de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği	72
Şekil 4.17. 950°C’ de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği	72
Şekil 4.18. 1050°C’ de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği	73
Şekil 4.19. Kilin TG-DTA grafiği	74
Şekil 4.20. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği	75
Şekil 4.21. %40 Seyitömer uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği	76
Şekil 4.22. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği	77
Şekil 4.23. %40 Çayırhan uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği	78
Şekil 4.24. Killi numunenin SEM-Edax görüntüsü (850 °C)	79
Şekil 4.25. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin SEM-Edax görüntüsü (850 °C)	80
Şekil 4.26. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin SEM-Edax görüntüsü (850 °C)	81
Şekil 4.27. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin SEM-Edax görüntüsü (850 °C).....	82
Şekil 4.28. %40 Çayırhan uçucu küllü numunenin SEM-Edax görüntüsü (850 °C).....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (MMO).....	1
Çizelge 2.1. Uçucu küller aktivitesine göre sınıflandırma(Yaylacı 2010).....	5
Çizelge 2.2. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları (Gürbüz 2009).	6
Çizelge 2.3. TS639’a göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri (Gürbüz 2009).	7
Çizelge 2.4. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları (Aruntaş 2006).	8
Çizelge 2.5. Dünya’da uçucu külün kullanıldığı bazı yapılar.....	9
Çizelge 2.6. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar (Aruntaş 2006).....	10
Çizelge 3.1. Çayırhan uçucu küllü karışımların yüzde ve kütleleri (1 set).....	19
Çizelge 3.2. Seyitömer uçucu küllü karışımların yüzde ve kütleleri (1 set).....	19
Çizelge 4.1. Kullanılan kilin kimyasal kompozisyonu (XRF).....	27
Çizelge 4.2. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün kimyasal kompozisyonu (XRF).....	28
Çizelge 4.3. Kullanılan Çayırhan uçucu külünün kimyasal kompozisyonu (XRF).....	28
Çizelge 4.4. Kullanılan suyun kalite raporu Ağustos 2017 ASAT su verileri.....	29
Çizelge 4.5. Tüm bileşenlerin yüzey alanları.....	31
Çizelge 4.6. Kile ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri.....	32
Çizelge 4.7. Seyitömer uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri.....	33
Çizelge 4.8. Seyitömer uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri (Görhan 2014).....	33
Çizelge 4.9. Çayırhan uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri.	33
Çizelge 4.10. Bileşenlerin özgül ağırlıkları.	34
Çizelge 4.11. Kil numunelerin uzunlukları (850 °C).....	34
Çizelge 4.12. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (850 °C).....	35
Çizelge 4.13. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (850 °C)	36
Çizelge 4.14. Tüm numunelerin büzülme değerleri (850 °C).....	37
Çizelge 4.15. Kil numunelerin uzunlukları (950 °C).....	38

Çizelge 4.16. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (950 °C).....	38
Çizelge 4.17. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (950 °C).	39
Çizelge 4.18. Tüm numunelerin büzülme değerleri (950 °C).....	40
Çizelge 4.19. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (1050 °C).....	41
Çizelge 4.20. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (1050 °C)	42
Çizelge 4.21. Tüm numunelerin büzülme değerleri (1050 °C).....	43
Çizelge 4.22. Kil numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları.....	45
Çizelge 4.23. Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları.....	45
Çizelge 4.24. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları.....	46
Çizelge 4.25. Kil numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları.....	47
Çizelge 4.26. Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları.....	47
Çizelge 4.27. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları.....	49
Çizelge 4.28. Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 1050 °C fırın ağırlıkları.....	50
Çizelge 4.29. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 1050 °C fırın ağırlıkları.....	51
Çizelge 4.30. Tüm numunelerin kızdırma kaybı değerleri (850-950-1050 °C).....	52
Çizelge 4.31. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (850 °C).	54
Çizelge 4.32. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (950 °C)	55
Çizelge 4.33. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (1050 °C)	56
Çizelge 4.34. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (850 °C).....	57
Çizelge 4.35. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (950 °C).....	58
Çizelge 4.36. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (1050 °C).....	60

Çizelge 4.37. Tüm numunelerin renk ölçümleri (850 °C)	62
Çizelge 4.38. Tüm numunelerin renk ölçümleri (950 °C).	63
Çizelge 4.39. Tüm numunelerin renk ölçümleri (1050 °C)	64
Çizelge 4.40. Killi numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)	66
Çizelge 4.41. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)	66
Çizelge 4.42. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)	66
Çizelge 4.43. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C).....	67
Çizelge 4.44. %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C).....	67
Çizelge 4.45. Kil numunenin XRF analiz sonucu (950 °C).....	67
Çizelge 4.46. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)	68
Çizelge 4.47. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)	68
Çizelge 4.48. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C).....	68
Çizelge 4.49. %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C).....	68

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin enerjiye olan ihtiyaçları sanayileşmenin artmasıyla, teknolojinin gelişmesiyle, nüfusun artışıyla, toplumsal gelişmeyi sağlamak gibi sebeplerden dolayı artmaktadır ve artmaya devam edecektir. Enerji kaynaklarını dışarıdan ithal eden ülkeler için ciddi miktarlarda ekonomik kayıp ve dışa bağımlılık söz konusudur. Enerji kaynaklarını elinde tutan ve işleyip satan ülkeler için enerji çok büyük ekonomik güç imkanı sağlamaktadır. Bütün bu sebeplerden dolayı enerji çok büyük önem taşımaktadır (Yılmaz 2012; Tamzok ve Tosun 2005; Avcı 2005; Aktaş ve Alioğlu 2012).

Çizelge 1.1. Kişi Başına Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketimi (Anonim 1)

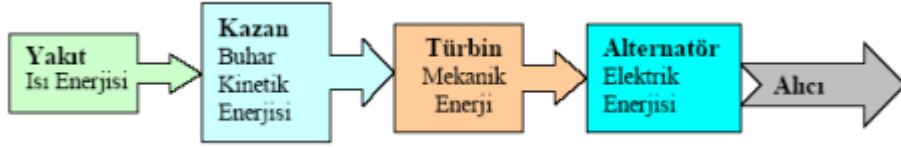
ÜLKELER	KİŞİ BAŞINA TÜKETİM (kWh)
Dünya ortalaması	2.500
Gelişmiş Ülkeler Ortalaması	8.900
ABD	12.322
Türkiye	2.791

Elektrik enerjisi çeşitli yollarla elde edilmektedir. Elektrik enerjisinin temin edilmesinde hidrolik, termik, nükleer, doğalgaz, rüzgâr ve güneş gibi birincil enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Bu kaynakların kullanımı ülkenin coğrafi yapısına göre farklılık göstermektedir. Bu sebepten dolayı ülkeler kendilerine uygun yapıdaki enerji kaynağını kullanmak mecburiyetindedir. Örneğin; fosil yakıtları zengin olan ülkeler termik santralleri seçerken, akarsuyu fazla olan ülkeler hidroelektrik santrallerini seçer (Anonim 2; Anonim 3).

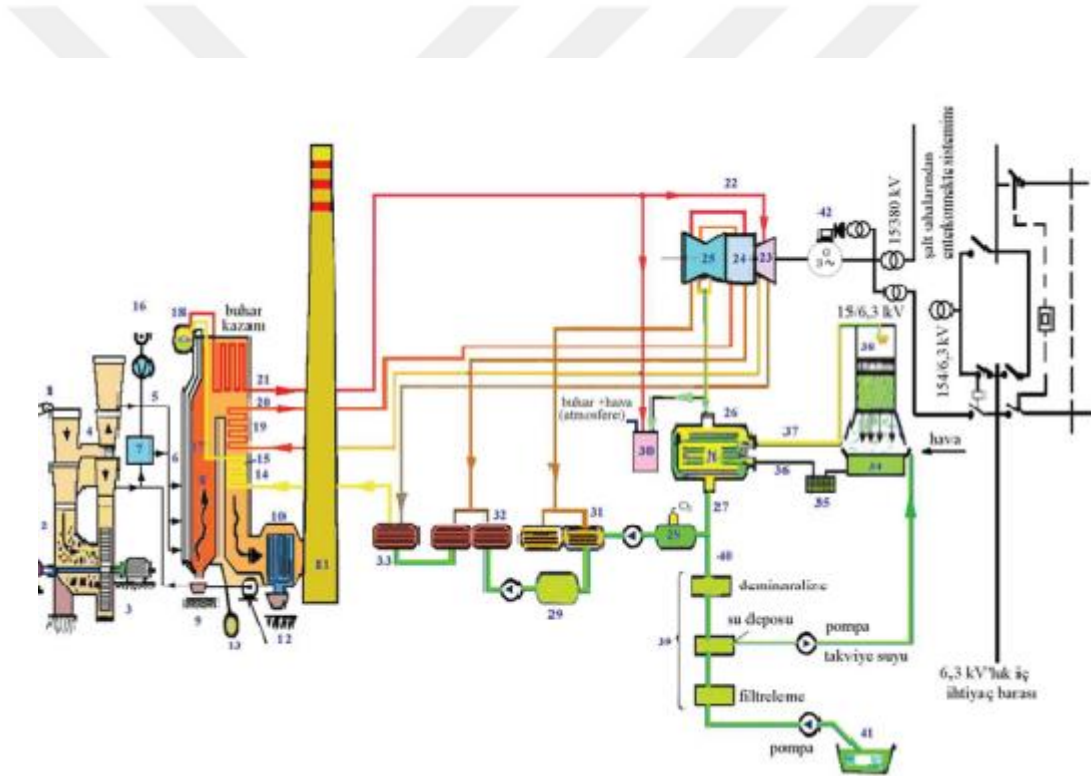
Dünyada talep edilen enerjinin çok büyük bir kısmı kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil enerji kaynakları ya da klasik enerji kaynakları olarak tanımlanan bu yakıtlar günlük hayatımız içinde her alanda sık olarak kullanılmaktadır. Özellikle son iki yüzyıldır fosil yakıtlar hem ucuz olmaları hem de üretim teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur (Yılmaz 2012).

Termik santraller fosil yakıtlarda var olan kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini kinetik enerjiye, kinetik enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir (Şekil 1.1). Detaylı olarak açıklarsak; kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kazan ya da buhar ürecinde yakılır. Suyun buhara dönüşmesini sağlamak amacıyla yüksek basınç altında ve yüksek sıcaklıkta ısıtılır. Buhar önce türbinin yüksek basınçlı bölümünde genişler. Daha sonra tekrar yüksek derecelerde ısıtıldıktan sonra orta ve alçak basınçlı bölümlerde genişler. Birbirini izleyen bu genişlemeler sırasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Kondansatörde soğutulunca su yeniden eski haline geçer; türbinden çektiği buharla çalışan bir yeniden ısıtma bölümüyse suyun ısınıp yükseltip kazana gönderir. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için, bu çevrim sonsuza kadar yenilenir. Duman kazan çıkışında büyük oranda ısı yitirir ve elektro filtreden sonra

havaya verilir; Böylece yanma olayı gerçekleşir. Kömürle çalışan santrallerde dumanın daha sonra elektrostatik düzenekler yardımıyla tozu alınır ve bacadan dışarı atılır. Bu arada türbinde yaratılan mekanik enerji bir alternatöre iletilir ve burada elektrik enerjisine dönüştürülür. (Anonim 3; Anonim 4)



Şekil 1.1. Termik santral enerji dönüşüm şeması (Anonim 3)



Şekil 1.2. Çayırhan Termik Santralinin çalışma mekanizması (Anonim 3)

Ülkemizde termik santrallerde en çok kullanılan fosil yakıtlar kömür ve linyittir. Termik santrallerde bu fosil atıkların yanması sonucu birçok atık oluşmaktadır. Bu atıklar uçucu kül, taban külü, ham kül gibi atıklardır. Termik santrallerde baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen iri taneli atığa “taban külü”, santralin ocaklarında yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen atığa “ham kül” ve baca

gazlarıyla taşınan toz halindeki atığa ise “uçucu kül” denir. Uçucu kül, Dünya’da 600 milyon ton civarında çıkmaktadır. (Türker vd. 2009).

Türkiye’de halen aktif olarak çalışan 11 termik santral vardır. Bunlar; Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleridir. Aktif çalışan bu santrallerden yıllık 13 milyon ton uçucu kül üretimi sağlanmaktadır. Fakat doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla bu miktar değişiklik göstermektedir. Ülkenin enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltmak için gelecekte endüstrinin diğer kesimlerinde yararlanılamayan düşük kalorili linyit kömürlerini termik santrallerde kullanma yoluna gidilecektir. Dolayısıyla yıllık uçucu kül miktarlarının gelecekte daha fazla artacağı öngörülmektedir (Türker vd. 2009).

Uçucu külün çok miktarlarda atık olarak ortaya çıkması hem ekonomik, hem çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Oysaki uçucu kül, atık olarak geri dönüştürmeye elverişli ve değişik sektörlerde kullanılabilecek potansiyeldedir. Bu sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. İnşaat sektöründe uçucu kül; çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır (Aruntaş 2006; Güler vd. 2005).

Termik santral atığı olan uçucu külün, tuğla üretiminde kullanılmasıyla çevresel sorunlar bertaraf edilmiş, atığın geri dönüşümü sağlanmış ve olumsuz tuğla özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmış olacaktır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Uçucu Kül

Elektrik üreten termik santrallerde kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarına uçucu kül adı verilir. Santrallerde yakılan taşkömürünün %10-15'ini, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır (Lkhagva 2007; Yılmaz 2014; Güler vd.2005). Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda 600 milyon ton civarındadır ancak toplam uçucu kül miktarının sadece %6'sı çimento ve beton karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de kömür yakan 11 enerji santrali aktif çalışmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 13 milyon ton civarındadır (Türker vd. 2009).

Uçucu kül bölgeden bölgeye, hatta aynı santralde bile farklılık gösterebilir. Uçucu kül; uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine, kömürün yakılmadan önceki öğütülme derecesine, kazan türüne yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine, kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine, çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterir (Güler vd.2005; Görhan vd. 2009).

2.1.1. Uçucu küllerin sınıflandırılması

Kimyasal yapıları bakımdan uçucu küller sınıflandırılırken, kimyasal bileşen (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO) yüzdelere göre de sınıflandırma yapılmaktadır. Kimyasal bileşen yüzdelere göre sınıflandırma ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınarak yapılmaktadır.

Kimyasal yapılarına göre uçucu küller başlıca dört gruba ayrılır. Bu gruplar; silikat-alümina esaslı uçucu küller, silikat-kalsit esaslı uçucu küller, sülfür-kalsit esaslı uçucu küller ve sınıflandırılmayan uçucu küllerdir. Silikat-alümina esaslı uçucu küller, taş kömürünün yanması sonucu oluşan küllerdir. Yapılarının büyük kısmını kuvars (SiO_2) ve bir miktar alümina (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Bu küller normal sıcaklıklarda hidrolik bağlayıcı gibi priz yaparlar. Silikat-kalsit esaslı uçucu küller, yapılarında kuvars (SiO_2) ve yüksek miktarda kalsit (CaCO_3) bulunmaktadır. Sülfür-kalsit esaslı uçucu küller, linyit kömürünün yanması sonucu oluşurlar. Yapılarının büyük bir kısmını kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten (CaCO_3) meydana gelmektedir. Sınıflandırılmayan uçucu küller, termik santrallerde ki yanma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küllerdir. Kimyasal yapıları sürekli değişebilmektedir (Yaylacı 2010).

ASTM C 618 Amerikan standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. F sınıfı uçucu küller taş kömürünün yani bitümlü kömürün yanması sonucu oluşur. F sınıfı uçucu küllerinde CaO miktarı %10'dan azdır. Bu sebepten düşük kireçli uçucu kül olarak da adlandırılır. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazladır. F sınıfı uçucu küllerin puzolanik özelliği vardır. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-

bitümlü kömürün yanması sonucu oluşur. CaO %10 fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğine ek olarak bağlayıcı özelliğe de vardır (Türker vd. 2009; Çinçin 2015; Gürbüz 2009; Yaylacı 2010).

TS EN 197-1 Türk standardına göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı uçucu küller genel olarak, puzolanik özelliğe sahip ve küresel yapıdaki taneciklerden oluşan toz halindedirler. Temel olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşurlar. Geri kalanını demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri oluşturur. Bu tip küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması şarttır. W sınıfı uçucu küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz halindedirler. Temel olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşurlar. Geri kalanını demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri oluşturur. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması şarttır (Türker vd. 2009; Çinçin 2015; Gürbüz 2009; Yaylacı 2010).

Uçucu küllerin içerisinde bulunan CaO miktarına bağlı olarak yukarıdaki sınıflandırmalara ilaveten sınıflandırma yapmak mümkündür. Bu sınıflandırma uçucu küllerin aktivitesine göre yapılmakta ve uçucu külün aktivitesi CaO içeriyle açıklanmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Uçucu küller aktivitesine göre sınıflandırma (Yaylacı 2010)

Çok düşük aktiviteli küller	CaO < %3,5
Düşük aktiviteli küller	%3,5 < CaO < %7
Aktif küller	%7 < CaO < %14
Çok aktif küller	CaO > %14

2.1.2. Uçucu küllerin özellikleri

2.1.2.1. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Uçucu külün fiziksel özellikleri, genel olarak santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişmektedir. Uçucu kül, genellikle gri renktedir fakat rengi içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça değişmekte ve daha koyu bir hal almaktadır. Uçucu kül, %60-90 camsı bileşen içeren çok ince taneciklerden oluşmaktadır (Aruntaş 2006).

Uçucu küllerin tane şekli yuvarlaktır ve çapları 1-200 μm arasında değişir. Uçucu küllerin inceliği etkileyen iki faktör vardır. Birinci faktör; kazana verilen kömürün öğütülme derecesidir. İkinci faktör ise, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına engel olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Taneciklerin yaklaşık %75'inin çapı 45 μm 'den, %50'den çoğu ise 20 μm 'den daha küçüktür. Uçucu külün yoğunluğu; inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır.

İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin yoğunluğu $2,2 - 2,7 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Uçucu küllerin özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olduğundan öğütülme yapılmadan kullanılabilir (Güler vd. 2005; Aruntaş 2006).

2.1.2.2. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik kökeni ve süreç koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfirizasyon gibi) bağlı olarak değişmektedir. Uçucu külden bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon, titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak rastlanabilmektedir. Temel oksitler olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ’ in miktarları, uçucu külün silisi veya kireçsi yapıda olmasına göre geniş aralıkta değişmektedir. Buna göre, uçucu külden SiO_2 % 25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 olarak ve CaO %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır (Türker 2009; Yaylacı 2010).

Uçucu külün bazı tiplerinde kullanılan kömüre bağlı olarak yüksek miktarda CaO bulunabilmektedir. Bunun nedeni, uçucu kül bacadan toplanırken; içinde bazı yanmamış karbon parçacıklarının bulunmasıdır (Çinçin 2015). Kızdırma kaybı, esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekle birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozunması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya CO_2 kaybını da içine almaktadır. Kızdırma kaybı, %1 ile %10 arasında değişmektedir (Gürbüz 2009).

Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları ve ASTM C 618 standardına göre karşılaştırılmaları ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları (Gürbüz 2009)

Bileşim (%)	Afşin- Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	ASTM C 618 Sınırları	
					F	C
SiO_2	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-
Al_2O_3	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-
Fe_2O_3	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>50
CaO	47.0	1.4	4.43	13.2	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	-	-
Na_2O	(N+K)	(N+K) 3.0	0.24	2.2	-	-
K_2O	-	-	1.81	1.76	-	-
SO_3	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<5
K.K.	2.4	0.6	1.39	0.72	<6	<6

Uçucu küllerin TS639' a göre olan kimyasal özelliklere göre sınırlandırması Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. TS639'a göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri (Gülbüz 2009)

SiO ₃ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ % en az	70.0
MgO, % en çok	5.0
SO ₂ , % en çok	5.0
Rutubet, % en çok	3.0
Kızdırma kaybı, % en çok	10.0

2.1.2.3. Uçucu küllerin mineralojik özellikleri

Uçucu külün mineralojik bileşimi, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar (Ca, Mg, Fe)) ve süreç koşullarına (kömür hazırlama ve yanma gibi) bağlıdır. Uçucu külün mineralojik yapısı, külün tipine göre değişen dağılımda olmak üzere, camısı (kristalsız) ve kristal yapıli bileşenlerden oluşmaktadır (Türker vd. 2009).

Uçucu küllerin puzolanik özellikleri, kimyasal bileşiminden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkilidir. Düşük kireçli uçucu küllerin ana aktif bileşeni, silis ve aluminadan oluşan amorf ya da camısı fazdır. Bu tip uçucu küllerin, rutubetli ortamda sönmüş kireç (CaOH₂) ile reaksiyona girdikleri için puzolanik özelliğe sahiptirler. Yüksek kireçli uçucu küller ise, hem puzolanik özellik gösterirler hem de sahip oldukları serbest kireç, trikalsiyum aluminat, amorf silis ve alumina vb. sebebiyle kendi başlarına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip olabilirler.

Düşük kireçli uçucu küllerdeki camısı faz miktarı, yüksek kireçli uçucu küllerden daha fazladır. Düşük kireçli uçucu küllerde mineral faz olarak; camısı faz, mullit (Al₆Si₂O₁₃), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₂O₄), kuvartz (SiO₂) vb. var iken yüksek kireçli uçucu küllerde sayılanlara ek olarak serbest kireç(CaO), anhidrit(CaSO₄), trikalsiyum aluminat (Ca₃Al₂O₆), plajiyoklaz, gehlenit, feldspat gibi kalsiyum silikatlar bulunmaktadır. Türkiye'deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye’deki bazı uçucu küllerin mineralojik kompozisyonları (Aruntaş 2006)

Mineral %	Uçucu kül					
	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma B	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	0,1	18,1	1,2	4,3	8,8	6
Kuvartz	4,50	10,9	5,6	5,1	13,9	22,4
Manyetit	0,8	0,2	2,5	0,6	4,1	2,9
Hematit	4	0,1	6	2	3	7
Anhidrit	12,2	-	9,3	7,4	-	-
Serbest CaO	18,6	0,7	5,5	9,8	0,9	1
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Camsı ve amorf faz	~30	~70	~50	~50	~70	~35

2.1.3. Uçucu küllerinin inşaat sektöründe kullanılması

Dünya’da yaklaşık 50 yıldır devam eden petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür. Bu durum bir taraftan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlarken diğer taraftan çevre kirliliğinin önlenmesi ile çevrenin korunmasını da mümkün kılmaktadır (Aruntaş 2006).

Uçucu küllerin kompozisyonları ile ilgili çalışmalar 1900 yılı civarında başlamıştır. Bu küllerin kompozisyonları ile doğal puzolanların kompozisyonları arasında benzerlik görülmesi üzerine, uçucu küllerin puzolanik özellikleri araştırılmaya başlanmıştır. Fakat, çalışmanın başlarında denenilen küllerle başarılı beton yapımı elde edilememiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda uçucu küllün puzolanik özellik göstermesi için kömürün yanma sıcaklığının yüksek olması ve küllerin hızlı şekilde soğutulması kanaatine varılmıştır. Bu niteliklerdeki uçucu küllerin üretimi 1930’lu yılların başlarında ABD’de Cleveland Electric Illuminating Company ve Detroit Edison Company gibi elektrik üreten şirketler tarafından sağlanmıştır. Uçucu küllerin beton üretiminde mineral katkı olarak kullanımına ilişkin ilk çalışmalar 1932 yılında başlamıştır. 1932 yılından itibaren ABD-Berkeley’deki Kaliforniya Üniversitesi’nde R.E. Davis, R. W. Carlson, J. W. Kelley ve H. E. Davis tarafından ortak olarak yürütülen ve sonuçları yayımlanan çalışmada, beton üretiminde kullanılacak çimento miktarının %30 - %50’si kadarının yerine uçucu kül konulduğu takdirde istenilen özelliklerdeki betonun elde edilebileceği belirtilmiştir. Böylece, 1937 yılından itibaren, uçucu kül, beton yapımında mineral katkı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Uçucu küllü betonun kullanıldığı ilk büyük proje, yapımına 1948 yılında başlanılan ABD-Montana’daki Hungry Horse Barajı’dır. Bu barajın betonlarında kullanılan portland çimentosu miktarı, ağırlıkça, %32,4 kadar uçucu küle değiştirilmiştir (Erdoğan ve Erdoğan 2018). Dünyada uçucu küllün kullanıldığı bazı yapılar Çizelge 2.5’de verilmiştir (Erdoğan ve Erdoğan 2018; Güler vd. 2005).

Çizelge 2.5. Dünyada uçucu külün kullanıldığı bazı yapılar

Dünyada uçucu külün kullanıldığı bazı yapılar
Yellowtail Barajı (ABD)
Dworshak Barajı (ABD)
Libby Barajı (ABD)
Peace Site 1 Barajı (Kanada)
Castor ve Pollux Gökdelenleri (Frankfurt)
Picasso Gökdeleni (Madrid)
Caixa Geraí Deposit Bankası (Lizbon)
Great Bell East Köprüsü (Danimarka)
Permankoski Hidroelektrik Santrali (Finlandiya)
Puylaurant Barajı (Fransa)
Eindhoven Havaalanı Uçuş Pistinde (Hollanda)
Yeraltı Tren Yolu Tünelleri (Avusturya)
Yerüstü Elektrik Direkleri (İtalya)
Tornes Nükleer Enerji Santrali (İskoçya)
Uçucu Kül Depolama Kuleleri (Belçika)
İngiltere ile Fransa'yı Birbirine Bağlayan ve 100 Yıllık Kullanım İçin Dizayn Edilen Hızlı Tren Hattı

Uçucu kül; ilk başlarda beton üretiminde kullanılsa da inşaat sektörünün diğer alanlarında da kullanılmaktadır. Çimento üretiminde, hafif agrega üretiminde, tuğla özelliklerinin iyileştirilmesinde, gaz beton imalatında, geoteknik uygulamalarda, beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kumtaşı blokların, endüstriyel seramik ve refrakterlerin üretimi, boyaların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Çizelge 2.6. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar (Aruntaş 2006)

Malzeme	Kullanım amacı / yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega üretiminde	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar / uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

2.1.3.1. Uçucu külün çimento ve beton üretiminde kullanılması

Beton özelliklerini iyileştirmek için ve çimentodan tasarruf etmek amacıyla birçok malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerden biri de termik santral atığı olan yapay puzolan uçucu küldür. Uçucu küller beton üretiminde hem çimento ile birlikte doğrudan betona katılarak, hem de betonda kum yerine kullanılabilirler. Uçucu küllerin özgül yüzeyi daha büyük olduğundan ve inceliğe sahip olduklarından bağlayıcı hacminin artmasını ve çimentodan tasarruf yapılmasını sağlarlar. Yapılan araştırmalarda belirli yüzdelerde kullanılan uçucu külün uzun dönemde beton dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Birim ağırlıkları düşük olması sebebiyle betonun birim ağırlığını da azalttığı görülmüştür. Uçucu kül takviyeli betonun hidrasyon ısısı düşük olduğundan termik rötre ve çatlama gibi beton problemleri oluşmaz. Bu sebepten dolayı kütle betonları için uygun bir betondur. Uçucu küller küresel bir yapıya sahip olduklarından su ihtiyaçlarını arttırmazlar ve düşük bir su-çimento oranı ile arzu edilen işlenebilirliği sağlarlar. Uçucu küller sulu ortamda kireci bağladıkları için betonu dış etkilere daha dayanıklı yapar ve su geçirimsizliğini azaltır. Uçucu küllü betonların donma-çözülme deneyleri sonunda kayıpların daha az olduğu tespit edilmiştir (Görhan vd. 2008). Uçucu küllü betonlar döküm sırasında pompalanabilirliği artırır. Alkali silika reaksiyonunu azaltır. Sülfata karşı dayanımı artırır. Çimento üretimi sırasında çok büyük miktarda doğal hammadde ve enerji tüketimi yapılmakta ve atmosfere CO₂ gazı salınmaktadır. Bu durum sera etkisi yaratarak iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Bu yüzden çimento üretiminde uçucu kül kullanılmasıyla, doğal çevrenin bozulması ve enerji tüketimi azalacağı gibi havadaki CO₂ miktarı da azalacağı için küresel ısınma da azalacaktır.

(Aruntaş 2006). Uçucu kül atık bir malzeme olduğundan hem çimento hem beton üretiminde tasarruf sağlar.

2.1.3.2. Uçucu külün agrega olarak kullanılması

Uçucu kül; Türk, Amerikan ve İngiliz standartlarında beton ve duvar elemanları için yapay hafif agrega olarak kabul edilmektedir. Yapılan çalışmalarda çok katlı binalarda sinterlenmiş uçucu kül agregasının kullanılmasının ölü yükü azalttığı gözlenmiştir. Ayrıca sinterlenmiş uçucu kül agregasının geleneksel beton agregasının yerine betonda içi dolu veya boş blok üretimi için kullanılabileceği tespit edilmiştir (Aruntaş 2006). Uçucu külden üretilen hafif agregaların betonda kullanılmasıyla; hafif beton tasarımı, ekonomik üretim ve çevre dostu ürün elde etmek mümkündür.

2.1.3.3. Uçucu külün gazbeton üretiminde kullanılması

Gazbeton üretiminde uçucu kül, ince kum ikamesi olarak kullanılır. Amerikan Gazbeton Üreticileri Birliği uçucu külün gazbetonda %75 oranına kadar kullanılmasını önermektedir. Uçucu kül ince tane boyutuna sahip olduğundan ilave öğütme işlemi gerektirmez. Uçucu kül ile üretilen gazbetonun kuvars kumu ile üretilen gazbetona göre daha iyi ısı yalıtım ve mukavemet özelliklerine sahip olduğu savunulmaktadır (Görhan vd. 2008).

2.1.3.4. Uçucu külün geoteknik uygulamalarda kullanılması

Geoteknik uygulamalarda uçucu kül; dolgu yapmak, zemin stabilizasyonu sağlamak, bent yapmak, sızdırmazlık sağlamak amacıyla atık depolama sahalarında, yol kaplaması altındaki dolgu tabakası yapımında, donatılı zemin duvarlarda duvarın arka dolgusu olarak ve ayrıca çöp atık sahaları üzerinde yapılan beton kaplama veya döşemelerdeki farklı oturma hasarlarının tamiri için kireç ile birlikte enjeksiyon uygulamasında kullanılmaktadır (Aruntaş 2006).

2.1.3.5. Uçucu külün yol inşaatlarında kullanılması

Yapılan çalışmalarda uçucu külün, hem asfalt yollarda hem de beton yollarda kaplama malzemesi, yol yapımında temel malzemesi ve asfalt karışımında mineral filler olarak, yolun temel ve alt temelinin yapımında kum ve/veya çimentonun, asfalt karışımında da ince malzemenin bir kısmı yerine kullanılabileceği, bağlayıcı başka bir malzeme kullanılmadan uçucu kül ve kum karışımından iyi ve ucuz stabilizasyonun elde edilebileceği görülmüştür (Aruntaş 2006).

2.1.3.6. Uçucu külün inşaatın diğer uygulamalarında kullanılması

İnşaatın diğer uygulama alanları; kireç-kumtaşı blokların, endüstriyel seramik ve refrakterlerin, boyaların, yalıtım malzemelerinin üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesi olarak söylenebilir.

2.1.3.7. Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması

Atık malzemelerin geri kazanımında ve ekonomik kullanımında, sinterleme uygulaması giderek daha ilgi çekici hale gelmektedir. Yakın dönemde, birçok

çeşitli atıkların sinterleme ile faydalı ürün haline getirilmesi üzerinde çalışmıştır. Tozlaştırılmış yakıt külü, belediyelere ait atık yakma tesislerinin atıkları, arıtma tesislerinin çamurları, baraj çökeltileri (Chiang vd. 2008), çelik üretim tesislerinin cürufaları, nehir tabanı çökeltileri (Samara ve Fafhaj 2009) ve liman tabanı çökeltilerinin (Hamer ve Karius 2002) tuğla, hafif agrega ve benzeri faydalı ürünlerin “atıktan malzeme” üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Bununla birlikte, işlenmiş çay atıkları (Demir 2006), ferrokrom cürufu (Gencel vd.2013), atık mermer tozu (Bilgin vd. 2012) tarımsal biyokütle atıkları (Barbieri vd. 2012) da literatürde tuğla üretiminde kullanımı araştırılmış olan atıklardır. Atıktan malzeme uygulamalarında, kullanılan atık hammaddeye göre uygun proseslerin tasarlanması, ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi önemlidir (Zhang 2013, Valesco vd.2014).

İkame hammaddelerin tuğla üretiminde kullanımı ile ilgili çalışmaların son dönemde önemli oranda arttığı görülmektedir (Bories vd. 2014). Günümüzde üretilen yapı malzemelerinde amaç ucuz, çevreye zararı en az seviyede olan ve beklenen değerleri yeterli oranda sağlayabilen ürünlerin üretimi olmuştur. Nehir, baraj ve liman tabanında biriken killerin bu sektörde hammadde olarak değerlendirilmesi ile ilgili sürdürülen araştırmalar bu çıkarımı doğrular niteliktedir (Samara ve Fafhaj 2009, Hamer ve Karius 2002, Chiang vd. 2008).

Dünyada atık hammaddelerin ekonomiye kazandırılması kapsamında, tuğla imalatında kullanılmaları giderek yaygınlaşan bir uygulama haline gelmektedir. Faria vd. (2012) çalışmalarında, şekerkamışı küllerinin tuğla yapımında kullanımını araştırmışlardır. Silika kaynağı olarak küllerin kullanımının, katı atık yönetimi ve hammadde korunumu açısından olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Hamer vd. (2002) çalışmasında, Bremen liman tabanının temizlenmesi sonucu çıkartılan çökelti çamurun tuğla yapımında kullanımını incelemiştir. Bu çalışmada, %50 oranında liman tabanı çökeltisi, diğer killerle ve öğütülmüş tuğla atıklarıyla karıştırılmış ve presleme sonrası 1050 °C’de pişirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik gereklilikleri sağladığı belirlenmiştir. Eliche-Quesada vd. (2012) çalışmalarında, biyodizel üretimi atıklarının tuğla üretiminde değerlendirilmesini incelemiştir. Biyodizel üretimi atıklarının, tuğlaların gözenekliliğini arttırdığını ve ısıl iletkenliklerini düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Atıkların tuğla yapımında değerlendirildiği diğer bir önemli çalışmada Chiang vd. (2008), Tayvan’daki Shi-Men barajın tabanından çıkartılan çökelti çamurun tuğla üretiminde kullanımını araştırmışlardır. Bu çamurlara %5-20 oranında kil eklenmiş ve karışımlar preslendikten sonra 1000-1150 °C aralığında sinterlenmiştir. Çökelti çamurların, tuğla üretiminde kullanılan killerin yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır. 2015 yılında yayınlanmış olan güncel bir çalışmada, Velasco vd. (2015) üzüm bağı atıklarının küllerini tuğla yapımında kullanmışlardır. Atıkların eklenmesi sayesinde, üretilen tuğlaların ısıl iletkenliklerinin %62 oranında azaldığı bulunmuştur. Aynı zamanda bu tuğlaların yeterli dayanıma sahip olduğu belirtilmiştir. Samara vd. (2009) tarafından yapılan ve Fransa’daki nehir yatağı çökeltilerinden tuğla üretimini konu alan bir diğer çalışma, atıkların tuğla üretiminde kullanılabilirliğini gösteren önemli araştırmalardan birisidir. Bu çalışmada, kil ile karıştırılan nehir tabanı çökeltileri, 1000 °C’de sinterlenerek tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Standartların üzerinde değerlere sahip olan tuğlaların elde edildiği çalışma sonucunda, atık çökeltilerin bertaraf edilmesi ve ekonomik olarak kazanca dönüştürülmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Kil tuğlalarda atıkların farklı amaçla kullanımını ele alan bir çalışmada, ahşap tozu ve meyve işleme atıkları halindeki biyokütle atıkların kil tuğlalarda gözenek yapıcı olarak kullanımı araştırılmıştır (Barbieri vd. 2012). Bu çalışmaların sonuçlarından anlaşıldığı gibi, atık malzemeler tuğla yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık malzemelerin ekonomiye kazandırılması ve atıkların bertaraf edilmesinin yanında, bazı durumlarda üretilen tuğlaların özelliklerini geliştirici etki gösterebilmektedirler.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda da, tuğla üretiminde çeşitli atıkların hammadde olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Demir vd. (2005), ambalaj kağıdı üretimi atıklarının, tuğla üretiminde kullanımını incelemiştir. Bu atıkların eklenmesinin, kuru mukavemeti arttırdığı, basma dayanımını düşürdüğü, gözenek oluşumunu arttırdığı belirlenmiştir. Kavas (1999), Kırka Eti bor üretim tesislerinin atık killeri Seydişehir alüminyum fabrikasının atıklarının depolandığı kırmızı çamur barajından temin edilen atık ile karıştırarak tuğla üretimi üzerinde çalışmışlardır. Demir (2005) çalışmasında, işlenmiş atık çay eklemenin, kil tuğlaların durabilite ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Ediz ve Özdağ (1995), Kırka Boraks İşletmesi atık killerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Gencel vd. (2013) çalışmalarında, ferrokrom cürufu ve zeolitin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Üretilen tuğlaların mekanik dayanımlarının 7 MPa'ın üzerinde olduğu ve tuğlaların ısı iletkenliklerinin %42.3 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Zeolit ve cürufun inşaat malzemesi olarak kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sütçü (2015) çalışmasında, genişlemiş vermikülit kullanmış ve ısı iletkenlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Artan vermikülit miktarı ile, ısı iletkenliğin azaldığı fakat dayanımın olumsuz etkilendiği bulunmuştur. Bilgin vd. (2012) çalışmalarında, mermer tozunun tuğla üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Üretilen endüstriyel tuğlalara mermer tozu eklemenin, tuğlaların fiziksel, kimyasal özelliklerinde ve mekanik dayanımında olumlu etkiler yarattığı bulunmuştur. Bayat (1999), kırmızı çamur kullanarak tuğla üretimini incelemiştir. Yıldız (2008) çalışmasında, İç Anadolu yöresinde faaliyet gösteren dört farklı tuğla fabrikası atığının, tuğla üretiminde tekrar kullanılabilirliği araştırılmıştır. 1050 °C'de her grupta %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 ikame oranlarında tuğla üretililebileceği, hem fiziksel hem de mekanik özellikler açısından mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Bilgil vd. (2017) çalışmalarında, %20'ye varan oranlarda yanmamış karbon içeren, Niğde Bor Şeker Fabrikasının taban külünün tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Taban külünün, tuğla üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabileceği ve atığın değerlendirilmesinde iyi bir alternatif olduğu belirlenmiştir. Demir vd. (2014) çalışmalarında, tuğla kiline katkı olarak ilave edilen kırmızı çamurun tuğla örnekler üzerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Pişmiş örnekler üzerinde yapılan deneylerde kırmızı çamur atığının basınç dayanımını artırdığı belirlenmiştir. Kırmızı çamur katkılı örneklerin renkleri katkısızlara göre daha kırmızımsı renk aldığı tespit edilmiştir. Demir ve Orhan (2018) çalışmalarında bor atıklarının tuğla üretiminde değerlendirilmesini araştırmışlardır. Oluşturulan karışımın 900 °C de pişirilmesi ile hafif ve gözenekli yapı blokları üretililebileceği belirlenmiştir. Kavas ve Önce (2018) çalışmalarında, Etibor Kırka Boraks İşletmesi konsantratör atıklarının yapı tuğlası üretiminde (pres tuğla) ergitici (flaks) eleman olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bor atıklarının preslenmiş tuğla numunelerinin pişme sıcaklığını önemli oranda aşağıya çektiği, su emme ve pamuklaşma miktarlarının azalttığı görülmüştür.

Termik santral atığı olan uçucu kül, sektörde üretim sürecinde veya sonrasında yüksek miktarlarda açığa çıkmakta olup, depolanma sorunları ile birlikte suyu ve havayı kirleterek çevreye verdikleri zararlar nedeniyle yeniden değerlendirme yoluna gidilmesi kaçınılmaz bir durum ortaya çıkarmıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı çeşitli sektörlerde kullanım alanı bulmuştur. Son dönemlerde inşaat sektörünün kolu olan tuğla üretiminde kullanılmasıyla ilgili ulusal ve uluslararası birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılmasıyla çatlama, şişme ve çiçeklenme gibi problemleri olmayan, yüksek mukavemetli, düşük büzülme, hafif, ekonomik olan yüksek kaliteli tuğlaların üretilmesi amaçlanmaktadır. Bütün bunlar bilimsel fayda sağlarken, fabrikalarda üretim kalitesini de arttıracak düşünülmemektedir. Tuğla üretiminde bu atığın değerlendirilmesi çevre ve depolama açısından oluşturduğu sorunlara çözüm bulunmuş olacaktır. Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları aşağıda yer almaktadır.

Yüksek ve Kaya (2017) çalışmalarında, Kangal Termik santrali uçucu külü ile alçı ve kirecin değişik oranlarda karışımları ile hafif yapı tuğlası üretimini araştırılmışlardır. %70 alçı, %10 uçucu kül ve %20 oranlarındaki karışımın diğer karışımlara göre daha optimal değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Kızılgut vd. (2001) çalışmalarında, Çatalağzı termik santrali uçucu küllerinden tuğla üretim olanaklarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %30-40 oranında uçucu kül ve tuğla malzemesi karışımı kullanımıyla uygun nitelikte tuğla üretilebileceği ve tuğlalarda meydana gelen kireç kusmasından kaynaklanan beyazlaşmanın uçucu kül kullanımıyla ortadan kalktığı görülmüştür. Bentli vd. (2005) çalışmalarında, Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Yapılan testlerin sonucunda referans tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığını çok az miktarda arttırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmadığı tespit edilmiştir. Uçucu kül ilavesi, üretilen tüm reçete tuğlalarda su emme miktarını referans tuğlaya göre azaltmış, buna karşılık tuğlaların hiçbirinde referans tuğlada elde edilen dayanım değerine ulaşamadığı görülmüştür. Çinçin (2015) yüksek lisans tezinde, linyit yakan termik santral uçucu küllerinden kireç katkısı ile hafif tuğla üretimi üzerine araştırma yapmıştır. Türkiye’de faaliyet göstermekte olan Seyitömer, Soma ve Yatağan Termik Santraller’in uçucu külleri ve sönmüş kireç kullanılmıştır. Testler neticesinde otoklavda yüksek basınçta yapılan tuğla üretim denemelerinde Soma, Yatağan ve Seyitömer uçucu küllerinden yeterli dayanımda büyük boyutta tuğla üretimi mümkün olduğu gözlenmiştir. Buharlı otoklav ile tuğla üretiminde 12 bar basınç ve 6 saatlik kürleme süresinin her tipteki uçucu kül için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Demir vd. (2018) Seyitömer uçucu külünün yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliğinin ön araştırmasını yapmışlardır. Çalışma neticesinde uçucu külün tuğla üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Güler vd. (1993) uçucu küllerden yapılan tuğlaların bazı mekanik ve fizikokimyasal özellikleri üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada yüksek silika içerikli (%65) Texas linyit külleri %0-50 kaolin ve %0-30 oranlarında montmorillonit ile karıştırılıp 35-350 MPa basınç altında preslendikten sonra ortalama 1000 °C’da pişirilmiştir. 200 MPa’nın üzerinde tabakalanma olduğu gözlenmiştir. Bu basıncın altında kalıplanıp pişirilen tuğlaların ASTM C 62-80 standardına göre basınç dayanımı 30-90 MPa olduğu görülmüştür. Standart Amerikan kil tuğlasının basınç dayanımı 20,7 MPa ve özgül ağırlığının 2.27

g/cm³ iken bu tuğlaların özgül ağırlığı 1,4-1,8 g/cm³ olduğu tespit edilmiştir. Söylemez ve Yıldırım (2016) çalışmalarında; Turgutlu (Manisa) yöresinde tuğla ve kiremit yapımında kullanılan bir killi zemin ile Soma Termik Santralinden alınan uçucu külün belirli oranlarda karıştırılmasıyla imal edilen tuğlaların çeşitli özellikleri incelenmiştir. Katkısız killi zeminden oluşturulan tuğlaların pişme sıcaklığına bağlı olarak dayanımlarının 0,73 kPa'dan 5,24 kPa değerine kadar arttığı görülmüştür. Kil-uçucu kül karışımı malzemeden oluşturulan tuğlalarda ise %30 uçucu kül karışımına kadar katkısız zemin ile oluşturulan tuğlalara benzer davranış gözlenirken, uçucu kül miktarının artmasıyla pişme sıcaklığına bağlı tuğlalardaki dayanımında azaldığı görülmüştür. Yüksek vd. (2016), uçucu külün hafif yapı malzemesi yapımında kullanımı üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonunda, hazırlanan uçucu kül katkılı alçı tuğlaların halen inşaat sektöründe kullanılan kil tuğlalara alternatif olarak üretilebileceği ve uçucu külün optimum %10-15 oranında kullanılabileceği kanaatine varılmıştır. Alçı, uçucu kül ve kireç rezervleri bakımından çok zengin olan Sivas bölgesinde endüstriyel bazda hafif tuğla üretimi için ArGe çalışmalarına hız verilmesi gerektiği görülmüştür. Abalı ve Şahin çalışmalarında, Kütahya yöresinde bulunan Tunçbilek termik santrali uçucu kül atıklarının karakterizasyonu belirlenmiş, bu küllere ağırlıkça %30 oranında Söğüt kili katılarak yer karosu masseleri hazırlanmış ve bu karo masselerin fizikomekaniksel analizleri yapılarak, uçucu külün seramik endüstrisinde yer karosu olarak kullanılabilirliği araştırılmışlardır. Kimyasal ve mineralojik analiz sonuçları ile emme, mukavemet ve pişme küçülmesi değerleri göz önüne alındığında, özellikle seramik fabrikalarının her geçen gün artması ve ülkemizde sınırlı olan K-feldspat (ortoklas) rezervinin de ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi ile uçucu kül ortoklasa alternatif bir hammadde olarak kullanılabilecektir. Çiçek ve Tanrıverdi (2004) çalışmalarında termik santraller için büyük bir sorun teşkil eden uçucu küllerin hafif ve ısı yalıtımı yüksek tuğla olarak değerlendirme imkanları araştırılmıştır. Termik santral uçucu küllerinden inşaat sektöründe kullanılabilecek nitelikte tuğlalar üretilebileceği konusunda ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Söylemez vd. (2011) çalışmalarında pişme sıcaklığının tuğlanın bazı fiziksel özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Turgutlu (Manisa) yöresi Ömerli Dere kil ocaklarından alınan kil numuneleri kullanılarak 33 adet tuğla eleman üretilmiştir. Tuğlalar 200 °C den 1200 °C 'ye kadar özel fırınlarda pişirilmiştir ve su emme oranı, ortalama ağırlık kaybı ve basınç dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak pişme sıcaklığının artmasıyla tuğlaların ortalama ağırlık kaybının ve dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı 700 °C'ye kadar arttığı ve bu değerden sonra ise azaldığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri, tuğla karışımlarında kullanılan malzeme oranları ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

3.1. Kullanılan Bileşenler

3.1.1. Kil

Kil, Antalya Elmalı Bayar Tuğla Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Tuğla üretiminde çok iyi performans gösteren bir kildir. Kilin özgül ağırlığı Le Chatelier deneyi ile belirlenmiştir. Su muhtevası plastik limit deneyiyle tespit edilmiştir. Kimyasal kompozisyonu için XRF analizi, mineralojik yapısı XRD analizi, yüzey alanı ölçümü için BET (yüzey karakterizasyonu) analizi, tane boyutunu belirlemek için lazer difraksiyon analizi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Antalya Elmalı kili

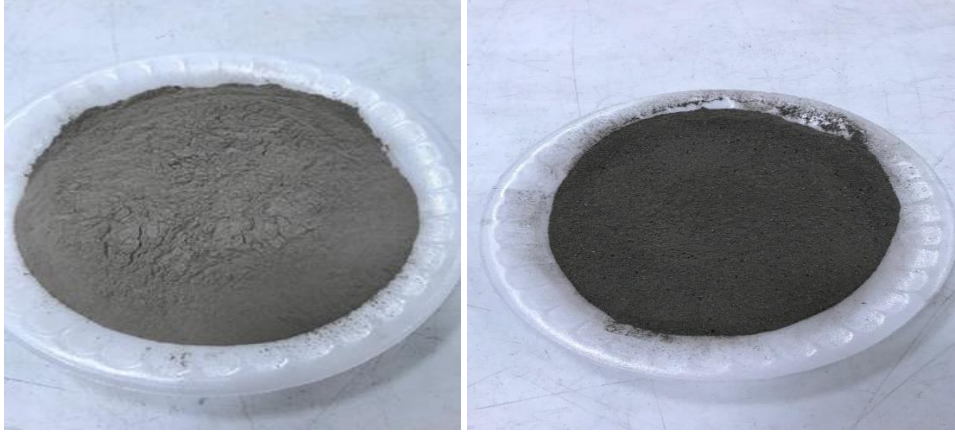
3.1.2. Karışım suyu

Karışım suyu için, Antalya içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır.

3.1.3. Uçucu küller

Karışımında iki çeşit uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu küllerden biri, Çelikler Seyitömer Termik Santrali'nden, diğeri ise Çayırhan Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Uçucu küllerin özgül ağırlığı Le Chatelier deneyi ile belirlenmiştir. Kimyasal kompozisyonları için XRF analizi, mineralojik yapıları XRD analizi, yüzey alanı ölçümleri için BET (yüzey karakterizasyonu) analizi, tane boyutlarını belirlemek için lazer difraksiyon analizi yapılmıştır.

Literatürde yapılmış çalışmalardan farklı olarak performans yönünden çok iyi özellik gösteren kille, iki farklı uçucu külün tuğla özelliklerine etkileri ve kullanılabilirliği araştırılmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.2. a) Çayırhan uçucu külü; b) Seyitömer uçucu külü

3.2. Bileşenlerin Karakterizasyonu

3.2.1. Kimyasal analizler

Bileşenlerin (kil, Seyitömer uçucu külü, Çayırhan uçucu külü) elementel kompozisyonunu belirlemek için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsüne X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi yaptırılmıştır. X-ışınları Floresans Spektrometresi ile Si, Al, Ti, Mn, Mg ... gibi ana element oksitleri yüzde (%) ağırlık cinsinden (MnO, MgO ...), Rb, Ba, Sr ... gibi eser elementleri, Cr, Ni, Co, Cu ve Zn gibi geçiş elementlerini, La, Ce, Pr, Nd ... gibi nadir toprak elementlerinin ppm düzeyinde analiz ettirilmiştir. XRF analiz sonuçlarına göre uçucu küller ASTM C 618 standardı baz alınarak değerlendirilip, hangi sınıfa dahil oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca kilin de elementel kompozisyonu değerlendirilmiştir.

3.2.2. Mineralojik analizler

Bileşenlerin (kil, Seyitömer uçucu külü, Çayırhan uçucu külü) mineralojik yapısını belirlemek için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsüne XRD (X-Ray Diffraction) yaptırılmıştır. X-ışınları Kırınımı, XRD (X-Ray Diffraction) x-ışınları tarafından oluşturulan kırınım deseninden atomik düzeyde bilgi edinmek için kullanılmıştır. Analiz neticesinde bileşenlerin içerdiği fazlar ve bu fazların konsantrasyonu, kristal olmayan fazların miktarı ve kristal boyutu hakkında bilgi edinilmiştir.

3.2.3. Yüzey karakterizasyon analizi

Kil ve uçucu küllerin yüzey karakterizasyon ölçümleri (BET analizi) ODTÜ Merkez Laboratuvar'ına yaptırılmıştır. Yüzey karakterizasyonu (BET) analizi çok noktalı olarak yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre çok noktalı BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi tespit edilmiştir.

3.2.4. Lazer difraksiyon analizi

Su hariç diğer bileşenlerine lazer difraksiyon analizi ODTÜ Merkez Laboratuvar'ına yaptırılmıştır. Numunelere lazer difraksiyon analizi kuru olarak yapılmıştır. Oluşturulan numunelerin mukavemet değerleri bu analize göre yorumlanmıştır.

Bileşen karakterizasyon analizleri için numuneler toz halinde ve 50 g olacak şekilde laboratuvarlara gönderilmiştir. Bileşenlerin karakterizasyon sonuçları 4. Bölüm Bulgular kısmında verilmiştir.

3.3. Bileşenlerin Fiziksel Özellikleri

Bileşenlerin özgül ağırlıkları Le Chatelier deneyi ile belirlenmiştir. Suyun özgül ağırlığı 1 g/cm^3 kabul edilmiştir. Her bir bileşen için deney hata payını azaltmak için en az 3 kere tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Deney, Le Chatelier balonuyla yapılmıştır. Bileşenler 40-60 g arası ve sıvı olarak tiner (topaklanma olmaması için) kullanılmıştır. Le Chatelier balonuna tiner dökünerek ilk okuma değeri alınmıştır. Daha sonra bileşen dökülüp ikinci okuma alınmıştır. Bileşen balona dökülürken dikkat edilmeli, bileşenin tamamının balona döküldüğünden ve topaklanma olmadığından emin olunmalıdır. Aksi taktirde hesaplama hataları oluşabilir. Deney sonunda gerekli hesaplamalar yapılmış ve özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları bulgular bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.3. Le Chatelier balonu

3.4. Numunelerin Hazırlanışı ve Deneyleri

Karışımlar 20 mm çapında silindir kalıp ve köşeleri oval prizma kalıp için hesaplanarak hazırlanmıştır. Hesaplamalar tek bir silindir ve tek bir prizma için yapılmıştır. Karışımlar tasarlanırken bazı yüzdelerde toplam kütlede (kil +uçucu kül+ su) azaltma yoluna gidilmiştir. Nedeni uçucu kül miktarı arttıkça silindir ve prizma kalıplara karışımın tamamının sığdırılamamasıdır. Örneğin; %10 Ç için toplam kütle (kil+ uçucu

kül+ su) 15,5 g, %60 Ç için toplam kütle (kil +uçucu kül) 14,5 g, %10 S için toplam kütle (kil +uçucu kül) 14,5 g, %60 S için toplam kütle 11,5 g'dır. Karışımların yüzde ve kütleleri Çizelge 3.1'de ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çayırhan uçucu küllü karışımların yüzde ve kütleleri (1 set)

% Kil	% Çayırhan uçucu küllü	Kil (g)	Uçucu kül (g)	Su (g)
100	0	18,00	0	0,5
90	10	13,50	1,50	0,5
80	20	12,00	3,00	0,5
70	30	10,50	4,50	0,5
60	40	8,40	5,60	0,5
50	50	7,00	7,00	0,5
40	60	5,60	8,40	0,5

Çizelge 3.2. Seyitömer uçucu küllü karışımların yüzde ve kütleleri (1 set)

% Kil	% Seyitömer uçucu küllü	Kil (g)	Uçucu kül (g)	Su (g)
100	0	18,00	0	0,50
90	10	12,60	1,40	0,50
80	20	11,20	2,80	0,50
70	30	9,10	3,90	0,50
60	40	7,20	4,80	0,50
50	50	6,00	6,00	0,50
40	60	4,40	6,60	0,50

Karışıma konulacak kil elenerek uygun tane boyutuna getirilmiştir. Uçucu killer ince tane boyutuna sahip olduğundan eleme işlemi yapılmamıştır. Karışıma konulacak bileşenlerin kütleleri hassas terazide tartılarak karıştırmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.4a). Karıştırma ve öğütülme işlemi çelik havanda yapılmıştır. Çelik havanın içinde ilk

olarak kuru numuneler karıştırılmış ve daha sonra su ilave edilerek karıştırılıp, havan topuzuyla öğütülmüştür (Şekil 3.4b). Kalıplar yağlanarak karışım kalıplanmıştır (Şekil 3.5). Kalıplanan numune 110 bar basınçla preslenmiş ve kalıptan çıkarılmıştır (Şekil 3.6).



(a)



(b)

Şekil 3.4. a) Bileşenlerin tartılması; b) Bileşenlerin karıştırılması ve öğütülmesi



Şekil 3.5. Kalıpların yağlanması



Şekil 3.6. Presleme işlemi

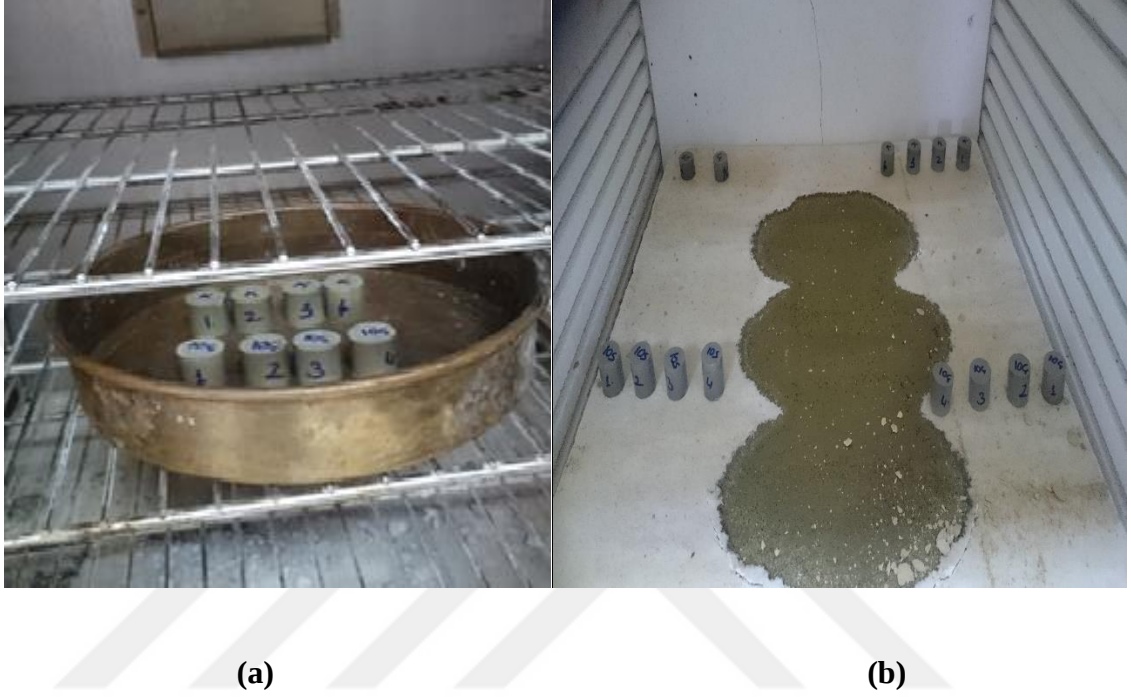
Silindir numunelere basınç dayanım testi uygulanacağından numune boylarının 20 mm altında kalmaması için uygun kütle ve basma miktarı deneme karışımlarında tespit edilmiştir (Narinlik etkisine maruz kalmaması için). Bu sebepten dolayı kalıptan çıkarılan her silindir numunenin boy ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.7). Ölçülen plastik uzunluk kuruma büzülmesi hesabı içinde kullanılmıştır. Prizma numuneler bu işleme tabi tutulmamıştır. Boy ölçümleri dijital kumpasla yapılmıştır.



Şekil 3.7. Dijital kumpasla boy ölçülmesi

Boy ölçümleri yapılan silindir numuneler 2 saat 80 °C'de etüvde kurutulmuştur (Şekil 3.8a). Kurutulan numunelerin kuruma büzülmesi değerleri için etüv kurusu boy ölçümü dijital kumpasla ölçülmüştür. Kızdırma kaybı hesabı için etüv kurusu ağırlığı

hassas terazide tartılmıştır. Numuneler 30 dk süreyle 850, 950, 1050 °C’de sinterlenmiştir (Şekil 3.8b). Her sıcaklık değeri için numune üretimi tekrarlanmıştır. Sinterlenen numunelerin kuruma büzülmesi ölçümü için dijital kumpasla boyları ölçülmüştür. Kızdırma kaybı hesabı için ağırlığı hassas terazide tartılmıştır. Plastik büzülme, sinterleme büzülmesi, kızdırma kaybı formüllere göre hesaplanmıştır (Formül 3.1, 3.2, 3.3).



Şekil 3.8. a) Numunelerin etüvde kurutulması; **b)** Numunelerin fırında sinterlenmesi

$$\% \text{ Kuruma Büzülmesi} = ((\text{Plastik Uzunluk} - \text{Kuru Uzunluk}) / \text{Plastik Uzunluk}) * 100$$

(3.1)

$$\% \text{ Sinterleme Büzülmesi} = ((\text{Kuru Uzunluk} - \text{Sinterlenmiş Uzunluk}) / \text{Kuru Uzunluk}) * 100$$

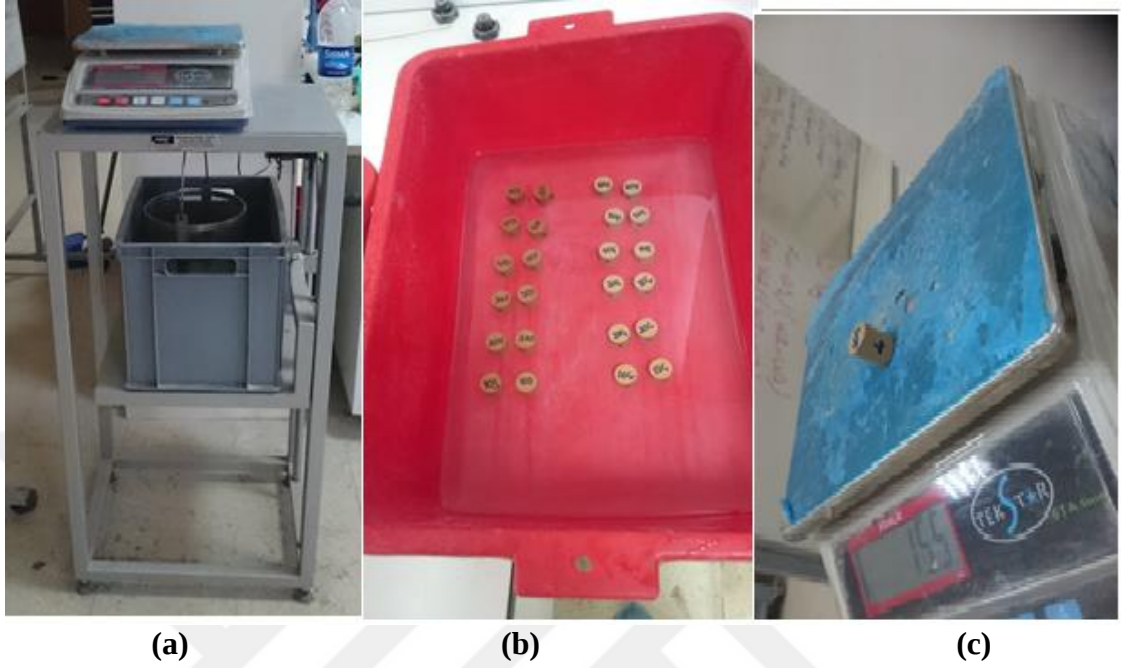
(3.2)

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı} = ((\text{Kuru Uzunluk} - \text{Sinterlenmiş Uzunluk}) / \text{Kuru Uzunluk}) * 100$$

(3.3)

Silindir numuneler birim ağırlık, su emme, boşluk oranı deneyleri için Arşimet terazisinde hava tartılmıştır. Daha sonra Arşimet terazisinde suda tartılmıştır. Tartılan numuneler 24 saat suda bekletilmiştir. 24 saatin sonunda numuneler kurularak Arşimet

terazisinde tekrar tartılmıştır (Şekil 3.9a,b,c). Gerekli veriler toplanmış ve kuru birim ağırlık, görünür ağırlık, görünür boşluk oranı, su emme hesaplaması yapılmıştır (Formül 3.4, 3.5, 3.6, 3.7).



Şekil 3.9. a) Arşimet terazisi; b) Numunelerin suda bekletilmesi; c) Numunelerin tartılması

$$A=W_1/(W_2-W_3) \quad (3.4)$$

$$B=W_1/(W_1-W_3) \quad (3.5)$$

$$C=((W_2-W_1)/(W_2-W_3))*100 \quad (3.6)$$

$$D=((W_2-W_1)/W_1)*100 \quad (3.7)$$

A= Kuru birim ağırlık

B=Görünür birim ağırlık

C=Görünür boşluk oranı (%)

D=Ağırlıkça su emme oranı (%)

W_1 = Sertleşmiş numunenin etüv kuru ağırlığı (g)

W_2 = Sertleşmiş numunenin suya doymuş kuru yüzey ağırlığı (g)

W_3 = Sertleşmiş numunenin su içindeki ağırlığı (g)

Birim ağırlık deneyi uygulanan numunelere kılcal geçirimlilik deneyi yapılmıştır. Silindir numuneler 4 saat 100 °C’de kurutulmuştur. Numuneler mumlanarak hassas terazide tartılmıştır. Mumlanan numuneler 1 saat suda bekletilmiştir. Kurulanan numuneler hassas terazide tartılmıştır (Şekil 3.10). Kılcal geçirimlilik formüle göre hesaplanmıştır (Formül 3.8).

$$K=Q/(A\cdot t) \quad (3.8)$$

K= Kılcallık katsayısı (cm/sn)

Q= Tabandan çekilen su miktarı (cm³)

A= Taban alanı (cm²)

t= Zaman (sn)



Şekil 3.10. Kılcal geçirimlilik için suda bekletme işlemi

Birim ağırlık ve kılcal geçirimlilik yapılmayan 2 silindir numuneye renk ölçümü yapılmıştır. Adlandırma yapılan kısımlarda mavi renkli asetatlı kalem kullanıldığından diğer taraflarına renk ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.11).

$$E=L-a-b \quad (3.9)$$

E= Toplam renk farkı değeri

L= Açıklık koordinatı

a= Kırmızı / Yeşil koordinatı

b= Sarı / Mavi koordinatı



Şekil 3.11. Renk ölçümü



Şekil 3.12. Hazırlanan numuneler



Şekil 3.13. Basınç ve eğilme dayanım deneyleri

Üretilen numunelere XRF, TG-DTA, SEM-EDAX analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçları bulgular ve tartışma bölümünde bulunmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kullanılan Bileşenlerin Karakterizasyon ve Fiziksel Test Sonuçları

Bileşenlere uygulanan kimyasal analiz, mineralojik analiz, yüzey karakterizasyon analizi, lazer difraksiyon analizi, özgül ağırlık deney sonuçları bu bölümde verilmiştir ve tartışılmıştır.

4.1.1. Kimyasal analiz sonuçları

Karışımında kullanılan kil, su, Seyitömer uçucu külü, Çayırhan uçucu külünün XRF analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan kilin kimyasal kompozisyonu (XRF)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	0,57	8,12	15,04	34,13	0,35	0,08	2,13
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	27,95	0,70	0,11	0,13	10,11	0,13	0,16

Kil, kimyasal olarak yüksek oranda CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃ oksitlerden ve düşük oranda K₂O, Na₂O, P₂O₅ diğer oksitlerden oluşmaktadır. Al₂O₃ değeri %20'den düşük olduğundan kumlu kil sınıfına girer. Sunay (1997) tez çalışmasında, Fe₂O₃ oranının ince seramiklerde %1'in, diğer killerde %3'ün altında olması gerektiğini, aksi takdirde pişme rengini ve ateşe dayanıklılığını etkileyeceğini söylemiştir. Fakat başka bir kaynak da en fazla %10 olması gerektiği, aksi takdirde seramik malzemede şişme, çatlama, çiçeklenme, ateşe dayanıksızlık ve boya akması gibi sorunlara neden olduğu vurgulanmıştır (Sunay 1997). Elmalı kilinin Fe₂O₃ oranının %10,11 olduğu tespit edilmiştir. Kilin yapısındaki yüksek oranda SiO₂ olması, bünyesinde serbest kuvars olduğunu gösterir. Kuruma ve pişme küçülmesini azaltır. Seramik yapılarda iskelet görevini yapar ve deformasyonu önler. Asitlere dayanıklılığı artırır (Çalışkan 2018). Killer plastik olan ve plastik olmayan kil olarak ikiye ayrılır. Kullanılan kil, plastik kil sınıfına girmektedir. Plastik olan killer kaonilit ve montmorillonit kil minerali sınıfına girmektedir. Kullanılan kilin plastik limit değeri %30,82 olarak bulunmuştur. Plastik killer ateşe dayanıklı killerdir. Killerin renkleri beyaz, sarı, koyu pembe, sarımtırak yeşil, kahverengi olabilir (Sunay 1997). Killerin renkleri yapılarındaki demiroksit ve organik madde miktarına bağlı olarak farklılık gösterir (Karaman 2006). Kullanılan kil, gri renktedir.

Çizelge 4.2. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün kimyasal kompozisyonu (XRF)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	0,66	3,65	24,89	51,04	0,08	0,32	2,31
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	3,12	0,90	0,10	0,12	11,79	0,23	0,11

Seyitömer uçucu külünde CaO miktarı %10'dan küçük olduğundan ve SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ yüzdesi %70'den büyük olduğundan ASTM C 618 Amerikan standardına göre F sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. TS EN 197-1 Türk standardına göre de reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olduğundan V (silissi) sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. Aktivitesine göre Seyitömer uçucu külü CaO <%3,5 olduğundan çok düşük aktiviteli küller sınıfına girmektedir. Seyitömer uçucu külünün ASTM C 618 Amerikan standardına göre F sınıfı uçucu kül sınıfına girdiğini birçok çalışmada tespit etmiştir (Çinçin 2015; Bentli vd. 2005; Demir 2005).

Çizelge 4.3. Kullanılan Çayırhan uçucu külünün kimyasal kompozisyonu (XRF)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	9,18	8,29	13,11	34,90	0,72	2,81	2,68
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	21,93	0,51	<0,00074	0,08	5,43	0,04	0,09

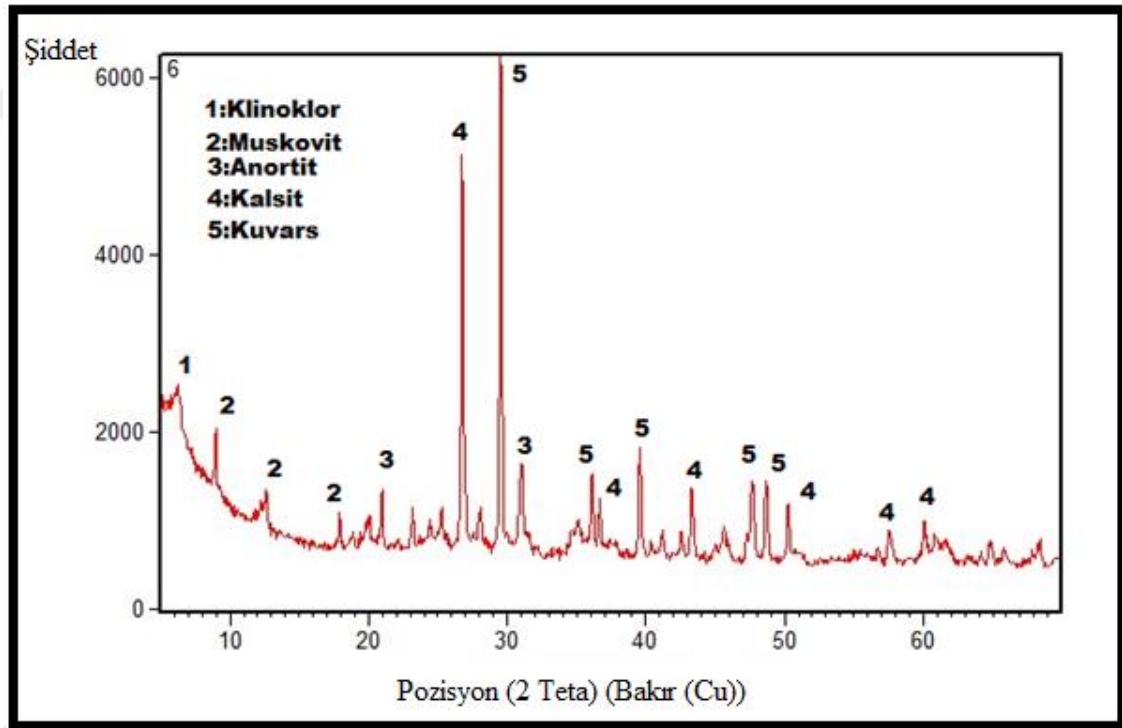
Çayırhan uçucu külünde CaO miktarı %10'dan büyük ve SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ yüzdesi %50'den fazla olduğundan ASTM C 618 Amerikan standardına göre C sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. TS EN 197-1 Türk standardına göre de reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan fazla, reaktif silis miktarının %25'den fazla olduğundan W (kalkersi) sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. Aktivitesine göre Çayırhan uçucu külü CaO > %14 olduğundan çok aktif küller sınıfına girmektedir. Topçu ve Canbaz (2001) çalışmalarında, Çayırhan uçucu külünün ASTM C 618 Amerikan standardına göre F sınıfı uçucu kül sınıfına girdiğini tespit etmişlerdir. Uçucu kül bölgeden bölgeye, hatta aynı santralde bile farklılık gösterebilir. Bu farklılıkların başlıcaları; kömürün türü ve değişkenliği, kömürün yakılmadan önceki öğütülme türü, kazan yakma türü ve sıcaklığı sayılabilir (Güler vd. 2005; Görhan vd. 2009).

Çizelge 4.4. Kullanılan suyun kalite raporu Ağustos 2017 ASAT su verileri (Anonim 5)

pH	İletkenlik µS/cm	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	K mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	PO ₄ mg/l	Sertlik Fr
7,18	617	21,77	22,05	15,70	85,54	2,26	10,67	<0,01	<0,03	27,84

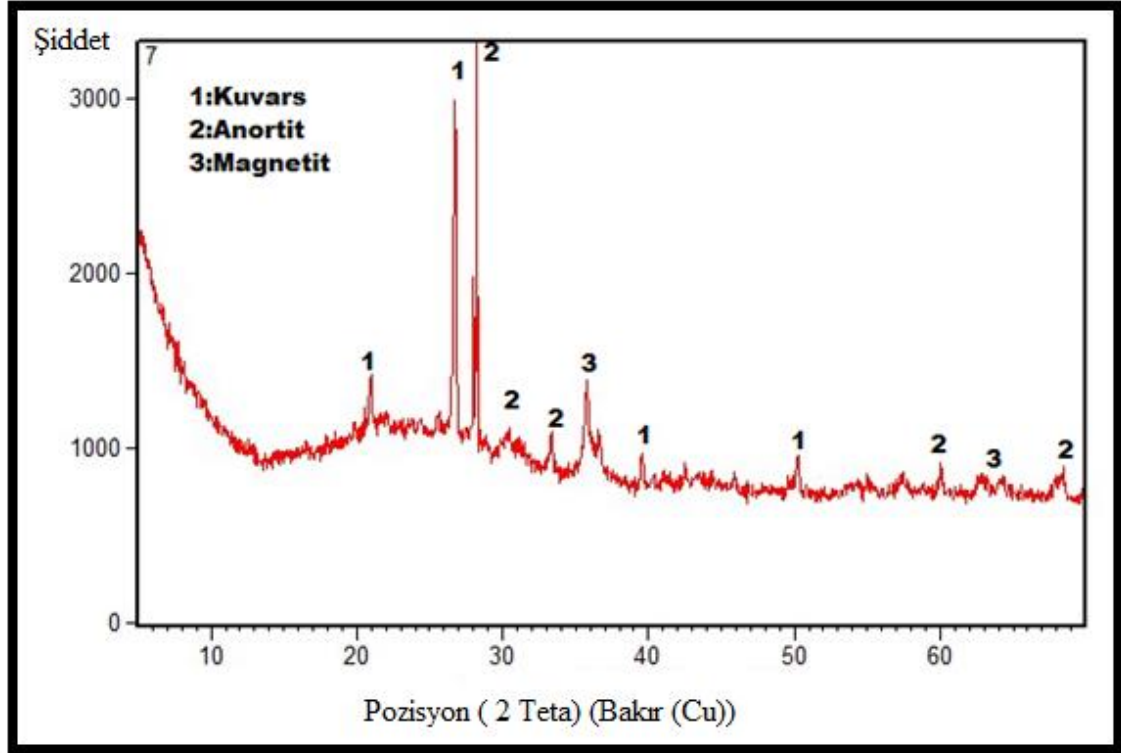
4.1.2. Mineralojik analiz sonuçları

Karışımında kullanılan kil, Seyitömer uçucu külü, Çayırhan uçucu külünün XRD analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

**Şekil 4.1.** Kullanılan kilin XRD grafiği

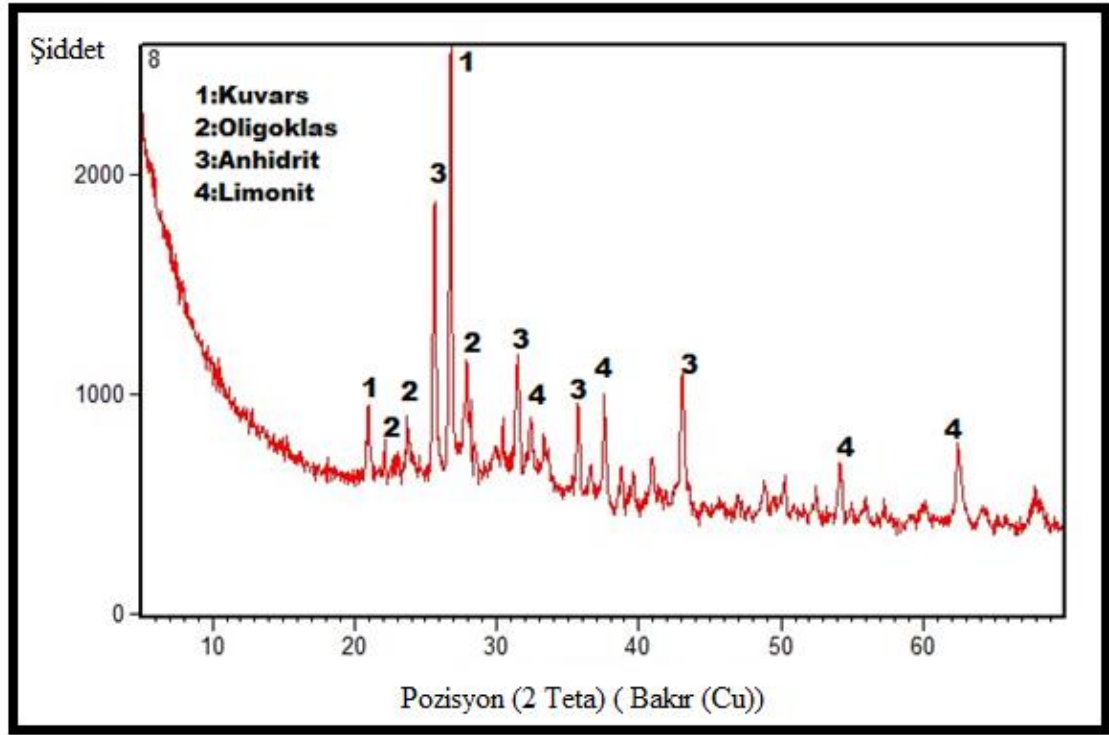
Elmalı kilinde XRD analizine göre kilin yapısında; kuvars, kalsit, anortit, muskovit ve klinoklor mineralleri bulunmaktadır. Tüm kil çeşitlerinde baskın olan mineral türü kuvarstır. Muskovit minerali ise kil türünü belirleyen bir mineraldir. Buna göre kil, mika grubuna ait bir kil mineralidir. Mika, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip levhamsı, kompleks bileşimli hidro alüminyum silikat minerallerine verilen addır. Mika gurubu mineralleri arasında endüstriyel öneme sahip ana mineral muskovittir (Görhan 2011). Görhan (2011) doktora tezi araştırmasında kullandığı kilin XRD analizinde kalsit, anortit, muskovit, klinoklar minerallerini tespit etmiştir. Fakat Demir vd. (2018) çalışmalarında tuğla kilinin mineralojik yapısının başlıca kuvarstan oluştuğunu ve montmorillonit, klinoklar ve illit gibi kil mineralleri ile birlikte muskovit minerali içerdiğini, Pekdemir ve Bayram (2018) çalışmalarında kullandıkları kilin XRD analizinde filosilikat, illit, kaolinit, kuvars, kalsit tespit etmişleridir. Çalışmalarda farklı minerallerin

varlığı göze çarpmaktadır. Bu farklılıkların nedeni killerin farklı bölgelerden temin edilmesidir.



Şekil 4.2. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün XRD grafiği

Seyitömer uçucu külünde XRD analizi ile kuvars, magnetit, anortit mineral fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Şayet başka çalışmalarda farklı mineral türlerine de rastlanmıştır. Seyitömer uçucu külünün XRD analizinde; Türkmenoğlu vd. (2014) çalışmalarında illit, anortit, kuvars, hematit, anhidrit mineral fazlarından oluştuğunu, Demir vd. (2018) çalışmalarında kuvars, anhidrit, hematit, magnetit, anortit ve tridimit mineral fazlarından oluştuğunu, Demir (2005) çalışmasında kuvars, mullit, hematit, albit mineraller fazlarından oluştuğunu, Dorum vd. (2010) araştırmalarında mullit, kuvars, hematit mineraller fazlarından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Seyitömer uçucu külünün yapısındaki mineral fazlarının farklılıkları santralde kullanılan kömürün çeşidi ve üretim proseslerindeki değişikliklerle açıklanabilir.



Şekil 4.3. Kullanılan Çayırhan uçucu külünün XRD grafiği

Çayırhan uçucu külünde XRD analizi ile kuvars, limonit, anhidrit, Oligoklas mineral fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Baskın mineral fazı kuvarstır. Çayırhan uçucu külünün XRD analizinde, Türker vd. (2009) çalışmalarında feldspatlar, kuvars, hematit, anhidrit ve mullitten meydana geldiğini, Lkhagva (2006) tez çalışmasında Çayırhan uçucu külünün XRD analizinde kuvars, manyezoferrit meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

4.1.3. Yüzey karakterizasyon analizi sonuçları

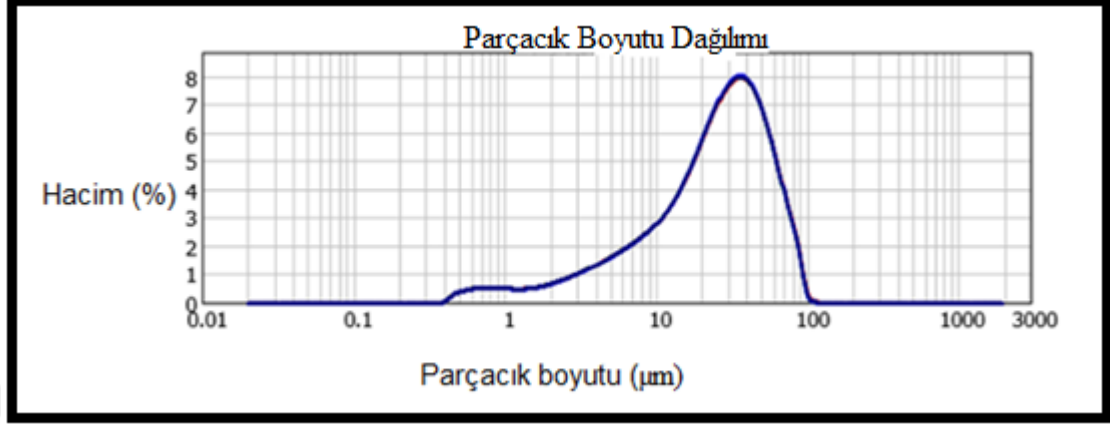
Kile, Seyitömer uçucu külüne, Çayırhan uçucu külüne ait BET ile yapılan yüzey alanı sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Tüm bileşenlerin yüzey alanları

Numune	Yüzey alanı (m ² /g)
Kil	0,705
Seyitömer uçucu külü	0,141
Çayırhan uçucu külü	0,334

4.1.4. Lazer difraksiyon analizi sonuçları

Kile, Seyitömer uçucu külüne ve Çayırhan uçucu külüne ait lazer difraksiyon analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.

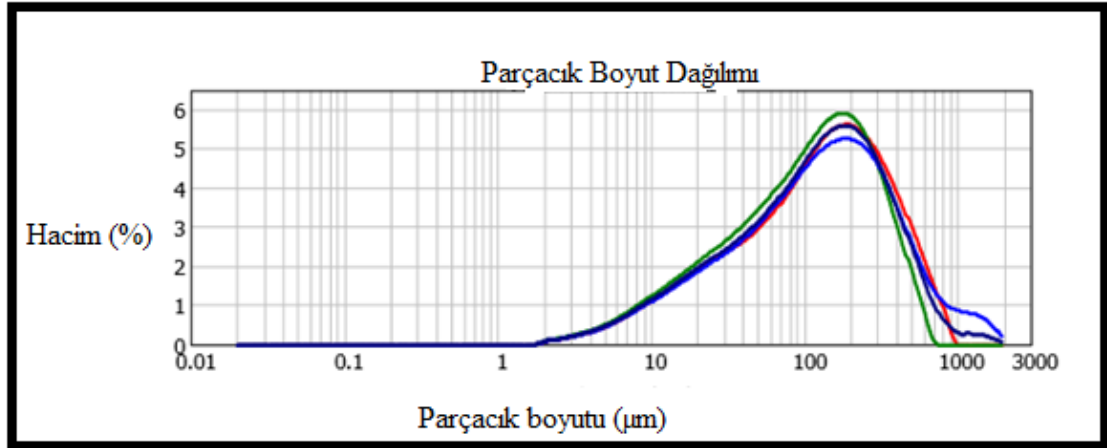


Şekil 4.4. Kullanılan kilin lazer difraksiyon grafiği

Elmalı kilinin lazer tane boyutu analizleri Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmış ve kilin d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri Çizelge 4.6'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kile ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri

Numune	$d_{10}(\mu\text{m})$	$d_{50}(\mu\text{m})$	$d_{90}(\mu\text{m})$
Kil	4,363	26,061	56,976



Şekil 4.5. Kullanılan Seyitömer uçucu külünün lazer difraksiyon grafiği

Seyitömer uçucu külünün lazer tane boyutu analizleri Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmış ve uçucu külün d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

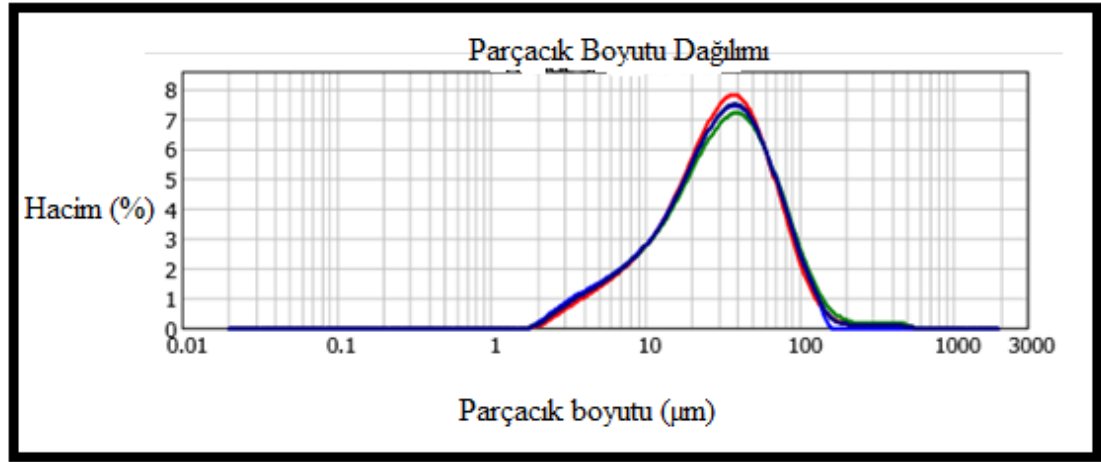
Çizelge 4.7. Seyitömer uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri

Numune	$d_{10}(\mu\text{m})$	$d_{50}(\mu\text{m})$	$d_{90}(\mu\text{m})$
Seyitömer uçucu külü	17,229	120,664	408,079

Görhan (2014) çalışmasında, Seyitömer uçucu külünün d_{10} , d_{50} , d_{90} değerlerini Çizelge 4.8'deki bulmuştur.

Çizelge 4.8. Seyitömer uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri (Görhan 2014)

Numune	$d_{10}(\mu\text{m})$	$d_{50}(\mu\text{m})$	$d_{90}(\mu\text{m})$
Seyitömer uçucu külü	8,103	32,829	92,778

**Şekil 4.6.** Kullanılan Çayırhan uçucu külünün lazer difraksiyon grafiği

Çayırhan uçucu külünün lazer tane boyutu analizleri Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmış ve uçucu külün d_{10} , d_{50} , d_{90} değerleri Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çayırhan uçucu külünün ait d_{10} , d_{50} ve d_{90} değerleri

Numune	$d_{10}(\mu\text{m})$	$d_{50}(\mu\text{m})$	$d_{90}(\mu\text{m})$
Çayırhan uçucu külü	7,851	30,955	78,667

4.1.5. Bileşenlerin fiziksel özellikleri

Kilin, Seyitömer uçucu külünün, Çayırhan uçucu külünün özgül ağırlıkları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Bileşenlerin özgül ağırlıkları

Bileşen	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Kil	2,56
Seyitömer Uçucu Külü	1,79
Çayırhan Uçucu Külü	2,60
Su	1,00

Seyitömer uçucu külünün özgül ağırlığı 1,79 g /cm³ olarak bulunmuştur. Çin'in (2015) çalışmasında Seyitömer uçucu külünün özgül ağırlığını 2,19 g /cm³ olarak bulmuştur. Çayırhan uçucu külünün özgül ağırlığı 2,60 g /cm³ olarak bulunmuştur. Tuygun (2002) tez çalışmasında, Çayırhan uçucu külünün özgül ağırlığını 2,10 g /cm³ olarak bulmuştur. Bu farklılıkların nedeni, kömürün türü ve değişkenliği, kömürün yakılmadan önceki öğütülme türü, kazan yakma türü ve sıcaklığı vb. nedenlerdir.

4.2. Üretilen Numunelerin Test Sonuçları

Üretilen numunelere uygulanan kuruma büzülmesi, sinterleme büzülmesi, kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, ağırlıkça su emme, görünür boşluk oranı, kızdırma kaybı, kılcal geçirimsizlik, renk ölçümü, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, XRF, TG-DTA, SEM-EDAX analiz sonuçları bu bölümde verilmiş ve tartışılmıştır.

4.2.1. Kuruma büzülme ve sinterleme büzülmesi sonuçları

%100 kil numunelerin, Seyitömer uçucu küllü numunelerin (%10, 20, 30, 40, 50, 60), Çayırhan uçucu küllü numunelerin (%10, 20, 30, 40, 50, 60) plastik uzunlukları, kuru uzunlukları, sinterlenmiş uzunlukları ölçülmüştür. Ölçümlerin sonunda gerekli hesaplamalar yapılmış ve kuruma büzülmeleri ve sinterleme büzülmeleri bulunmuştur. Her sıcaklık değeri (850, 950, 1050 °C) için ayrı ölçüm ve hesaplama yapılmıştır. Her yüzde için birden fazla numune üretildiğinden büzülme değerlerinin ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 4.11. Kil numunelerin uzunlukları (850 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
K ₁ N	24,65	24,59	24,59
K ₃ K	25,36	25,20	25,19

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.11'in devamı.

K ₄ K	24,86	24,62	24,62
------------------	-------	-------	-------

Çizelge 4.12. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (850 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10S ₁ N	20,96	20,85	20,73
10S ₂ N	20,99	20,85	20,78
10S ₃ K	20,81	20,69	20,62
10S ₄ K	21,21	21,10	21,06
20S ₁ N	22,20	22,17	22,17
20S ₂ N	22,09	22,05	22,06
20S ₃ K	23,11	23,01	23,03
20S ₄ K	22,50	22,33	22,25
30S ₁ N	22,64	22,61	22,60
30S ₂ N	22,08	22,04	21,95
30S ₃ K	22,49	22,41	22,16
30S ₄ K	22,42	22,31	22,28
40S ₁ N	22,16	21,95	21,92
40S ₂ N	21,60	21,35	21,23
40S ₃ K	21,79	21,65	21,51
40S ₄ K	21,89	21,77	21,63
50S ₁ N	23,02	22,97	22,74
50S ₂ N	23,18	23,03	22,99

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.12' nin devamı.

50S ₃ K	23,66	23,47	23,39
50S ₄ K	22,91	22,73	22,71
60S ₁ N	22,19	22,09	22,08
60S ₂ N	22,35	22,30	22,28
60S ₃ K	22,54	22,42	22,41
60S ₄ K	22,47	22,40	22,38

Çizelge 4.13. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (850 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10Ç ₁ N	21,09	20,85	20,85
10Ç ₂ N	21,83	21,57	21,57
10Ç ₃ K	21,13	20,93	20,90
10Ç ₄ K	21,57	21,31	21,34
20Ç ₁ N	21,77	21,54	21,54
20Ç ₂ N	22,29	21,97	21,92
20Ç ₃ K	22,17	21,88	21,84
20Ç ₄ K	21,70	21,49	21,40
30Ç ₁ N	22,42	22,24	22,12
30Ç ₂ N	21,62	21,46	21,33
30Ç ₃ K	22,07	21,87	21,87
30Ç ₄ K	22,00	21,76	21,64
40Ç ₁ N	21,20	20,95	20,90
40Ç ₂ N	21,19	21,09	21,08

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.13'ün devamı.

40Ç ₃ K	21,14	21,01	20,98
40Ç ₄ K	21,28	21,15	21,11
50Ç ₁ N	21,93	21,62	21,60
50Ç ₂ N	22,15	21,97	21,84
50Ç ₃ K	21,68	21,53	21,41
50Ç ₄ K	22,05	21,87	21,80
60Ç ₁ N	22,14	21,99	21,93
60Ç ₂ N	22,28	22,13	22,02
60Ç ₃ K	22,40	22,25	22,13
60Ç ₄ K	22,25	22,17	22,09

Çizelge 4.14. Tüm numunelerin büzülme değerleri (850 °C)

Numune	Kuruma Büzülmesi Ort. (%)	Sinterleme Büzülmesi Ort. (%)
KN	0,613	0,013
10SN	0,572	0,360
20SN	0,376	0,056
30SN	0,290	0,426
40SN	0,824	0,497
50SN	0,613	0,401
60SN	0,380	0,067
10ÇN	1,120	0,001
20ÇN	1,192	0,207
30ÇN	0,885	0,424
40ÇN	0,719	0,154

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.14'ün devamı.

50ÇN	0,934	0,390
60ÇN	0,595	0,418

Çizelge 4.15. Kil numunelerin uzunlukları (950 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
K ₁ K	24,52	23,43	24,55
K ₂ K	25,93	25,88	26,02
K ₃ N	25,06	24,77	24,89
K ₄ N	25,30	25,18	25,42

Çizelge 4.16. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (950 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10S ₁ N	21,34	21,58	21,59
10S ₂ N	20,52	20,68	20,72
10S ₃ K	20,62	20,85	20,90
10S ₄ K	21,01	21,24	21,25
20S ₁ N	22,02	22,19	22,23
20S ₂ N	22,56	22,83	22,70
20S ₃ K	22,25	22,48	22,48
20S ₄ K	22,21	22,41	22,41
30S ₁ N	22,20	22,06	22,06
30S ₂ N	22,07	21,74	21,63
30S ₃ K	22,33	22,22	22,23

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.16'nın devamı.

30S ₄ K	22,64	22,51	22,47
40S ₁ N	21,67	21,62	21,62
40S ₂ N	22,57	22,42	22,35
40S ₃ K	21,42	21,35	22,29
40S ₄ K	21,83	21,71	21,59
50S ₁ N	24,21	24,15	24,07
50S ₂ N	23,66	23,44	23,37
50S ₃ K	24,23	24,06	23,93
50S ₄ K	23,60	23,47	23,40
60S ₁ N	22,41	22,37	22,17

Çizelge 4.17. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (950 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10Ç ₁ N	21,44	21,39	21,43
10Ç ₂ N	21,25	21,17	21,24
10Ç ₃ K	21,91	21,81	21,99
10Ç ₄ K	21,13	21,07	21,11
20Ç ₁ N	21,30	21,26	21,30
20Ç ₂ N	22,26	22,24	22,30
20Ç ₃ K	21,17	21,10	21,23
20Ç ₄ K	21,64	21,59	21,62
30Ç ₁ N	22,64	22,44	22,59
30Ç ₂ N	22,74	22,62	22,67

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.17' nin devamı.

30Ç ₃ K	21,99	21,95	22,06
30Ç ₄ K	22,18	22,07	22,11
40Ç ₁ N	21,32	21,24	21,24
40Ç ₂ N	20,49	20,41	20,43
40Ç ₃ K	22,24	22,09	22,15
40Ç ₄ K	21,19	21,13	21,16
50Ç ₁ N	23,23	23,08	23,13
50Ç ₂ N	21,6	21,44	21,54
50Ç ₃ K	21,75	21,59	21,69
50Ç ₄ K	21,58	21,46	21,48
60Ç ₁ N	22,75	22,57	22,67
60Ç ₂ N	22,10	22,03	22,04
60Ç ₃ K	21,88	21,79	21,84

Çizelge 4.18. Tüm numunelerin büzülme değerleri (950 °C)

Numune	Kuruma Büzülmesi Ort. (%)	Sinterleme Büzülmesi Ort. (%)
KN	1,567	-1,690
10SN	-1,029	-0,132
20SN	-0,976	0,097
30SN	0,798	0,160
40SN	0,443	-0,884
50SN	0,608	0,367
60SN	0,358	0,698
10ÇN	0,338	-0,383

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.18'in devamı.

20ÇN	0,210	-0,303
30ÇN	0,522	-0,393
40ÇN	0,431	-0,128
50ÇN	0,670	-0,310
60ÇN	0,483	-0,260

1050 °C'de kil numuneler parçalandığı için uzunluk ölçümleri ve büzülme değerlerine bakılamamıştır.

Çizelge 4.19. Seyitömer uçucu küllü numunelerin uzunlukları (1050 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10S ₁ N	20,72	20,65	20,54
10S ₂ N	21,43	21,34	21,32
10S ₃ K	23,57	23,57	23,51
10S ₄ K	21,28	21,26	21,23
20S ₁ N	21,74	21,78	21,65
20S ₂ N	22,75	22,37	22,33
20S ₃ K	22,07	22,68	22,43
20S ₄ K	22,54	23,01	22,90
30S ₁ N	24,82	25,35	25,2
30S ₂ N	24,97	25,65	25,4
30S ₃ K	24,03	24,43	24,22
30S ₄ K	22,94	23,35	23,21
40S ₁ N	22,03	22,42	22,36
40S ₂ N	21,68	22,20	21,75

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.19'un devamı.

40S ₃ K	22,90	23,49	23,17
40S ₄ K	22,64	23,15	22,82
50S ₁ N	23,17	23,35	22,85
50S ₂ N	23,18	23,01	22,58
50S ₃ K	25,07	25,02	24,47
50S ₄ K	24,07	23,72	23,26
60S ₁ N	23,35	23,18	22,74
60S ₂ N	22,41	22,32	21,71
60S ₃ K	24,13	24,07	23,34
60S ₄ K	22,94	22,64	21,90

Çizelge 4.20. Çayırhan uçucu küllü numunelerin uzunlukları (1050 °C)

Numune	Plastik uzunluk (mm)	Kuru uzunluk (mm)	Sinterlenmiş uzunluk (mm)
10Ç ₁ N	21,35	20,92	21,22
10Ç ₂ N	22,92	22,76	22,87
10Ç ₃ K	21,02	20,86	20,91
10Ç ₄ K	22,11	22,01	20,30
20Ç ₁ N	20,97	20,77	20,99
20Ç ₂ N	22,19	21,77	21,90
20Ç ₃ K	22,33	22,07	22,17
20Ç ₄ K	23,21	23,15	23,26
30Ç ₁ N	22,48	22,37	22,58
30Ç ₂ N	23,70	23,54	23,88

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.20'nin devamı.

30Ç ₃ K	22,15	22,13	22,23
30Ç ₄ K	20,80	20,55	20,90
40Ç ₁ N	21,19	21,04	21,25
40Ç ₂ N	21,92	21,55	21,70
40Ç ₃ K	22,54	22,28	22,49
40Ç ₄ K	22,46	22,21	22,46
50Ç ₁ N	21,39	21,26	21,61
50Ç ₂ N	22,84	22,60	22,79
50Ç ₃ K	20,52	20,37	20,49
60Ç ₂ N	21,94	21,83	22,09
60Ç ₃ K	23,18	23,03	23,28
60Ç ₄ K	23,24	23,04	23,24

Çizelge 4.21. Tüm numunelerin büzülme değerleri (1050 °C)

Numune	Kuruma Büzülmesi Ort. (%)	Sinterleme Büzülmesi Ort. (%)
KN	Parçalandı	Parçalandı
10SN	0,213	0,256
20SN	-0,841	0,589
30SN	-2,078	0,756
40SN	-2,249	1,271
50SN	0,403	2,037
60SN	0,672	2,733
10ÇN	0,981	1,403
20ÇN	1,067	-0,646

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.21'in devamı.

30ÇN	0,614	-1,135
40ÇN	1,166	-0,941
50ÇN	0,858	-1,055
60ÇN	0,595	-0,921

Tuğla üretimindeki büzülme, kuruma sırasında şekillendirme suyunun bünyeden uzaklaştırılmasıdır. Hammadde tanecikleri arasında yer alan su kilden uzaklaştıkça, taneler birbirine yaklaşır ve büzülme meydana gelir. Üretimde ne kadar çok su kullanılırsa o kadar büzülme olur. Sinterleme sıcaklığı ile büzülme doğrudan ilgilidir (Bentli vd. 2005). Yapılan çalışmaya ait büzülme şekillerde ve çizelgelerde verilmiştir. Tüm sıcaklık değerleri göz önüne alındığında tüm numunelerde kuruma ve sinterleme büzülmesinde belirgin bir azalma ya da belirgin bir genleşme (şişme) görülmemiştir. Üretim esnasında az miktarda kullanılan su, şekillendirmeden ziyade homojen karışım için kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı oluşan büzülme ve şişme değeri çok küçüktür ve seramik malzemeler için istenen toplam küçülme değeri olan %10'un çok altındadır (Bentli vd. 2005). Kızgut vd. (2001) yaptıkları çalışmada, kontrol numunesi olarak hazırlanan %100 killi numunenin su içeriği %12 olarak korumuş, % 25, 30, 35 Çatalağzı uçucu kül içeren numuneler %15, 17,50, 20 su içerecek şekilde hazırlamışlardır. Hazırlanan numuneler 80 °C'de 24 saat ön kurutmadan sonra, 1000 °C'de sinterlenmiştir. Uçucu küllü numunelerdeki çapsal değişim değeri (%) ile kontrol numunesindeki çapsal değişim değeri (%) karşılaştırıldığında kül içeriğinin hiçbir koşulda olumsuzluk göstermediği tespit edilmiştir. Bentli vd. çalışmalarında, %0, 2,5, 5, 10, 15 Seyitömer uçucu külü içeren numuneleri 900-1000 °C gibi geniş aralıkta sinterlemişlerdir. Kül ilavesi ile toplam küçülmede belirgin bir değişim gözlenmediğini tespit etmişlerdir.

4.2.2. Kızdırma kaybı sonuçları

Seramik malzemelerin kurutma ya da sinterleme işlemlerinde, kaybolan madde miktarı ölçümü için kullanılır. Seramik malzemelerin yapısındaki organik maddeler, sinterleme sırasında yanarlar; kimyasal su ise 300-400 °C'de buharlaşır. Karbonatlar ise, belirli sıcaklıklarda bozularak CO₂ şeklinde çıkarlar. Bu işlemlerin hepsi kızdırma kaybı yada ateş zaiyatı olarak adlandırılır. Seramik hammaddeler çamur haline getirilip şekillendirme işleminde şekillendirildikten sonra, sinterleme işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem sırasında, parçada ağırlık ve hacim değişimleri meydana gelir. Parçanın en son halinin istenilen boyutlarda olması için, sinterleme işleminden sonra, parçada oluşacak ağırlık kaybı önemli bir parametredir. Bu nedenle seramik çamurunun hazırlanmasından önce ağırlık kaybı tespit edilip, üretim aşamasında yaşanacak kayba göre, fazladan malzeme ilavesi yapılır (Kamiloğlu 2015).

Çizelge 4.22. Kil numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
K ₁ N	17,6	13,9
K ₃ K	17,9	14,2
K ₄ K	17,7	14,1

Çizelge 4.23. Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10S ₁ N	13,70	11,10
10S ₂ N	13,70	11,10
10S ₃ K	13,60	11,00
10S ₄ K	13,70	11,50
20S ₁ N	13,70	11,30
20S ₂ N	13,50	11,30
20S ₃ K	14,10	11,70
20S ₄ K	13,80	11,40
30S ₁ N	13,10	11,10
30S ₂ N	12,80	10,80
30S ₃ K	12,90	10,90
30S ₄ K	12,90	10,80
40S ₁ N	11,80	10,20
40S ₂ N	11,80	10,20
40S ₃ K	11,80	10,30
40S ₄ K	11,70	10,50

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.23'ün devamı.

50S ₁ N	11,80	10,50
50S ₂ N	11,90	10,50
50S ₃ K	12,10	10,70
50S ₄ K	11,90	10,50
60S ₁ N	10,80	9,80
60S ₂ N	10,90	9,90
60S ₃ K	10,90	9,90

Çizelge 4.24. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 850 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10Ç ₁ N	14,80	12,00
10Ç ₂ N	15,10	12,40
10Ç ₃ K	14,60	11,90
10Ç ₄ K	15,10	12,10
20Ç ₁ N	14,90	12,40
20Ç ₂ N	15,30	12,70
20Ç ₃ K	15,10	12,50
20Ç ₄ K	15,00	12,40
30Ç ₁ N	15,00	12,90
30Ç ₂ N	14,50	12,30
30Ç ₃ K	15,10	12,60
30Ç ₄ K	14,90	12,50
40Ç ₁ N	13,90	12,10

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.24'nın devamı.

40Ç ₂ N	14,00	12,20
40Ç ₃ K	14,00	12,20
40Ç ₄ K	14,00	12,30
50Ç ₁ N	13,90	12,40
50Ç ₂ N	14,10	12,50
50Ç ₄ K	14,00	12,40
60Ç ₁ N	14,00	12,60
60Ç ₂ N	14,00	12,70
60Ç ₃ K	14,00	12,60
60Ç ₄ K	13,80	12,40

Çizelge 4.25. Kil numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
K ₁ N	17,60	13,90
K ₂ N	17,80	14,10
K ₃ K	17,20	13,50
K ₄ K	18,40	14,40

Çizelge 4.26. Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10S ₁ N	14,70	11,50
10S ₂ N	14,00	10,80
10S ₃ K	14,10	10,90

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.26' nın devamı.

10S ₄ K	13,90	11,00
20S ₁ N	13,60	11,30
20S ₂ N	14,00	11,50
20S ₃ K	13,90	11,30
20S ₄ K	13,90	11,30
30S ₁ N	12,70	10,80
30S ₂ N	12,50	10,50
30S ₃ K	12,80	10,70
30S ₄ K	13,20	11,00
40S ₁ N	11,80	10,20
40S ₂ N	12,10	10,50
40S ₃ K	11,70	10,10
40S ₄ K	11,80	10,10
50S ₁ N	12,10	10,80
50S ₂ N	11,80	10,40
50S ₃ K	12,20	11,00
50S ₄ K	11,80	10,70
60S ₁ N	10,70	10,10
60S ₂ N	10,90	10,30
60S ₃ K	10,60	10,00
60S ₄ K	10,90	10,30

Çizelge 4.27. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 950 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10Ç ₁ N	14,90	12,10
10Ç ₂ N	14,90	11,80
10Ç ₃ K	15,40	12,40
10Ç ₄ K	14,70	11,80
20Ç ₁ N	14,70	12,00
20Ç ₂ N	15,30	12,60
20Ç ₃ K	14,70	11,90
20Ç ₄ K	15,10	12,30
30Ç ₁ N	15,10	12,70
30Ç ₂ N	15,30	12,90
30Ç ₃ K	14,80	12,30
30Ç ₄ K	14,90	12,70
40Ç ₁ N	14,00	12,20
40Ç ₂ N	13,50	11,70
40Ç ₃ K	14,80	12,80
40Ç ₄ K	14,00	12,10
50Ç ₁ N	14,90	13,20
50Ç ₂ N	14,10	12,20
50Ç ₃ K	13,90	12,30
50Ç ₄ K	13,90	12,40
60Ç ₁ N	14,30	12,80
60Ç ₂ N	13,90	12,60

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.27' nin devamı.

60Ç ₃ K	13,80	12,40
60Ç ₄ K	13,70	12,40

1050 °C'de kil numuneler parçalandığı için ağırlıklarına ve kızdırma kaybı değerlerine bakılamamıştır.

Çizelge 4.28.Seyitömer uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 1050 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10S ₁ N	13,70	10,90
10S ₂ N	14,00	11,30
10S ₃ K	14,90	12,40
10S ₄ K	14,00	11,30
20S ₁ N	13,40	11,20
20S ₂ N	13,50	11,30
20S ₃ K	13,80	11,40
20S ₄ K	14,20	11,70
30S ₁ N	14,40	12,00
30S ₂ N	14,60	12,30
30S ₃ K	14,10	11,50
30S ₄ K	14,00	11,40
40S ₁ N	12,00	10,40
40S ₂ N	12,00	10,30
40S ₃ K	12,70	11,00
40S ₄ K	12,60	10,80

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.28' in devamı.

50S ₁ N	11,80	10,40
50S ₂ N	11,70	10,40
50S ₃ K	12,40	10,90
50S ₄ K	11,90	10,50
60S ₁ N	11,30	10,00
60S ₂ N	10,90	9,90
60S ₃ K	11,30	10,40
60S ₄ K	10,80	10,00

Çizelge 4.29. Çayırhan uçucu küllü numunelerin etüv ağırlıkları ve 1050 °C fırın ağırlıkları

Numune	Etüv Ağırlık (g)	Fırın Ağırlık (g)
10Ç ₁ N	15,10	12,00
10Ç ₂ N	16,00	12,80
10Ç ₃ K	14,80	11,80
10Ç ₄ K	15,50	12,30
20Ç ₁ N	14,30	11,80
20Ç ₂ N	15,30	12,40
20Ç ₃ K	15,30	12,40
20Ç ₄ K	16,00	12,90
30Ç ₁ N	15,30	12,70
30Ç ₂ N	15,90	13,30
30Ç ₃ K	14,80	12,40
30Ç ₄ K	14,10	11,60

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.29'un devamı.

40Ç ₁ N	14,10	12,00
40Ç ₂ N	14,30	12,70
40Ç ₃ K	14,60	12,70
40Ç ₄ K	14,60	12,60
50Ç ₁ N	13,90	12,10
50Ç ₂ N	14,60	12,70
50Ç ₃ K	13,20	11,40
50Ç ₄ K	14,10	12,30
60Ç ₁ N	15,20	13,40
60Ç ₂ N	13,80	12,30
60Ç ₃ K	14,40	12,90
60Ç ₄ K	14,60	12,90

Çizelge 4.30. Tüm numunelerin kızdırma kaybı değerleri (850-950-1050 °C)

Numune	Kızdırma Kaybı Ort. (%) 850 °C	Kızdırma Kaybı Ort. (%) 950 °C	Kızdırma Kaybı Ort. (%) 1050 °C
KN	20,68	21,27	Parçalandı
10SN	19,02	22,05	19,67
20SN	17,06	18,04	16,93
30SN	15,67	16,01	16,21
40SN	12,52	13,72	13,79
50SN	11,53	10,44	11,71
60SN	9,42	5,57	9,01
10ÇN	18,79	19,70	20,36

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.30'un devamı.

20ÇN	17,08	18,40	18,69
30ÇN	15,60	15,81	16,82
40ÇN	12,70	13,32	14,21
50ÇN	11,27	11,80	13,09
60ÇN	9,86	9,87	11,19

Her sıcaklık değeri kendi içinde incelendiğinde Seyitömer ve Çayırhan uçucu küllü numunelerin %100 killi numuneye göre daha az kızdırma kaybına uğradığı gözlenmiştir. Uçucu külün mineralojik yapısında sinterlenme sırasında ağırlık kaybına yol açacak bileşenlerin kil malzemeye göre daha düşük olması böyle bir davranışın temel nedeni olduğu düşünülmektedir. Kil miktarının artmasıyla kızdırma kaybının da artması kilin yapısında bulunan karbonatların sinterleme sırasında kalsinasyonu, organiklerin yanması ve kristal suyun bünyeden ayrılmasıyla açıklanabilir. Kızdırma kaybının en az olduğu numune 950 °C'de sinterlenen %60 Seyitömer uçucu küllü numunedir ve kızdırma kaybı %5,57 olarak hesaplanmıştır. İki uçucu kül arasında karşılaştırma yapıldığında kızdırma kaybı değeri Seyitömer uçucu küllü numunelerde daha azdır ve tüm sıcaklık değerleri için iki uçucu kül incelendiğinde dalgalanmalar söz konudur. Çayırhan uçucu küllü numunelerde sıcaklık artışıyla kızdırma kaybının da arttığı gözlenmiştir. Uçucu külün kızdırma kaybının azaltılmasına olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir. TS 705 'e göre ağırlıkça % kayıp 10-13 arasında kalmalıdır (Yüksek vd. 2016). Fakat hiçbir numune bu standarda uymamaktadır. Bir başka çalışmada %70, 80, 90, 100 Seyitömer uçucu küllü tuğla numuneler 1000, 1050, 1100 °C'de sinterlenerek üretilmiştir. Uçucu kül miktarı arttıkça kızdırma kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla kızdırma kaybı da artmıştır (Demir vd. 2018). Bir başka çalışmada %10, 20, 30, 40, 50 Soma uçucu küllü tuğla numuneler 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 ve 1200 °C'de fırında sinterlenmiştir. Uçucu kül- killi zemin karışımının % 30 oranına kadar katkısız killi zeminden oluşturulan tuğlaların ağırlık kaybının benzer olduğu, uçucu kül oranının %30 dan fazla olduğu diğer numunelerde porozitenin artmasına bağlı olarak ağırlık kayıplarının da büyüdüğü gözlenmiştir. Hem uçucu kül katkılı hem de katkısız zeminden oluşturulan tuğla numunelerinin 500 °C' ye kadar pişirilmeleri sonucu ciddi bir ağırlık kaybı olmazken, 500-800 °C aralığında killi zeminin mineral yapısında büyük değişiklikler meydana geldiği ve bunun sonucu olarak büyük ağırlık kayıplarının yaşandığı görülmektedir. 800-1000 °C aralığında %30 uçucu kül katkı oranına kadar belirgin bir ağırlık kaybı oluşmamaktadır. Bunun erime sonucu numune camsı bir doku kazandığından, boşluk oranı daha da azalarak fırından çıkarıldıktan tartılınca kadarki sürede havadaki nemi bünyesine alamamasından kaynakladığı düşünülmektedir. (Söylemez ve Yıldırım 2016).

4.2.3. Kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı sonuçları

Çizelge 4.31. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (850 °C)

Numune	Kuru Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Boşluk Oranı Ort. (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı Ort. (%)
KK	1,57	2,07	24,27	15,52
10SK	1,38	2,00	31,25	22,72
20SK	1,28	1,84	30,50	23,91
30SK	1,29	1,83	29,41	22,72
40SK	1,31	1,75	25,00	19,04
50SK	1,27	1,91	33,27	26,19
60SK	1,18	1,67	29,41	28,00
10ÇK	1,58	2,13	25,83	16,33
20ÇK	1,61	2,27	28,96	18,00
30ÇK	1,61	2,39	32,29	20,00
40ÇK	1,53	2,13	28,12	18,42
50ÇK	1,58	2,34	32,29	20,42
60ÇK	1,61	2,39	32,29	20,00

850 °C’de numunelerin kuru birim ağırlıklarına incelendiğinde Seyitömer uçucu küllü numunelerin kuru birim ağırlığı, %100 killi numunenin kuru birim ağırlığından düşüktür. %100 killi numunenin kuru birim ağırlığı da Çayırhan uçucu küllü numunelerin kuru birim ağırlığından düşüktür (Seyitömer uçucu küllü numuneler < %100 killi numune < Çayırhan uçucu küllü numuneler). Seyitömer uçucu küllü numunelerde genel olarak uçucu kül miktarı arttıkça kuru birim ağırlık azalmıştır. Görünür birim ağırlıkta da kuru birim ağırlıktaki gibi değişim gözlenmiştir (Seyitömer uçucu küllü numuneler < %100 killi numune < Çayırhan uçucu küllü numuneler). Kuru birim ağırlık ve görünür birim ağırlıkta en düşük değer %60 Seyitömer uçucu küllü numunede bulunmuştur. Seyitömer uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça genel olarak görünür birim ağırlık azalmıştır. Çayırhan uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça genel olarak görünür birim ağırlık artmıştır. Görünür boşluk oranının en fazla olduğu numune %50

Seyitömer uçucu küllü numunedir. Su emmenin en az olduğu numune %100 killi numune, en fazla olduğu numune ise %60 Seyitömer uçucu küllü numunedir.

Çizelge 4.32. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (950 °C)

Numune	Kuru Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Boşluk Oranı Ort. (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı Ort. (%)
KK	1,42	2,08	31,58	22,25
10SK	1,27	2,00	36,40	28,57
20SK	1,29	2,00	35,29	27,27
30SK	1,33	1,92	30,33	22,73
40SK	1,21	1,74	30,33	25,00
50SK	1,20	1,91	37,09	30,95
60SK	1,45	2,00	27,62	22,25
10ÇK	1,58	2,23	28,96	18,33
20ÇK	1,60	2,29	30,00	18,75
30ÇK	1,56	2,27	31,25	20,00
40ÇK	1,61	2,27	28,96	18,00
50ÇK	1,55	2,29	32,29	20,83
60ÇK	1,46	2,18	33,27	22,92

850 °C’de elde edilen bulgular 950 °C’de de benzerlik göstermiştir. Sıcaklık artışıyla %100 killi numunede ve Seyitömer uçucu küllü numunelerde kuru birim ağırlık azalmıştır. 950 °C’de kuru birim ağırlığın en az olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numunedir. Görünür birim ağırlığın en az olduğu numune % 40 Seyitömer uçucu küllü numunedir. Ağırlıkça su emme en az % 40 Çayırhan uçucu küllü numune, en fazla olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numunedir. Görünür boşluk oranının en az olduğu numune % 60 Seyitömer uçucu küllü numunedir.

1050 °C’de kil numuneler parçalandığı için ağırlıklarına kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı değerlerine bakılamamıştır.

Çizelge 4.33. Tüm numunelerin kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı, ağırlıkça su emme oranı (1050 °C)

Numune	Kuru Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Birim Ağırlık Ortalama (g/cm ³)	Görünür Boşluk Oranı Ort. (%)	Ağırlıkça Su Emme Oranı Ort. (%)
KK	Parçalandı	Parçalandı	Parçalandı	Parçalandı
10SK	1,45	2,02	28,17	19,51
20SK	1,42	1,88	24,26	17,03
30SK	1,36	1,92	29,17	21,74
40SK	1,38	1,92	28,04	20,45
50SK	1,30	1,87	30,33	23,27
60SK	1,52	2,16	29,67	19,52
10ÇK	1,75	2,45	28,57	16,33
20ÇK	1,66	2,33	28,99	17,62
30ÇK	1,49	2,04	27,21	18,33
40ÇK	1,63	2,17	25,00	15,38
50ÇK	1,65	2,29	27,62	16,70
60ÇK	1,74	2,35	25,83	14,81

1050 °C’de %50 Seyitömer uçucu küllü numunenin kuru birim ağırlığı ve görünür birim ağırlığı diğer numunelere göre düşüktür. Su emmenin en az olduğu numune %60 Çayırhan uçucu küllü numune, görünür boşluk oranının en fazla olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numunedir. Bir başka çalışmada, Seyitömer termik santralinden alınan uçucu baca küllü ile endüstriyel çaptaki tuğla fabrikasında dört farklı reçetede % 2,5, 5, 10, 15 baca küllü tuğlalar hazırlanmıştır. Tüm reçetelerin su emme değerleri referans tuğlaya oranla düşük olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlığı çok az miktarda arttırdığı görülmüştür (Bentli vd. 2005). Bir başka çalışmada, pişirme sıcaklığının artması ile birlikte su emme değerlerinde azalma gerçekleştiği ve su emme değerlerini etkileyen diğer etken ise karışıma giren tuğla kili olduğu tespit edilmiştir. Karışımındaki kil miktarı arttıkça su emme değerlerinde azalma gerçekleştiği gözlenmiştir (Demir vd. 2018). Bir başka çalışmada, tuğlalar 200 °C’den 1200 °C’ye kadar özel fırınlarda pişirilmiş ve su emme oranı 700 °C’ye kadar artmış, bu değerden

sonra ise azalma gözlenmiştir. 700°C’den daha yüksek sıcaklıklarda pişirilen numuneler ise camsı bir yapı kazanmaya başladıklarından su emme miktarları azalmış, 1000 °C’den sonra ise değişmediği tespit edilmiştir (Söylemez vd. 2011). Bir başka çalışmada, bor atığı, uçucu kül ve silis dumanı belirli oranlarda karıştırılarak tuğla üretilmiştir. Numuneler 970, 1000, 1030 °C’de sinterlenmiştir. Su emme ve gözeneklilik miktarı doğru orantılıdır. Camsı fazın artmasıyla gözeneklilik azalmıştır ve su emmenin azalmasını sağlamıştır. Pişirme sıcaklığının artmasıyla gözenekliliğin azaldığı ve buna bağlı olarak su emmeninde azaldığı gözlenmiştir (Koç 1997). Bir başka çalışmada, hazırlanan yaklaşık 100 g ağırlığındaki uçucu kül +kum +kireç karışımları %14 civarında nem içerecek şekilde su ile karıştırıldıktan sonra 4,5 cm çapında silindirik kalıba dökülerek preslenmiştir. Elde edilen silindirik tuğla örnekleri maximum 4 MPa basınca sahip otoklavda kürlenmiştir. Tuğlaların su emme değerleri genel tuğla standartlarına göre oldukça yüksek olduğu ve bu nedenle bu tuğlaların yapı sektöründe kullanılması uygun görülmediği kanaatine varılmıştır. Çalışmada elde edilen uçucu küllü tuğlaların su emme oranları %30-40 arasında bulunmuştur. (Çiçek ve Tanrıverdi 2004).

4.2.4. Kılcal geçirimsizlik deneyi sonuçları

Tüm numunelerin 850, 950, 1050 °C’deki kılcal su emme sonuçları çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.34. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (850 °C)

Numune	Kılcal Su Emme Katsayıları (kc) (cm ² /sn)
K ₃ K	7,48354E-07
K ₄ K	
10S ₃ K	2,3331E-06
10S ₄ K	
20S ₃ K	4,52534E-06
20S ₄ K	
30S ₃ K	1,01424E-05
30S ₄ K	
40S ₃ K	8,91862E-06
40S ₄ K	

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.34'ün devamı.

50S ₃ K	1,33207E-05
50S ₄ K	
60S ₃ K	1,10052E-05
60S ₄ K	
10Ç ₃ K	2,55321E-06
10Ç ₄ K	
20Ç ₃ K	3,74177E-06
20Ç ₄ K	
30Ç ₃ K	4,79827E-06
30Ç ₄ K	
40Ç ₃ K	8,54004E-06
40Ç ₄ K	
50Ç ₃ K	7,43952E-06
50Ç ₄ K	
60Ç ₃ K	7,06094E-06
60Ç ₄ K	

Çizelge 4.35. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (950 °C)

Numune	Kılcal Su Emme Katsayıları (kc) (cm ² /sn)
K ₃ K	7,32507E-06
K ₄ K	
10S ₃ K	3,24874E-06
10S ₄ K	

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.35'in devamı.

20S ₃ K	6,42704E-06
20S ₄ K	
30S ₃ K	1,10228E-05
30S ₄ K	
40S ₃ K	8,52243E-06
40S ₄ K	
50S ₃ K	1,33207E-05
50S ₄ K	
60S ₃ K	1,23699E-05
60S ₄ K	
10Ç ₃ K	4,40208E-06
10Ç ₄ K	
20Ç ₃ K	9,33242E-06
20Ç ₄ K	
30Ç ₃ K	9,33242E-06
30Ç ₄ K	
40Ç ₃ K	8,91862E-06
40Ç ₄ K	
50Ç ₃ K	9,7286E-06
50Ç ₄ K	
60Ç ₃ K	6,69997E-06
60Ç ₄ K	

1050 °C’de kil numuneler parçalandığı için ağırlıklarına ve kılcal su emme değerlerine bakılamamıştır.

Çizelge 4.36. Tüm numunelerin kılcal su emme katsayıları (1050 °C)

Numune	Kılcal Su Emme Katsayıları (kc) (cm ² /sn)
10S ₃ K	5,10642E-06
10S ₄ K	
20S ₃ K	4,50773E-06
20S ₄ K	
30S ₃ K	5,39695E-06
30S ₄ K	
40S ₃ K	6,51508E-06
40S ₄ K	
50S ₃ K	6,80562E-06
50S ₄ K	
60S ₃ K	6,80562E-06
60S ₄ K	
10Ç ₃ K	8,95384E-06
10Ç ₄ K	
20Ç ₃ K	1,10052E-05
20Ç ₄ K	
30Ç ₃ K	1,01424E-05
30Ç ₄ K	
40Ç ₃ K	1,19208E-05
40Ç ₄ K	

(Devamı Arkada)

Çizelge 4.36'nın devamı.

50Ç ₃ K	7,04333E-06
50Ç ₄ K	
60Ç ₃ K	9,7286E-06
60Ç ₄ K	

Malzemenin başka bir su emme seklide kapiler yolla gelişir. Cismin bir yüzeyi ile temas eden su, bazı koşullar yerine geldiği takdirde, malzeme bünyesinde yukarı kısımlara doğru çıkar. Bu olay kılcal (mikron mertebesinde) boşluklu cisimlerde gelişir. Kılcal boşluklu cisimlerin bir yüzeyi suya değerse, su zamanla cisim içinde yükselmeye baslar. Bu olayda çeşitli tahribatlara neden olmaktadır.

Literatürde araştırmalarda kılcal geçirimlilik deneyine tabi tutulan seramiklere rastlanmamıştır. Bu sebepten dolayı çalışmada bu deneysel çalışmaya yer verilmiştir. Fakat sonuçlardan da görüldüğü gibi bir standart yakalanamamıştır. Bu da geçirimlilik için daha detaylı bir çalışma yapılması sonucuna ulaştırmıştır. Çalışmada en çok kılcal geçirimlilik 850°C %40 Seyitömer uçucu küllü numune ve 950°C %50 Seyitömer uçucu küllü numunede gözlenmiştir. En az kılcal geçirimlilik 850°C killi numunede tespit edilmiştir. Çayırhan uçucu küllü numuneler Seyitömer uçucu küllü numunelere göre daha az kılcal geçirimlidir.

4.2.5. Renk ölçüm sonuçları

Sıcaklıklara göre tüm numunelerin renk ölçümleri çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.37. Tüm numunelerin renk ölçümleri (850 °C)

Numune	L	a	b	E
K ₁ N	63,60	10,13	22,20	68,12
10S ₁ N	62,67	10,01	21,48	67,00
20S ₁ N	62,14	10,37	22,04	66,74
30S ₁ N	62,05	10,58	21,91	66,65
40S ₁ N	62,12	10,76	22,02	66,77
50S ₁ N	61,73	10,74	21,35	66,19
60S ₁ N	61,33	10,98	21,49	65,91
10Ç ₁ N	63,65	9,36	20,93	67,65
20Ç ₁ N	63,72	8,64	19,77	67,27
30Ç ₁ N	63,38	8,22	18,60	66,56
40Ç ₁ N	62,51	7,69	17,17	65,28
50Ç ₁ N	62,57	7,56	16,70	65,20
60Ç ₁ N	62,15	7,15	15,30	64,40



Şekil 4.7. Killi numune ve Seyitömer uçucu küllü numuneler (850°C)



Şekil 4.8. Killi numune ve Çayırhan uçucu küllü numuneler (850°C)

Çizelge 4.38. Tüm numunelerin renk ölçümleri (950 °C)

Numune	L	a	b	E
K ₁ N	66,12	9,65	23,54	70,85
10S ₁ N	65,07	10,14	22,84	69,70
20S ₁ N	62,97	10,92	22,32	67,69
30S ₁ N	62,16	11,56	22,09	66,97
40S ₁ N	59,96	12,79	22,89	65,45
50S ₁ N	59,29	13,90	24,43	65,62
60S ₁ N	57,69	13,91	23,21	63,72
10Ç ₁ N	65,97	8,65	21,79	70,01
20Ç ₁ N	65,57	8,35	20,68	69,26
30Ç ₁ N	65,72	7,85	19,18	68,90
40Ç ₁ N	65,32	7,62	18,19	68,23
50Ç ₁ N	64,48	7,35	17,22	67,14
60Ç ₁ N	64,88	7,06	16,17	67,23



Şekil 4.9. Killi numune ve Seyitömer uçucu küllü numuneler (950°C)



Şekil 4.10. Killi numune ve Çayırhan uçucu küllü numuneler (950°C)

Çizelge 4.39. Tüm numunelerin renk ölçümleri (1050 °C)

Numune	L	a	b	E
10S ₁ N	64,23	9,77	22,90	68,88
20S ₁ N	62,09	10,34	21,76	66,60
30S ₁ N	57,58	11,61	20,67	62,26
40S ₁ N	54,79	12,24	19,45	59,42
50S ₁ N	52,84	12,98	18,70	57,53
60S ₁ N	51,09	13,67	18,49	56,02
10Ç ₁ N	67,62	8,17	22,81	71,82
20Ç ₁ N	69,36	6,12	22,20	73,08
30Ç ₁ N	69,67	5,47	21,48	73,11
40Ç ₁ N	69,91	4,97	20,88	73,13
50Ç ₁ N	69,95	4,61	20,21	72,95
60Ç ₁ N	69,27	4,64	19,19	72,02



Şekil 4.11. Seyitömer uçucu küllü numuneler (1050°C)



Şekil 4.12. Çayırhan uçucu küllü numuneler (1050°C)

1050 °C’de kil numuneler parçalandığı için renk ölçüm değerlerine bakılamamıştır.

Renk, tuğla üretiminde renk çok önemli bir konudur. Her ne kadar dayanım açısından standartlara uygun olursa olsun, rengi açık olan tuğlaların ticari değeri az olmaktadır. Tuğlalarda pişme sonrası oluşan renk, ürün kalitesinin artırılması ve estetik görünüm açısından önemlidir. Ürünün sinterlendikten sonraki rengi oksidasyon ve demir minerallerinin tane boyutuna, fırınlanma sıcaklığına, fırın atmosferine, vitrifikasyon derecesine ve içerdiği demir, kalsiyum oksit (CaO) ve manganez oksit (MnO) vb. miktarlarına bağlı olarak değişir. Killere sinterleme sırasında sırada renk veren yabancı maddelerin başında hematit (Fe_2O_3), limonit gibi demir bileşikler gelir (Karaman 2006). Bazen demir bileşikler toprakta açık sarı ve yeşilimsi renkteki iki değerlikli halde bulunurlar. Bunlar 900-1000 derecede pişirilince, üç değerlikli demir bileşiği haline yükseltgenerek kiremidi kırmızı bir renk alırlar. Numune alırken bu hususu da göz önünde tutmak lâzımdır. %5 veya daha fazla demir oksit ihtiva eden killer kırmızı renkte pişerler, fakat hammaddede fazla kireç varsa mamulün rengi açılır (Orhun 2018).

Uçucu kül oranı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça Çayırhan uçucu küllü numunelerde kırmızı renk koordinatı azalırken, Seyitömer uçucu küllü numunelerde artmıştır. Her iki uçucu kül tipi için farklı renkler oluşmuştur. Seyitömer uçucu küllü numunelerde, kırmızı renkte önemli bir artış sağladığından, geleneksel tuğla üretimi için umut vaat etmektedir. Bazı mimari uygulamalarda, bazen farklı renkler istenir. Tuğla üretiminde bu ihtiyacı karşılamak için farklı tip ve uçucu kül miktarlarının kullanılabileceği gözlenmiştir. Renk değişimleri ile oksitler arasındaki ilişki XRF analizleri sonuç kısmında verilmiştir.

4.2.6. XRF analiz sonuçları

850 °C ve 950 °C’de sinterlenmiş killi numunelerin, Seyitömer uçucu küllü numunelerin, Çayırhan uçucu küllü numunelerin XRF analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.40. Killi numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	0,95	9,79	13,88	36,53	0,31	0,15	1,70
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	27,53	0,48	0,08	0,11	8,02	0,11	0,12

Çizelge 4.41. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	1,22	8,83	15,34	37,81	0,31	0,21	1,79
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	24,39	0,57	0,90	0,11	8,76	0,13	0,12

Çizelge 4.42. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	<0,11	4,49	22,20	52,59	0,32	0,23	1,86
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	6,66	0,80	0,11	0,10	10,13	0,20	0,08

850 °C’de sinterlenmiş Seyitömer uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça CaO miktarı azalmış buna bağlı olarak sarılık (b) azaltmış ve Fe₂O₃ miktarı arttıkça kırmızılık (a) artmıştır. Killi numunede CaO miktarı fazla olduğundan sarılık (b) fazladır.

Çizelge 4.43. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	2,69	9,70	13,59	33,33	0,37	0,49	1,88
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	28,27	0,54	0,07	0,11	8,41	0,10	0,16

Çizelge 4.44. %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (850 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	8,79	11,11	12,30	30,51	0,65	2,85	2,30
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	24,04	0,46	<0,01	0,09	6,40	0,05	0,11

850 °C’de sinterlenmiş Çayırhan uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça Fe₂O₃ miktarı azalmış ve buna bağlı olarak kırmızılık (a) azalmıştır. % 10 Çayırhan uçucu küllü numunenin CaO miktarı killi numuneden fazla olmasına rağmen sarılık (b) değeri killi numuneye göre daha düşük çıkmıştır. Bu sonuç daha detaylı bir çalışma yapılması gerektiği sonucunu doğurmuştur.

Çizelge 4.45. Kil numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	1,06	10,21	13,68	35,19	0,31	0,17	1,59
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	28,52	0,46	0,08	0,11	8,09	0,11	0,12

Çizelge 4.46. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	0,80	9,11	14,95	37,35	0,33	0,22	1,81
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	25,29	0,57	0,08	0,11	8,80	0,13	0,15

Çizelge 4.47. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	<0,41	5,24	20,72	49,81	0,33	0,34	1,90
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	9,32	0,77	0,11	0,11	10,35	0,21	0,08

950 °C’de killi numunede CaO miktarı arttığından sarılık (b) artmıştır. Seyitömer uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarının artmasıyla Fe₂O₃ arttığından kırmızılık (a) artmıştır.

Çizelge 4.48. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)

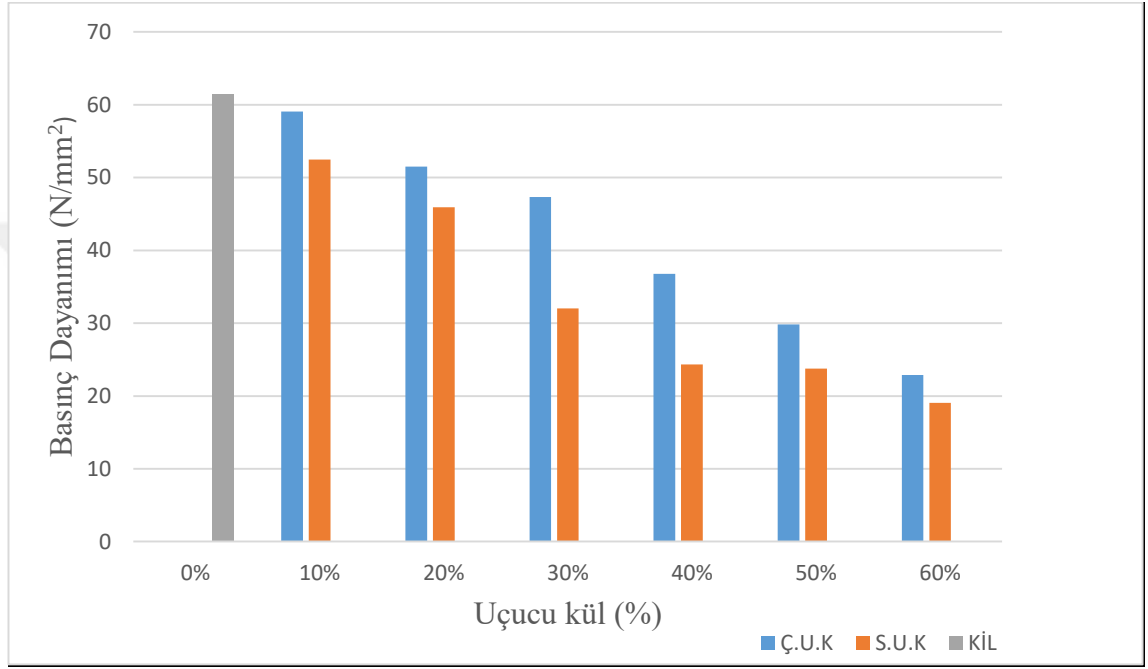
Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	2,59	10,35	13,30	32,68	0,37	0,61	1,74
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	28,94	0,48	0,06	0,11	8,21	0,10	0,13

Çizelge 4.49. %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin XRF analiz sonucu (950 °C)

Oksit	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O
%	8,05	13,15	12,01	28,28	0,65	2,8	1,95
Oksit	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Ba
%	25,83	0,43	0,02	0,09	6,05	0,05	0,10

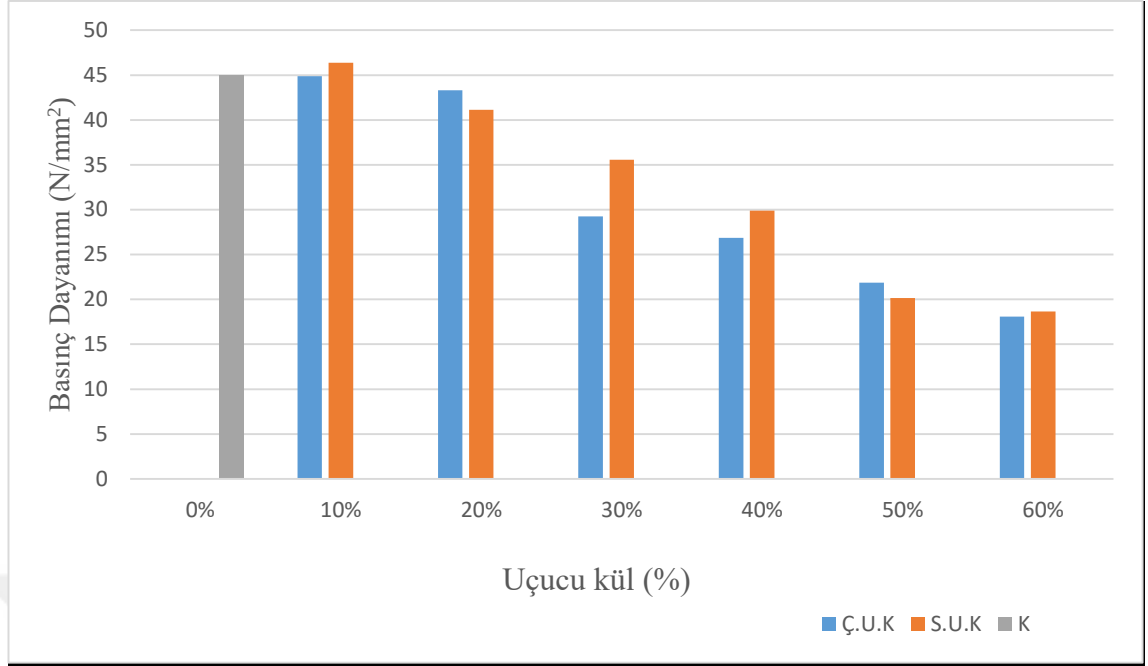
Sıcaklığın artışıyla Çayırhan uçucu küllü numunelerde sarılık (b) değerleri artmıştır. Çayırhan uçucu küllü numunelerin sarılık değeri killi numuneye göre düşüktür. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin CaO miktarı killi numuneden fazla olmasına rağmen sarılık (b) değeri killi numuneye göre daha düşük çıkmıştır. Çayırhan uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça Fe_2O_3 miktarı arttıkça kırmızılık (a) azalmıştır.

4.2.7. Basınç dayanımı sonuçları



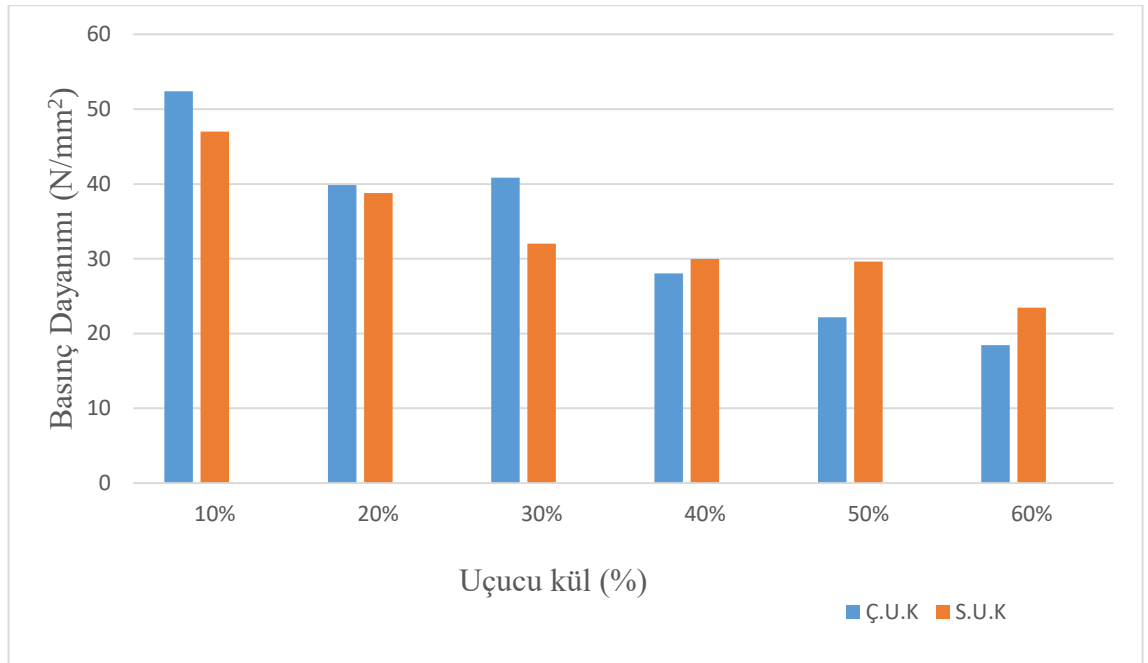
Şekil 4.13. 850 °C’de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği

850 °C’de Seyitömer uçucu küllü numuneler ve Çayırhan uçucu küllü numunelerin basınç dayanımları %100 killi numuneye göre düşüktür. Uçucu kül miktarı arttıkça basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. Seyitömer uçucu küllü numuneler ve Çayırhan uçucu küllü numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında Seyitömer uçucu küllü numunelerin basınç dayanımı Çayırhan uçucu küllü numunelere göre daha düşüktür.



Şekil 4.14. 950 °C’de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği

950 °C’de %10 Seytömer uçucu küllü numune %100 killi numuneye ve diğer numunelere göre en yüksek basınç dayanımına erişmiştir. Uçucu kül miktarlarının artmasıyla basınç dayanımında düşüşler görülmüştür. Basınç dayanımı bakımından en iyi performansı Seytömer uçucu küllü numuneler göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla 850 °C’deki numunelere göre dayanımda düşüşler söz konusudur.



Şekil 4.15. 1050 °C’de üretilen tuğlaların basınç dayanım grafiği

1050 °C’de maximum basınç dayanımı performansı gösteren numune %10 Çayırhan uçucu küllü numunedir. Uçucu kül miktarlarının artmasıyla basınç dayanımında düşüşler görülmüştür. %10, 20, 30 Çayırhan uçucu küllü numunelerde %10, 20, 30 Seyitömer uçucu küllü numunelere göre daha iyi basınç dayanımı sonuçlarını alınırken, diğer yüzdelerde tam tersi durum söz konusudur. 1050 °C’de 950 °C’ye göre bazı yüzdelerde basınç dayanımlarında artışlar söz konusudur.

Sönmez vd. (2011) çalışmalarında, tuğlaların pişme sıcaklığı ile basınç dayanımlarının doğru orantılı olduğu, pişme sıcaklığının artmasıyla dayanımın arttığı tespit etmişlerdir. Yüksek pişme sıcaklıklarının tuğla yapımında kullanılan killi zemin bileşimindeki minerallerin ergimesine sebep olduğu ve bu ergime sonucunda boşluk oranının azalarak daha masif ve camsı bir doku oluşturduğu gözlemlenmiştir. Tuğlaların pişme sıcaklığı 1100 °C’ye kadar arttıkça basınç dayanımlarının da arttığı sonucuna varmışlardır.

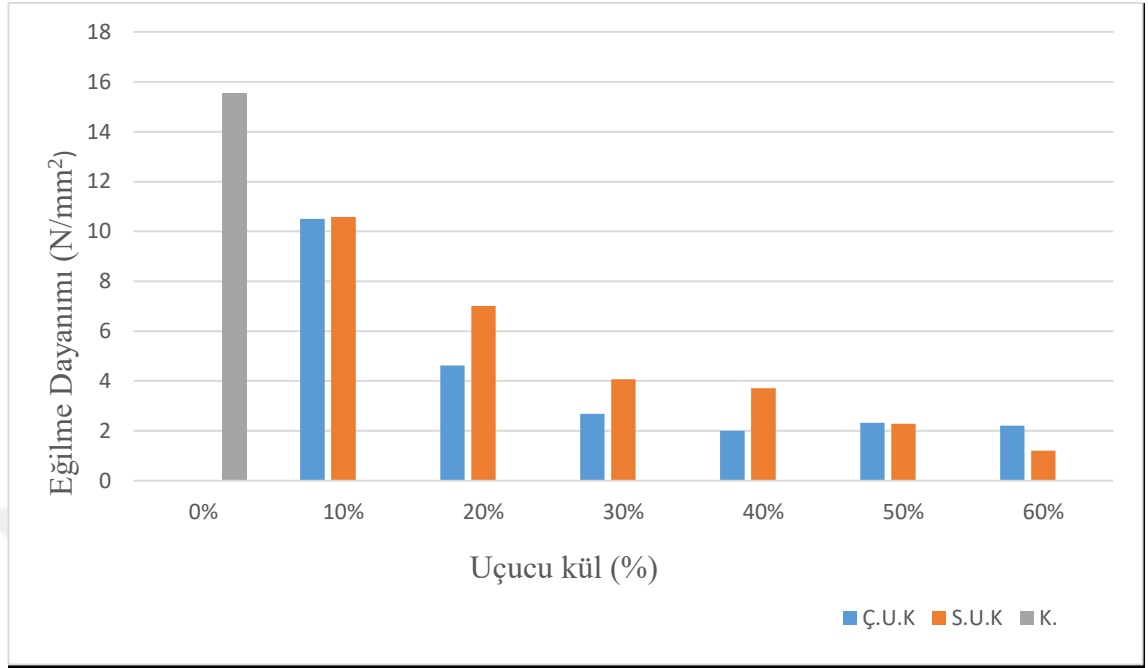
Demir vd. (2018) yaptıkları çalışmalarında, basınç mukavemet değerlerini etkileyen iki faktör olduğu ve bunların pişirme sıcaklığı ve karışımda bulunan tuğla kili miktarı olduğu kanaatine varmışlardır. Örneklerin özellikle 1000 °C’deki basınç dayanımı değerleri oldukça düşük çıktığı ve pişirme sıcaklığının 1050 ve 1100 °C’ye çıkması ile basınç mukavemeti değerlerinde kısmi artışlar sağlandığı görülmüştür.

Çiçek ve Tanrıverdi (2004) çalışmalarında, presleme basıncının tuğla basınç dayanımına olan etkisinin büyük olduğu ancak 200 kgf/cm² den daha yüksek basınçların tuğla dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Kuvars kumu katkısı ile yapılan uçucu küllü tuğlaların basınç dayanımları 100 kgf/cm² civarında iken doğal kum katkısı ile yapılan tuğlalarda basınç dayanımları 80 kgf/cm² olarak daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Söylemez ve Yıldırım (2016) çalışmalarında, hem uçucu kül katkılı hem de katkısız zeminden oluşturulan tuğla numunelerinin pişme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakla birlikte, katkısız tuğlalara nazaran uçucu kül katkılı tuğlaların dayanımı azalttığı görülmüştür. Ancak artan pişme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve daha sonra da eriyerek şekil bozukluklarına neden olduğu ve bu sebeple pişme sıcaklığının 800 – 1100 °C arasında seçilmesinin daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

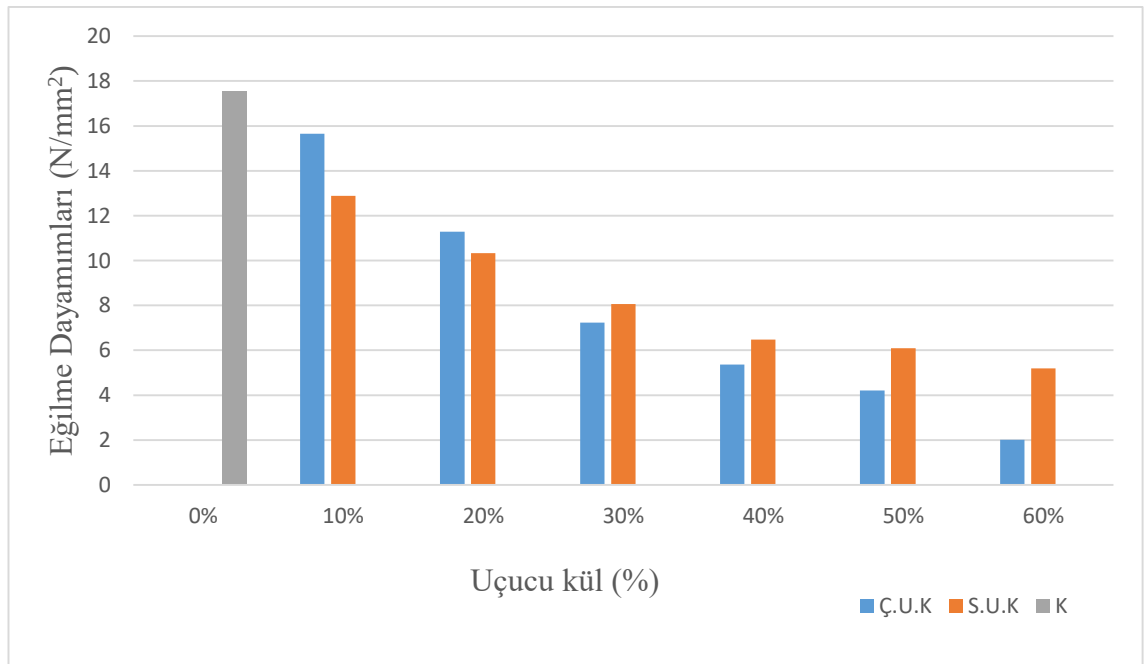
Bentli vd. (2005) çalışmalarında, uçucu küllü tuğla numunelerin basınç dayanımlarının referans tuğlaya göre azaldığını görmüşlerdir. Uçucu kül ilaveli tuğlalar gözle incelendiğinde daha sert ve camsı yapıda olduğu görmüşlerdir. Ancak basınç dayanımlarının düşük çıkması bu duruma bir tezat teşkil ettiği ve basınç dayanımına yönelik ayrıntılı çalışmalarının yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

4.2.8. Eğilme dayanımı sonuçları



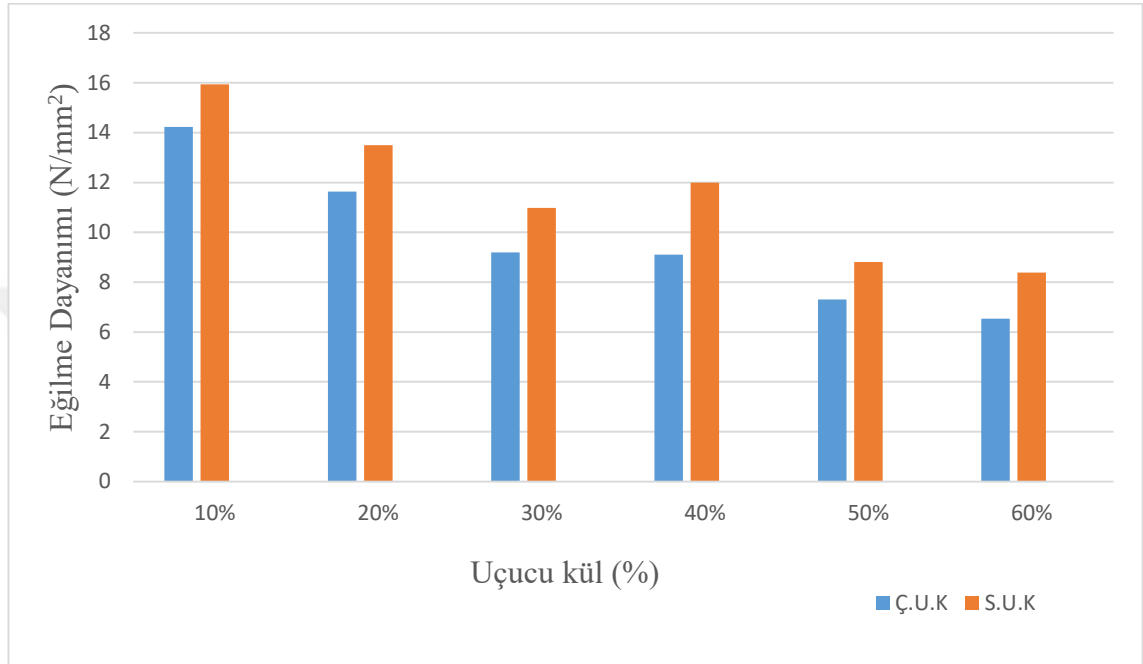
Şekil 4.16. 850 °C’de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği

850 °C’de hiçbir uçucu küllü numune %100 killi numunenin eğilme dayanımına erişememiştir. Seyitömer uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımı Çayırhan uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımına göre daha yüksektir (%60 Seyitömer uçucu küllü numune hariç). Uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür.



Şekil 4.17. 950 °C’de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği

950 °C’de sıcaklığın artışıyla tüm numunelerde eğilme dayanımında bir miktar artış söz konusudur. %100 killi numunenin eğilme basıncı diğer numunelere göre yüksektir. Uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. %10, 20 Çayırhan uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımı %10, 20 Seyitömer uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımına göre yüksektir. %30, 40, 50, 60 Seyitömer uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımı %30, 40, 50, 60 Çayırhan uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımına göre daha yüksektir.

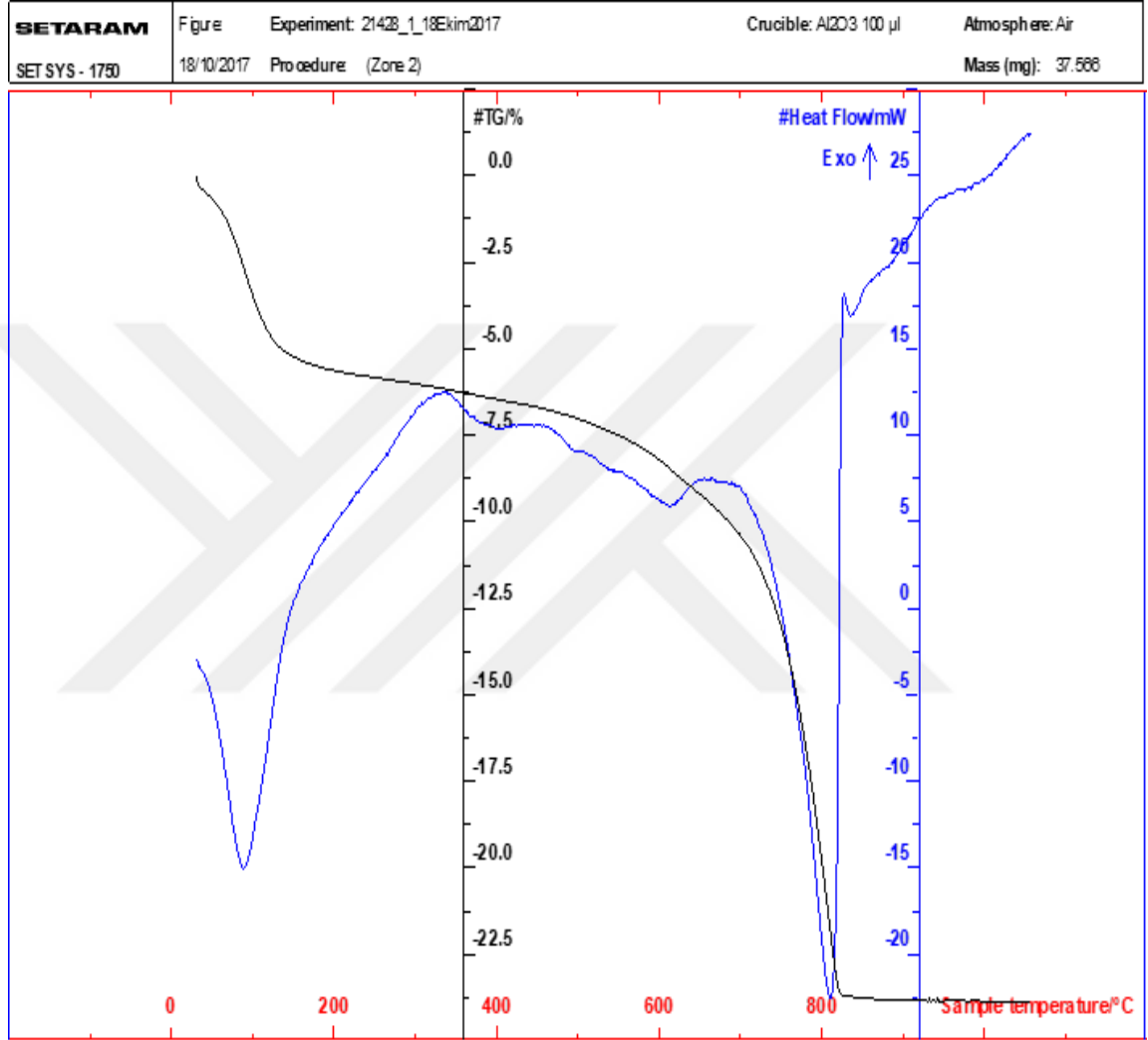


Şekil 4.18. 1050 °C’de üretilen tuğlaların eğilme dayanım grafiği

1050 °C’de uçucu küllü numunelerde eğilme dayanımında artışlar görülmüştür. Diğer sıcaklıklarda olduğu gibi uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. Bu sıcaklık değerinde en iyi eğilme dayanımı performansını gösteren Seyitömer uçucu küllü numuneler olmuştur.

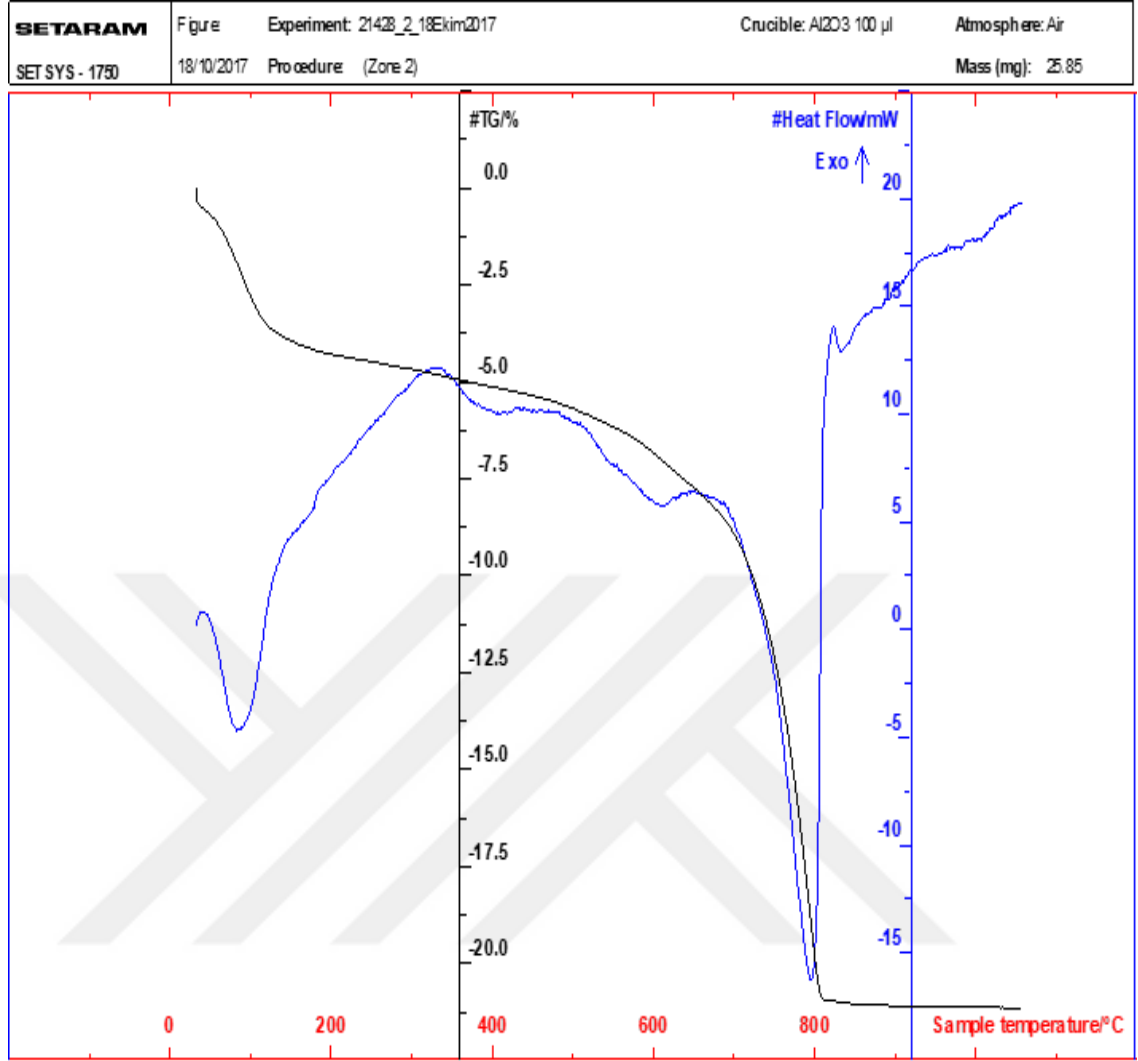
4.2.9. TG-DTA analiz sonuçları

Kil numunenin, %10, %40 Seyitömer uçucu küllü numunenin, %10, %40 Çayırhan uçucu küllü numunenin TG-DTA analiz sonuçları grafiklerde verilmiştir. Tipik TG eğrisi ile malzemenin stabil olduğu sıcaklık aralığını, DTA eğrisiyle hangi sıcaklık değerinde endotermik hangi sıcaklıkta ekzotermik reaksiyon geliştiği belirlenmiştir.



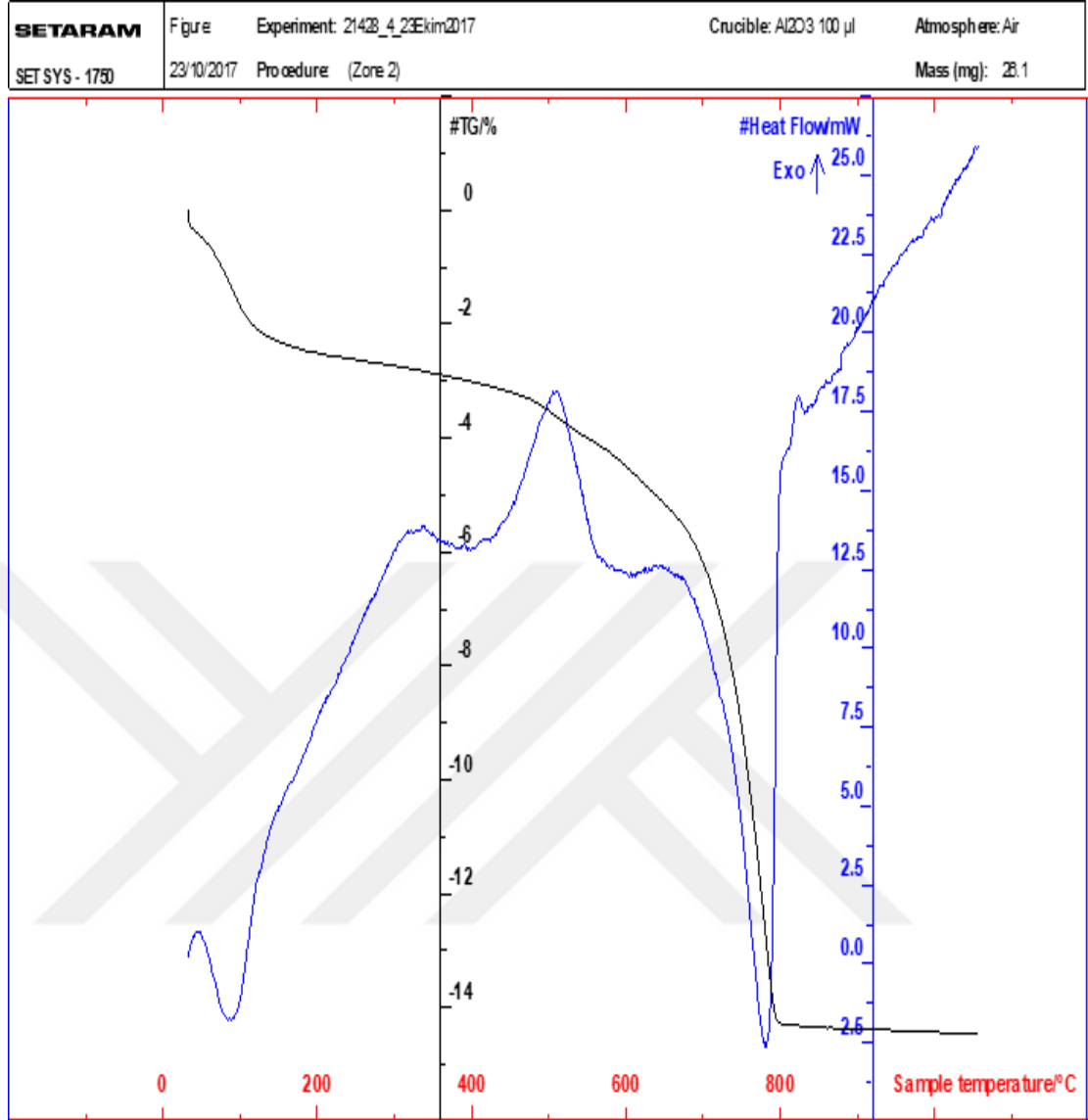
Şekil 4.19. Kilin TG-DTA grafiği

100 °C’de endotermik pik oluşmuş ve higroskopik suyunu kaybetmeye başlamıştır. 300 °C’ de ve 700 °C’ de ekzotermik pikler oluşmuştur ve kristalizasyon olayı meydana gelmiştir. 800 °C civarında endotermik pikler oluşmuş ve kil mineraline bağlı kimyasal su uzaklaşmıştır. Ayrıca bu pik kuvars dönüşüm pikidir. 850 °C civarında tekrar ekzotermik pik oluşmuştur. 100 °C’de %6 ağırlık kaybı oluşmuştur. 800 °C civarında %25 ağırlık kaybı oluşmuştur.



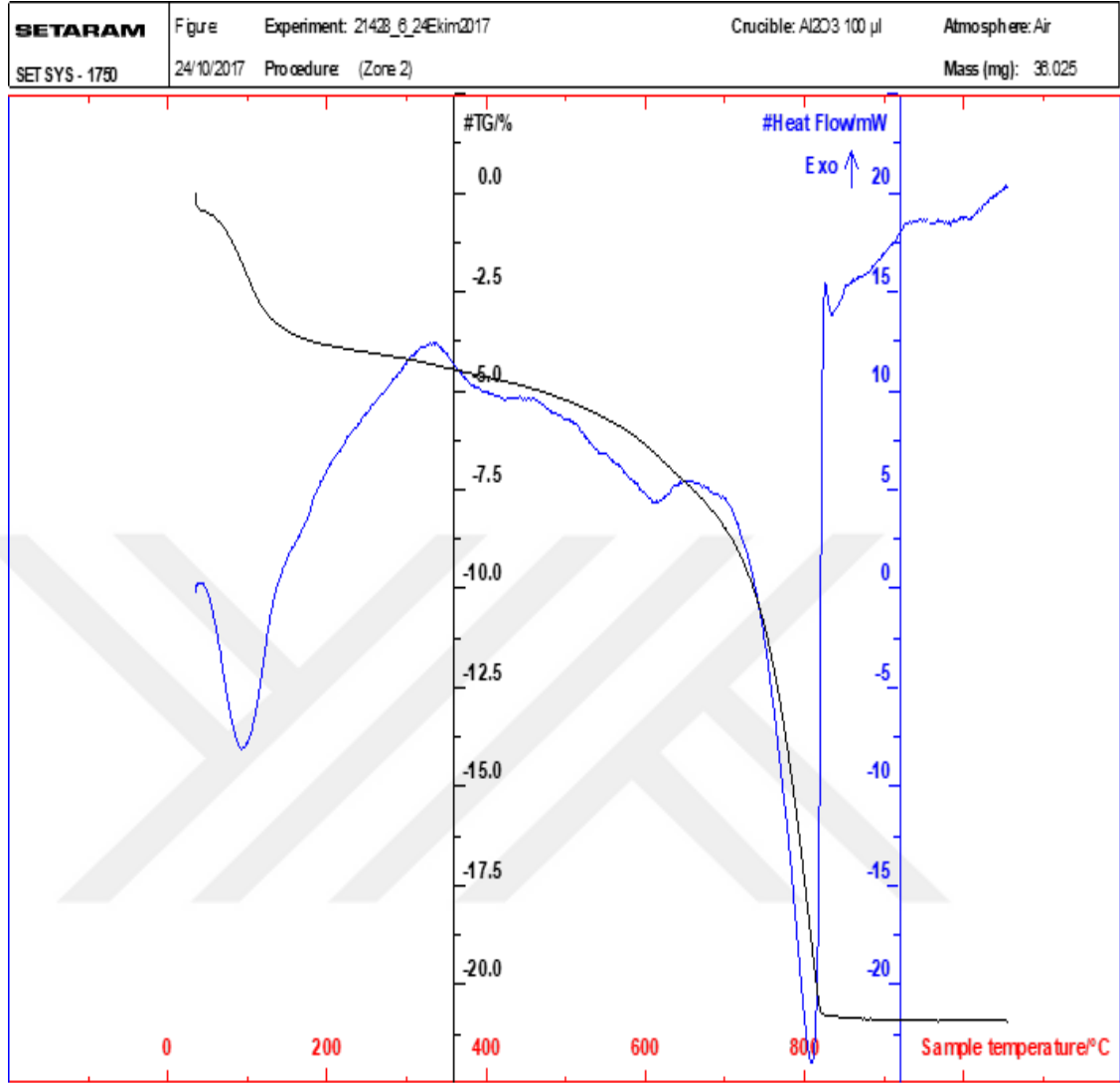
şekil 4.20. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği

100 °C’de endotermik pik oluşmuş ve higroskopik suyunu kaybetmeye başlamıştır. 300 °C’ de ve 700 °C’ de ekzotermik pikler oluşmuştur ve kristalizasyon olayı meydana gelmiştir. 800 °C’de endotermik pik oluşmuş erime olayı gerçekleşmiş ve kimyasal su uzaklaşmıştır. Kuvars dñnüşümü gerçekleşmiştir. 850 °C civarında ekzotermik pik oluşmuştur. 100 °C’de %5 ağırlık kaybı oluşmuştur. 800 °C civarında % 22 ağırlık kaybı oluşmuştur.



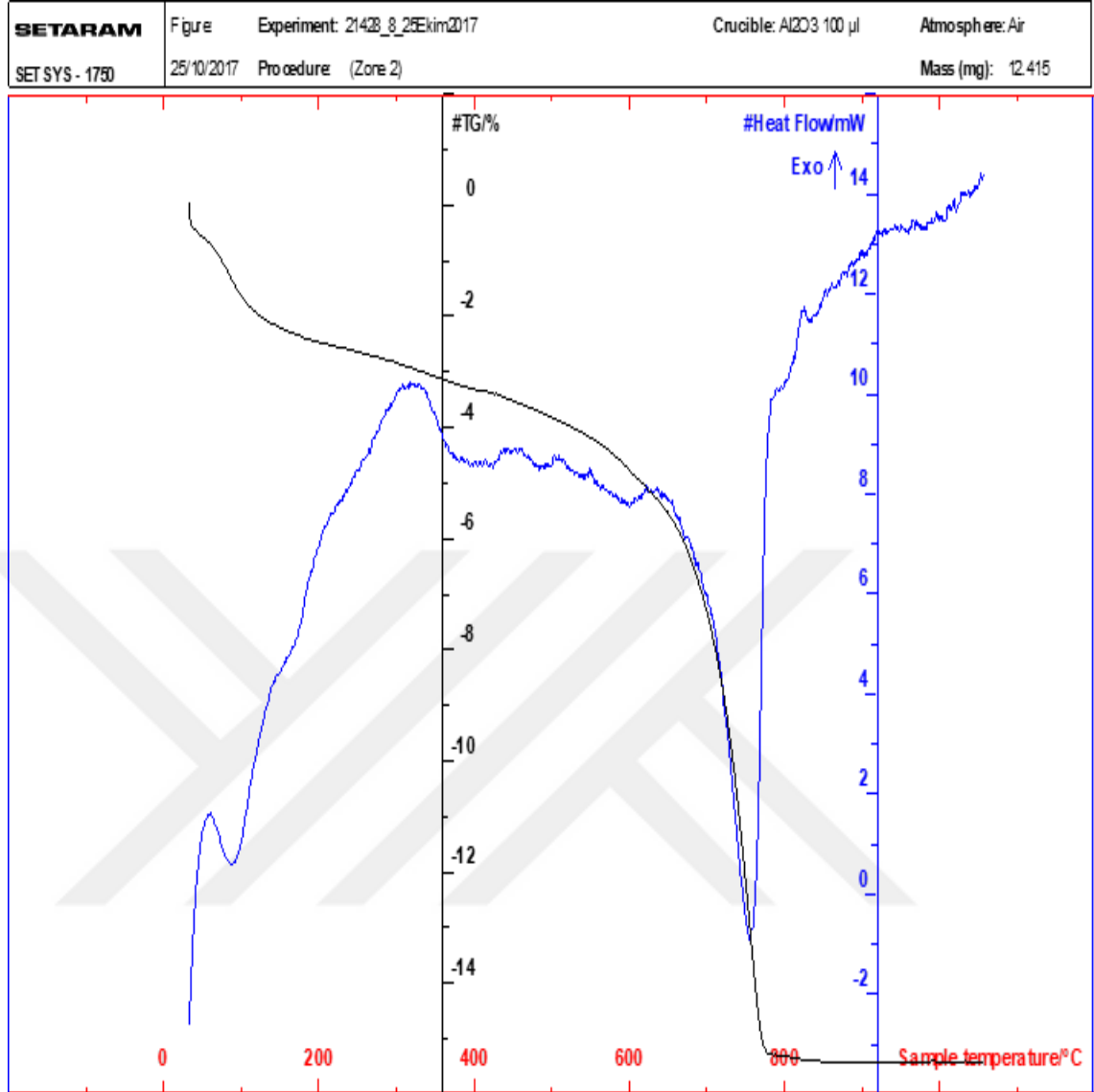
Şekil 4.21. %40 Seyitömer uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği

100 °C’de endotermik pik oluşmuş ve higroskopik suyunu kaybetmeye başlamıştır. 500-600 °C arasında ekzotermik pik oluştuğundan kristalizasyon (katılaşma) meydana gelmiştir. 700-800 °C arasında endotermik pikler oluşmuş ve kil mineraline bağlı kimyasal su uzaklaşmıştır. Ayrıca bu pik kuvars dönüşüm pikidir. 850 °C civarında tekrar ekzotermik pik oluşmuştur. 100 °C civarında %3 ağırlık kaybı oluşmuştur. 700-800 °C arasında %15 ağırlık kaybı oluşmuştur.



Şekil 4.22. %10 Çayırhan uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği

100 °C’de endotermik pik oluşmuş ve higroskopik suyunu kaybetmeye başlamıştır. 300 °C’ de ve 700 °C’ de ekzotermik pikler oluşmuştur ve kristalizasyon olayı meydana gelmiştir. 800 °C’de endotermik pik oluşmuş erime olayı gerçekleşmiş ve kimyasal su uzaklaşmıştır. Kuvars dönüşümü gerçekleşmiştir. 850 °C civarında tekrar ekzotermik pik oluşmuştur. 100 °C civarında %5 ağırlık kaybı oluşmuştur. 800 °C civarında yaklaşık %21 ağırlık kaybı oluşmuştur.



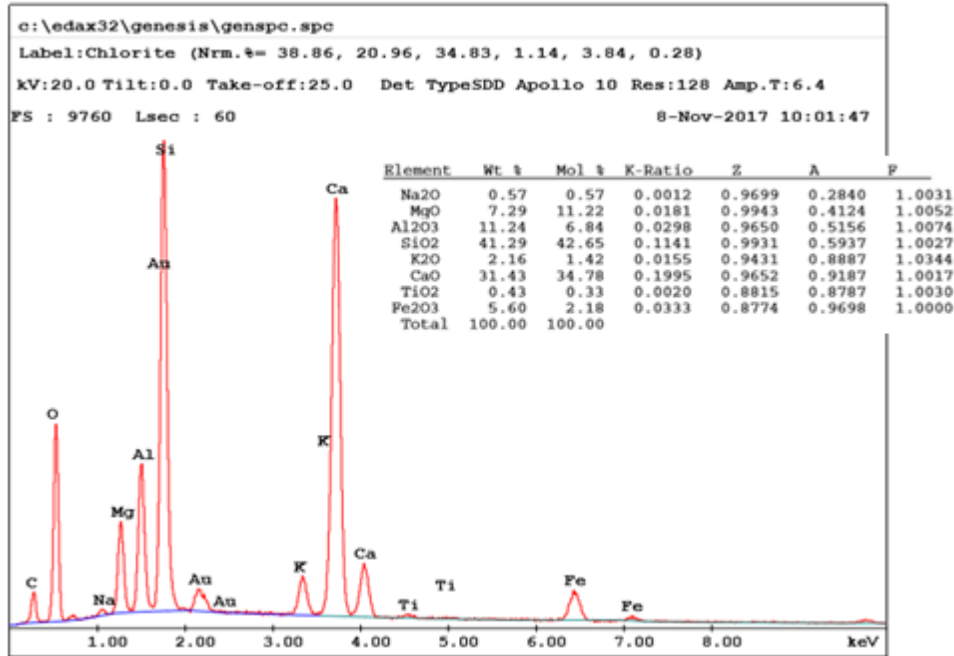
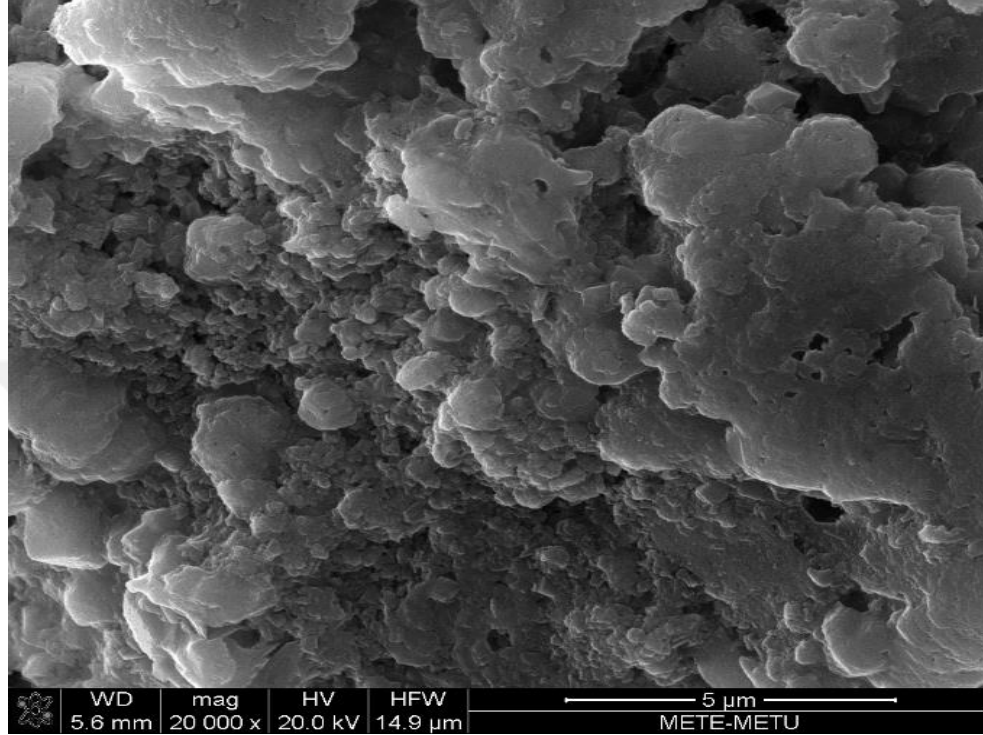
şekil 4.23. %40 Çayırhan uçucu küllü numunenin TG-DTA grafiği

0-100 °C arasında ekzotermik pik oluşmuştur. 300 °C’ de ve 700 °C’ de ekzotermik pikler oluşmuştur ve kristalizasyon olayı meydana gelmiştir. 100-200 °C arasında endotermik pik oluşmuş ve higroskopik suyunu kaybetmeye başlamıştır. 700-800 °C arasında endotermik pik oluşmuş ve kimyasal su kaybetmeye başlamıştır. Bu pik ayrıca kuvars dönüşüm pikidir. 850 °C civarında tekrar ekzotermik pik oluşmuştur. 0-100 °C arasında %3 ağırlık kaybı oluşmuştur. 700-800 °C arasında %13 ağırlık kaybı oluşmuştur.

Uçucu kül miktarı arttıkça ağırlık kaybında azalmalar gözlenmiştir. TG grafiğinden elde edilen ağırlık kayıpları kızdırma kaybı deneyinden elde edilen sonuçlarını doğrular niteliktedir.

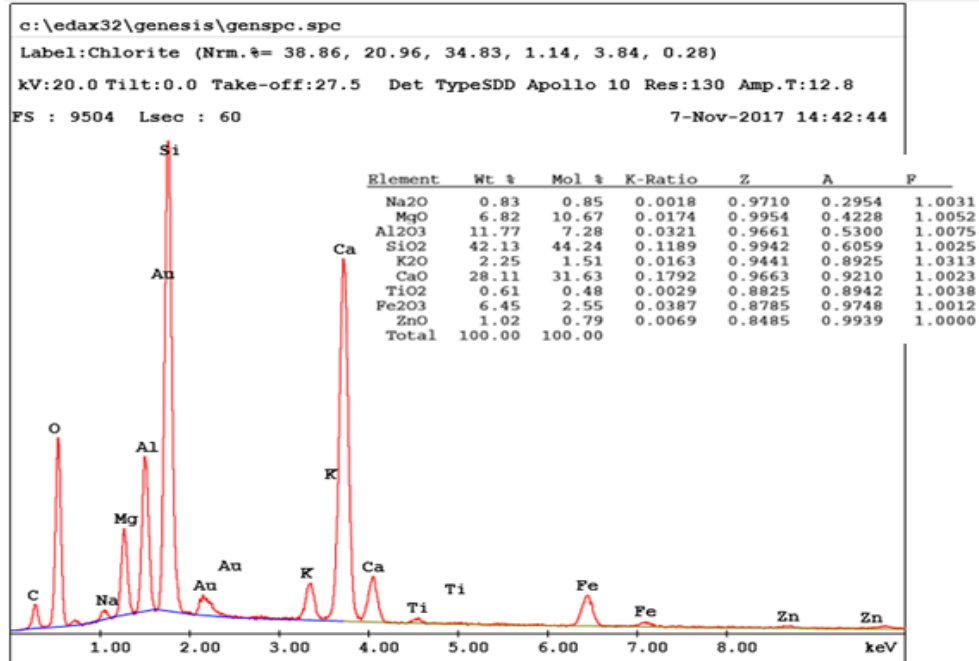
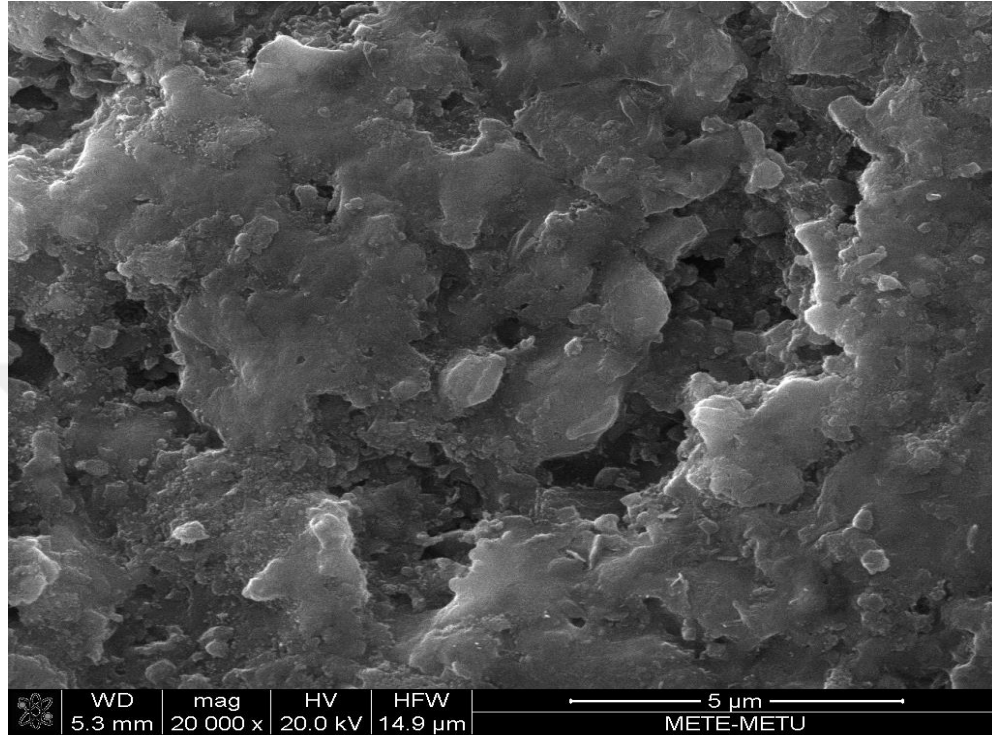
4.2.10. SEM-EDAX analiz sonuçları

850°C’de sinterlenmiş killi, %10 Seyitömer uçucu küllü, %60 Seyitömer uçucu küllü, %10 Çayırhan uçucu küllü, %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin SEM-EDAX analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.



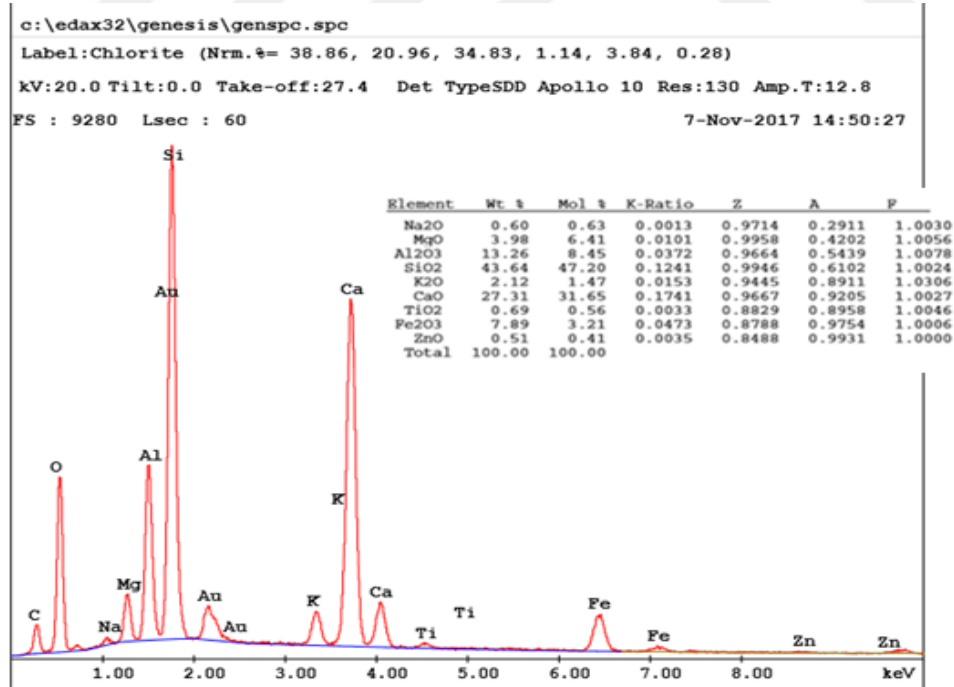
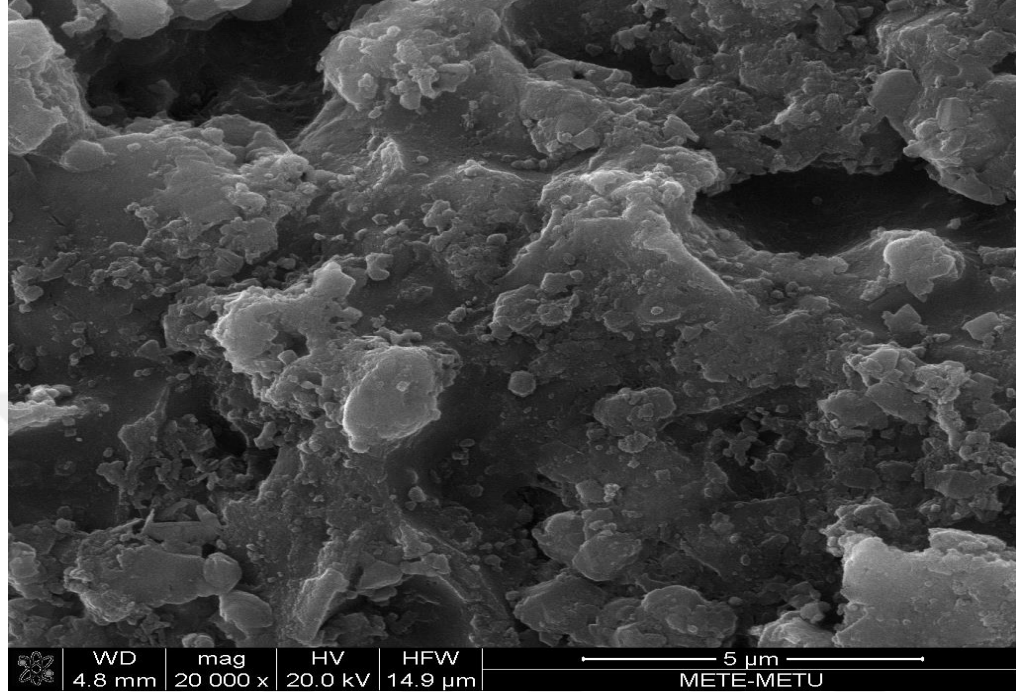
Şekil 4.24. Killi numunenin SEM-EDAX görüntüsü (850 °C)

Kil numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum) elementleri algılanmıştır.



Şekil 4.25. %10 Seyitömer uçucu küllü numunenin SEM-EDAX görüntüsü (850 °C)

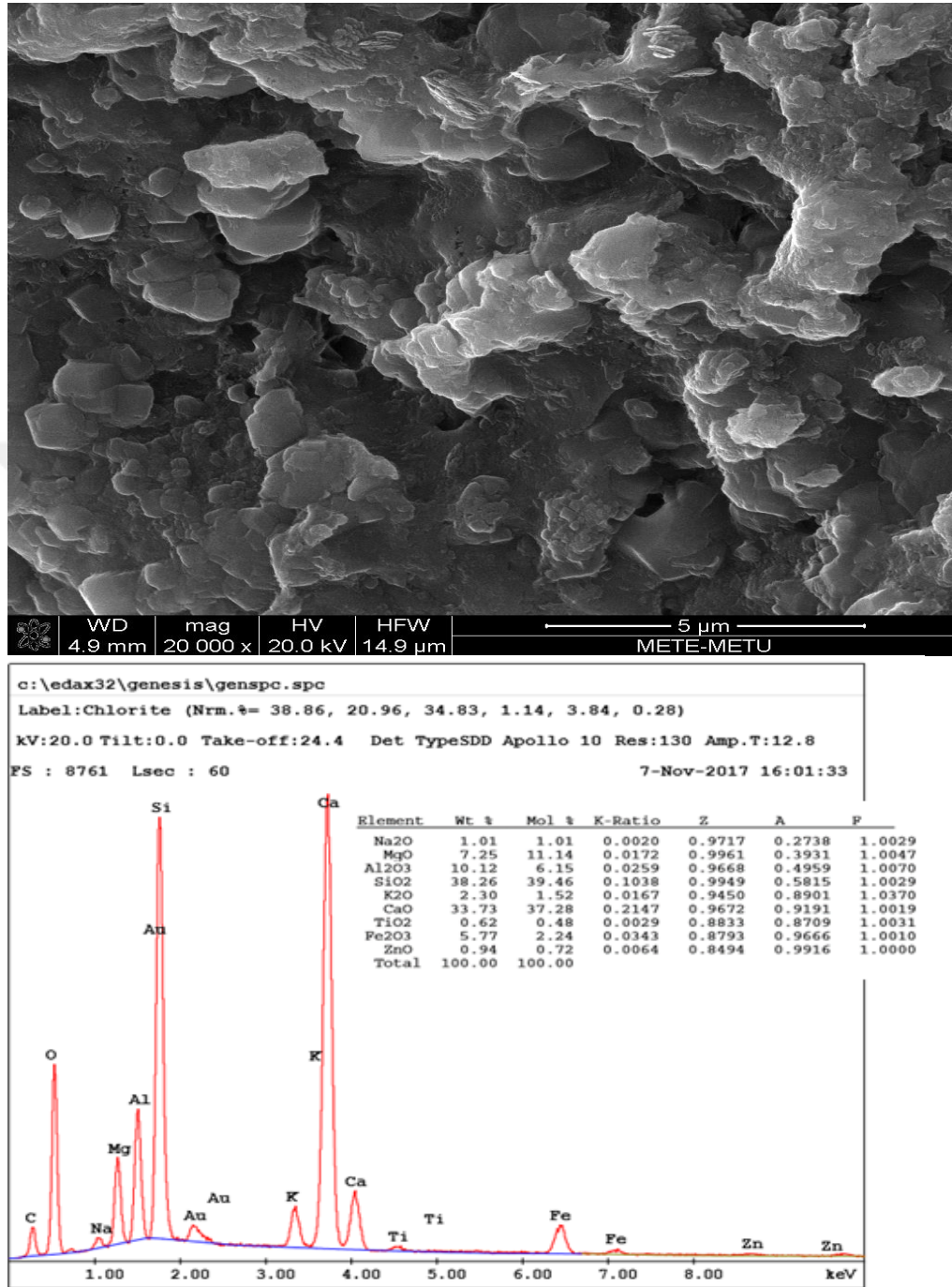
%10 Seyitömer uçucu küllü numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), Zn (çinko) elementleri algılanmıştır.



Şekil 4.26. %60 Seyitömer uçucu küllü numunenin SEM-EDAX görüntüsü (850 °C)

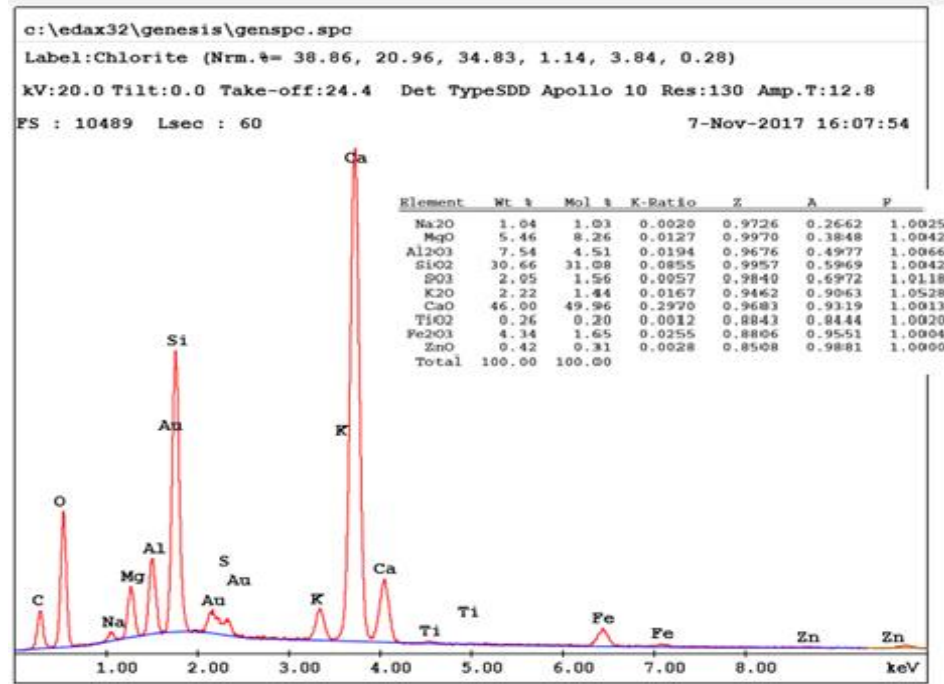
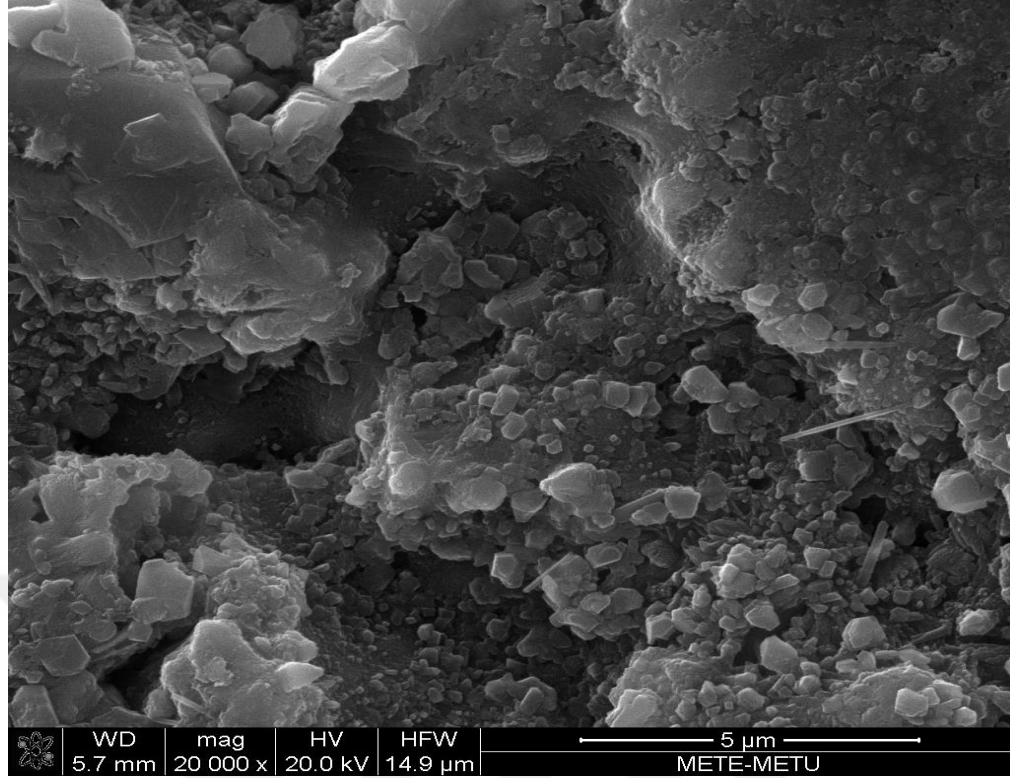
%60 Seyitömer uçucu küllü numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K

(potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), Zn (çinko) elementleri algılanmıştır.



Şekil 4.27. % 10 Çayırhan uçucu küllü numunenin SEM-EDAX görüntüsü (850 °C)

%10 Çayırhan uçucu küllü numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), Zn (çinko) elementleri algılanmıştır.



Şekil 4.28. %60 Çayırhan uçucu küllü numunenin SEM-EDAX görüntüsü (850 °C)

%60 Çayırhan uçucu küllü numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), Zn (çinko) elementleri algılanmıştır.

5. SONUÇLAR

Kilin XRF analizinde, kimyasal olarak yüksek oranda CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃ oksitlerden ve düşük oranda K₂O, Na₂O, P₂O₅ diğer oksitlerden oluştuğu tespit edilmiştir.

XRF analizi sonucuna göre Seyitömer uçucu külünün ASTM C 618 Amerikan standardına göre F sınıfı uçucu kül sınıfına girdiği, TS EN 197-1 Türk standardına göre V (silissi) sınıfı uçucu kül sınıfına girdiği, aktivitesine göre çok düşük aktiviteli küller sınıfına tespit edilmiştir. Çayırhan uçucu külünün ASTM C 618 Amerikan standardına göre C sınıfı uçucu kül sınıfına girdiği, TS EN 197-1 Türk standardına göre W (kalkersi) sınıfı uçucu kül sınıfına girdiği, aktivitesine göre aktif küller sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Kilin XRD analizi ile kalsit, kuvars, klinoklar ve muskovit, anortit tespit edilmiştir.

Seyitömer uçucu külünde XRD analizi ile kuvars, magnetit, anortit mineral fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

Çayırhan uçucu külünde XRD analizi ile kuvars, limonit, anhidrit, oligoklas mineral fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

Kilin yüzey alanı 0,705 m²/g, Seyitömer uçucu külünün yüzey alanı 0,141 m²/g, Çayırhan uçucu külünün yüzey alanı 0,334 m²/g olarak bulunmuştur.

Kile uygulanan lazer difraksiyon analizine göre d₁₀(μm) 4,363, d₅₀(μm) 26,06, d₉₀(μm) 56,976 olarak elde edilmiştir.

Seyitömer uçucu külüne uygulanan lazer difraksiyon analizine göre d₁₀(μm) 17,229, d₅₀(μm) 120,664, d₉₀(μm) 408,079 olarak elde edilmiştir.

Çayırhan uçucu külüne uygulanan lazer difraksiyon analizine göre d₁₀(μm) 7,851, d₅₀(μm) 30,95, d₉₀(μm) 78,667 olarak elde edilmiştir.

Kilin özgül ağırlığı 2,56 cm³/g, Seyitömer uçucu külünün özgül ağırlığı 1,79 cm³/g, Çayırhan uçucu külünün özgül ağırlığı 2,60 cm³/gr bulunmuştur.

Tüm sıcaklık değerleri göz önüne alındığında tüm numunelerde kuruma ve sinterleme büzülmesinde belirgin bir azalma ya da belirgin bir genleşme (şişme) görülmemiştir. Üretim esnasında az miktarda kullanılan su, şekillendirmeden ziyade homojen karışım için kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı oluşan büzülme ve şişme değeri çok küçüktür ve seramik malzemeler için istenen toplam küçülme değeri olan %10'un çok altında kaldığı görülmüştür.

Her sıcaklık değeri kendi içinde incelendiğinde Seyitömer ve Çayırhan uçucu küllü numunelerin %100 killi numuneye göre daha az kızdırma kaybına uğradığı gözlenmiştir. Uçucu külün mineralojik yapısında sinterlenme sırasında ağırlık kaybına yol açacak bileşenlerin kil malzemeye göre daha düşük olması böyle bir davranışın temel nedeni olduğu düşünülmektedir. Kil miktarının artmasıyla kızdırma kaybının da artması

kilin yapısında bulunan karbonatların sinterleme sırasında kalsinasyonu, organiklerin yanması ve kristal suyun bünyeden ayrılmasıyla açıklanabilir. Kızdırma kaybının en az olduğu numune 950 °C’de sinterlenen %60 Seyitömer uçucu küllü numunedir ve kızdırma kaybı %5,57 olarak hesaplanmıştır. İki uçucu kül arasında karşılaştırma yapıldığında kızdırma kaybı değeri Seyitömer uçucu küllü numunelerde daha azdır.

850 °C’de numunelerin kuru birim ağırlıklarına incelendiğinde Seyitömer uçucu küllü numunelerin kuru birim ağırlığı, %100 killi numunenin kuru birim ağırlığından düşüktür. %100 killi numunenin kuru birim ağırlığı da Çayırhan uçucu küllü numunelerin kuru birim ağırlığından düşüktür (Seyitömer uçucu küllü numuneler < %100 killi numune < Çayırhan uçucu küllü numuneler). Seyitömer uçucu küllü numunelerde genel olarak uçucu kül miktarı arttıkça kuru birim ağırlık azalmıştır. Görünür birim ağırlıkta da kuru birim ağırlıktaki gibi değişim gözlenmiştir (Seyitömer uçucu küllü numuneler < %100 killi numune < Çayırhan uçucu küllü numuneler). Kuru birim ağırlık ve görünür birim ağırlıkta en düşük değer %60 Seyitömer uçucu küllü numunede bulunmuştur. Seyitömer uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça genel olarak görünür birim ağırlık azalmıştır. Çayırhan uçucu küllü numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça genel olarak görünür birim ağırlık artmıştır. Görünür boşluk oranının en fazla olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numunedir. Su emmenin en az olduğu numune %100 killi numune, en fazla olduğu numune ise %60 Seyitömer uçucu küllü numunedir.

950 °C’deki kuru birim ağırlık, görünür birim ağırlık, görünür boşluk oranı ve su emmeden elde edilen sonuçlar 850 °C’deki sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. Sıcaklık artışıyla %100 killi numunede ve Seyitömer uçucu küllü numunelerde kuru birim ağırlığın azaldığı, kuru birim ağırlığın en az olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numune, görünür birim ağırlığın en az olduğu numune %40 Seyitömer uçucu küllü numune, ağırlıkça su emmenin en az %40 Çayırhan uçucu küllü numune, su emmenin en fazla numune %50 Seyitömer uçucu küllü numune olduğu tespit edilmiştir. Görünür boşluk oranının en az olduğu numune %60 Seyitömer uçucu küllü numunedir.

1050 °C’de %50 Seyitömer uçucu küllü numunenin kuru birim ağırlığı ve görünür birim ağırlığı diğer numunelere göre düşüktür. Su emmenin en az olduğu numune %60 Çayırhan uçucu küllü numune, görünür boşluk oranının en fazla olduğu numune %50 Seyitömer uçucu küllü numunedir.

Uçucu kül oranı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça Çayırhan uçucu küllü numunelerde kırmızı renk koordinatı azalırken, Seyitömer uçucu küllü numunelerde artmıştır. Her iki uçucu kül tipi için farklı renkler oluşmuştur. Seyitömer uçucu küllü numunelerde, kırmızı renkte önemli bir artış sağladığından, geleneksel tuğla üretimi için umut vaat etmektedir. Bazı mimari uygulamalarda, bazen farklı renkler istenir. Tuğla üretiminde bu ihtiyacı karşılamak için farklı tip ve uçucu kül miktarlarının kullanılabileceği gözlenmiştir.

Uçucu kül miktarının artmasıyla basınç dayanımında azalmalar gözlenmiştir. En düşük basınç dayanımlı numune bile ASTM C216, 126 ve 62 standartlarına göre minimum değerlerden daha yüksektir. Bununla birlikte, numunelerin boyutları standartlarda belirtilen boyutlardan farklı olduğundan, bir düzeltme faktörünün hesaplanması gerekmektedir. Uçucu kül miktarı arttıkça, her uçucu kül tipi için basınç dayanımındaki düşüş eğilimi farklıdır. Bunun nedeni, kimyasal bileşimlerin ve parçacık

büyüklüğü dağılımlarının farklı olmasıdır. İçerdiği CaO ve diğer oksitlerin miktarına bağlı olarak Seyitömer uçucu kül F tipi, Çayırhan uçucu kül ise C tipidir. Böylece mekanik davranışları oldukça farklıdır. Seyitömer uçucu küllü numunelerin sinterleme sıcaklığında 950 ve 1050 °C'de biraz daha yüksek dayanıma sahip olduğu, ancak Çayırhan uçucu küllü numunelerin 850 °C'de daha yüksek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, basınç dayanımı en yüksek numune 850 °C'de sinterlenen %10 Çayırhan uçucu küllü numunedir. Bu nedenle, yüksek basınç dayanımı elde etmek için sinterleme sıcaklığının artırılmasının gerekli olmadığı görülmüştür.

850 °C'de hiçbir uçucu küllü numune %100 killi numunenin eğilme dayanımına erişemediği gözlenmiştir. Seyitömer uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımı Çayırhan uçucu küllü numunelerin eğilme dayanımına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (%60 Seyitömer uçucu küllü numune hariç). Uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür.

950°C'de sıcaklığın artışıyla tüm numunelerde eğilme dayanımında bir miktar artış görülmektedir. %100 killi numunenin eğilme basıncı diğer numunelere göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür.

1050 °C'de uçucu küllü numunelerde eğilme dayanımında artışlar görülmüştür. Diğer sıcaklıklarda olduğu gibi uçucu kül miktarının artmasıyla eğilme dayanımında azalmalar görülmüştür. Bu sıcaklık değerinde en iyi eğilme dayanımı performansını gösteren Seyitömer uçucu küllü numuneler olmuştur.

850 °C'de sinterlenmiş kil numunede Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), elementleri algılanmıştır. %10, %60 Seyitömer uçucu küllü numunelerde ve %10, %60 Çayırhan uçucu küllü numunelerde Edax sistemindeki noktaya göre yapılan elementel analizde Si (silisyum), Ca (kalsiyum), Al (alüminyum), Mg (magnezyum), K (potasyum), Fe (demir), C (karbon), Na (sodyum), Ti (titanyum), Zn (çinko) elementleri algılanmıştır.

Uçucu kül oranı arttıkça tuğlalarda boşluk oranı arttığı gözlenmiştir. Boşluk oranının artmasıyla dayanımda düşüşler görülmüştür.

En çok kılcal geçirimlilik 850 °C %40 Seyitömer uçucu küllü numune ve 950 °C %50 Seyitömer uçucu küllü numunede gözlenmiştir. En az kılcal geçirimlilik 850 °C killi numunede tespit edilmiştir. Çayırhan uçucu küllü numuneler Seyitömer uçucu küllü numunelere göre daha az kılcal geçirimlidir.

Tez çalışmasında performans yönünden iyi olan kille farklı yüzdelerde yer değiştiren iki farklı tip uçucu küllü tuğlalar üretilmiştir. Fiziksel özelliklerine, mekanik özelliklerine ve mikro yapılarına bakılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abalı, S., Şahin, B. Termik Santral atıklarının yer karosu imalatında kullanım olanaklarının araştırılması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Endüstriyel Seramik Bölümü.
- Aktaş, E. ve Alioğlu, O. 2012. Türkiye’de enerji sektörü analizi: Marmara Bölgesi termik santraller örneği. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 281-298.
- Anonim 1: http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c37b2dc6484b7db_ek.pdf [Son erişim tarihi: 21.01.2018].
- Anonim 2: <http://www.jeotermal.com/dokumanlar/dosyalar/YenilenebilirEnerji.pdf> [Son erişim tarihi: 28.02.2018].
- Anonim 3: http://deneysan.com/Content/images/documents/es-02_67338194.pdf [Son erişim tarihi: 28.02.2018].
- Anonim 4: <https://otomasyonadair.com/2016/09/02/termik-enerji-santrali-nedir-nasil-calisir/> [Son erişim tarihi: 28.02.2018].
- Anonim 5: https://www.asat.gov.tr/images/su_kalite/2017agustos.pdf [Son erişim tarihi: 15.05.2018].
- Aruntaş, H.Y. 2006. Uçuküllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1): 193-203.
- Avcı, S. 2005. Türkiye’de termik santraller ve çevresel etkileri. *Coğrafya Dergisi*, 13(1): 1-26.
- Barbieri L., Andreola F., Lancellotti I., Taurino R. 2012. Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*, 29(1): 449–457.
- Bayat, O., 1999. Kırmızı çamurdan demir kazanımı ve tuğla üretimi. VII. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyum Bildirileri, Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, ss 617-623, İstanbul.
- Bentli, İ., Uyanık, A.O., Demir, U., Şahbaz, O. 2005. Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı. Türkiye 19. Ulusal Madencilik Kongresi ve Fuarı, 09-12 Haziran, İzmir.
- Bilgin N, Yeprem H.A, S. Arslan, A. Bilgin, E. Günay, Marşoglu M. 2012. Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials* 29(1): 449–457.
- Bilgil, A., Uçurum, M., Gökçe, M.V., Fener, M., Yeşilyurt E. 2017. Manufacture of fired clay bricks containing an industrial waste (bottom ash). *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2): 483-491.

- Bories C., Borredon, M.-E., Vedrenne E, Vilarem G. 2014. Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal of Environmental Management*, 143(1): 186-196.
- Chiang, K.-Y., Chien, K.-L., 2008. Study on the characteristics of building bricks produced from reservoir sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 159(1): 499-504.
- Çalışkan, F. Seramik Hammaddeleri. http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70511/47190/seramik_hammaddeleri. [Son erişim tarihi: 08.05.2018].
- Çiçek, T., Tanrıverdi, M. 2014. Kömüre dayalı termik santral uçucu küllerinden otoklav yöntemi ile hafif tuğla üretimi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İzmir.
- Çinçin, Y. 2015. Linyit yakan termik santral uçucu küllerinden kireç katkısı ile hafif tuğla üretiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 88 s.
- Demir İ., Başpınar M.S., Orhan M., 2005. Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment*, 40(1): 1533–1537.
- Demir İ., 2006. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *Building and Environment*, 41(1): 1274–1278.
- Demir, İ., Başpınar M.S., Kahraman, E. 2014. Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, OZ5785: 537-540
- Demir, İ., Orhan, M. 2018. Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/5f441cd5f43eb2f_ek.pdf [Son erişim tarihi: 16.05.2018].
- Demir, İ., Başpınar M.S., Görhan, G., Kahraman, E. 2018. Seyitömer uçucu külünün yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliğinin ön araştırması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı:131-137.
- Dorum, A., Koçak Y., Yılmaz B., Uçar A. 2010. Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 449-457.
- Ediz, N., Özdağ, H., 1995. Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Madencilik*, 34(4): 27-34.
- Eliche-Quesada, D., Martínez-Martínez, Pérez-Villarejo, S., L., Iglesias-Godino, F.J., Martínez-García C, Corpas-Iglesias, F.A. 2012. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*, 103(1): 166–173.

- Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y. Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3999.pdf> [Son erişim tarihi: 09.04.2018].
- Faria, K.C.P., Gurgel, R.F., Holanda, J.N.F., 2012. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 101(1): 7-12.
- Gencel, O., Sütçü, M. Erdoğan E., Koc V., Cay V.V., Gok M. S., 2013. Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolit. *Journal of Cleaner Production* 59(1): 111-119.
- Gencel, O., Sütçü, M. Erdoğan E., Koc V., Cay V.V., Gok M. S., 2013. Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolit. *Journal of Cleaner Production* 59(1): 111-119.
- Görhan, G., Kahraman E., Başpınar M.S, Demir İ. 2009. Uçucu kül bölüm II: kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikler yapı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2): 33-42.
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar M.S., Demir İ. 2008. Uçucu kül bölüm I: oluşumu, sınıflandırılması ve kullanım alanları. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1): 85 -94.
- Görhan, G., Kürklü, G. 2014. Alkali tuz içeriğinin geopolimer cephe kaplama malzemesi özelliklerine etkisi. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 3-4 Nisan, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Görhan G. 2011. Çeltik kavuzunun tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 154 s.
- Güler, R., Güler, H., Cocke, D.L., Sül, Ö.L. 1993. Kömür uçucu küllerinden yapılan tuğlaların bazı mekanik ve fizikokimyasal özellikleri. IX. Kimya ve Kimya Mühendisleri Sempozyumu, 20-24 Eylül, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan H. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 09-12 Haziran, İzmir.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan H. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 09-12 Haziran, İzmir.
- Gürbüz, E. 2009. C tipi uçucu küllerin etkinliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 117 s.

- Hamer, K., Karius, V. 2002. Brick production with dredged harbour sediments. An industrial-scale experiment. *Waste Management*, 22(1): 521-530.
- Kamiloğlu, Öncü. 2015. Ateş zayılatı, yüzey nemliliği, pişirme rengi, aside karşı tepkime. <https://tr.scribd.com/doc/262730444/Ate%C5%9F-Zayiat%C4%B1-Yuzey-Nemlili%C4%9Fi-Pi%C5%9Firme-Rengi-Aside-Kar%C5%9F%C4%B1-Tepkime> [Son erişim tarihi: 11.05.2018].
- Karabulut, Y. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi. http://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/tucaum3_3.pdf [Son erişim tarihi: 28.02.2018].
- Karaman, S. 2006. Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu. *KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi* 9(1).
- Kavas, T., Emrullahoglu, Ö.F. 1999. Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, ss 216-225, İzmir.
- Kavas, T., Önce, G. Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör Atıklarının Pres Tuğla Üretiminde Ergitici Eleman Olarak Kullanılabilirliği. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/41c377c73c0efed_ek.pdf [Son erişim tarihi: 16.05.2018].
- Kızılgut, S., Çuhadaroglu D., Çolak, K. 2001. Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması. Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS.
- Koç, Ö. 1997. Bor atıkları, uçucu kül ve silis dumanının inşaat tuğlası üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 95 s.
- Lkhagva T. 2006. Uçucu küllerin agrega olarak beton üretiminde kullanılması. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 139 s.
- Orhun, O. İnşaat tuğlası ve kiremit imaline elverişli toprakların tanınması. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/110886> [Son erişim tarihi: 15.05.2018].
- Pekdemir D., Bayram O. Cam tozunun tuğla yapımında kullanılabilme olanaklarının incelenmesi. https://www.researchgate.net/profile/A_Devrim_Pekdemir/publication/277309167 [Son erişim tarihi: 04.06.2018].
- Samara, M., Fafhaj, Z., 2009. Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1): 701-710.
- Söylemez, M., Demir A., Onar, A.F. 2001. Pişme sıcaklığının tuğlanın bazı fiziksel özelliklerine etkileri. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2): 71-80.
- Söylemez, M., Yıldırım, A. 2016. Termik santral uçucu külünün tuğla dayanımına etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1): 19-31.

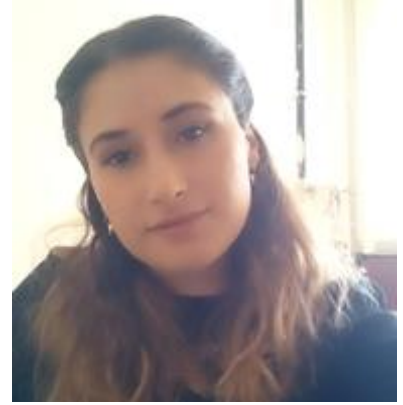
- Sunay, A. 1997. Dış cephe tuğlalarının bileşimindeki suda çözünebilir tuzların zararlarının önlenmesi. aves.erciyes.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=13&USER=4976 [Son erişim tarihi: 10.05.2018].
- Sutcu, M. 2015. Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay brick. *Ceramics International*, 41(1): 2819–2827.
- Tamzok, N. ve Torun, M. 2005. Türkiye enerji politikaları içerisinde kömürün önemi. TMMOB V. Enerji Sempozyumu, 21-23 Aralık, Ankara.
- Tuygun, C.S. 2002. Çayırhan uçucu külünün betonun mekanik özelliklerine etkisi ve etkinlik faktörünün incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 90 s.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A. 2009. Türkiye’deki uçucu küllülerin sınıflandırılması ve özellikleri. <http://www.arescimento.com.tr> [Son erişim tarihi: 20.01.2018].
- Türkmenoğlu M., Anıl M., Erkuş F. Ş. 2014. Ege Bölgesindeki termik santrallerden alınan uçucu küllerin liç karakteristiklerinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 131-140.
- Velasco P. Muñoz, Morales Ortiz M.P, M.A. Mendivil Giró, L. Muñoz V. 2014. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *Construction and Building Materials*, 63(1): 97–107.
- Velasco P. M., M. Ortiz, M.P., M. Giró, M. A., M. Melia, D., Rehbein, J.H., 2015. Development of sustainable fired clay bricks by adding kindling from vine shoot: Study of thermal and mechanical properties. *Applied Clay Science*, 107(1): 156–164.
- Yaylacı, E. 2010. Uçucu Kül (Fly Ash). <http://eyupyaylaci.com/ucucu-kul/> [Son erişim tarihi: 02.04.2018].
- Yıldız, K. 2008. Farklı tuğla fabrikası atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliği. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1): 31-41.
- Yılmaz, M. 2012. Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 33-54.
- Yüksek, S., Kaya, S., Erdem, B., Doğan, T., Duran, Z. 2016. Çevrenin korunmasında kömür baca külünün hafif yapı malzemesi yapımında kullanımı. 3rd International Symposium on Environment and Morality, 4-6 November, Alanya.
- Yüksek, S., Kaya, S. 2017. Kömür Baca Külü, Kireç ve Jips Ürünlerinden Yapı Malzemesi Yapımı. *APJES* 5 (3):58-70

Zhang L., 2013. Production of bricks from waste materials – A review. *Construction and Building Materials* 47(1): 643–655.



ÖZGEÇMİŞ

FATMA DAĞCI
fatmafidan3207@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2015-	Akdeniz Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2009-2014	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kontrol Elemanı 2014-2016 2016- Devam ediyor	Toros Yapı Denetim Akdeniz Bilgin Yapı Denetim
--	---

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1-Yalçın F., Koçkal N.U., Dağcı F., "Correlative Relationships Between The Properties of Bricks Made With Fly Ash", 7. International Conference on Medical Geology, Moskova, RUSYA, 28 Ağustos - 1 Eylül 2017, pp.44-44

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Kockal N. U., Dagci F. (2017). Effects of çayırhan fly ash on the brick properties. 8th International Advanced Technologies Symposium.
- 2-Dagci F., Kul Gül N.İ., Kockal N.U. (2018). Investigation of the use of fly ash in the production of bricks. European Conference on Science, Art and Culture 2018.
- 3- Dagci F., Kul Gül N.İ., Kockal N.U. (2018). An aesthetic perspective for sintered products. European Conference on Science, Art and Culture 2018.
- 4- Dagci F., Kul Gül N.İ., Kockal N.U. (2018). Investigation of color changes of clay mixtures. 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology.

Projeler

Akdeniz Üniversitesi BAP, “Farklı bileşen oranlarının ve üretim sıcaklıklarının üretilen tuğla özelliklerine etkileri”, Tez projesi, araştırmacı.