

124069

**TUNÇBİLEK TERMİK SANTRAL UÇUCU  
KÜLLERİNİN STONEWARE BÜNYE VE  
SIRLARINDA KULLANIMI**

**Aysun AYDAŞGİL**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Şubat 2003**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Aysun AYDAŞGİL'in "Tunçbilek Termik Santral Uçucu Küllerinin Stoneware Bünye ve Sırlarında Kullanımı" başlıklı Seramik Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi **05.02.2003** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim - Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı

İmza

Üye ( Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Bekir KARASU

Üye : Prof. Dr. Nuran AY

Üye : Yard. Doç. Dr. Münevver ÇAKI

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun **06:02.2003** tarih ve ....**5/3**..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Orhan ÖZER  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Müdürü

Anadolu Üniversitesi  
Merkez Kütüphane

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TUNÇBİLEK TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİNİN STONEWARE BÜNYE VE SIRLARINDA KULLANIMI**

**AYSUN AYDAŞGİL**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç.Dr.Bekir KARASU  
2003, 61 sayfa**

Türkiye’de termik santrallerde kullanılan kömürün yanması sonucu her yıl büyük miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Çevre dostu olabilmenin yanı sıra böylesi küllerin başka sektörler için faydalı duruma getirilmesi üzerine pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Alternatif kullanım alanlarına bir yenisini ekleyebilmek üzere yapılan mevcut çalışmada ise % 58,69 SiO<sub>2</sub>, 23,91 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,10,65 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,40 CaO, 1,58 MgO, 0,016 Cu, 0,033 Cr, 1,72 ateş kaybı kompozisyonuna sahip Tunçbilek Termik Santral uçucu külü stoneware bünyelerde kaolen, kil, kuvars yerine, stoneware sırlarda ise kaolen feldispat ve kuvars yerine kullanılmıştır. Elde edilen yeni bünyelerin küçülme, mekanik mukavemet, su emme, pişme rengi ve mikroyapıları, yeni sırların ise çatlak dayanımı, lekelenme direnci ve renkleri incelenmiştir. Alınan sonuçlar Termik Santral uçucu külünün stoneware bünye ve sırlarında değerlendirme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, Stoneware bünye, Stoneware sır, Değerlendirme, Karakterizasyon

**Anadolu Üniversitesi  
Merkez Kütüphane**

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **USE OF TUNÇBİLEK THERMAL ENERGY PLANT'S FLY ASHES IN STONEWARE BODY AND GLAZES**

**AYSUN AYDAŞGİL**

**Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Ceramic Engineering Program**

**Supervisor: Assoc.Prof.Dr.Bekir KARASU  
2003, 61 pages**

In Turkey, a considerable amount of fly ash comes out each year as a result of coal uses in thermal plants. Beside being environmentally friendly, to evaluate such ashes in various sectors several studies have been made. In the present study, which was conducted to seek alternative usage areas of the relevant ashes, fly ash of Tunçbilek Thermal Plant, which has chemical composition of 58,69 SiO<sub>2</sub>, 23,91 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10,65 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,40 CaO, 1,58 MgO, 0,016 Cu, 0,033 Cr, 1,72 ignition loss (in wt %), was incorporated into stoneware bodies replacing kaolin, clay, quartz in recipes respectively and added into stoneware glazes replacing kaolin, feldspar and quartz. Newly produced bodies were tested to determine their shrinkage, mechanical strength, water absorption, final colours and microstructures. Additionally glazes were examined for their crack resistance, spotting endurance and colours. According to results, it was concluded that fly ash of Tunçbilek Thermal Plant indicated a utilization capacity in both stoneware bodies and glazes.

**Keywords:** Fly ash, Stoneware body, Stoneware glaze, Utilisation, Characterization

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmayı önerip gerekleŐtirilmesinde her tŸrlŸ yŸnlendirici yardımı sağlayan tez danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Bekir KARASU'ya, çalıŐmam sŸresince gŸstermiŐ olduğu destek ve verdiği değerli fikirlerden dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. MŸnevver ÇAKI'ya, yardımlarından dolayı AraŐ. GŸr. GŸray KAYA'ya, her zaman yanımda olan ve destek veren değerli arkadaŐlarım Sıtkı BİÇER ve Serap ŖZPAK'a teŐekkŸr ederim.

Ayrıca hayatımın her anında olduğu gibi bu dŸnemimde de daima varlıklarını, sevgilerini ve desteklerini bilip hissettiğim değerli aileme teŐekkŸrŸ bir borç bilirim.

Aysun AYDAŞGİL

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. STONEWARE.....</b>	<b>2</b>
2.1. Stoneware'in Tanımı ve Özellikleri.....	2
2.2. Stoneware Bünyelerde Kullanılan Temel Hammaddeleri.....	5
2.2.1. Özlü Seramik Hammaddeleri.....	6
2.2.1.1. Kil ve Kaolen Grubu.....	6
2.2.2. Özsüz Seramik Hammaddeleri.....	7
2.2.2.1. Kuvars Grubu.....	8
2.2.2.2. Feldispat Grubu.....	9
2.3. Stoneware Üretimi.....	11
<b>3. STONEWARE SIRLARI.....</b>	<b>14</b>
3.1. Sır Hammaddeleri.....	15
3.1.1. Silisyum Di Oksit.....	15
3.1.2. Alüminyum Oksit.....	15
3.1.3. Sodyum Oksit.....	15
3.1.4. Potasyum Oksit.....	16
3.1.5. Lityum Oksit.....	16
3.1.6. Baryum Oksit.....	16
3.1.7. Kalsiyum Oksit.....	16
3.1.8. Çinko Oksit.....	17

## İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

	<u>Sayfa No</u>
<b>4. TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİ</b> .....	18
4.1. Termik Santral Uçucu Külleri Hakkında Genel Bilgi.....	18
4.2. Çalışmanın Amacı.....	20
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	23
5.1 Kullanılan Hammaddeler.....	23
5.1.1. Tunçbilek Termik Santral Uçucu Kül Atığı.....	23
5.1.2. Kil.....	24
5.1.3. Kaolen.....	25
5.1.4. Kuvars.....	25
5.1.5. Potasyum Feldispat.....	26
5.1.6. Sodyum Feldispat.....	27
5.1.7. Sır Hammaddeleri.....	27
5.2 Çalışma Esnasında Kullanılan Cihazlar.....	28
5.3. Stoneware Bünye ve Sır Hazırlama Süreçleri.....	28
5.3.1. Çamur Hazırlama.....	28
5.3.2. Eleme.....	29
5.3.3. Şekillendirme.....	29
5.3.4. Kurutma.....	30
5.3.5. Bisküvi Pişirimi.....	30
5.3.6. Sır Hazırlama.....	30
5.3.7. Sırlama.....	31
5.3.8 Sır Pişirimi.....	31
5.4. Bünyelere Uygulanan Testler ve Analizler .....	32
5.4.1. Kuru Küçülme Testi .....	32
5.4.2. Pişme Küçülme Testi .....	32
5.4.3. Toplam Küçülme Testi .....	33
5.4.4. Kuru Mukavemet Testi .....	33
5.4.5. Pişme Mukavemeti Testi .....	34
5.4.6. Su Emme Testi .....	34
5.4.7. X-Işını Kırınım (XRD) Analizi .....	35

## İÇİNDEKİLER (DEVAMI)

### Sayfa No

5.4.8 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Saçınımlı X-Işını Spektrometre (EDX) Analizleri.....	35
5.5. Sırlı Numunelere Uygulanan Testler.....	35
5.5.1 Harkort Testi.....	35
5.5.2 Otoklav Testi.....	36
5.5.3 Lekelenme Testi.....	36
5.5.4. Renk Analizi.....	36
<b>6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>37</b>
6.1. Tunçbilek Termik Santral Uçucu Kül Atığının Nihai Ürünün Fiziksel, Mekanik ve Mikro Yapı Özelliklerine Etkisi.....	37
6.1.1. Kuru Küçülme, Pişme Küçülmesi ve Toplam Küçülme Değerleri .....	37
6.1.2. Kuru ve Pişme Mukavemeti Değerleri .....	38
6.1.3. Su Emme Değerleri .....	39
6.1.4. Renk Analizi.....	40
6.1.5. XRD Sonuçları .....	41
6.1.6. SEM ve EDX Sonuçları .....	43
6.2. Stoneware Sır Sonuçları.....	54
<b>7. GENEL SONUÇLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>58</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
2.1. Kristobalit, tridimit ve kuvarsın dönüşümleri.....	8
4.1. Tunçbilek Termik Santral Uçucu Kül Zenginleştirme Akım Şeması.....	20
6.1. A, A1, A2, A3, A4 bünyelerine ait XRD paternleri.....	41
6.2. A, A5, A6, A7 bünyelerine ait XRD paternleri.....	41
6.3. A, A8, A9 bünyelerine ait XRD paternleri.....	42
6.4. Standart stoneware (A) (a), T-210 kaoleni yerine (A1) (b), A-404 kaoleni yerine (A2) (c), toplam kaolen yerine (A3) (d), toplam kaolenin ¼'ü yerine (A4) (e) uçucu kül içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir.....	43
6.5. Standart stoneware (A) (a), T-174 kilinin ¼'ü yerine (A5) (b), T-174 kilinin ½'si yerine (A7) (c), T-174 kilinin tamamı yerine (A6) (d), uçucu kül içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir.....	44
6.6. Standart stoneware (A) (a), kuvarsın ½'si yerine (A8) (b), kuvarsın tamamı yerine (A9) (d), uçucu kül içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir...)	45
6.7. 1150 °C sıcaklıkta, 3 ssat süre ile pişirilmiş standart stoneware bünyenin SEM görüntüsü.....	46
6.8. Şekil 6.7' de ki 1 numaralı beyaz tanenin TiO <sub>2</sub> 'ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.....	47
6.9. Şekil 6.7' de ki 2 numaralı gri tanenin SiO <sub>2</sub> 'ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.....	47
6.10. 1150 °C sıcaklıkta, 3 ssat süre ile pişirilmiş kuvarsın tamamı yerine kül kullanımı ile elde edilen bünyenin (A9) SEM görüntüsü.....	48
6.11. Şekil 6.10' da ki 1 numaralı beyaz tanenin Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu .....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

### Sayfa No

- 6.12. Şekil 6.7’de ki 2 numaralı gri tanenin  $\text{SiO}_2$  ‘ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu..... 49
- 6.13. 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş kilin  $\frac{1}{4}$ ’ü yerine kül kullanımı ile elde edilen bünyenin (A5) SEM görüntüsü..... 50
- 6.14. Şekil 6.13’de ki 1 numaralı beyaz tanenin  $\text{TiO}_2$  ‘ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu..... 51
- 6.15. Şekil 6.13’de ki 2 numaralı gri tanenin  $\text{SiO}_2$ ’ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu..... 51
- 6.16. 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş standart bünyedeki toplam kaolenin yerine uçucu kül kullanımı ile elde edilen bünyenin (A3) SEM görüntüsü..... 52
- 6.17. Şekil 6.16’daki 1 numaralı beyaz tanenin  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ’e ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu..... 53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

1.1	8-10 Konilik bazı tipik plastik stoneware'lerin karışımları.....	4
5.1.	Tunçbilek külünün tane boyut dağılımı.....	22
5.2.	Termik Santral uçucu külünün kimyasal analizi (%).....	22
5.3.	Bünye reçetelerinde kullanılan killerin kimyasal analizleri (%).....	23
5.4.	Kullanılan killerin mineralojik analizleri (%).....	23
5.5.	Bünyelerde kullanılan kaolenlerin kimyasal analizleri (%).....	23
5.6.	Kullanılan kaolenlerin mineralojik analizleri (%).....	24
5.7.	Reçetelerde kullanılan kuvarsın kimyasal analizi (%).....	24
5.8.	Kullanılan kuvarsın mineralojik analizi (%).....	24
5.9.	Bünyelerde kullanılan potasyum feldispatın kimyasal analizi (%).....	25
5.10.	Kullanılan potasyum feldispatın mineralojik analizi (%).....	25
5.11.	Bünyelerde kullanılan sodyum feldispatın kimyasal analizi (%).....	25
5.12.	Kullanılan sodyum feldispatın mineralojik analizi (%).....	25
5.13.	Sır hazırlanmasında kullanılan hammaddelerin % oksit bileşimleri.....	26
5.14.	Standart ve uçucu kül atıklı reçetelerin hammadde % ağırlık oranları.....	28
5.15.	Standart stoneware reçetesinin mineralojik analizi.....	28
5.16.	Standart ve uçucu kül katkılı 1A ve 2A no. lu sır reçetelerinin hammadde % ağırlık oranları.....	29
5.17.	Standart ve uçucu kül katkılı 3A, 4A ve 5A no. lu sır reçetelerinin hammadde % ağırlık oranları.....	30
6.1.	Stoneware bünyelerin % küçülme değerleri.....	37
6.2.	Stoneware bünyelerin kuru ve pişme mukavemet değerleri.....	38
6.3.	Stoneware bünyelere ait % su emme değerleri.....	39
6.4.	Stoneware bünyelerin renk parametreleri.....	40
6.5.	Sırlı numunelere uygulanan standart testlerin sonuçları.....	55

## 1. GİRİŞ

Stoneware yaklaşık 1150 ile 1300 °C sıcaklık aralığında pişirilen toprak ürünlerine verilen isimdir. Genellikle bünye gri veya açık kahverengindedir [1].

Sırlama işlemi bünyenin ön pişiriminden sonra uygulanır ve daha düşük bir sıcaklıkta (1000-1100 °C) gövde ile birlikte olgunlaştırılır [2].

Stoneware sırları çizilmeye karşı çok dayanıklı ve aside gayet dirençlidir. İsteğe bağlı olarak; saydam, renkli, kristalin veya mat olabilirler. Bazen kuru sır olarak da adlandırılan astarlar stoneware üzerinde elde edilen etkileri zenginleştirirler [3].

Uçucu kül, kömürün yanmasıyla ortaya çıkan ve baca gazları ile sürüklenen, silika ve alümina-silika tozu formunda bir yanma kalıntısıdır (TS 639). Elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taş kömürünün % 10-15'ini, linyit kömürünün ise % 20-40'ını bu tür küller oluşturmaktadır. Yanma sonucu oluşan külün % 75-85'i baca gazları ile atılır. Elektro filtreler sayesinde bacada tutulan kül, kül barajlarına aktarılır. Uçucu küller % 50 veya daha fazla  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  içermektedir. Uçucu külün değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarla inşaat sektöründe çimento, gazlı beton, tuğla vb. yapımında [4-5] cam ve cam seramik eldesinde [6] karo üretiminde [7] ve sofraya eşyası yapımında [8] değerlendirilebileceği görülmüştür.

Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürün yanması sonucu her yıl büyük miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Çevre dostu olabilmenin yanı sıra, böylesi küllerin başka sektörler için faydalı duruma getirilmesi üzerine gerçekleştirilen bilimsel çalışmaların bir kolunda da uçucu külün farklı seramik bünyelerde çeşitli hammaddelerin yerini alıp alamayacağı incelenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Alternatif kullanım alanlarına bir yenisini daha ekleyebilmek üzere yapılan bu çalışmada ise Tunçbilek Termik Santral uçucu külünün stoneware bünyelerde kil, kaolen, kuvars yerine [9], stoneware sırlarında da kaolen,  $CaCO_3$  veya kuvarsın yerine geçip geçemeyeceği araştırılmış, ayrıca bu atığın stoneware sırlarındaki renklendiricilik etkisi de incelenmiştir [10-11]. Sonuçta, ilgili uçucu külün stoneware bünyelerde ve sırlarında değerlendirilebileceği görülmüştür.

## 2. STONEWARE

### 2.1. Stoneware'in Tanımı ve Özellikleri

Stoneware 15. yüzyılın başlarında gelişmemiş ülkelerde kaba toprak ürünün yerine geçmiştir. İngiltere'de bu tip ürünlerin ilk kez olarak ortaya çıkışı epey bir zaman almıştır. Saf killerin kullanımıyla bünye içeriği artırılmış ve beyazımsı bünye üretilmiştir [12].

Stoneware benzer amaçla kullanılan çanak çömleğin evrim geçirmiş hâlidir. Farkı stoneware'in daha yoğun ve parlak olmasıdır. Çanak çömlek gibi stoneware üretimi de, özellikle çanak çömlek için uygun kil yataklarının bulunduğu yerlerde yaygın olup belki de çanak çömlekten daha fazla yöre ile ilgilidir. Faenza, Majorca ve Delft' de ki gibi stoneware'in tane özellikleri kullanılan teknikten değil sadece kil yataklarının özelliklerinden etkilenir. Stoneware killeri akışkanlaştırıcılar bakımından oldukça zengindir ve pişme sıcaklığı yeterince yüksek olduğundan gövdenin cam gibi parlatılmasına ve böylece gözeneksiz yüzeylerin eldesine imkân tanır. Stoneware, çanak çömleğin tersine bazen daha düşük sıcaklıkta işlenir ve sonuçta farklı renkler ortaya çıkar [2].

Stoneware'in daha yüksek pişirim sıcaklıklarına bağlı olarak değeri de artar. Gözeneksiz olduğu için ağırdır. Aynı sebepten dolayı toprak ürünlerinden çok daha yüksek mekanik mukavemete sahiptir. Stoneware, çekici rustik görünümünden dolayı 1970'den beri beğenilmektedir. Toplumlar genellikle endüstriyel formundan çok, sanatsal olarak üretilen stoneware'in güzelliğine daha duyarlı olmuşlardır [2].

Stoneware bünyeler hem orta hem de yüksek sıcaklıkta (900-1300 °C) işlev görebilen, sağlam, yoğun ve güvenilir ürünlerdir. İşlevsel kullanımlar için uygun olup. sürekli kullanıma ve sıkça temizlenmeye dayanıklıdırlar. Genellikle % 50 kilin yanı sıra düzenli biçimde silika, potasyum veya sodyum feldispat içerir. Orta ve yüksek pişirim bünyeleri açık fildişi, açık kahverengi, koyu kırmızı veya kahverengiye kadar değişen renklerde bulunabilir [13].

Stoneware uygun biçimde pişirildiğinde sert, hemen hemen hiç sıvı geçirmeyen ve ısıl şoklara dayanıklı bir malzemedir [14].

Pek çok seramik yapımcısı oksit ortamda pişirilmiş stoneware'lerin görünümünü geliştirmek için bünye bileşimine magnezya veya ilmenit parçacıkları ilâve ederler. Fakat bunlar düşük sıcaklıkta pişirilmiş bünyeler kadar başarılı değildirler. Genel olarak oksitleyici fırın ortamında üretilen stoneware'in düşük sıcaklık bünyelerine göre düşük kaliteli kil içermedikleri görülür [13].

Stoneware killeri genellikle yüzey toprağının altında doğal biçimde oluşan maddelerde bulunur. Buldukları formda işlenebilme kabiliyetine sahip olmalarına rağmen stoneware'lerde kullanımlarını geliştirecek ilâve işlemler gerektirebilirler. Toprak ürünlerinde olduğu gibi bu işlemler üç grupta toplanırlar: eritme, renk ve refrakterlik. Stoneware'lerde gövdeyi daha az gözenekli yapmak için feldispat ve nefelin siyanit gibi maddelerin camlaşma yeteneğinden faydalanılır. Sır bünye uyumunu geliştirmek için silika katılır. Stoneware'in bünye rengi, oksitlerin, karbonatların ilâvesine ve karbon dioksit ortamına göre değişebilir. Refrakterlik ve killerin çalışma özellikleri kum ve grog ile geliştirilebilir. Plastikliği kontrol etmek ve kuruma özelliklerini desteklemek için de bazı modifikasyonlar yapılabilir [14].

Stoneware'in üretim yöntemleri toprak ürünlerinininkinden daha basittir. Çünkü daha yüksek ısı ve daha az akışkanlaştırıcı gerektirirler. Stoneware'de esnekliğe, ateşte işleme yoğunluğuna sahip ve renk gereksinimlerine cevap verebilen stoneware killlerinden faydalanılmalıdır. Bu killer doğrudan kullanılabilirdiği gibi, renk, bünye veya sır uyumu için esnek olacak şekilde kısmi değişiklikler de gerektirebilirler. İyi bir stoneware kili plastik karakter taşımalıdır; pişirim sonunda bünye renkleri açık sarı, gri veya açık kahverenginde olmalıdır [15].

Stoneware ürünlerin oldukça yüksek ısıda pişirilmesi bünyenin akışkanlığını sağlayan ve geniş bir pişirim aralığına sahip feldispatın kullanılmasını mümkün kılar. Stoneware killeri ucuz olup işleme zorluğu ve tehlikesi taşımazlar. Stoneware yapımında kullanılan bazı ateş killeri daha yüksek pişme aralığına sahip, daha sert ve daha az plastiktirler. Sertliği arttırmak için ateş killeri ile stoneware killeri karıştırılabilir. Bazen de kum yerine % 10'u geçmeyecek kadar grog kullanılabilir [15].

Doğal stoneware killeri mevcut olmadığında yüksek sıcaklıkta pişirilecek bünyeler kaolen, ball kili (ince plastik kil), feldispat ve renklendirici kırmızı kil veya demir oksitten hareketle üretilebilir. Ancak, böyle bünyeler doğal bir stoneware bünyenin plastik yapısından yoksun olabilir [15].

**Çizelge 1.1** 8-10 konilik bazı tipik plastik stoneware'lerin karışımları

	A	B	C	D	E	F
Stoneware kili	80	75	40	30	-	20
Sagger kili	-	-	20	-	-	-
İnce Plastik kil	10	15	20	30	30	15
Kaolen	-	-	-	-	40	25
Kırmızı kil	-	-	-	10	5	-
Feldispat	10	10	10	-	15	20
Flint	-	-	10	-	10	20
Ateş kili	-	-	-	30	-	-

İnce plastik kil, feldispat ve stoneware kilinden oluşan A bünyesinin plastikliğinin gayet iyi, B bünyesinin ball kili miktarının artırılmasından dolayı daha plastik olduğu bildirilmiştir [15]. C bünyesinde Sagger kili (refrakter kil) kullanılmıştır. Bundan dolayı plastikliği daha düşüktür. Sır ile uyumu için 10 kısım flint ilâve edilmiştir. D bünyesi ateş kilinin kullanılmasından dolayı sert bir bünyedir. E az miktarda kırmızı kil ilâvesiyle renklendirilen ve plastikğin artırılması için stoneware kili yerine ball kili ve kaolinin kullanıldığı stoneware bünyedir. F döküm veya jiggering için düzenlenmiş bir bünyedir [15].

Stoneware killeri stoneware üretiminde yaygın olarak kullanıldığı için bu ismi alırlar. İyi plastiklik ve kuruma özelliğine sahiptirler, gözeneksiz yapıda olup yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Bu killerin plastik özelliği önemli ölçüde silika ve feldispat ile birleşen kaolenle sağlanır [12].

Amerika Birleşik Devletleri'nin doğusunda oldukça geniş stoneware kil yatakları mevcuttur. İngiltere'de Devon ve Dorset killeri ile ilişkili silika killeri stoneware bünyelerde yaygın olarak kullanılır. Almanya'da kaliteli stoneware

killeri bulunmaktadır. Stoneware killerinin yüksek silika içeriği önemli ölçüde serbest kuvars varlığının göstergesidir; yüksek miktardaki demir ve titanyum açık kahverenginin oluşmasına yol açarken yüksek alkali oranı bünyenin koni 9'da çalışmasına imkân verir [12].

Stoneware üretimine uygun tane boyutu gösteren killerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir [16]:

Kuru Küçülme	: % 8,2
Kopma Modülü	: Pişmemiş 808 lb/in <sup>2</sup> (57 kg/cm <sup>2</sup> ) Pişmiş 13,570 lb/in <sup>2</sup> (954 kg/cm <sup>2</sup> )
Isıl Genleşme	: 500 °C'de % 0,282 600 °C'de % 0,351
Su Emme	: % 1

Josiah Wedgwood özel işlemler sonucu stoneware ürünler (Jasper ve siyah basalt) geliştirmiştir. Bunlar bugün bile hâlâ yapılmaktadır [1].

Jasper genellikle özel işlenmiş stoneware olarak görünmesine rağmen bir porselen gibi tanıtılabilir. Çünkü herhangi bir renklendirici oksit ile renklendirilmediği sürece uygulama beyazdır [2].

Özellikle süs eşyası olarak kullanılan Jasper'ın iç kısmı beyazdır, sadece dış kısmı renklendirilir. Eklemeli kısımlar sert toprak eşya kalıplarında ayrıca yapılır. Gövde negatif kabartma içinde preslenir, yüzey düzgünleştirilir ve preslenen kısımlar özel bir spatula ile kalıptan çıkartılır. Bunların ana parçaya eklenmeleri büyük hüner gerektirir [2].

Siyah gövdeli *Black basalt*'ın dış kısmı sırlanmadan kalır ve sadece bazen iç kısmı sırlanır. Ball kili veya kırmızı kilin içerdiği yüksek oranda ki mangezyum oksit sadece güçlü bir renklendirici olarak değil aynı zamanda akışkanlaştırıcı olarak da işlem görür. Renklendirici olarak kireçli sarıya çalan kahverengini verir [2].

## 2.2 Stoneware Bünyelerde Kullanılan Temel Hammaddeler

Stoneware hammaddeleri üç ana grupta toplanır;

- 1- Kil ve kaolen grubu
- 2- Kuvars grubu



### 3- Feldispat

Kil ve kaolen grubu özlü, kuvars ve feldispat grubu özsüz hammaddelerdir.

#### 2.2.1 Özlü Seramik Hammaddeleri

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurdukları zaman verilen şekli koruyabilen hammaddeler özlü seramik hammaddeleri olarak adlandırılır. Feldispatların asidik ortamda bozulması sonucu oluşan kaolen, kaolenlerin doğal olaylarla taşınıp başka yerlerde yataklanması ile oluşan killer, bazik ortamda feldispatların bozulması ile ortaya çıkan montmorillonit ve bu minerallerin doğal etkilerle taşınması sonucu meydana gelen bentonit mineralleri özlü seramik hammaddeleridir.

Özlü seramik hammaddeleri kendi aralarında özlülük derecesine göre sıralanırlar. Sıralamada etken olarak oluşum koşullarına göre içerdikleri tane irilikleri ve yoğrulmaları için alabildikleri su miktarı gösterilebilir. Buna göre en özlü hammadde olarak birinci sırayı montmorillonitik yapıya sahip killer alırken, sonuncu sırada kaolinler yer alır [17].

##### 2.2.1.1. Kil ve Kaolen Grubu

Killer su ile ıslatıldığında yapışkan bir kütle halini alan, su ile karıştırılması durumunda döküm özelliği kazanabilen , kurutulduğunda sert, gevrek olan ve şeklini kaybetmeyen bir toprak biçimindedir [18].

Kilin ana kayası jeolojik devirlerde oluşmuş bulunan feldispatlardır. Feldispatların asidik ortamda bozulması sonucu oluşan kaolenin rüzgar, su vs. gibi doğal şartların etkisi ile bulunduğu ortamdan taşınıp arazi içersindeki çukurlara dolup, buralarda zamanla çökmesi ile kil yatakları oluşur [19,20].

Kil yatağının oluşumu sırasında kilin bünyesinde bulunabilen ateşe dayanıklılığı azaltıcı etki gösteren bazı bileşenler taşınmaya bağlı olarak bünyeden ayrılır. Fakat kilin depolandığı havzaya karbonatlar, kireç taşları, kumlar da gelebilir. Bu arada jips kil yatağına kolayca girer ve böylece karışık yataklanma görülür. Bünyeye katılan yabancı maddeler (metal oksitler,

karbonatlar, sülfatlar, kömür, humus gibi) kilin saflığını, kalitesini, beyazlığını ve döküm özelliklerini bozucu etki yapar [21].

Kaolenler kil mineralleri sınıflandırması içinde belli bir gruba verilen isimdir. Kaolenler primer oluşurlar ve yapılarında daha az safsızlık içerdiklerinden doğal görünüşleri gibi pişme renkleri de beyazdır. Kaolenlerin plastiklikleri ve kuru mukavemetleri killere oranla daha düşüktür.

Kil ve kaolenler oluşum bakımından birbirine benzerler. Ancak, primer yatakları kaolenler, sekonder yatakları da killeri teşkil ederler [21-22].

Halloysit kaolin grubuna dahildir. Aynı yapıda olup ideal formülü  $(Al_2(OH_4)Si_2O_5)$  şeklindedir. Kil minerallerinin diğer bir grubu ise montmorillonittir. Kimyasal formülü  $(Al_{1.67}Mg_{0.33}Si_4O_{10}(OH_2))$  montmorillonit üç tabakalı mineral yapısındadır. Montmorillonitte, iki silika tabakasının ortasında alümina tabakası yer alır [2].

Killerin pişirim sonrası rengi, pişirim öncesine göre çok farklı olabilir. Kilin piştikten sonra alacağı renk, pişme sıcaklığı, pişme türü ve kilin içerdiği renk veren oksit miktarına bağlıdır. Bünyede bulunan oksitlerin miktarı ile ilişkili olarak pişirim sonrası renk çok açık sarıdan koyu pas rengine hatta redüksiyonlu ortamlarda siyaha kadar dönüşebilir. Kil içinde kireçte bulunabilir. Bu durumda bünyede pişme esnasında sarı bir renklenme görülür [23].

Kil minerallerinin bileşimleri genellikle alüminyum silikatlar oluşturmakla birlikte bir kısım kil minerallerinde alüminyumun yerine magnezyum veya kısmen demir almaktadır. Bazı killeri, bir cins kil minerallerinden, bazıları ile birkaç kil mineralinin karışımından meydana gelmektedir [24].

### 2.2.2. Özsüz Seramik Hammaddeleri

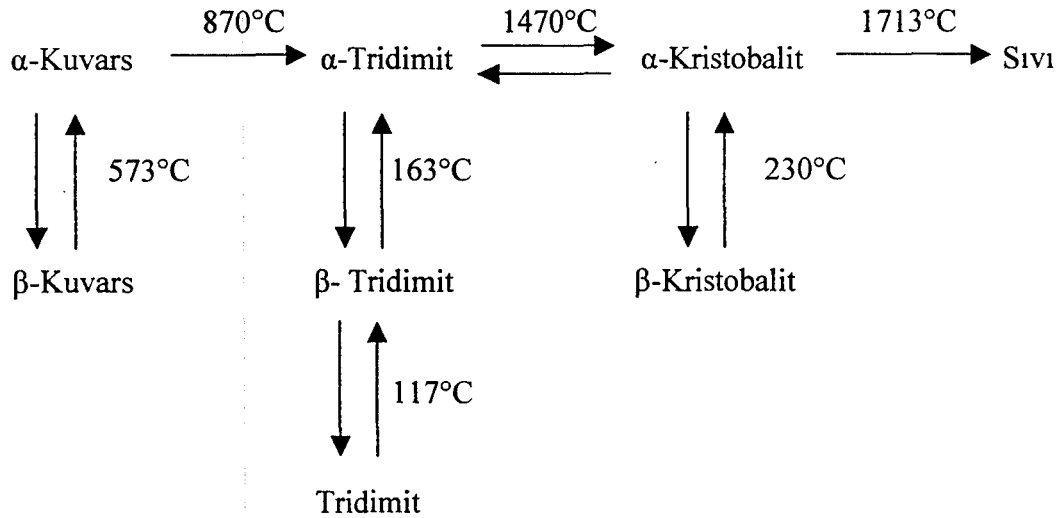
Su ile karıştırıldıklarında kolayca şekil verilemeyen, şekil verilse bile bir dış etken ile şeklini kaybedip dağılabilen maddeler özsüz seramik hammaddelerdir. Kuvars, feldispatlar, talk, magnezit, dolomit bu gruba oluşturmaktadır. Özsüz hammaddeler katıldıkları seramik çamurunu özsüzleştirerek plastikliği azaltır. Genelde çamurun kuru mukavemet, kuru küçülme ve pişme küçülmesini azaltır, su emmeyi arttırlar.

Pişmekte olan üründe de önemli rol oynayan özsüz seramik hammaddeleri, çamurun pişme özelliklerini ve pişme sıcaklık aralığında etkiler. Örneğin feldispat, kalsiyum karbonat ve pegmatit gibi maddeler, büyük ölçüde pişme sıcaklığının etkisiyle, çamur içersinde eritici özellik göstererek erken sinterleşmeyi sağlarlar.

### 2.2.2.1. Kuvars Grubu

Kuvars yer yüzünün bilinen kısmının % 25 ni oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok raslanan silisyumdur. Özgül ağırlığı  $2.65 \text{ gr/cm}^3$  tür. Sertliği Mohs Sıkalasına göre 7 olup,  $1785 \text{ }^\circ\text{C}$  gibi yüksek bir sıcaklıkta ergir. Kuvars minerali dilinimsiz, camsı kırık yerlerinde yağlımsı olup genellikle renksiz ve beyazdır. Ancak, içerdiği yabancı maddelere bağlı olarak değişik renkler sahiptir. Kimyasal bileşime % 46.75 Si, % 53.25 O<sub>2</sub> 'dir. Doğal kuvars içinde lityum, sodyum, alüminyum, titanyum, magnezyum da bulunabilir. Kimyasal bileşimindeki değişimler çok az olmasına karşı önemlidir.

Saf kuvars ısıtmaya başlandığında çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrar (Şekil-2.1).



Şekil 2.1. Kristobalit, tridimit ve kuvarsın dönüşümleri [25].

Kuvarsın oda sıcaklığında kararlı şekli  $\beta$ -kuvarstır.  $\beta$ -kuvars  $573 \text{ }^\circ\text{C}$  de hızlı olarak  $\alpha$ -kuvarsa dönüşür. Bu reaksiyon tersinirdir ve hacimce % 2'lik bir büyüme

gösterir. Isıtmaya devam edilip 870 °C'ye gelindiğinde  $\alpha$ -kuvars,  $\alpha$ -tridimite dönüşür ve hacimce % 12'lik bir artış gösterir. Sıcaklık 1470 °C'ye geldiğinde  $\alpha$ -tridimit,  $\alpha$ -kristobalite dönüşür ve hacimce % 5 artış meydana gelir. 1713 °C'de ise kristobalit eriyerek kuvars camı haline gelir. Kuvarsın tüm bu dönüşümleri tersinirdir. Eğer kuvars ısıtma sonunda çok uzun süre içerisinde soğutmaya bırakılırsa kristobalit tridimite, tridimit  $\alpha$ -kuvarsa ve  $\beta$ -kuvarsa dönüşür. Hızlı soğutmada ise tridimit ve kristobalit kendi aralarında % 5'lik küçülme gösterecek şekilde modifikasyona uğrarlar.  $\alpha$ -kristobalit 230 °C'de  $\beta$ -kristobalite dönüşür.  $\alpha$ -tridimit 163 °C'de  $\beta$ -tridimite o da 117 °C'de  $\gamma$ -tridimite dönüşür [17,21,26].

Kuvars ısıtma sonrası çok uzun sürede soğumaya tabi tutulursa, kuvars dönüşümleri mümkün olurken soğuma hızlı yapılırsa kuvars yüksek sıcaklıktaki hali ile soğur, diğer modifikasyonlara geçecek zaman bulamaz. Fırınlarda hızlı soğutma yapıldığından fırından çıkan mamulde bütüm modifikasyonlar bulunabilir. Her değişim kendi soğuma eğrisini takip eder.

Kuvars polimorfları seramik açısından çok önemlidir. Dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişiklikleri olacağından bu bölgelerdeki ani sıcaklık dalgalanmalarından sakınmak ve bu noktalardan yavaş geçmek lazımdır. Aksi halde çatlama meydana gelir. [19,27,28].

Bünyedeki kuvars yapının kuru küçülmesini azaltır, plastikliği düzenlemeye yardım eder ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir. Aynı zamanda pişmiş bünyenin beyazlığını kontrol etmede de kullanılır. Belki de en önemli fonksiyonu, bünyenin ısıl genişmesini kontrol etmesidir. Cam formunda çok düşük ısıl genişmeye sahip olan kuvars, serbest formda bünyenin ısıl genişmesine, dolayısıyla sır çatlak dayanımını kontrol eder. Çünkü, serbest haldeki kuvarsın ısıl genişmesi cam içindeki kuvarstan çok daha yüksektir. Ancak, bu pozitif etkilerine rağmen kristalin kuvarsın allotropik dönüşümleri pişirme esnasında dikkat edilmesi gereken önemli unsurdur [24].

#### 2.2.2.2. Feldispat Grubu

Yer yüzünün en önemli minerallerinden biri olan feldispatlar, bir mineral grubunun genel adı olup yer kabuğunun yaklaşık % 60'ını meydana getirmekte ve

çoğu ülkelerdeki magmatik, metamorfik ve sedimanter yataklarda bulunmaktadır [29].

Feldispatlar esas itibariyle susuz alüminyum silikatlardır. Üç ana tip feldispat mevcuttur. Bunlar: Ortoklaz ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), Albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) ve Anortit ( $\text{CaAlSi}_2\text{O}_8$ ).

Potasyum Feldispatlar;

Alkali feldispatlarda potasyum ile sodyum feldispatlar arasında katı çözelti oluşum aralıkları çok dar olup, potasyumun yerine belirli ölçülerde ve bazı fiziki şartlarda sodyum alabilir. Tabiatta K-feldispatlar çoğunlukla Na-feldispatlarla birlikte ve daha tali olarak da Ca-feldispatlarla birlikte bulunur. K-feldispat grubundan ortoklaz ısıtıldığı zaman  $1160\text{ }^\circ\text{C}$ 'de bozulmaya başlar ve  $1290\text{ }^\circ\text{C}$ 'de erimesi tamamlanır. Saf ortoklaz eriyince tetragonal yapıdaki lüsit ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ ) ve cama dönüşür [2]. K-feldispat grubunda gerek oluşum gerekse seramik sektörü için önemli olan ortoklazdır. Çünkü, yüksek viskoziteye sahip bir eriyik oluşturup, ürünün şekil bozulmalarına karşı dayanımını artırır.

Sodyum Feldispatlar;

Sodyum feldispatlardan, plajioloklas grubunun kalsiyum içermeyen üyesi albit olup formülü  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  'dir. Doğada albit, K-feldispat ile katı çözelti oluşturmayıp ancak bir miktar K-feldispat ile birlikte bulunurlar. Albitlerin seramik ve cam hammaddesi yönünden önemi çok fazladır. Na-feldispat grubu üyesi saf albit  $1120\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ergir ve (% 65 ortoklaz, % 35 albit içeren bir  $1070\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ergir) ortoklastaki çok az albit miktarı ergime miktarını düşürür.

Kalsiyum Feldispatlar;

Kalsiyumlu feldispatlar, Ca ve Na içeriklerine göre izomorf bir seri oluştururlar. Feldispatlar doğada çok yaygın buldukları halde az sayıda oluşum cam ve seramik sanayiine uygun özellikte hammadde içermektedir. Bunun nedeni, feldispat (özellikle K-feldispat) oluşumlarının büyük çoğunluğunun ince taneli kayaların bileşeni olarak bulunması ve demir içeren mineraller tarafından kirletilmiş olmasıdır [30].

Seramik ve cam sektörü için feldispatların erime derecelerinin büyük önemi olup, erime dereceleri çok az miktarda da olsa içlerinde diğer feldispat kristallerinin izomorf halde bulunmaları ile değişmektedir .

Potasyum feldispat	1200-1250 °C
Sodyum feldispat	1150-1225 °C
Kalsiyum feldispat	1500-1550 °C [29].

Ayrıca seramik sektöründe hiç istenmeyen mika (muskovit, biyotit), turmalin gibi mineraller kaliteyi etkileyen önemli unsurlar olup, ekonomik bir şekilde manyetik ayırma ve flotasyon metotları ile bu safsızlıklardan arındırma mümkündür [31].

### 2.3 Stoneware Üretimi

Anlaşmalı firmalardan alınan stoneware hammaddeleri kırma-öğütme tesisinde özlü hammaddeler için kil yongalama ve bıçaklı kırıcı, sert hammaddeler için çekiçli kırıcı ve çeneli kırıcı makineleri kullanılarak değirmende öğütülecek tane boyutuna (63 mikron) indirilir. Hazırlanan bu hammaddeler stok sahasında bakslarda muhafaza edilir.

Stok sahasından alınan hammaddeler değirmen silolarına yüklenir. Silolardan sır ve masse reçetelerine göre otomatik ölçüm yapan kantarlar vasıtasıyla ve konveyörlerin yardımıyla hammaddeler değirmenlere alınır. Sır değirmeni (2 tonluk) 12 saat, masse değirmeni (12 tonluk) 5 saatlik öğütme sonrası hazırlanan çamur 80 din'lik titreşimli elekten, sır ise 100 din'lik titreşimli elekten ve manyetik tutuculardan geçirilerek dinlenme havuzlarına verilir. Çamurun bu havuzlarda dinlenmesi plastikliğini artırır. Sır ve çamurun dibe çökmemesi için yavaş karıştırıcılar bulunur.

Masse dinlenme havuzlarından pompalar vasıtasıyla filter preslere gönderilir. Filter preslerde çamurun suyu % 20-25 civarına kadar indirilir. Buradan çıkan çamur vakum prese gönderilir. Vakum pres, ağızından çıkan çamurda hava kalmamasını sağlayarak şekillendirme ve pişme sırasında meydana gelebilecek hataları önler. Vakum preste sucuk hâline getirilen çamur tornada şekillendirilir. Çok miktarda üretim istendiğinde bu yöntem kullanılır.

İkinci bir şekillendirme yöntemi ise döküm ve basınçlı dökümdür. Dikey oval ürünler döküm yöntemiyle şekillendirilir. Kayık tipindeki oval ürünler ise yüksek basınç kullanılarak özel polimer kalıplarda şekillendirilir. Dik ürünlerin eldesinde alçı kalıplara dökümden faydalanılır.

Döküm yöntemi için filter preslerden çıkan kekler açma havuzlarında elektrolit ve su ile karıştırılıp döküm çamuru formuna sokularak stok havuzuna aktarılır. Stok havuzlarından alınan çamura kapalı ve açık döküm olmak üzere iki çeşit yöntem uygulanmaktadır. Her iki döküm tekniğinde de dökümden önce kalıplar fırça ile iyice temizlenir. Kalıp üzerinde kalan alçı tozları ve diğer yabancı maddeler uzaklaştırılır. Döküm tabancası ile hava kabarcığı oluşturmada yavaş bir şekilde döküm gerçekleştirilir. Kapalı dökümde dökümden sonra ayak boşluğu yaratmamak için zamanında döküm ağızlarında ilâveler yapılır. Döküm ağızdaki boşluğun dolup dolmadığı parmak ile kontrol edilip dolduğu gözlenince ağızdaki artık çamur alınarak üst kalıp açılır. Kontrollü ayak dökümleri yapılır ve döküm ağızından kaynaklanan fazlalıklar kesilerek süngerle silinir. Ürün ele alındığında deforme olmayacak şekilde, mukavemet kazanıncaya kadar alt kalıp üzerinde bekletilir. Sonra toplanarak kurumaya bırakılır. Kuruma sırasında deformasyonu önlenmek amacıyla 29 cm uzun kenar çapına sahip kayık tabak ters çevrilir, 34 cm uzun kenar çapına sahip kayık tabak üzerine ise bomse ağırlık konur.

Açık döküm tekniğinde, dökümden sonra kalıbın döküm ağızından parça kesilerek yeterli kalınlığı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Sağlamadıysa istenen kalınlık sağlanıncaya kadar beklenip kalıp ters çevrilerek çamur fazlası alınır. Bir süre sonra kalıplar tekrar düzgün vaziyete geçirilerek döküm ağızları alınır. Üst kalıplar açılarak şablon vasıtası ile gerçek ağız çapı kesimi sağlanır. Ürün ele alınca deforme olmayacak şekilde mukavemet kazanıncaya kadar kalıp içerisinde bekletilir. Sonra ürün dikkatli bir şekilde kalıptan uzaklaştırılıp kurumaya bırakılır. Deforme olmaya yatkın bazı ürünlerde kuruma esnasında kalıpların üzerine bomse ağırlık yerleştirilir.

Üçüncü şekillendirme yöntemi ise preslemedir. Püskürtmeli kurutucuda granül hâline gelen çamur pres makinalarında basınç altında şekillendirilir. Burada kullanılan kalıplar özel metalden yapılmıştır.

Şekillendirilerek rafların üzerine bırakılan ürünler 24 saat kurutulduktan sonra kalıpların ek yerlerinin ürün üzerinde bıraktığı izler silinerek ve süngerle rötuşlanarak boş bisküvi arabalarına yüklenip bisküvi fırını yakınlarında yaklaşık olarak 24 saat bekletilirler. Ürünlerdeki nem oranı % 1-1,5 değerinin altına düştükten sonra ürünler bisküvi fırınına alınır.

Bisküvi pişirimi 900 °C'de yükseltgen ortamda 26 saatte tamamlanır. Fırından çıkan ürünler daldırma, püskürtme yöntemleri ve sırlama makineleri kullanılarak sırlandıktan sonra mamüllerin altını silme işlemi yapılır. Oradan da raflara yada kasetlere doldurularak 1160-1200 °C'de 12 saat süreyle sır pişirimi gerçekleştirilir. Pişirimi tamamlanmış ürünler fırından boşaltılıp sırsız yüzeyleri taşlandıktan sonra kalite kontrol ünitesinde birinci, ikinci ve hatalı ürün şeklinde ayrılırlar. Birinci ve ikinci kalite olanlar satışa uygundur ve paketleme ünitesine gönderilirler. Hatalılar ise masse kırığı olarak masse değirmenlerinde kullanılır [32].



### 3. STONEWARE SIRLARI

Stoneware sır yapımı Çinliler tarafından, çanak çömleklerde olduğu gibi ağaç yakıtının ince külü ile gövdenin karşılıklı etkileşimi sonucu elde edilmiştir. Daha sonra ki sırlamalar da ise küçük tane boyutlu feldispatik minerallerin ilâvesiyle 1350 °C civarında hazırlanmışlardır. Bazı eriyebilen killer de stoneware sırlarında kullanılır [33].

Daha pratik sırlamalar için yardımcı akışkanlara ihtiyaç vardır. Toprak alkalilerin ilâvesi feldispatların ve killerin erime noktalarını önemli ölçüde azaltır [33].

Atölye çömlekcileri akışkanların listesine ağaç külü ilâve ederlerdi. Eğer sırlama kuru bir kil bünyesine uygulanacaksa küçük miktarda firit kullanılabilir. Borlu ve kurşunlu karışımlar yüksek sıcaklıklarda buharlaşıyor olmalarından dolayı akışkanlaştırıcı olarak kullanılmazlar. Sır bileşimi belirlenirken, sırnın çok çabuk eriyip bünye elemanlarının reaksiyonları ile açığa çıkan gazları hapsedmemesi için akışkanlaştırıcı / refrakter oksitleri oranı belli bir değerde tutulur. Stoneware sırları bünyenin ayrılmaz bir parçası olur ve bünyenin dayanıklılığına katkıda bulunur. İndirgen ortamda ki gazların azaltılması sadece sırda ki karakteristik etkileri geliştirmez aynı zamanda hem bünyede hem de sırda ki bazı bölümlerin erime noktalarını düşürebilir [33].

Yüksek pişirim sıcaklığı renkleri etkiler. Bazı metal oksit renklendiricileri yüksek sıcaklıkta uçucudurlar. Mevcut renkler yaygın olarak siyah, kahverengi, sarı, yeşil, mavi ve demir oksitin pek çok karışımından geliştirilir. Parlak renkler az kullanılır [33].

1150 ile 1300 °C sıcaklık aralığında pişirilen stoneware ürünlerin sırlarında ki demir oksit ve /veya bakır oksitin varlığından dolayı belirli karakteristik etkileri elde edecek ve bünye içinde ki demirin sır tabakasına sızmasını önleyecek şartlar altında bulundurulmaları gerekmektedir. Stoneware sırlaması için pişirim sıcaklığının düşürülmesi istenmez [1].

### 3.1 Sır Hammaddeleri

Bir sır, kimyasal bileşimi açısından pişirme koşullarına ve seramik bünyenin ısıya bağlı davranışlarına uyum sağlamak ve kullanım esnasındaki koşullara karşı dayanıklı olmak durumundadır. Değişik koşullara ve ihtiyaçlara cevap verebilmek için duruma göre uygun oksitlerden oluşan bileşimlerde sır yapılır [3].

#### 3.1.1 Silisyum Di Oksit ( $\text{SiO}_2$ )

Temel bileşenlerdendir. Tek başına cam oluşturabilen oksitlerin en önemlilerindendir. Yüksek ergime sıcaklığı ve düşük ısıl genleşme katsayısına sahiptir ve diğer oksitlerle modifiye edilerek kullanılır. Mekanik mukavemet ile su ve aside dayanımı artırıcı etkisi vardır. Koparılamayan Si-O bağlarından dolayı viskoziteyi yükseltir. Sır bileşiminde bulunan diğer oksitlerin miktarına bağlı olmakla beraber, silisin fazla kullanılması sırda matlığa, az kullanımı ise kaynamaya sebebiyet verir [3].

#### 3.1.2 Alüminyum Oksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Genellikle kil, kaolen ve feldispattan sağlanır.  $\text{SiO}_2$  ile uygun miktarda kullanıldığı zaman sıranın matlaşmasını ve ayrışmasını engeller. Düşük sıcaklıkta viskoziteyi azaltırken yüksek sıcaklıkta artırır. Kimyasal dayanım, mekanik mukavemet gibi özellikleri iyileştirir. Pişme sırasında kristalleşme davranışını etkiler. Kristal sırlarda kristalleşmeyi engelleyici etkisinden dolayı  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün az oranda kullanılması gerekir. Isısal genleşme katsayısını azaltır.

Saf oksitten elde edilen beyaz alüminyum hidroksit [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ] ince öğütülürse sır çamuruna iyi süspansiyon özelliği kazandırır. Aynı zamanda herhangi bir sır reçetesinde kilin bir kısmının yerini aldığı takdirde meydana gelebilecek çatlamlar önlenebilir [3].

#### 3.1.3 Sodyum Oksit ( $\text{Na}_2\text{O}$ )

Sırdaki temel alkali kaynağıdır. Çekme mukavemetini ve elastikliği azaltır. Bu azalma diğer alkalilerin etkisiyle karşılaştırıldığında düşüktür. Az

miktarda artışı ısıl genleşmeyi yükseltmenin yanı sıra ergime ve yumuşama sıcaklığını hızla azaltır. Kimyasal dayanım kötüleşir [3].

#### **3.1.4 Potasyum Oksit ( $K_2O$ )**

Na'un fazla olduğu durumlarda potasyum (K) ilâvesi pişirim sırasında sırım hareketliliğini azaltır. K esaslı sırlarda kristal büyümesi çok aktif değildir. Firitte Na yerine kullanılırsa su ve kimyasallara karşı dayanımı artırır. Feldispattan elde edilir [3].

#### **3.1.5 Lityum Oksit ( $Li_2O$ )**

Lityum oksit ergimeyi kolaylaştırır ve viskoziteyi düşürür. Sır bünyesinde bulunan  $PbO$ ,  $Na_2O$  ve  $K_2O$ 'in yerine  $Li_2O$ 'in geçmesi sonucu sırım yüzey sertliği % 20 oranında artar.

$Na_2O$  ve  $K_2O$  yüzey gerilimini düşürürken,  $Li_2O$  artırır [3].

#### **3.1.6 Baryum Oksit ( $BaO$ )**

Yüksek kırınım indisi ve yüksek akışkanlığından dolayı sırım yüzey parlaklığını artırır. Isısal genleşmeyi az oranda etkiler.  $PbO$ 'e benzerdir fakat Pb kadar yoğunluğu arttırıcı etkisi yoktur. Mat sırların ince kristalleşmesinde rol oynar. Beyazlığı artırır.

Zehirli karakter taşıyan  $BaCO_3$  ;  $Na_2CO_3$  ve  $CO_2$  ile çöktürülerek kazanılır. Yüksek sıcaklıkta akışkanlığı artırır. Çok fazla kullanılırsa istenmeyen kristalleşmeye yol açar [3].

#### **3.1.7 Kalsiyum Oksit ( $CaO$ )**

Düşük sıcaklıklarda sırda kullanılan silis ve alümina ile reaksiyona girdiği, yüksek sıcaklıklarda viskoziteyi düşürdüğü saptanmıştır. Mekanik sertliği ve çekme dayanımını artırır. Asidik ve zayıf asidik çözeltilere karşı dayanıklılık sağladığı saptanmıştır.

$\text{CaCO}_3$ ; saf olarak sağlanabildiği için temel  $\text{CaO}$  kaynağıdır. öktürölerek elde edilen  $\text{CaCO}_3$  yan ürünü, bileşimde üniform olup küçük tane boyutuna sahiptir [3].

### 3.1.8 Çinko Oksit ( $\text{ZnO}$ )

Yaklaşık  $1050\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar pişirilen sırlarda yardımcı akışkanlaştırıcıdır. Yüksek sıcaklıkta viskoziteyi düşürücü etkisi vardır. Yüksek sıcaklık sırlarının pişirim aralığını genişletir. Opaklaştırıcı olmasa da opaklık ve beyazlığı artırır.  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında sırda  $0,05-0,2$  mol değerleri arasında parlaklığı artırıcı rol oynar. Düşük ısıl genleşme katsayısı nedeniyle çatlakları engelleyici görev üstlenir. Yavaş soğutma sonucu  $\text{Zn}$ -silikat (Villemite) kristalleri gelişir [34]. İnce kristaller iyon boyutuna bağlı olarak sır içindeki mevcut renklendirici iyonları tutarak yüksek dekoratif etkide bulunurlar.  $\text{Zn}$ , sırda hangi kristal formunda olursa olsun krom ve demir gibi bazı renk verici elementlerle etkileşime girer. Bu reaksiyonlar sonucu da renk değişimi meydana gelir.

Sır bünyesine katılan  $\text{ZnO}$ 'in kısmen  $\text{PbO}$  ve alkalilerin yerini alması sonucu sırn kimyasal etkilere karşı dayanımı artırılır [3].

## 4. TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİ

### 4.1. Termik Santral Uçucu Külleri Hakkında Genel Bilgi

Türkiye’de üretilen elektriğin büyük bir kısmı termik santrallerden sağlanmaktadır. 1998 yılı itibariyle ülkemizde halen faaliyette olan 11 termik elektrik santralinden yılda yaklaşık 13 milyon ton uçucu kül açığa çıkmaktadır. Büyük değerlere ulaşan bu atık malzemenin kullanımına yönelik ilk çalışmalar, 1960’lı yılların sonlarında başlamıştır [35].

1966-1980 yılları arasında temel olarak çimento ve tuğla sanayiinde kullanılan uçucu külün içerisinde yanmamış karbonun geri kazanımı bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [36].

Uçucu kül elektrik üretimi esnasında elektrostatik filtrelerde tutulur. İnce boyutlu elemanları içeren kül; temelde silisyum, alüminyum, demir ve kalsiyum oksitten meydana gelir. Uçucu kül kireçle karıştırıldığında, Portland çimentosundaki bağlayıcı bileşik yapısına benzer bir yapı oluşturur. Bu benzerlik, uçucu külün en yaygın kullanım alanı olan çimento üretiminde, belli oranlarda katkı malzemesi olarak kullanılmasına olanak sağlar [37].

Çimento sanayisindeki kullanıma ek olarak uçucu kül, düşük maliyeti ve çevresel açıdan güvenli bir malzeme olması nedeniyle, toprak düzenlemesi, hafif yapı malzemesi, plastik sanayi, aşındırıcı malzeme, tuğla sanayi, seramik sanayi, tarım sektörü, maden ocaklarında boşlukların doldurulmasında ve boya sanayii gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [36].

Yanmamış karbonun geri kazanımı kadar uçucu külün farklı kullanım alanları için hammadde veya katkı malzemesi şeklinde kullanılabilirliğinin belirlenmesine yönelik bir çok araştırma mevcuttur. Eisele ve arkadaşları [38] tarafından 1997’de gerçekleştirilen çalışmada uçucu külün inorganik palet bağlayıcısı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Honeker ve arkadaşları [39] ise 1998’de manyetik ayırma, akışkan yatak gravite ayırması ve siklon kullanımı ile yanmamış karbon, magnetit ve senosferler (mikro baloncuklar) farklı ürünler olarak elde edilmiştir.

Tunçbilek termik santrali 5 güç ünitesinden oluşmaktadır. İlk üç ünite yılda 329 000 ton kömür kullanarak 453 milyon kw/s elektrik üretmektedir. Bu

ünitelerde 3900 kkal/kg ısı değere sahip kömür kullanılmakta ve üretim esnasında kullanılan kömür miktarının yaklaşık % 20'si uçucu kül olarak atık sahasına gönderilmektedir. Sonradan eklenen 4. ve 5. ünitelerde ise, 2250 kkal/kg'lık düşük ısı değeri ve yanma sonrası % 40 civarında uçucu kül bırakma özelliğine sahip, yaklaşık 2 milyon ton kömür kullanımı ile yılda 1780 milyon kw/s elektrik enerjisi üretilmektedir. Toplamda bakıldığında, yılda 2350000 ton kömür elektrik üretmek amacıyla yakılmakta ve yanma sonrası atık olarak kalan 854670 ton uçucu külün yaklaşık % 63'ü elektrostatik filtrelerde baca gazından tutulmaktadır. Yakma esnasında elde edilen bu atık malzemenin yalnız % 1,4'ü satılmakta geri kalan kısım ise stok sahasına gönderilmektedir. Böylece, artan kömür tüketim oranlarına bağlı olarak hem çevre kirliliğinin hem de stoklama için daha fazla alan gereksinimi nedeniyle stoklama maliyetinin artmasına neden olmaktadır [36].

Son yıllarda, termik santrallerde çevreye daha az NO<sub>x</sub> gazı veren yakıcı sistemlere doğru bir geçiş gözlenmektedir. Çevresel açıdan hava kirliliğinin önlenmesinde önemli bir gelişme olarak değerlendirilebilen bu uygulama, daha düşük sıcaklık değerlerinde çalışmaları nedeniyle uçucu kül içerisinde eski sistemlere oranla daha fazla miktarlarda yanmamış karbonun kalmasına neden olmaktadır. Uçucu külün en fazla tüketildiği çimento sanayinde yanmamış karbon içeriği oldukça önemlidir. Genel olarak kabul gören limit değer % 3 C'dur. Bu değer üzerine çıktığında çimento sanayinde donma-erimeye karşı gösterdiği düşük dayanım nedeni ile kullanım için uygun olmamaktadır [40].

Uçucu külün katkı malzemesi olarak kullanıldığı seramik sanayii içinde malzemenin düşük Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği kadar yanmamış karbon oranı da önemli bir faktördür. Seramik bünye içerisinde yüksek karbon miktarı ürünün pişmesi esnasında istenmeyen gaz çıkışı nedeni ile fiziksel hatalara (yüksek su emme oranı, yüksek porozite ve düşük mukavemet vs) neden olmaktadır. Tunçbilek Termik Santral uçucu külü daha önce yapılan çalışmalarda alan şiddetli tanbur tipi elektro mıknatıslı-Carpo Model MIH (13) 111-5 manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir. Optimum işlem randımanının elde edilebilmesi için farklı tambur dönüş hızı ve manyetik alan şiddeti değerleri kullanılarak yapılan testler sonucunda, en iyi sonucun; maksimum tambur dönüş hızı ve 8000 Gauss alan şiddeti için elde edildiği bildirilmiştir [36]. Ayırma işlemi sonrasında elde edilen konsantre,

manyetik ürün içeriğinin artırılması için üç kez yeniden ayırıcıya beslenmiş kuru manyetik ayırma işlemi sonrası manyetik ürünün manyetik mineral içeriği % 12,6'dan % 29,7'ye yükseltilmiştir. Bu aşamada beslemenin % 41,59'u oranında elde edilen manyetik olmayan ürün çimento sanayiinde kullanım için uygun iken yüksek Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 6,93) içeriği nedeniyle seramik sanayinde kullanım için uygun değildir. Başlangıç beslemesinin yaklaşık % 11'i oranındaki manyetik ürün, demir içeriğinin daha da arttırılması için, yaş manyetik ayırma işlemine alınmıştır. Yaş manyetik ayırma testleri Master Magnets manyetik ayırıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayırma testleri % 13, 15, 20 olarak belirlenen katı oranları için en iyi sonucun elde edildiği % 20 katı oranında, manyetik alan şiddetinin ayırma performansı üzerindeki etkinin incelendiği, yüksek (18000 Gauss) ve düşük (4500 Gauss) alan şiddetlerinde gerçekleştirilmiştir. Düşük alan şiddetinin uygulandığı testte, manyetik olmayan ürünün Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği % 2,7 değerinde iken, yüksek alan şiddeti için bu değer % 1,2'ye azalmıştır. Manyetik olmayan ürünün seramik sanayiinde kullanılabilmesi için % 1,5 civarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermesi gereksinimi göz önüne alınarak ayırma testleri için yüksek alan şiddetinin kullanılması kabul edilmiş ve işlem sonucunda % 48,4 manyetik ürün içeren manyetik konsantre elde edilmiştir. Bu değer manyetik ürünün kömür temizleme tesislerinde, rezervi gittikçe azalan magnetit yerine ağır ortam malzemesi olarak kullanılması için uygundur [36]. Çalışmada kullanılan uçucu kül zenginleştirme kademeleri esnasında elde edilen düşük C içerikli malzemenin seramik sanayiinde kullanımı için düşük Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli malzeme hâline zenginleştirilmesi gerekmiştir. Zenginleştirme işlemiyle 100 gr külden 6,37 gr kül seramik endüstrisi için elde edilir.

#### 4.2. Çalışmanın Amacı

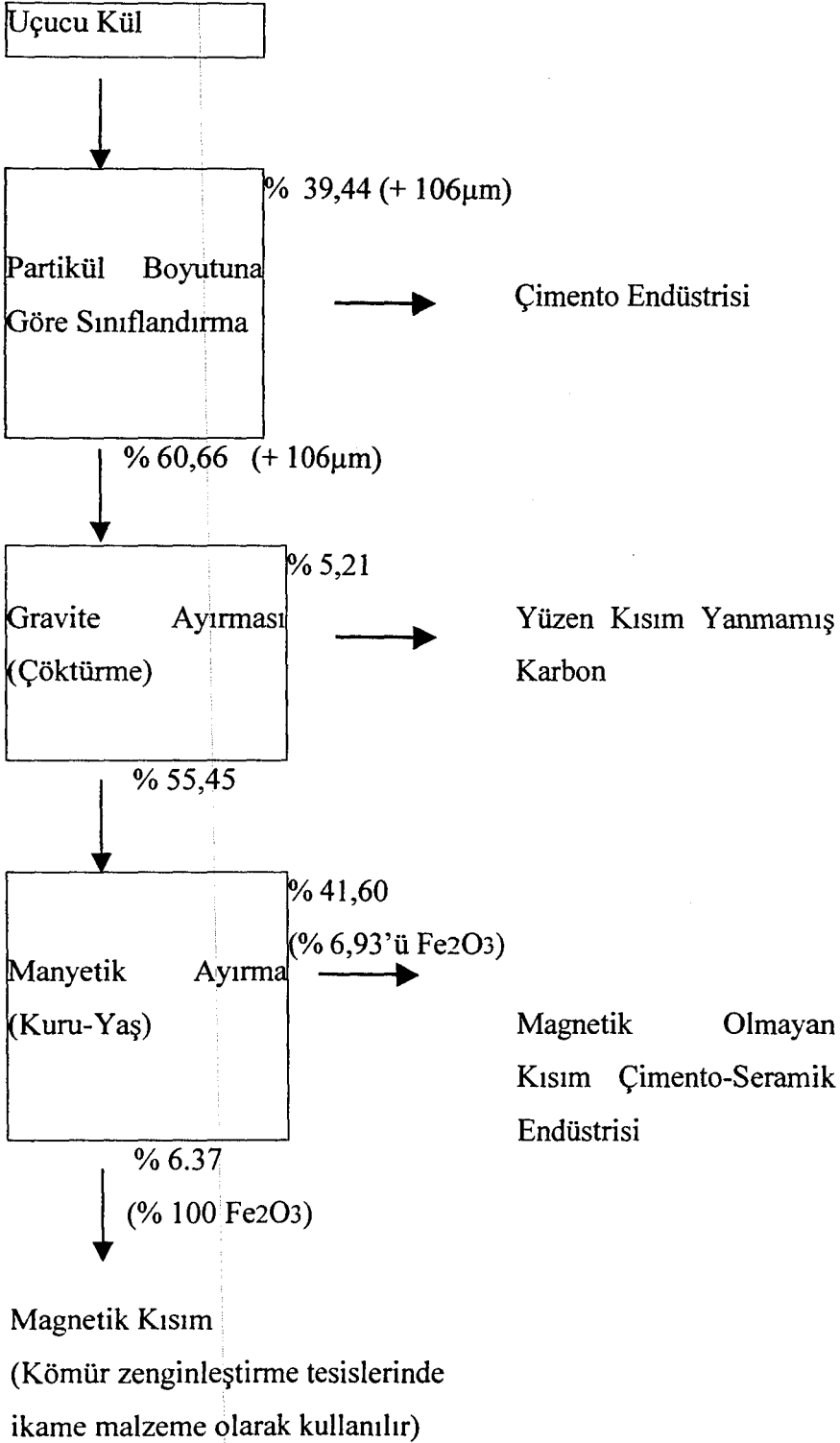
Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürün yanması sonucu her yıl büyük miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Uçucu külün değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarla inşaat sektöründe çimento, gazlı beton, tuğla vb. yapımında [4-5] cam ve cam seramik eldesinde [6] karo üretiminde [7] ve sofraya eşyası yapımında [8] değerlendirilebileceği görülmüştür.

Çevre dostu olabilmenin yanı sıra, böylesi küllerin stoneware bünyelerde kil, kaolen ve kuvars yerine, stoneware sırlarında ise kaolen, kalsit ve kuvarsın yerine geçip geçemeyeceği araştırılmıştır. Böylece son ürünün maliyetinin düşürülmesi de amaçlanmıştır.



Zenginleştirme akım şeması Şekil 4.1.'de verilmiştir;

Şekil 4.1. Tunçbilek Termik Santral uçucu kül zenginleştirme akım şeması [36].



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Kullanılan Hammaddeler

#### 5.1.1. Tunçbilek Termik Santral Uçucu Kül Atığı

Zenginleştirme çalışmaları Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği tarafından gerçekleştirilmiştir. Uçucu kül, Kütahya Tunçbilek Termik Santrali elektrostatik filtresinde tutulan ve stoklanan baca tozlarından 20 kg temsili örnek alımı ile temin edilmiştir. Kimyasal ve elek analizleri numunenin kimyasal ve fiziksel karakterizasyonunun belirlenmesi için yapılmıştır [36]. Uçucu kül temel olarak silisyum, alüminyum, demir oksit ve az miktarda kalsiyum oksitten oluşmaktadır. Uçucu küllerin mineralojik bileşimini belirleyen en önemli faktör külün elde edildiği kömürün mineral karakterizasyonudur. Yakma esnasında kömür içerisinde bulunan kuvars ve hematit orijinal hâllerini korurlarken pirit oksidasyon sonrası manyetit ve SO<sub>2</sub> gazına dönüşür [37].

Tunçbilek uçucu külü linyit kömürü külü olması nedeniyle düşük kireçli ASTM C 618 sınıfı uçucu küldür. Gerek ASTM C 618 gerekse de TS 639 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>70) açısından çimento sanayi kullanım sınırları içindedir [36].

Tane boyunun belirlenmesi için yaş elek analizi yöntemi kullanılmıştır (Çizelge 5.1.). Parçacık boyutuna karşılık kümülatif elek altı eğrisinden D<sub>50</sub>: 75 µm ve D<sub>80</sub> boyutu ise 45 µm tespit edilmiştir [36].

**Çizelge 5.1.** Tunçbilek külünün tane boyut dağılımı.

Tane Boyutu	Ağırlık	Kümülatif Geçiş
+250	18,54	100,00
-250+150	10,00	81,46
-150+106	10,50	71,46
-106+75	5,71	60,96
-75+45	9,60	55,25
-45+38	42,37	45,65
-38	3,28	3,28
	100,00	

Uçucu külün çimento sanayisinde kullanılmasında ve benzer şekilde seramik sanayisinde seramik ürün dayanımının artırılması için katkı malzemesi olarak kullanımında istenmeyen yüksek yanmamış karbon ve manyetik mineral içeriğinin düşürülebilmesinin amaçlandığı bir ön zenginleştirme için tane boyutuna göre sınıflandırma, yanmamış karbonun ayrılması için çöktürme (sedimentasyon) ile gravite ayırması ve son olarak manyetik ürünün (magnetit) kömür zenginleştirme tesislerinde ikame malzeme olarak kullanılabilirliğinin sağlanması için manyetik özelliğinin artırılması amacıyla kuru ve yaş manyetik ayırma yöntemlerinin kombinasyonu uygulanmıştır [36].

Tunçbilek Termik Santral uçucu külünün kimyasal analizi Çizelge 5.2’de görülmektedir.

**Çizelge 5.2.** Termik Santral uçucu külünün kimyasal analizi (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Cu	Cr	*A.K
Uçucu Kül	58,69	23,91	10,65	3,40	1,58	0,016	0,033	1,72

\*A.K: Ateş kaybı

### 5.1.2. Kil

Eczacıbaşı Vitra Fabrikası’ndan sağlanan SAN 90 2F ve Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası’ndan alınan T 175 killerin kimyasal analizleri Çizelge 5.3’de, mineralojik analizleri ise Çizelge 5.4’te verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Bünye reçetelerinde kullanılan killerin kimyasal analizleri (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	*A.K
SAN 90 2F	58,10	26,80	1,00	1,30	0,14	0,30	0,28	2,20	9,88
T 175	55,57	28,94	1,77	1,02	0,35	0,34	0,27	1,88	9,86

\*A.K: Ateş kaybı

**Çizelge 5.4.** Kullanılan killerin mineralojik analizleri (%)

Bileşen	SAN 90 2F	T 175
Na-Feldispat	2,37	2,28
K-Feldispat	13,00	11,06
Kil Cevheri	60,60	66,61
Serbest Silis	19,81	15,61

### 5.1.3. Kaolen

Eczacıbaşı Vitra Fabrikası'ndan temin edilen T 210 kodlu kaolen ve Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'ndan alınan A 404 kodlu kaolenlerin kimyasal analizleri Çizelge 5.5'te, mineralojik analizleri ise Çizelge 5.6'da görülmektedir.

**Çizelge 5.5.** Bünyelerde kullanılan kaolenlerin kimyasal analizleri (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	*A.K
T-210	48,62	35,81	0,86	0,10	-	-	0,20	2,80	11,60
A 404	55,23	30,82	1,15	0,74	0,78	0,35	0,27	0,12	10,56

\*A.K: Ateş kaybı

**Çizelge 5.6.** Kullanılan kaolenlerin mineralojik analizleri (%)

Bileşen	T 210	A 404
Na-Feldispat	2,26	2,95
K-Feldispat	2,13	0,73
Kil Cevheri	95,60	78,95
Serbest Silis	0,01	17,67

### 5.1.4. Kuvars

Eczacıbaşı Vitra Fabrikası'ndan alınan S-601 2F kodlu kuvarsın kimyasal analizi Çizelge 5.7'de, mineralojik analizi ise Çizelge 5.8'de sunulmuştur.

**Çizelge 5.7.** Reçetelerde kullanılan kuvarsın kimyasal analizi (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	*A.K
S-601 2F	93,36	3,78	0,13	0,05	0,36	0,34	0,39	1,59	-

\*A.K: Ateş kaybı

**Çizelge 5.8.** Kullanılan kuvarsın mineralojik analizi (%)

Bileşen	S-601 2F
Na-Feldispat	3,30
K-Feldispat	9,34
Kil Cevheri	3,54
Serbest Silis	82,73

### 5.1.5. Potasyum Feldispat

Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'ndan sağlanan S-304 kodlu potasyum feldispatın kimyasal analizi Çizelge 5.9'dan, mineralojik analizi ise Çizelge 5.10'dan izlenebilir.

**Çizelge 5.9.** Bünyelerde kullanılan potasyum feldispatın kimyasal analizi (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
S-304	66,83	18,74	3,01	11,42

**Çizelge 5.10.** Kullanılan potasyum feldispatın mineralojik analizi (%)

Bileşen	S-304
Na-Feldispat	25,38
K-Feldispat	67,36
Kil Cevheri	2,61
Serbest Silis	4,42

### 5.1.6. Sodyum Feldispat

Eskişehir Toprak Seramik Fabrikası'ndan temin edilen S-301 kodlu sodyum feldispatın kimyasal analizi Çizelge 5.11'de, mineralojik analizi ise Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Bünyelerde kullanılan sodyum feldispatın kimyasal analizi (%)

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
S-301	69,83	19,10	10,37	0,70

Çizelge 5.12. Kullanılan sodyum feldispatın mineralojik analizi (%)

Bileşen	S-301
Na-Feldispat	87,14
K-Feldispat	4,14
Kil Cevheri	2,02
Serbest Silis	4,95

### 5.1.7 Sır Hammaddeleri

Stoneware sırlarının hazırlanmasında kullanılan hammaddelerin kimyasal analizi Çizelge 5.14'de, bunların yerini alan uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Sır hazırlanmasında kullanılan hammaddelerin % oksit bileşimleri

Hammadde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*A.K
Na-Felds.	69,89	18,87	-	-	-	-	10,52	0,72	-	-	-
K-Felds.	67,10	18,41	-	-	-	-	3,02	11,47	-	-	-
Kuvars	92,72	3,75	0,13	0,05	0,36	0,34	0,39	1,59	-	-	0,67
CaCO <sub>3</sub>	0,87	0,26	0,04		55,68	0,34	-	-	-	-	42,81
Üleksit	2,88	-	0,20	0,04	15,51	1,54	6,50	0,19	-	38,26	34,88
Kolemanit	0,04	0,20	0,10	-	27,00	1,50	0,30	-	0,01	42,00	28,85
Kaolen	48,61	35,82	0,87	0,10	-	-	0,20	2,80	-	-	11,60

\*A.K: Ateş kaybı

## 5.2. Çalışma Esnasında Kullanılan Cihazlar

Stoneware bünyelerin hazırlanmasında ve karakterizasyonunda kullanılan cihazlar şunlardır:

**Çamur Değirmenleri:** Reçetelere göre tartımları gerçekleştirilen hammaddelerin, sulu öğütme sistemiyle istenilen tane boyutuna indirilmesinde maksimum 2 kg kuru madde kapasiteli çamur değirmenleri kullanılmıştır.

**Sır Hazırlama Değirmenleri:** Reçetelere göre tartımları gerçekleştirilen hammaddelerden hareketle, sulu öğütme sistemiyle sır hazırlamak için 200 gr kuru madde kapasiteli sır değirmenleri kullanılmıştır.

**Yoğunluk Ölçüm Düzeneği:** Üretilen bünyelerin yoğunluk ölçümlerinde Arşimet yoğunluk ölçümü düzeneğinden yararlanılmıştır.

**Mukavemet Cihazı:** Feldispatın yerine kullanılan atık malzemelerin, bünyelerin mekanik özelliklerini nasıl etkilediği Gabrielli CRAB 424 marka üç nokta mukavemet cihazıyla tespit edilmiştir.

**Spektrofotometre Cihazı:** Bünyelerin renginin kullanılan atık miktarıyla ne yönde değiştiği Minolta CM 3600 d marka spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir.

**Etüv Cihazı:** Numuneleri kurutmak ve Harkort testini gerçekleştirmek için Nüve SN-500 marka etüv kullanılmıştır.

**Otoklav Cihazı:** Sırlı numunelerin buhar basıncına dayanımını ölçmek için Gabriella marka otoklav cihazı kullanılmıştır.

## 5.3. Stoneware Bünye Hazırlama Süreçleri

### 5.3.1. Çamur Hazırlama

Tunçbilek Termik Santral uçucu kül atığının stoneware bünyelerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine etkisini incelemek için % 0,3 Na-silikat kullanılarak, % 70 katı oranında biri standart olmak üzere 10 ayrı döküm reçetesi hazırlanmıştır. Standart ve uçucu kül atığı kullanılarak hazırlanan reçetelerin hammadde % ağırlık oranları Çizelge 5.14'te verilmiştir. Çizelge 5.15, standart reçetenin mineralojik analizini göstermektedir.

Başlangıç hammaddeleri tartıldıktan sonra öğütme işlemi, maksimum 2 kg kuru madde kapasiteli alümina bilyeli değirmenlerde 6 saat süreyle

gerçekleştirilmiştir. Değirmene önce reçete içindeki sert hammaddeler (kuvars, feldispat, vb.) yüklenmiş, üç saatlik öğütme sonrası suda dağılabilen yumuşak kaolen ve killerin ilâvesi yapılmıştır.

**Çizelge 5.14.** Standart ve uçucu kül atıklı reçetelerin hammadde % ağırlık oranları

Hammadde	Ağırlık Oranları (%)									
	A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Na-Feldispat	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
K- Feldispat	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Kuvars	7	7	7	7	7	7	7	7	3,5	0
San-90 Kil	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
T-175 Kil	20	20	20	20	20	15	0	10	20	20
T-210 Kaolen	10	0	10	0	7,5	10	10	10	10	10
A-404 Kaolen	15	15	0	0	11,25	15	15	15	15	15
Uçucu Kül	0	10	15	25	6,25	5	20	10	3,5	7

**Çizelge 5.15.** Standart stoneware reçetesinin mineralojik analizi

Bileşen	Ağırlık %'si
Na-Feldispat	17,52
K-Feldispat	14,25
Kil Minerali	50,21
Kuvars	18,00

### 5.3.2. Eleme

Öğütme süresinin yeterli olup olmadığını kontrol etmek ve değirmen içerisinde öğünmeden kalmış olabilecek iri parçaları elimine etmek için, öğütme işlemi sonucu çamur 100 meş'lik (150 µm) elekten geçirilmiştir.

### 5.3.3. Şekillendirme

Eleme işlemi sonrası çamurun şekillendirilmesinde alçı kalıplara döküm yöntemi uygulanmıştır. Numuneler dolu ve boş döküm olmak üzere iki farklı



biçimde şekillendirilmişlerdir. Boş döküm ile küçük krözeler üretilmiş ve krözeler ile çamurun istenilen et kalınlığına ulaşp ulaşmadığı incelenmiştir. Dolu döküm yöntemi ise mukavemet çubuğu eldesinde kullanılmıştır.

#### **5.3.4. Kurutma**

Şekillendirilen stoneware ürünlerin kurutma işlemleri 105 °C'lik etüvde 1 gün bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

#### **5.3.5. Bisküvi Pişirimi**

Kurutulan 200x20x15 mm uzunluğundaki mukavemet çubukları Reta marka elektrikli fırında bisküvi pişirimine tabi tutulmuştur. Bu pişirim 1150 °C'de yarım saat olarak gerçekleştirilmiştir.

#### **5.3.6. Sır Hazırlama**

Tunçbilek Termik Santral uçucu küllerinin stoneware sırları üzerine etkilerini incelemek için 1A, 2A, 3A, 4A ve 5A ile tanımlanan 5 ayrı başlangıç stoneware sır reçetesi kullanılmıştır 1A ve 2A standart reçetelerindeki çeşitli hammaddelerin tamamının veya bir kısmının yerine uçucu kül katkısı yapılmıştır. 3A, 4A ve 5A no. lu reçetelerde ise 100 g kuru sıra ayrı ayrı olmak üzere 5 ve 10 g kül ilâve edilmiştir. Sır çamurları 200 gr'lık değirmenlerde kuru ağırlıklarının % 70'i oranında su katkısıyla 20 dakika öğütülmüştür. Standart ve uçucu kül atıklı reçetelerin hammadde % ağırlık oranları 5.16 ve 5.17'de verilmiştir.

**Çizelge 5.16.** Standart ve uçucu kül katkılı 1A ve 2A no. lu sır reçetelerinin hammadde % ağırlık oranları

Hammadde	Ağırlık Oranları (%)									
	1A Reçete						2A Reçete			
	a*	b	c	d	e	f	a*	b	c	d
Na-Feldispat	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10
K-Feldispat	50	50	50	50	50	50	15	15	15	15
Kuvars	30	-	30	30	10	20	20	20	-	20
CaCO <sub>3</sub>	10	10	-	10	10	10	-	-	-	-
Üleksit	-	-	-	-	-	-	25	25	25	25
Kaolen	10	10	10	-	10	10	30	-	30	15
Uçucu Kül	-	30	10	10	20	10	-	30	20	15

\*Başlangıç reçeteleri

**Çizelge 5.17.** Standart ve uçucu kül katkılı 3A, 4A ve 5A no. lu sır reçetelerinin hammadde % ağırlık oranları

Hammadde,	Ağırlık Oranları (%)								
	3A Reçete			4A Reçete			5A Reçete		
	a*	b	c	a*	b	c	a*	b	c
K-Feldispat	42,192	42,192	42,192	43,33	43,33	43,33	-	-	-
Kuvars	27,478	27,478	27,478	24,38	24,38	24,38	32,5	32,5	32,5
CaCO <sub>3</sub>	15,224	15,224	15,224	1,48	1,48	1,48	-	-	-
BaCO <sub>3</sub>	-	-	-	6,38	6,38	6,38	-	-	-
Kolemanit	-	-	-	20,33	20,33	20,33	45,0	45,0	45,0
TiO <sub>2</sub>	5,101	5,101	5,101	3,16	3,16	3,16	-	-	-
ZnO	5,002	5,002	5,002	-	-	-	-	-	-
Kaolen	5,003	5,003	5,003	0,94	0,94	0,94	22,5	22,5	22,5
Uçucu Kül	-	5,000	10,000	-	5,00	10,00	-	5,0	10,0

\*Başlangıç reçeteleri

#### 5.4.7. Sırlama

Sır çamurları 100 meşlik elekten geçirildikten sonra pistole ile stoneware bünyeler üzerine uygulanıp 1 saat kadar etüvde kurutulmuştur.

#### 5.4.8. Sır Pişirimi

Etüvden alınan bünyeler maksimum 1350 °C'ye ulaşabilen Naberterm marka fırında 5 °C/dak ısıtma hızıyla 1200 °C'ye çıkarılıp bu sıcaklıkta 1 saat

süreyle pişirilmiş sonrasında da 2 °C/dak soğutma hızı ile oda sıcaklığına indirilmiştir.

## 5.5. Bünyelere Uygulanan Testler ve Analizler

### 5.5.1. Kuru Küçülme Testi

Geleneksel seramik bünyeler kurutulduğunda görülen küçülme, şekillendirme suyunun bünyeden uzaklaşması ile açıklanmaktadır. Hammadde tanecikleri arasında yer alan su, kilden uzaklaştıkça tanecikler birbirlerine yaklaşır ve küçülme ortaya çıkar. Bir kil ürünü ne kadar çok su ile şekillendirilmiş ise o derece fazla büzülecektir.

Bu test için, mukavemet ölçümü amacıyla dökülen düz çubuklar üzerine kumpas yardımıyla 100 mm uzunluğunda işaret konmuştur. Çubuklar 105 °C'lik etüv içerisinde tamamen kuruyana kadar (1 gün) bekletildikten sonra etüvden dışarı alınmıştır. Oda sıcaklığına gelen numuneler işaretli yerlerinden ölçülmüş ve değer aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$\% \text{ Kuru Küçülme} = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \times 100$$

Burada;

$L_0$  = Deney numunesinin yaş uzunluğu (mm)

$L_1$  = Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm)

### 5.5.2. Pişme Küçülmesi Testi

Pişme küçülmesi pişme sıcaklığı ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle pişme küçülmesi değeri belirlenirken, pişme sıcaklığının da mutlaka verilmesi gerekir. Pişme küçülmesinin belirlenmesi için kuru küçülmesi hesaplanan numuneler Reta marka elektrikli fırında sırasıyla 1150 ve 1200 °C sıcaklıklarda ayrı ayrı 3 saat pişirilmiştir. Pişirim sonucu numuneler oda sıcaklığına soğutulmuş ve işaretlenmiş yerlerinden ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Pişme küçülmesi değeri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

Burada;

$L_1$  = Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm)

$L_2$  = Deney numunesinin pişme uzunluğu (mm)

### 5.5.3. Toplam Küçülme Testi

Toplam küçülme, şekillendirilen numunenin yaş durumuna göre, pişirildiğinde ne ölçüde küçüldüğünü göstermektedir. Bu durum TS standartlarında ürün elde etmek açısından önemlidir. Değerler aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenmiştir.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{L_0 - L_2}{L_0} \times 100$$

Burada;

$L_0$  = Deney numunesinin yaş uzunluğu (mm)

$L_2$  = Deney numunesinin pişme uzunluğu (mm)

### 5.5.4. Kuru Mukavemet Testi

Kuru mukavemet deneyi için stoneware çamurları alçı kalıpta çubuk formunda şekillendirilmiştir. Bu numuneler etüvde önce 105 °C 'de 1 gün kurumaya tabi tutulmuş daha sonra etüvden alınarak desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Deney numunesi desikatörden çıkartılır çıkartılmaz, Gabrielli CRAB 424 marka mukavemet cihazının, 100 mm aralıklı ayakları üzerine yerleştirilerek dik açı ile yükleme parçası vasıtasıyla yüke maruz bırakılmıştır. Numune kırılıncaya kadar yük uygulamaya devam edilmiş ve numunenin kırıldığı yerin genişliği ve yüksekliği kumpasla 0,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür. Kuru mukavemet hesabı aşağıdaki bağıntıyla gerçekleştirilmiştir:

$$M = \frac{3.P.L}{2. a^2. b}$$

Burada ;

M = Kuru kırılma mukavemeti (kg/cm<sup>2</sup>),

P = Uygulanan yük (kg),

L = Mesnet aralığı (mm),

a = Numunenin kırıldığı yerin kalınlığı (mm),

b = Numunenin kırıldığı yerin genişliği (mm).

#### 5.5.5. Pişme Mukavemeti Testi

Alçı kalıplarda şekillendirilen mukavemet çubukları tamamen kurutulduktan sonra, ısıtma hızı 5 °C/dak'ya ayarlanarak 1150 °C'ye çıkılıp bu sıcaklıkta üç saat bekletilmiş ve 2 °C/dak ile 20 °C'ye soğutulmuşlardır. Pişmiş çubukların mukavemet testi de kuru mukavemet testinde açıklandığı şekilde gerçekleştirilmiş ve pişme mukavemeti değeri kuru mukavemet testinde verilen formülasyonla hesaplanmıştır.

#### 5.5.6. Su Emme Testi

Su emme, pişen ürünün açık porlarının alabildiğince su ile doldurulmasıdır. Su emmeyi etkileyen faktörler, kilin öznlüğü, içerdiği safsızlıklar, yapıda bulunan alkali miktarı, şekillendirme metodu ve ürünün pişme sıcaklığı şeklinde sıralanabilir.

Su emme deneyi için, kırılmış pişme mukavemeti çubukları kullanılmıştır. Çubuklar etüvde kurutulduktan sonra, ortamdan nem almaması için desikatörde soğutulmuş ve hassas terazide tartımları yapılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneler daha sonra 2 saat saf su içerisinde kaynatılmış ve kaynatma sonrası su içinde 24 saat beklemeye alınmıştır. Sudan çıkarılan numunelerin üzerindeki su damlaları beklemeksizin nemli bir bezle silinmiş ve numuneler bu şekilde

tartılmıştır. Yaş tartım ile kuru tartım arasındaki fark, numunenin emdiği su miktarını vermekte olup yüzde cinsinden aşağıdaki bağıntıyla bulunur;

$$\text{Su emme} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Burada ;

$m_1$  = Deney numunesinin kuru ağırlığı (gr)

$m_2$  = Deney numunesinin su emmiş ağırlığı (gr).

### 5.5.7. X- Işını Kırınım (XRD) Analizi

Stoneware bünyede değişik oranlarda kullanılan uçucu külün pişirim sonrası ne gibi fazların oluşumuna yol açtığının tespiti için Rigaku Rint 2000 serisi XRD cihazından faydalanılmıştır.

### 5.5.8. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Enerji Saçınımlı X-Işını Spektrometre (EDX) Analizleri

Numuneler elektron mikroskobu ile incelenmeden önce küçük boyutlarda kesilmiştir. Kesilen bu numuneler sırasıyla 120, 180, 320, 600, 800, 1000, 1200  $\mu\text{m}$ 'lik zımpara kağıtlarında ve 6 ve 1  $\mu\text{m}$ 'lik çuhalarda elmas solüsyon yardımıyla parlatılmıştır. Parlatılan numuneler Camscan S4 serisi SEM ve buna bağlı Oxford Instrument firmasının ürettiği 5108 model EDX cihazı kullanılarak incelenmiştir.

## 5.6. Sırlı Numunelere Uygulanan Testler

### 5.6.1. Harkort Testi

Harkort testinde sırlı stoneware bünyeler sırasıyla 125, 150 ve 175 °C sıcaklıklarında etüvde 20 dakika bekletilip sonrasında soğuk su içerisine daldırılmış, sudan alınan numunelerin yüzeyinde olası çatlak varlığı gözlenmiştir. Eğer çatlak oluşmamışsa bir üst sıcaklıkta aynı işlem tekrar edilmiştir [41]

### 5.6.2. Otoklav Testi

Otoklav testi için sırlı stoneware numuneler otoklav cihazına yerleştirilip cihazın içine 3 lt su ilâve edilmiş 5 atm basınçta 1 saat süre için cihaz ayarlanmıştır. Bu süre sonunda basınç atmosfer seviyesine düşürülüp numuneler soğutulmuş sonrasında çıkarılan numunelerin üzerine Malakit yeşili sürülerek çatlak oluşup oluşmadığı gözlemlenmiştir [42].

### 5.6.3. Lekelenme Testi

Lekelenme testinde sırlı stoneware numuneler üzerine pasta formunda bir miktar  $Cr_2O_3$ , 4'er damla zeytinyağı ve çözelti hâlinde iyot (alkolde ki 13 gr/lt çözeltisi) damlatılmış 24 saat bekleme süresi sonrası temizleme işlemine geçilmiştir. Deney numunelerinin yüzeyi etüvde kurutulup 25-30 cm mesafeden gün ışığında veya yaklaşık 300/x suni ışık altında görsel olarak kontrol edilmiştir. Bu testte numuneler eğer ilk temizleme işleminde su ile lekelerinden arındırılabilirse 5. dereceden şeklinde sınıflandırılmıştır. Leke çıkmamışsa bir zayıf temizleyici (pH= 6,5-7,5 olan deterjan) ve yumuşak sünger ile temizlenmekte ve kirlerin uzaklaştırılması durumunda 4. dereceden olarak sınıflandırılmaktadırlar. Leke hâlâ duruyorsa bir güçlü temizleyici (pH=9-10) ve sert temizleme yüzeyi ile işlem gerçekleştirilmektedir. Leke giderilmişse 3. derece grubuna dahil edilmekte, çıkmamışsa numuneler % 3'lük bir asit çözeltisi içinde 24 saat bekletilmektedirler. Bu işlemin başarılı olmasıyla 2. derece, aksi durumda 1. derece olarak gruplandırılmaktadırlar [43].

### 5.6.4. Renk Analizi

Bünye ve sırların renginin kullanılan atık miktarıyla ne şekilde değiştiğini tespit etmek için Minolta CM 3600 d marka spektrofotometre cihazı kullanılarak L, a, b değerleri ölçülmüştür.

## 6. SONUÇLAR

### 6.1. Termik Santral Uçucu Kül Atığının Son Ürünün Fiziksel, Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi

Standart ve uçucu kül atıklı reçeteler için kuru küçülme, pişme küçülmesi, toplam küçülme, kuru mukavemet, pişme mukavemeti, % su emme değerleri ve renk parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca, değişen atık katkı miktarının mikroyapı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu SEM ve EDX araştırmalarıyla incelenmiştir. Standart ve uçucu kül atıklı reçetelere ait bu sonuçlar başlıklar halinde sunulmuştur.

#### 6.1.1 Kuru Küçülme, Pişme Küçülmesi ve Toplam Küçülme Değerleri

Standart stoneware bünyedeki (A), T-210 kaoleni (A1), A-404 kaoleni (A2), toplam kaolen (A3), yerine kül atığının kullanılmasıyla kuru küçülme değeri azalırken kaolenlerin toplamının  $\frac{1}{4}$ 'ünün yerini külün almasıyla (A4) artmaktadır. Pişme küçülmesi ise A1 ve A4 bünyesinde artmakta, A2 ve A3 bünyelerinde azalmaktadır. Toplam küçülme ise kuru küçülme değeriyle paralellik göstermektedir (Çizelge 6.1.).

T-175 kilinin  $\frac{1}{4}$ 'ü (A5) ve tamamı (A6) yerine uçucu külün kullanılmasıyla kuru küçülme azalırken,  $\frac{1}{2}$ 'sinin yerine kullanılmasıyla (A7) artmaktadır. Pişme ve toplam küçülme değerleri A5'ten A7'ye doğru artmaktadır (Çizelge 6.1.).

Kil ve kaolenler plastik karakterlidir. Bu özellik sahip oldukları tabakalar arası sudan kaynaklanmaktadır [17]. Suyun buharlaşması sonucu bünyede çekme görülür. Kaolen ve kilin yerine kül kullanılmasıyla kuru ve pişme küçülmesi doğal olarak azalmaktadır.

Kuvarsın yerini külün almasıyla (A8, A9) kuru, pişme ve toplam küçülme değerlerinde artış gözlenmektedir (Çizelge 6.1.). Uçucu külde ki belli başlı oksitler sayesinde sinterleme esnasında daha fazla camsı faz oluşmakta sonuçta pişme küçülmesi artmaktadır. SEM çalışmaları da bunu doğrulamaktadır (Şekil 6.10). Mukavemet sonuçları da benzer biçimde sıkı bir bağlanmanın ve iyi sinterlemenin gerçekleştiğini göstermektedir (Çizelge 6.2.). Pişme küçülmesini



engelleyen ve sinterleşme esnasında kompakt bir yapı oluşturan kuvarsın camsı formuna göre ısı genleşme katsayısını da arttırdığı göz ardı edilmemelidir.

**Çizelge 6.1.** Stoneware bünyelerin % küçülme değerleri

Numune Kodu	Kuru Küçülme	Pişme Küçülmesi	Toplam Küçülme
A	3,40	8,11	11,27
A1	2,56	8,75	11,08
A2	3,38	7,65	10,77
A3	3,25	7,34	10,35
A4	3,55	8,62	11,87
A5	3,35	8,59	11,65
A6	2,08	9,81	11,69
A7	3,68	10,67	13,96
A8	3,91	9,47	13,01
A9	3,72	9,52	12,89

### 6.1.2 Kuru ve Pişme Mukavemeti Değerleri

Stoneware bünyelerde kaolen yerine atık kullanımıyla (A1, A2, A3, A4) kuru ve pişme mukavemeti değerleri azalmaktadır. Kaolenin tamamının çıkarılmasıyla elde edilen numune (A3) en düşük kuru ve pişme mukavemeti değerini vermektedir. T-210 kaoleninin tamamının yerini külün almasıyla elde edilen (A1) numunesinde ise pişme mukavemeti artmaktadır (Çizelge 6.2.).

Stoneware bünyede ki T-175 kodlu kilin  $\frac{1}{4}$ 'ü (A5), kilin %50'sinin (A7) ve tamamının (A6) yerine kül kullanılmasıyla elde edilen bünyelerde kuru mukavemet azalırken A6 ve A7'nin pişme mukavemeti değerleri artmaktadır (Çizelge 6.2.).

Kaolen ve kil yerine uçucu kül kullanımı sonucu mukavemet değerlerinde ortaya çıkan azalmanın bünyenin plastiklik ve bağlanma kabiliyetinin zayıflamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, kil yapının mukavemetini desteklemektedir. Zira, yüksek sıcaklıklarda tabi olduğu kademeli reaksiyonlarla yeni fazların (müllit gibi) oluşumunu sağlayarak mukavemeti artırır.

Stoneware bünyede kuvars yerine atık kullanılmasıyla (A8, A9) kuru mukavemet değerinin azaldığı buna karşın pişme mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir.

Küldeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve alkalilerin müllit oluşumunu kolaylaştırarak mukavemet artışında pozitif rol oynadığı düşünülmektedir. Ayrıca, meydana getirdikleri camsı faz ile bağlanmadada olumlu bir etkiye sahiptir. Şekil 6.11 ve 6.17’de ki SEM fotoğrafları Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanelerinin varlığını göstermektedir. [44].

**Çizelge 6.2.** Stoneware bünyelerin kuru ve pişme mukavemet değerleri

Ürün Kodu	Kuru Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	Pişme Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )
A	21,179	506,292
A1	17,444	516,125
A2	17,494	396,284
A3	12,466	307,351
A4	16,973	424,419
A5	17,861	451,555
A6	15,205	527,920
A7	15,660	590,770
A8	18,342	604,292
A9	16,776	628,324

### 6.1.3. Su Emme Değerleri

Uçucu külün T-210 (A1), toplam kaolen (A3) ve kaolenlerin ¼’ü yerine (A4) kullanılmasıyla elde edilen bünyelerde su emme azalırken A-404 kaoleni yerine kullanılmasıyla bünyede (A2) artmaktadır. A2 bünyesinin SEM görüntülerinde (Şekil 6.4-c) porozite miktarının arttığı görülmektedir.

Kil ve kuvars yerine kullanıldığında (A5, A6, A7, A8, A9) su emme azalmaktadır. A9 bünyesi en düşük su emme değerine sahiptir (Çizelge 6.3.)

Bünyelerdeki kül son ürünün su emme %'si ni düşürmektedir. Sonuçta atığın bünyenin sinterleşmesini arttırıcı bir etkiye sahip olduğu fikride teyit edilmektedir. Bu, mukavemet değerleriyle de desteklenmektedir (Çizelge 6.2.).

**Çizelge 6.3.** Stoneware bünyelere ait % su emme değerleri

Numune Kodu	Su Emme (%)
A	0,459
A1	0,282
A2	0,546
A3	0,369
A4	0,388
A5	0,319
A6	0,075
A7	0,070
A8	0,068
A9	0,051

#### 6.1.4 Renk Analizi

Stoneware bünyelerde atık külün kullanılmasıyla bünyenin standart krem rengi açık kahveden koyu griye doğru değişir. Bu, kül içinde ki renk verici oksitlerin varlığından kaynaklanmaktadır. Uçucu kül ile bünyelerde kırmızılık artmakta, sarılık azalmaktadır (Çizelge 6.4.). Kuvars ve kül eşit miktarlarda kullanıldığında (A8) renk parametreleri standart numunenin renk parametreleriyle hemen hemen aynıdır. Stoneware bünyelerde negatiflikmiş gibi algılanabilecek renklenme uygun renkli sır kullanılarak giderilebilmektedir.

**Çizelge 6.4.** Stoneware bünyelerin renk parametreleri

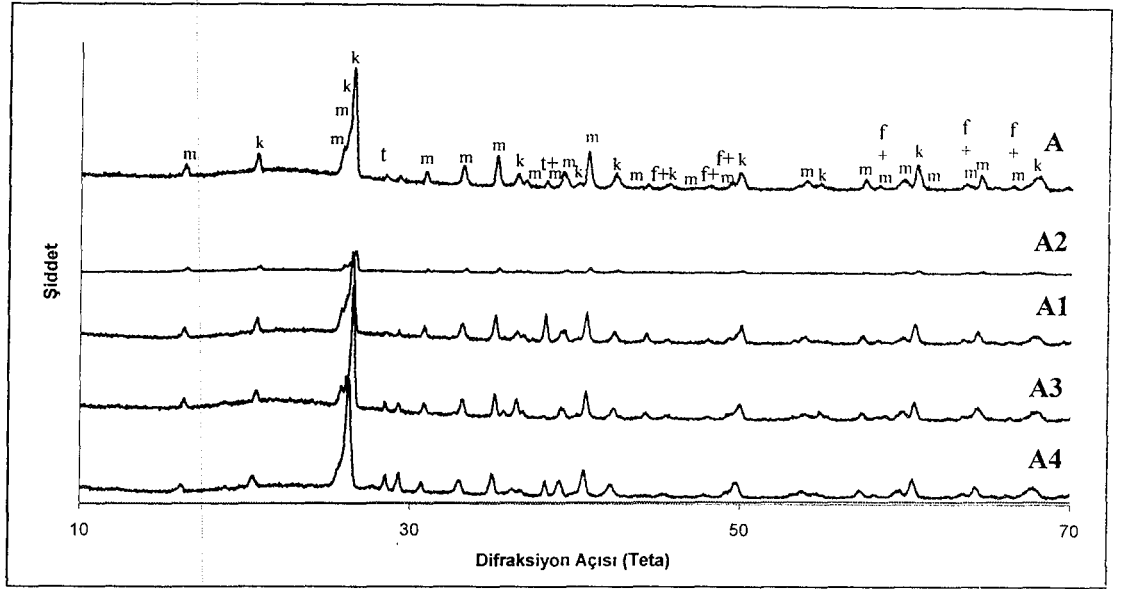
Numune Kodu	Renk Parametreleri		
	*L	*a	*b
A	78,44	1,22	12,03
A1	66,57	2,61	11,73
A2	51,79	3,39	10,81
A3	54,46	2,03	9,62
A4	60,37	1	9,82
A5	69,14	1,92	10,72
A6	59,98	2,33	9,56
A7	51,82	2,48	8,17
A8	72,04	1,92	11,86
A9	64,6	2,45	11

\*L: Beyazlık, \*a: + kırmızı, - yeşil, \*b: + sarı, - mavi

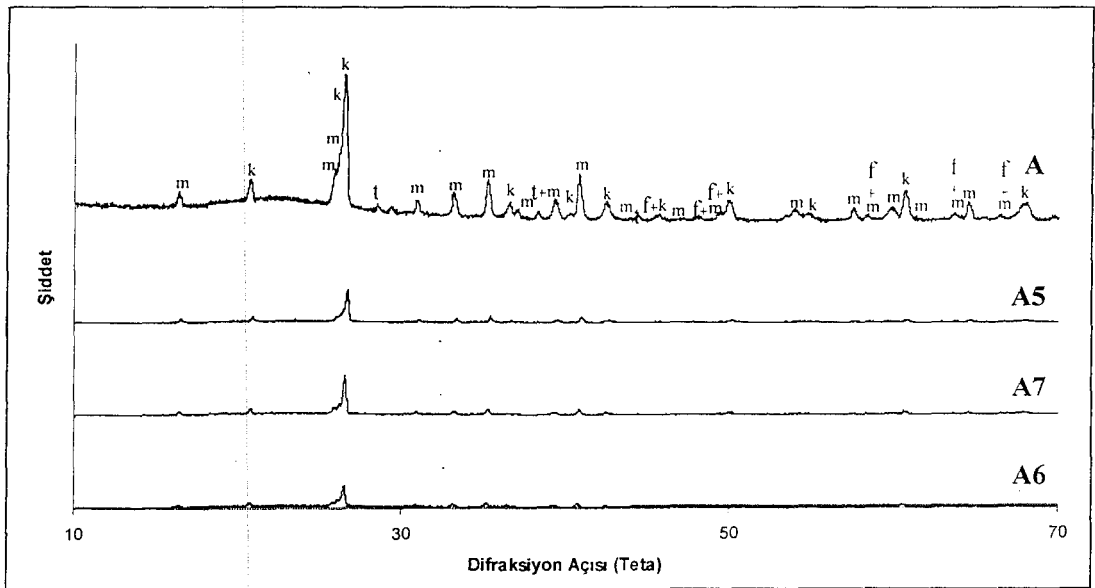
### 6.1.5. XRD Sonuçları

Stoneware numunelere uygulanan XRD analizleriyle standart numunede sadece kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve müllit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) oluşumu gözlenirken uçucu kül ilâvesiyle üretilen bünyelerde bunların yanı sıra  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  fazlarına da rastlanmıştır (Şekil 6.1-6.3). SEM incelemelerinde bu fazların mevcudiyetini teyit etmektedir.

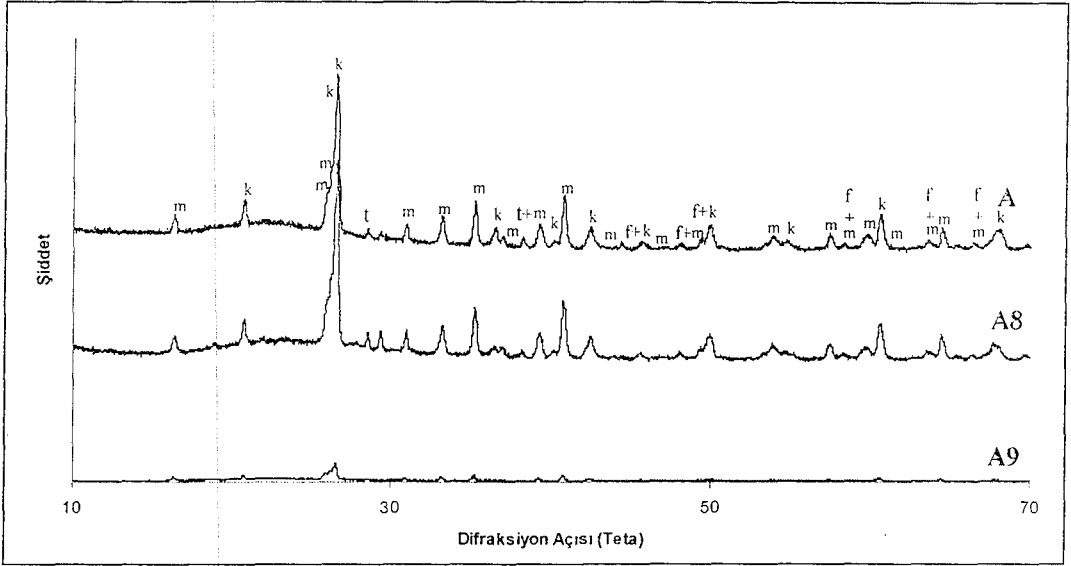
Kaolenlerin yerine kül kullanımı ile (A1, A3, A4) müllit ve kuvars piklerinde azalma gözlemlenmektedir (Şekil 6.1.). A-404 kaoleninin yerini külün almasıyla elde edilen bünyenin (A2) XRD pikleri en düşük seviyededir. T-210 kaoleninin A-404 kaoleniyle birlikte kullanılmasıyla (A3, A4) pik şiddetlerinin azalması indirgenir. Müllit fazının pik şiddetlerinde ki bu azalışlar mukavemet düşüşünü de destekler.



Şekil 6.1. A, A1, A2, A3, A4 bünyelerine ait XRD paternleri (m:müllit, k:kuvars  
f:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, t: TiO<sub>2</sub>)



Şekil 6.2. A, A5, A6, A7 bünyelerine ait XRD paternleri (m:müllit, k:kuvars.  
f:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, t: TiO<sub>2</sub>)

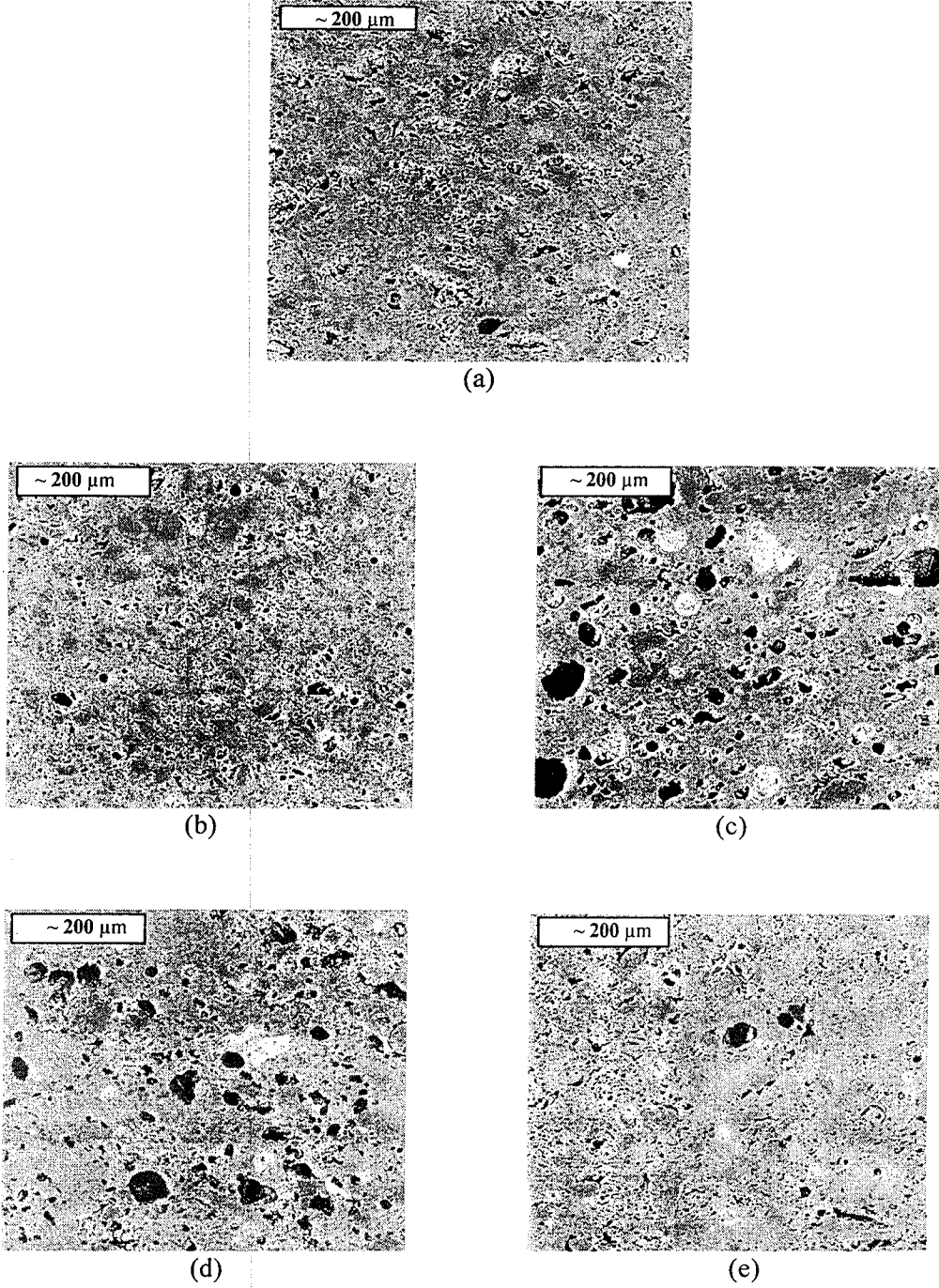


Şekil 6.3. A, A8, A9 bünyelerine ait XRD paternleri (m:müllit, k:kuvars, f:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, t: TiO<sub>2</sub>)

#### 6.1.6. SEM ve EDX Sonuçları

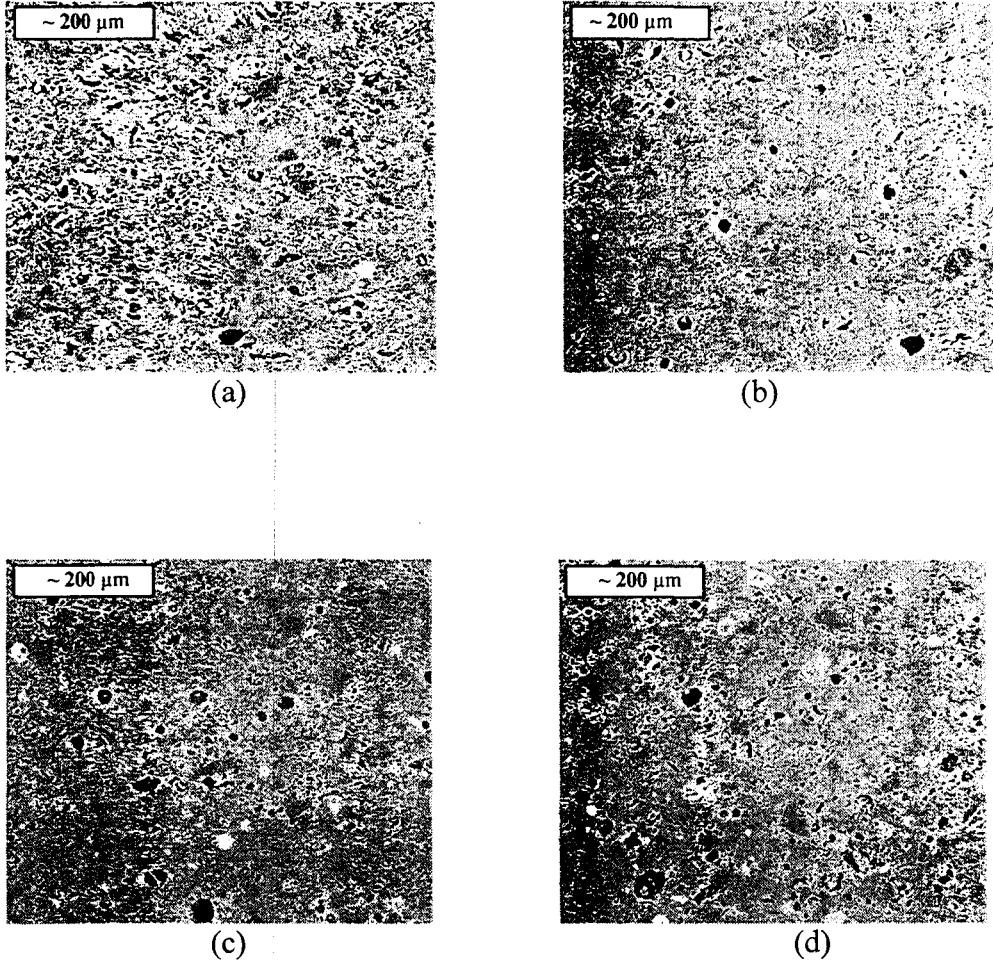
Standart ve uçucu kül kullanılarak hazırlanan numuneler mikroyapı çalışmaları için kesilip parlatıldıktan sonra % 5'lik hidroflorik asit içerisinde 30 sn dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Mikroyapı görüntülerinde belirlenen fazların elementsel içeriği EDX analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6.4. standart (A) ve kaolenler yerine değişik oranlarda atık kullanarak elde edilen bünyelere (A1, A2, A3 ve A4) ait mikroyapı görüntülerini vermektedir.



**Şekil 6.4.** Standart stoneware (A) (a), T-210 kaoleni yerine (A1) (b), A-404 kaoleni yerine (A2) (c), toplam kaolen yerine (A3) (d), toplam kaolenin ¼'ü yerine (A4) (e) uçucu kül içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir).

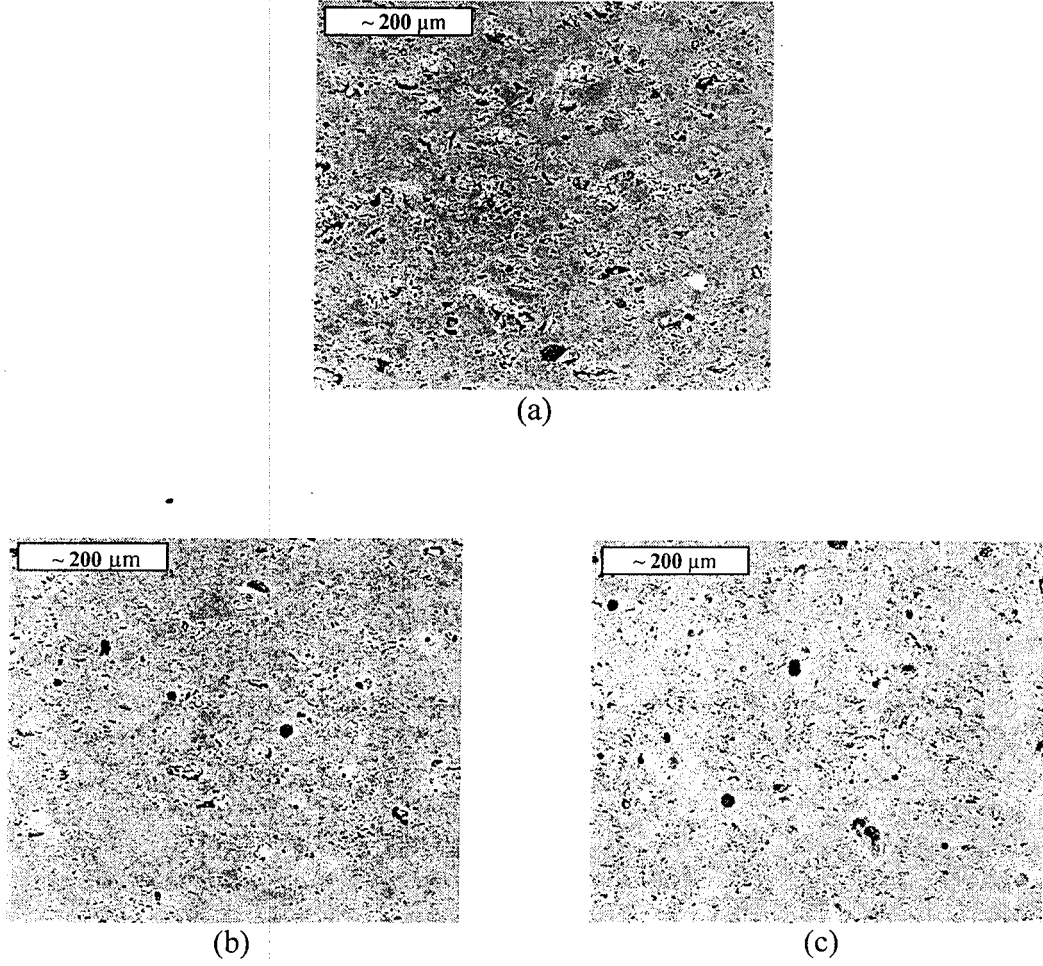
Şekil 6.5'den standart ve kil yerine değişik oranlarda atık kullanılarak elde edilen bünyeler için mikroyapılar görülebilir.



**Şekil 6.5.** Standart stoneware (A) (a), T-174 kilinin 1/4'ü yerine (A5) (b), T-174 kilinin 1/2'si yerine (A7) (c), T-174 kilinin tamamı yerine (A6) (d), uçucu kül içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir).

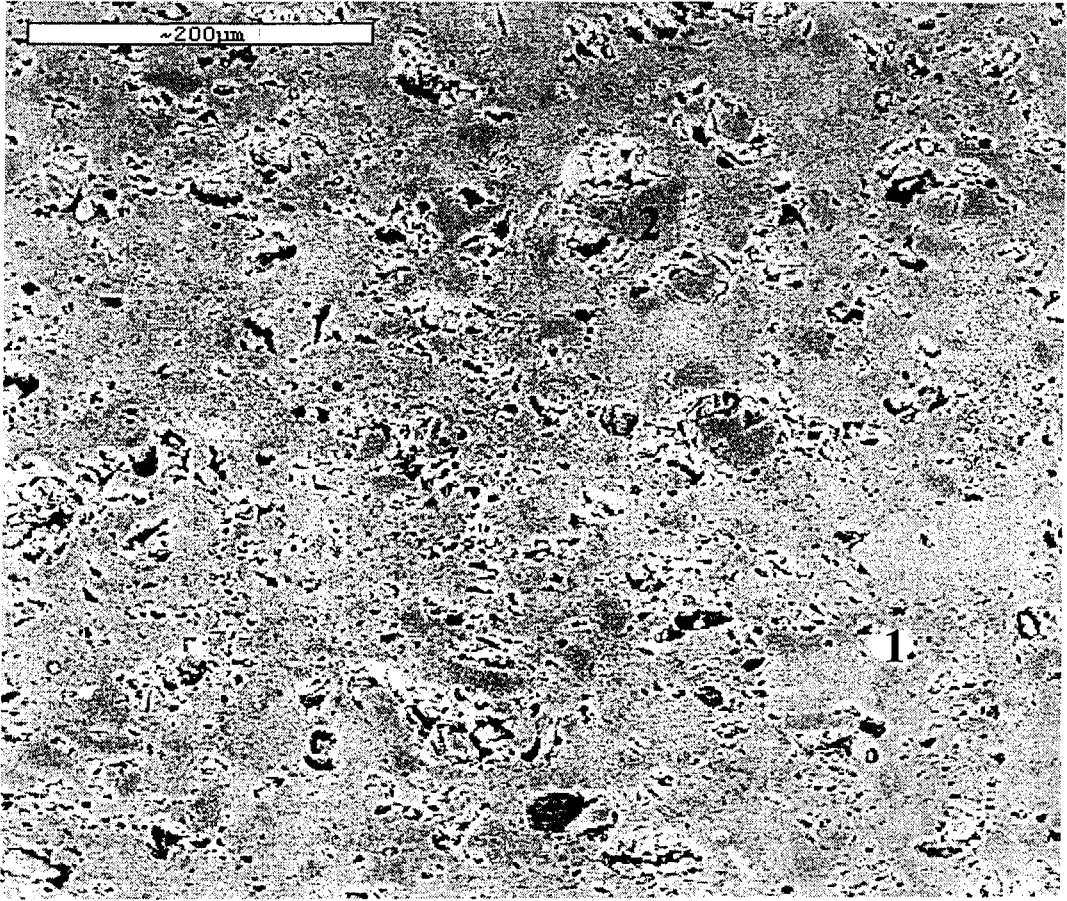


Şekil 6.6’da standart ve kuvars yerine değişik oranlarda atık katkısı içeren bünyelere ait mikroyapı görüntüleri verilmektedir.

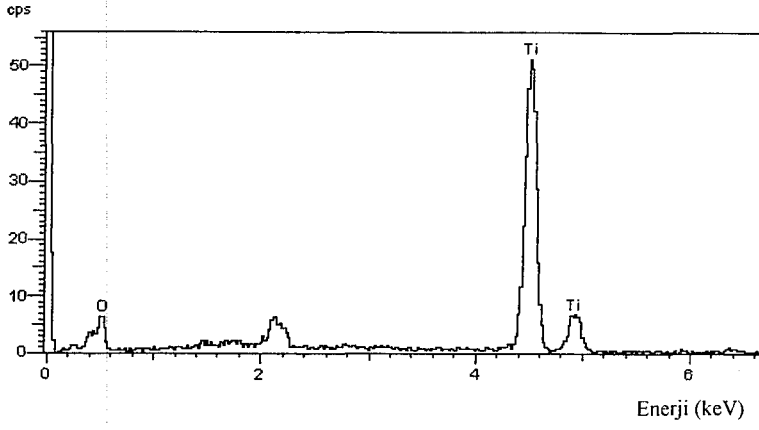


**Şekil 6.6.** Standart stoneware (A) (a), kuvarsın 1/2’si yerine (A8) (b), kuvarsın tamamı yerine (A9) (c), uçucu kül atığı içeren bünyelerin SEM görüntüleri (Bünye pişirimleri 1150 °C sıcaklıkta 3 saat sürede gerçekleştirilmiştir).

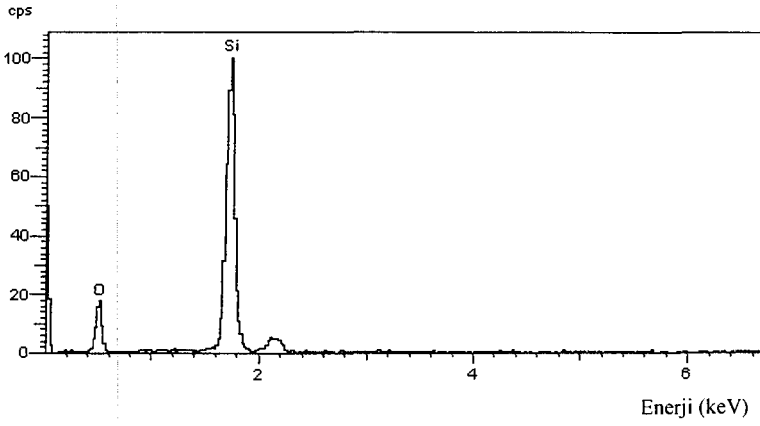
SEM incelemelerine göre bünne bileşiminde ki uçucu kül miktarının artması beyaz ve gri renkte yeni tane oluşumlarına yol açmaktadır. Şekil 6.7 – 6.16’da farklı numunelere yapılan SEM ve EDX çalışmalarının sonuçları görülmektedir.



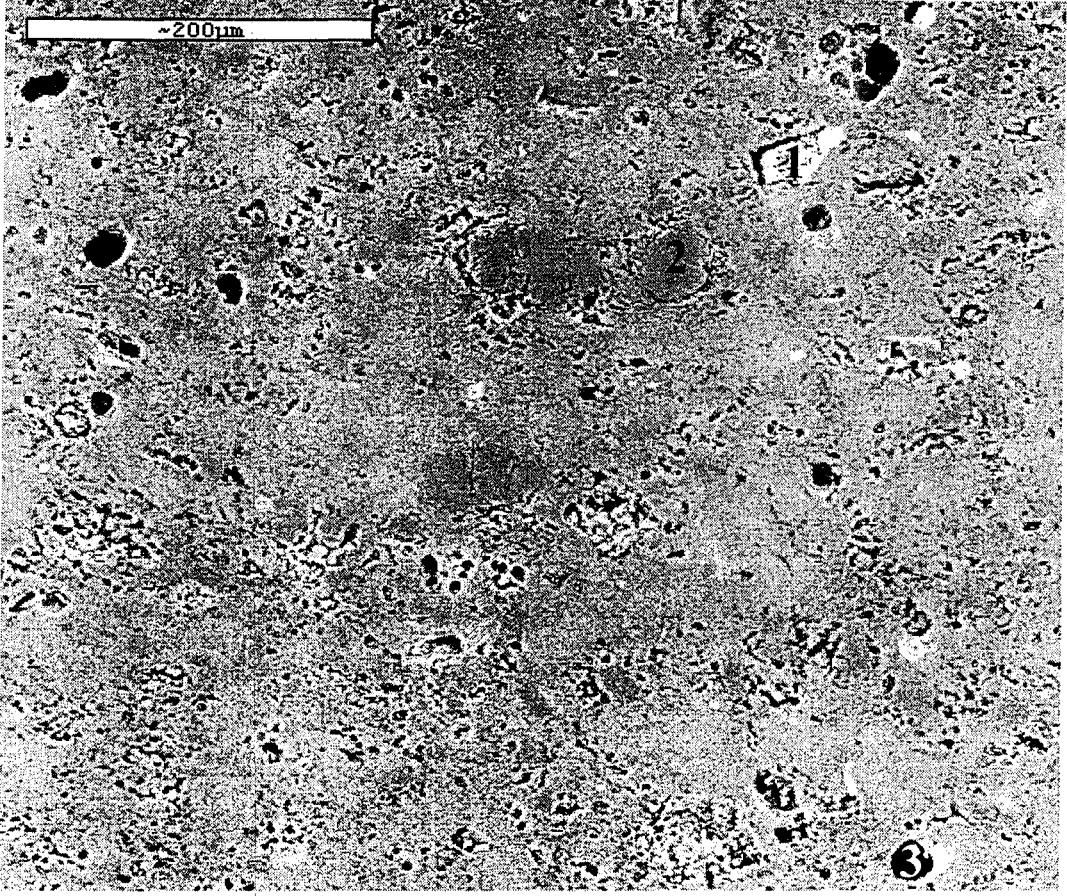
Şekil 6.7. 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş standart stoneware bünnenin SEM görüntüsü.



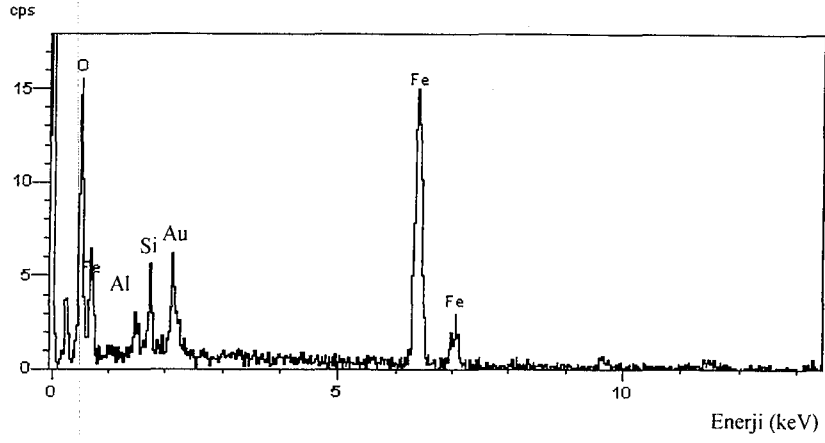
**Şekil 6.8.** Şekil 6.7.'de ki 1 numaralı beyaz tanenin  $\text{TiO}_2$ ' ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.



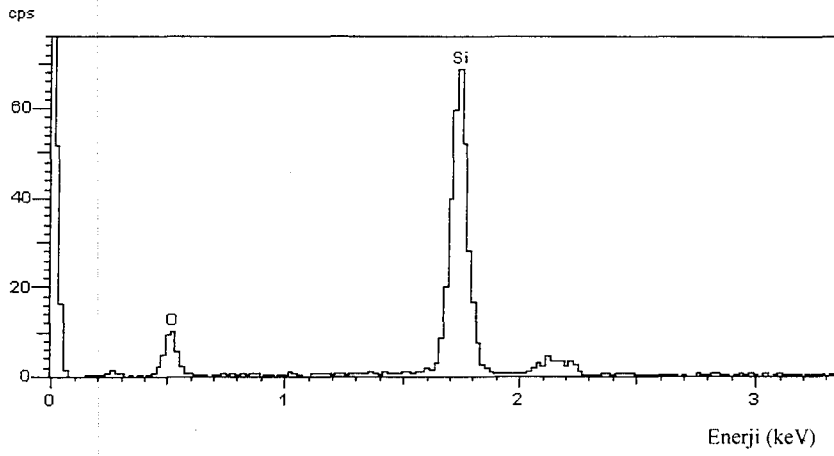
**Şekil 6.9.** Şekil 6.7.'de ki 2 numaralı gri tanenin  $\text{SiO}_2$ ' ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.



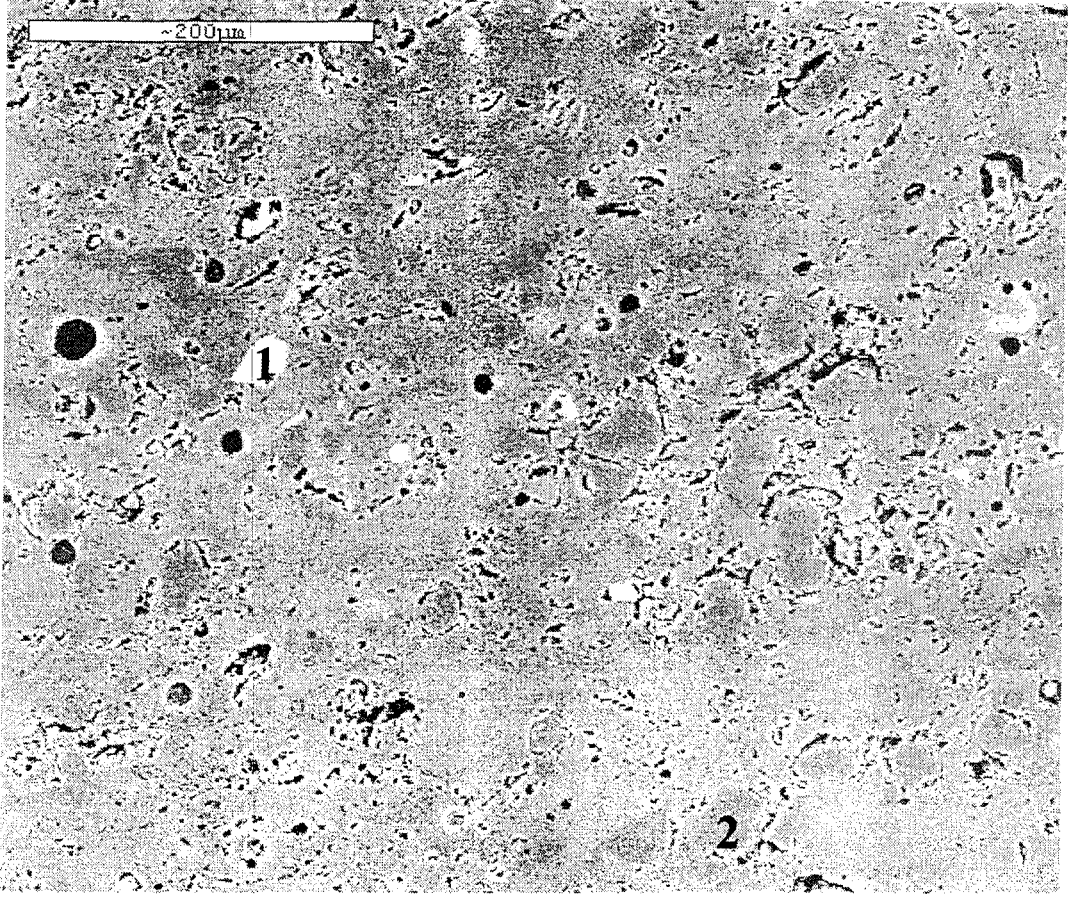
**Şekil 6.10.** 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş, kuvarsın tamamı yerine kül kullanımı ile elde edilen bünyenin (A9) SEM görüntüsü.  
3 numara ile gösterilen bölge porozitedir.



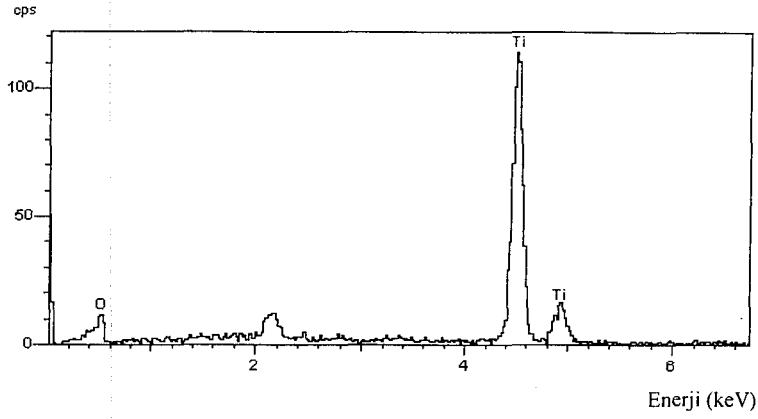
**Şekil 6.11.** Şekil 6.10.'da ki 1 numaralı beyaz tanenin  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ' e ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.



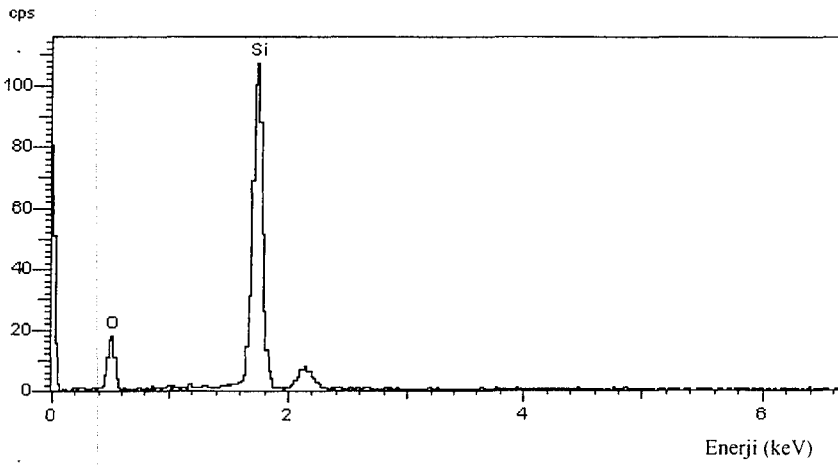
**Şekil 6.12.** Şekil 6.10.'da ki 2 numaralı gri tanenin  $\text{SiO}_2$ ' ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.



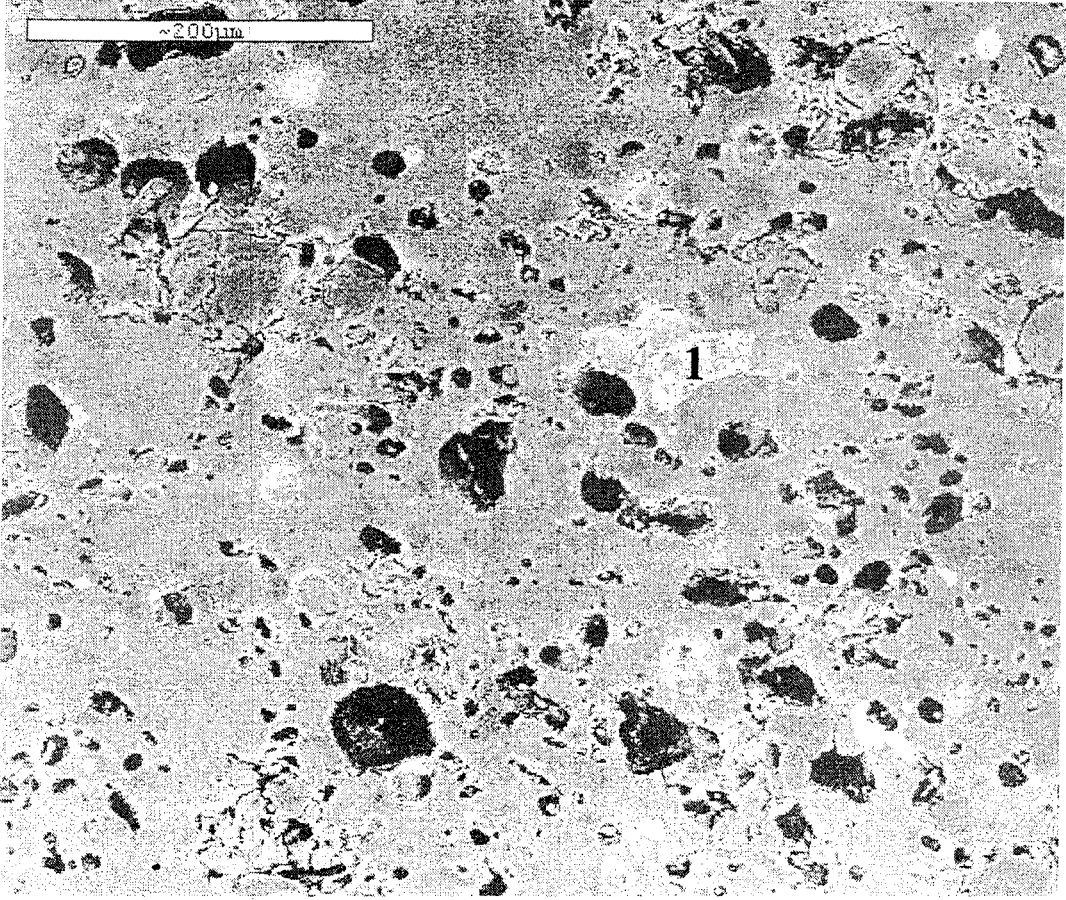
**Şekil 6.13.** 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş, kilin  $\frac{1}{4}$ 'ü yerine kül kullanılmasıyla elde edilen bünyenin (A5) SEM görüntüsü.



Şekil 6.14. Şekil 6.13.'de ki 1 numaralı beyaz tanenin  $\text{TiO}_2$ ' ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.

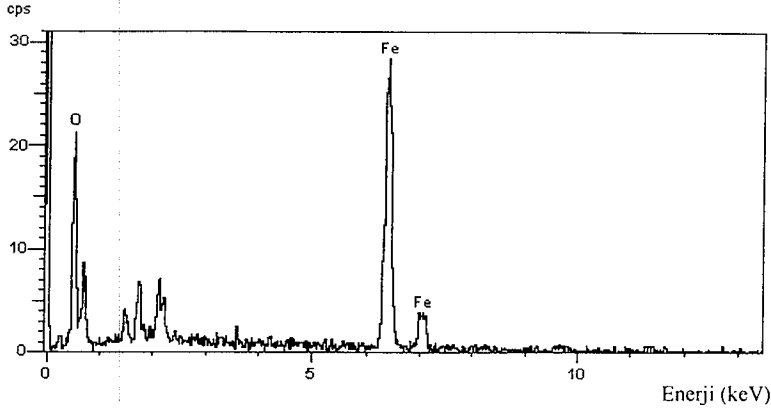


Şekil 6.15. Şekil 6.13.'de ki 2 numaralı gri tanenin  $\text{SiO}_2$ ' ye ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.



**Şekil 6.16.** 1150 °C sıcaklıkta, 3 saat süre ile pişirilmiş, standart bünyedeki toplam kaolenin yerine uçucu kül katkısıyla elde edilen bünyenin SEM görüntüsü.





**Şekil 6.17.** Şekil 6.16.'da ki 1 numaralı beyaz tanenin  $Fe_2O_3$ ' e ait olduğunu gösteren EDX analizi sonucu.

## 6.2. Stoneware Sır Çalışmaları

1A. serisinin başlangıç 1a reçetesi Harkort testinde  $125\text{ }^\circ\text{C}$ 'de dayanıksız iken kuvarsın 1/3 ve 2/3'ünün (1e, 1f) veya tamamının yerine (1b) uçucu kül kullanılmasıyla ısı şok dayanımlarında bariz bir artış gözlemlenmiştir (Çizelge 6.5.). Kristal formdaki silikanın camsı formuna göre ısısal genleşme katsayısını arttırdığı bilinmektedir [45]. Başlangıç reçetesindeki yüksek (% 30) silika içeriğinin bir kısmının serbest hâlde son ürüne taşınma olasılığı, düşük Harkort testi sonucuna yol açabilir. Yeni reçete denemelerinde uçucu külün daha fazla oranda bir camlaşma sağlayıp serbest silika konsantrasyonunun düşmesine neden olduğu ve böylece de ısı şok dayanımını arttırdığı düşünülmektedir.

2. seride kaolenin tamamı yerine kül kullanılmasıyla (2b) sırnın ısı şoklara karşı dayanımı düşmektedir (Çizelge 6.5.). Fakat külün kaolenin % 50'sinin yerini alması (2d) ısı şok dayanımını oldukça artırmaktadır. Yine bu seride kuvarsın tamamının çıkarılıp yerine külün kullanılması (2c) sonucu sırda kaynama problemiyle karşılaşılmış dolayısıyla, bu denemede olumlu bir sonuç elde edilememiştir.

3, 4 ve 5 no. lu reçetelerde kuru sır karışımı toplamının % 5'i kadar (3b, 4b ve 5b) kül ilâvesi ile üretilen sırlar standartlarla (3a, 4a ve 5a) karşılaştırıldıklarında böylesi bir bileşimsel düzenlemenin ısı şok dayanımında herhangi bir etkiye sahip olmadığı ancak, % 10 kül katkısıyla (3c, 4c ve 5c) ısı şok dayanımının iyileştirildiği görülmüştür.

Harkort sonuçlarına göre belli bir sıcaklıkta alınan negatif değer bir alt sıcaklıkta ki Harkort testinin geçildiğini gösterir.

Buhar basıncına dayanım açısından 1a'nın yanı sıra 1d, 1e ve 1f sırları otoklav testini geçmişlerdir (Çizelge 6.5.). Burada kuvarsın (1b) ve kalsitin tamamının yerine (1c) kül kullanılması söz konusu özelliği kötüleştirirken kaolenin tamamının (1d) ve kuvarsın 1/3 (1f) ve 2/3'ünün (1e) yerini külün alması (Çizelge 6.5.) iyileşme sağlamaktadır.

2. seri reçetelerin standardında (2a) buhar dayanımı negatif iken 2c dışında reçete düzenlemeleri pozitif sonuç vermiştir.

3, 4 ve 5 no. lu reçetelere % 5 (3b, 4b, 5b) ve % 10 (3c, 4c, 5c) kül ilâve edilmesiyle buhar basınç testlerinde başarılı olunmuştur. Zaten iyi olan standart reçetelerin buhar basınç dayanımları kül ilâvesiyle sır bileşimindeki mevcut kuvars ve alümina miktarının artması sonucu daha da iyileştirilmiştir.

Lekelenme testi sonunda 2c dışındaki tüm numune yüzeylerine uygulanan iyot çözeltisi, zeytinyağı ve krom oksidin 24 saat sonunda su ile yıkanarak kolayca uzaklaştırıldıkları görülmüştür. Bu durum aynı zamanda üretilen sır yüzeylerinin pürüzsüz, hatasız ve tamamen olgunlaşmış olduklarının da bir göstergesidir.

Numunelerin renk analiz ölçümleriyle atık kül ilâvesinin son sırda kemik renginden koyu kahveye değişen tonlarda bir renk çeşitliliğine yol açtığı belirlenmiştir. Elde edilen sırlı bünyelerin L, a, b değerleri Çizelge 6.5.' te verilmektedir.

**Çizelge 6.5.** Sırlı numunelere uygulanan standart testlerin sonuçları

Numune Kodu	Reçetede ki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Harkort Testi	Otoklav Testi	Lekelenme Testi	Renkler	Renk Parametreleri		
						L	a	b
1a*	0,13	125°C (-)	+	5. derece	Kemik rengi	77,26	+1,10	+9,77
1b	3,29	175°C (+)	-	5. derece	K. kahverengi	31,65	+4,37	+7,39
1c	1,19	175°C (-)	-	5. derece	Sütlü kahve	49,48	+5,38	+12,59
1d	1,11	150°C (-)	+	5. derece	Krem rengi	70,14	-0,17	+20,24
1e	2,23	175°C (+)	+	5. derece	Yeşilimsi kahve	50,5,	+4,23	+16,37
1f	1,19	175°C (-)	+	5. derece	K. krem rengi	65,09	+1,96	+16,83
2a*	0,57	175°C (-)	-	5. derece	Krem rengi	84,47	+1,86	+11,09
2b	3,50	125°C (-)	+	5. derece	Yeşilimsi kahve	47,37	+3,35	+30,58
2d	2,04	175°C (+)	+	5. derece	K. krem	66,11	+0,82	+20,17
3a*	0,08	175°C (+)	+	5. derece	Beyazımtırak	89,68	+0,85	+6,77
3b	0,61	175°C (+)	+	5. derece	Kemik rengi	85,45	+0,19	+12,90
3c	1,14	175°C (+)	+	5. derece	Krem rengi	80,32	+0,64	+18,41
4a*	0,06	125°C (-)	+	5. derece	Kemik rengi	74,84	+0,33	+12,30
4b	0,6	125°C (-)	+	5. derece	A. sarımsı krem	72,66	+1,27	+18,71
4c	1,12	150°C (-)	+	5. derece	Sarımsı krem	68,60	+1,12	+26,50
5a*	0,29	175°C (-)	+	5. derece	Kemik rengi	78,56	+0,50	+10,80
5b	0,82	175°C (-)	+	5. derece	Krem rengi	74,72	-0,08	+14,19
5c	1,35	175°C (+)	+	5. derece	K. krem rengi	74,89	+0,21	+15,78

\*Başlangıç reçeteleri, K: Koyu, A: Açık

## 7. GENEL SONUÇLAR

Termik santral uçucu külünün, stoneware bünyelerde belli oranlarda kaolen, kil ve kuvars yerine kullanılabilceği belirlenmiştir. Özellikle kuvarsın yerini aldığında mukavemet üzerine olumlu etki yapmaktadır. Kül katkısı ile stoneware bünyenin krem rengi kahve yada koyu griye doğru değişmektedir. En iyi özellikleri taşıyan bünye A8'dir. Buna ilâve olarak A2, A6, A7 ve A9 reçetelerinin de kullanılabilirlik kapasitesi vardır.

Uçucu külün kuvarsın yerini almasıyla son sırların ısıl şok dayanımları iyileştirilmektedir. Külün sır sistemlerine taşıdığı ekstra silika ve alümina içeriği buhar basıncına dayanımının artması avantajını da beraberinde getirmektedir. Atık kullanımıyla hatasız elde edilen yeni sırların hepsi iyot çözeltisi, zeytinyağı ve krom oksidin lekelenme etkilerine duyarsızdır. Termik santral külünün kullanımıyla stoneware sırlarında başlangıç rengi düzenlenmekte ve çok geniş bir renk spektrumu elde edilebilmektedir. Yüksek miktarlarda çevreye atılan bu tür küllerin stoneware sırlarında da rahatlıkla kullanılabilceğini görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. FRASER, H., *Glaze for the Craft Potter*, A&C Black, London, 1998.
2. RADO, P., *An Introduction to the Technology of Pottery*, The Institute of Ceramics, Pergamon Press, 1988.
3. KARASU, B., 'Sır ve Emaye Ders Notları', Anadolu Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir (Basılmamış), 2002.
4. YILMAZ, Ş., ÖZKAN, O., T., *Seyitömer Termal Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*, 1. Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, 119-126, 1992.
5. TOKYAY, M., *Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)*, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29-36, 1993.
6. ERGÜT, Ş., YILMAZ, Ş., GÜNAY, V., ve ÖZKAN, O., T., *Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Karakterizasyonları*, Seramik ve Cam Hammaddesi Olarak Kullanım Potansiyelleri, 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, 869-874, 1995.
7. DUMAN, N., ve ÖZGEN, S., *Termik Santral Uçucu Küllerinin Karo Üretiminde Değerlendirilmesi*, 3. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, 204-209, 1996.
8. AY, N., ve EŞMELİLER, S., *Uçucu Küllerin Sofra Eşyası Yapımında Kullanılması*, 4. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, 131-136, 1998.
9. KARASU, B., KURAMA, H., KAYA, G., ve AYDAŞGİL A., *Use of Tunçbilek Termal Plant Fly Ash in Stoneware Bodies*, 11. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitapçığı, 894-899, 2002.
10. KARASU, B., KURAMA, H., KAYA, G., ve AYDAŞGİL A., *Use of Tunçbilek Termal Plant Fly Ash in Stoneware Glazes as a Colouring Agent*, 8. Avrupa Seramik Derneği Konferans Özeti, 2003.
11. KARASU, B., ÇAKI, M., KAYA, G., ve AYDAŞGİL, A., *Tunçbilek Termik Santral Uçucu Küllerinin Stoneware Sırlarında Değerlendirilmesi*, Seramik Sanatı Bilim ve Teknoloji Dergisi, Türk Seramik Derneği, 2002

## KAYNAKLAR (DEVAMI)

12. NORTON, F.,H., *Fine Ceramics Technology and Applications*, Robert E. Krieger Publishing Company, U.S.A., 1978.
13. ZAKIN, R., *Ceramics Mastering the Craft*, Chilton Book Company Rednor, Pennsylvania, 1990.
14. HOPPER, R., *The Ceramic Spectrum*, Chilton Book Company Rednor, Pennsylvania, 1984.
15. RHODES, P., *Clay and Glazes for the Pottery*, Chilton Book Company Rednor, Pennsylvania, 1973.
16. RYAN, W., ve RADFORD, C., *Whitewares Production Testing and Quality Control*, Pergamon Pres, 51-52, 1987.
17. ARCASOY, A., *Seramik Teknolojisi*, Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Ana Sanat Dalı Yayınları No:2, İstanbul 1983.
18. WORRALL, W,E, *Clays and Ceramics Raw Materials*, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 1986.
19. GÜNER, Y., *Seramik*, Gençlik Kitabevi A.Ş., İstanbul, 1987.
20. REED, J.S., *Introduction to the Principles of Ceramic Processing*, John Wiley and Sons, Inc, Singapore, 1989.
21. TANIŞAN, H.H., ve METE, Z., *Seramik Teknolojisi ve Uygulaması*, Söğüt, 1988.
22. *Kaolen, Seramik Killeri-Kaolen-Feldispat-Profillit-Wollastonit-Talk Çalışma Grubu Raporu, DPT 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Ankara, 39-44, 2001.
23. HARVEY, D., *Imaginative Pottery*, A&C Blok Publishers Ltd., London, 1983.
24. GÖK, S., *Kil Mineralleri ve Killerin Jeolojisi*, M.T.A., Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, Ankara 1977.
25. KAYA, G., *Aydın Çine Yöresi Albit Flotasyon ve Triyaj Atıklarının Seramik Bünyelerde Kullanımının Bünye Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2002.

## KAYNAKLAR (DEVAMI)

26. SITI, *Seramik Araştırma Merkezi, Seramik Teknolojisi Kitapları*, Volume 1; Raw Materials, Laboratories Analysis and Manufacturing Cycle Controls, 36-45, 1994.
27. GRIM, T., *Clays and Ceramic Raw Materials*, 1968.
28. UZ, B., *Mineraller, Kristallografi-Mineroloji*, Kurtiş Matbaacılık, İstanbul, 1990.
29. AKSOY, D., *Dünya'da ve Türkiye'de Feldispat ve Nefelin Siyenit*, M.T.A. Gn. Md. Araştırma ve Planlama Koord. Dairesi, Ekonomik Etüdler Birimi, Ankara, 1996.
30. TÖRE, İ., *Wollastonitin Seramik Bünyelerde Uygulanabilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2001.
31. GHIANNT. M., SERCI, A., PRETTI. P., ve ZUCCA, A., *Benefication of Feldspar Ores for the Ceramics Industry*, Mineral Science Research Centre of CNR, Cagliari, Italy, 405, 1996.
32. ÖZDİL, İ., *Güral Porselen Ar-Ge Notları*, Kütahya, 2000.
33. TAYLOR, J.R., ve BULL A.C., *Ceramics Glaze Technology*, Pergamon Press, 1980.
34. KARASU, B., ve ÇAKI, M., *Oksitleyici Atmosfer Şartlarında Üretilen Porselenlere Çinko Kristal Sırı Uygulamaları*, 4. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Türk Seramik Derneği Yayınları, İstanbul, Türkiye No: 20, 287-293, 1998.
35. YALÇIN, H. ve ALAYDİN, S., *Uçucu Külün Beton Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması*, Devlet Su İşleri (D.S.I.) Rapor No. KR, 386, Ankara, 1967.
36. KURAMA, H., BİLGİÇ, C. ve KAYA, M., *Tunçbilek Uçucu Külünün Endüstriyel Kullanım İçin Değerlendirilmesi*, Cevher Hazırlama/The Journey of or Dressing, Sayı: 2, 55-62, 1999.

## KAYNAKLAR (DEVAMI)

37. TOKYAY, M. ve ERDOĞDU, K., *Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu* TÇMB/ARGE Y.98.3, Ankara, 1998.
38. EISELE, T.C., KAWATRA, S.K. ve BANARJE, D.D., *Utilization of Fly Ash as an Inorganic Pellet Binder*, Proceeding of XX IMPC, 21-26 September, Aachen Germany, 1997.
39. HONEKER, R.Q. MONDAL, K., ARNOLD, B. ve SHIREY, G., *Generation Products Coal Combustion Fly Ash Using Physical Separations*, Proceedings of the V.SWEMP Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Ankara Turkey, 565-573, 1998.
40. GAO, Y., SHIM, H.-S., HURT, H.R., SUUBERG, E.M. ve YANG, N.Y.C., *Effects of Carbon on Air Entrainment in Fly Ash Concrete: The Role of Soot and Carbon Black*, Energy&Fuels, 402, 1997.
41. Türk Standartları Enstitüsü, ICS 91.100.20, Bölüm 9, TS EN ISO 10545-9, 1997.
42. Türk Standartları Enstitüsü, ICS 91.100.20, Bölüm 11, TS EN ISO 10545-11, 1997.
43. EPPLER, R., R. and EPPLER, D., R., *Glazes and Glass Coatings*, *The American Ceramic Society*, Westerville, Ohio, P 263-270, 2000.
44. HUANG, X., HWANG, J.Y., MUTSUDDY, B.C., *Properties of Mullit Synthesized from Fly Ash and Alumina Mixture* Int. Ceram. Vol. 44, No:2, pp 65-71, 1995.
45. BEHRENS, R., *Glaze Projects, A Formulary of Leadless Glazes, A Ceramics Monthly Magazine Handbook*, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 1971.