

39496.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ: ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEYİTÖMER TERMİK SANTRAL ATIK UÇUCU KÜLLERİNİN
SİNERLEŞME KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Şaduman ERGÜT

Anabilim Dalı : METALURJİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÜRETİM METALURJİSİ

**İ.T. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MURAH**

HAZİRAN - 1994

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı titizlikle yöneten, fikir ve önerilerinden faydalandığım saygı değer hocam Prof. Vahdettin SEVİNÇ 'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresince her türlü teşvik ve fedakarlıklarını esirgemeyen bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim Sayın Prof. Dr. T.Osman ÖZKAN 'a ve Yrd. Doç. Dr. Volkan GÜNAY 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımnda kullandığım uçucu kül ve bentonit örneklerinin temin edildiği Seyitömer Termik Santral 'ı İşletme Müdürü 'ne ve İşletme çalışanlarından Kimya Mühendisi Sayın Mete ELGÜN 'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın yapılması sırasında sağlanan olanaklar nedeniyle TÜBİTAK MAM, Malzeme Araştırma Bölümü Başkanlığı 'na ve Seramik Laboratuvarı Teknisyenlerinden M. Yılmaz EMRE, Remzi ERSOY ve diğer çalışanlara teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yürütülmesinde bana her bakımdan yardımcı olan ve yakın ilgi gösteren başta Metalurji Yüksek Mühendisi Şenol YILMAZ, Hatem AKBULUT, Uğur ŞEN olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma ve Yrd. Doç. Dr. Abdullah MIMAROĞLU ve Teknisyen Ersan DEMİR 'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca, tezimin yazılması sırasında sağlamış olduğu olanaklardan dolayı Yrd. Doç. Dr. Nermin MENGENE 'ye çok teşekkür ederim.

Şaduman ERGÜT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. UÇUCU KÜLLERİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ	2
2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Sınıflandırılması	2
2.2. Uçucu Küllerin Özellikleri	3
2.2.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	3
2.2.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri	5
2.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal Yapıları	5
2.3. Uçucu Küllerin Oluşumu ve Kullanım Alanları	6
2.3.1 Uçucu Küllerin Oluşumu	7
2.3.2 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları	8
BÖLÜM 3. BENTONİTLERİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI	11
3.1. Bentonitlerin Tanımı ve Sınıflandırılması	11
3.2. Bentonitlerin Özellikleri	11
3.3. Bentonitlerin Kullanım Alanları	12
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	16
4.1. Deney Programı	16
4.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	16
4.2.1. Uçucu Kül	16
4.2.2. Bağlayıcı ve Katkı Malzemeler	17
4.3. Hammadde Karakterizasyonu	19
4.3.1. Mineralojik Analiz	19
4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi ve Elektron Mikroprob Analizi	20
4.3.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi	20
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	21
4.4.1. Harmanlama ve Kalıplama	21
4.4.2. Kurutma ve Sinterleme İşlemi	23
4.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri	23
4.5.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme ve Kızdırma Kaybı	23
4.5.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluk	24

4.5.3. Su Emme	25
4.5.4. Basma Mukavemeti	26
4.5.5. Üç Nokta Eğme Mukavemeti	26
4.5.6. Donma	26
4.5.7. Pamuklaşma	27
BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	28
5.1. Hammadde Karakterizasyonu	28
5.1.1. Mineralojik Analiz	28
5.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi	37
5.1.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi	43
5.2. Deney Numunelerine Uygulanan Test Sonuçları	44
5.2.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme ve Kızdırma Kaybı	44
5.2.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluk	48
5.2.3. Basma Mukavemeti	52
5.2.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti	52
5.2.5. Su Emme Testi	56
5.2.6. Donma	60
5.2.7. Pamuklaşma	60
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	68

ÖZET

Seyitömer Termik Santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakterizasyonlarının yapılması ve yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, hammadde karakterizasyonları yapılmış, mineralojik analizler sonucunda uçucu küllerin çoğunlukla amorf faz içerdikleri, kristal fazında α -kuvars, muskovit, enstatit, kristabolit, kalsiyum sülfat ve demir bileşiklerinden oluştuğu saptanmıştır. Uçucu küller yüksek oranda Fe_2O_3 içermesi ve bunu içeren fazların bazılarının manyetik olması sebebiyle tane boyut dağılım analizi yapılamamış ve özgül ağırlık ölçümleri sonucunda ortalama özgül ağırlık değerinden daha yüksek değere sahip oldukları tesbit edilmiştir. Uçucu kül, Kütahya bentoniti ve Ünye bentonitinin özgül ağırlıkları sırasıyla, 2.35×10^3 , 2.36×10^3 ve $2.57 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ tür. Uçucu küllerin ve farklı sıcaklıklarda sinterlenen (900, 1000, 1100 ve 1200 °C) bentonit ilaveli numunelerin taramalı elektron mikroskobu incelemesinde, homojen bir tane boyut dağılımına sahip olmadıkları ve çoğunlukla aglomere ve küresel tanelerden oluştukları saptanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, uçucu kül, Kütahya bentoniti, Ünye bentoniti ve kolemanit atığı kullanılarak değişik oranlarda hazırlanan karışımlardan yarı-kuru presleme yöntemi ile 36 mm çap ve yüksekliğinde silindirik, 41x8x5 mm boyutlarında çubuk numuneler üretilmiştir. 110 °C 'de kurutulan numuneler 900, 1000, 1100 ve 1200 °C 'de sinterlendikten sonra çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Sinterleme işlemleri sonucunda kolemanit atığı katkılı numunelerin patladığı görülmüştür. Yapılan testler sonucunda bentonit ilavesinin kuruma, pişme, toplu küçülme ve kızdırma kaybı değerlerinde önemli büyüklükte değişikliklere neden olmadığı ancak sıcaklığın artmasıyla değişiklikler meydana geldiği görülmektedir. Basma ve üç nokta eğme mukavemetinin sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı ancak bentonit miktarına bağlı olarak düştüğü saptanmıştır. En yüksek mukavemet değerine %100 uçucu kül ihtiva eden numunelerin sahip olduğu ve artan bentonit miktarının mukavemeti olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Ancak Ünye bentoniti %3 'ün üzerindeki miktarlarda uçucu küle ilave edildiği takdirde mukavemetin ve diğer özelliklerin olumlu yönde değiştiği saptanmıştır. Ünye bentoniti, Kütahya bentonitine nazaran daha düşük miktarlarda küle ilave edilmesine karşılık, yüksek bağlayıcılık özelliği ve homojen karıştırılması sebeplerinden dolayı daha iyi sonuçlar vermiştir. Numune mukavemetleri Türk Standartlarına (TS 705) uygun olup, çalışma sonucunda uçucu küllerin yapı malzemesi, olarak değerlendirilebileceği tesbit edilmiştir.

Sonuçta atık uçucu küllerin, bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlerden Ünye bentoniti ilavesi ile (% 3 'ün üzerinde), hatta hiçbir bağlayıcı madde kullanılmaksızın yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

SINTERING CHARACTERIZATION OF SEYİTÖMER POWER PLANT WASTE FLY ASH

SUMMARY

Fly ash is a secondary waste fine powder product of low grade coal consumed in power plants. This fly ash is collected by the cyclones and precipitator as known arrestors and stored in bunkers.

The physical and chemical properties of fly ash depends on the fuel used and the combustion condition. The fly ash has different particle size and shape. In generally, the particles of fly ash is irregularly shaped. Some of the particles are glassy spherical shaped, aglomareta and cornered shaped. The fly ash comprises chemically a mixture of the following oxides, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO and MgO . The mineral phases comprised of quartz, mullite, hematite, magnetite and gypsite (anhydrite).

The electric power plants in Turkey, produce about 15 milion Tones of waste fly ash every year. This large quantity of fly ash present a serious problem form the point view of storing, dumping, health and environmental polution. Therefore, there is a need for an economical and relaiable methods to solve or minimize the side effects of this problem.

Several approaches have been suggested to solve this problem. The approach of conditioning the fly ash to a stage that could be applicable in industrial applications, has recieved the wider attension. This approach is already in application in cement industry. Investigations in this field suggested, the fly ash potential use in the following industries ; brickmaking, concrete, light agregas, geotechnic application, glass and ceramic industry, wall mortar, to prevented the overflowing and casting sand.

In this present work, sintering characterization and utilisation of fly ash from the Seyitömer Power Plant has been investigated. Furthermore, the effects of binding materials (bentonite and colemanite waste) on sintered properties of the fly ash were also studied. For this purpose, bentonites from Kütahya and Ünye and colemanite waste from Kütahya / Emet were used. The chemical compositions of the fly ash of Seyitömer Power Plant, Kütahya bentonite, Ünye bentonite and colemanite waste are as in Tables 1, 2 and 3 respectively..

Table1. Chemical composition of Seyitömer Power Plant waste fly ash.

Chemical Components	FINE (wgt.%)	COARSE (wgt.%)
SiO ₂	53.97	57.37
Al ₂ O ₃	18.14	17.2
Fe ₂ O ₃	12.5	11.3
K ₂ O	1.92	1.5
ZnO	0.02	0.017
CaO	5.19	4.32
MgO	4.5	4.3
Na ₂ O	0.7	0.7
Loss on Ignition	2.87	2.64

Table 2. The chemical composition of Kütahya bentonite and Ünye bentonite.

Chemical Components	Kütahya Bentonite (wgt.%)	Ünye Bentonite (wgt.%)
SiO ₂	70.86	76.46
Al ₂ O ₃	17.94	12.19
TiO ₂	0.03	-
Fe ₂ O ₃	0.76	1.31
MgO	1.30	2.39
CaO	2.67	0.50
Na ₂ O	0.51	1.93
K ₂ O	-	0.55
Loss on Ignition	5.93	4.56

Tablo 4.4. Chemical composition of colemanite waste

Chemical Components	(wgt.%)
SiO ₂	20.66
Al ₂ O ₃	2.83
B ₂ O ₃	26.27
Fe ₂ O ₃	6.96
CaO	16.42
MgO	6.72
K ₂ O	0.87
CO ₂	4.19
SO ₃	2.20
H ₂ O	12.88

The investigation has been carried out in two stages; The characterization of fly ash and binding materials stage and the sintering stage.

In the first stage, the characterization of fly ash and binding materials were obtained by the following analytical techniques and tests.

- Differential thermal analysis (DTA), thermal gravimetry (TG) and x-ray diffraction.

- Specific gravity and particle size measurements.

- Scanning electron microscopy (SEM) and electron microprobe analysis (EMA), to characterize particle morphology and identify the phases of fly ash, respectively.

In the second stage, four groups of samples with different proportions of fly ash and binders (bentonites and colemanite waste) were prepared. These groups are;

- Fly ash without binding materials (100 % fly ash) for direct sintering study.

- Fly ash with Kütahya bentonite additive

- Fly ash with Ünye bentonite additive

- Fly ash with colemanite waste

The Kütahya bentonite and colemanite waste were added to the fly ash in the range of 0-20 w/o with a 5 steps and in a dry powder form. The Ünye bentonite was added in a suspension form to yield 0-5 w/o with a 1.0 steps. Cylindrical shaped (36 mm diameter and 36 mm height) and bar shaped (41x8x5 mm) samples were prepared from each group, using semi-dry pressing method. After drying the samples at 110 °C, the samples were sintered at 900, 1000, 1100 and 1200 °C for an hour with 180 °C/hour heating rate.

The following tests were conducted to the sintered samples;

- Drying and firing shrinkage and loss on ignition tests

- The apparent porosity and bulk density tests

- The water absorption testing

- The crushing strength test

- The three point bend strength test

- Freezing testing

- Efflorescence testing

The results of fly ash characterization and sintered samples testing are summarized as follows.

- The x-ray diffraction study of fly ash and sintered samples showed that they mainly consisted of glassy (amorphous) phase and the crystalline phases. The fly ash consists of α -quartz, muscovite, enstatite, anhydrite (except for sintered samples at 1200 °C), iron compounds and α -quartz changed in to cristabolite.

- The specific gravity results showed that, the specific gravity of fly ash, Kütahya bentonite and Ünye entonite are 2.35×10^3 , 2.36×10^3 , and 2.57×10^3 kg/m³ respectively. The specific gravity for fly ash is higher than the average specific gravity value (2.15×10^3 kg/m³). This is due to the higher percentage iron oxide content (11-13%)

- The particle size analysis test has not been able to be out due to the effect of magnetic properties of iron oxide content which prevented the normal working condition of the test equipment.

- The results of scanning electron microscopy (SEM) analysis for the fly ash and sintered samples showed that, the fly ash consisted of agglomerated and spherically shaped particles while the sintered samples are mainly consisted of glassy phases. The electron microprobe analysis (EMA) results for fly ash showed that the agglomerate and spherically shaped particles are comprised of Si, Al, Fe, Ca, K and Mg elements. Futhermore, samples with no additives which were sintered at 1200 °C have been bloated due to the sudden decomposition of CaSO₄.

Tests carried out on samples sintered at 900, 1000, 1100 and 1200 °C have given the following results.

- No change in firing shrinkage was defected in the samples with bentonite. Therefore, the total shrinkage quantity was investigated. The results showed that the increasing in bentonite percentage, resulted to a decrease in the total shrinkage the samples. This is due to the difficulty in sintering proses. On the other hand, the higher the sintering temperature resulted on increase in the total shrinkage. The loss on ignition of samples increases with the increase in temperature and in bentonite percentage. This is due to the loss of carbon in fly ash, partly decomposition of CaSO₄ and the disappearance of the water in bentonite structure.

- The variations in the bulk densities and the porosity of the samples were found to be dependent on temperature and bentonite percentage. The bulk density in samples with Kütahya bentonite is around 1.23 - 1.22×10^3 kg/m³. The value of bulk density increases with the increasing sintering temperature. The bulk density for Ünye bentonite samples which were sintered at 900 and 1000 °C have given a similar trend to Kütahya bentonite samples. In case of Ünye bentonite samples sintered at 1100 °C, the bulk density increases with the increase in bentonite percentage. As expected, the porosity results showed in comparison to the bulk density effects. The porosity for free samples is around 46.6-30.9.

- The results of crushing strength and three point bend strength tests showed that the strength decreases with the increase in bentonite percentage and increases with the increase in temperature. This is due to the formation of glass phase. The maximum crushing strength and three point strength were shown by the free samples. The strength values for Kütahya bentonite samples are 34.6 and 25.2 MPa respectively. In case of samples with more than 3% Ünye bentonite and which were sintered 1100 °C, the strengths increase with the increasing bentonite percentage. The crushing and three point bend strength values are 34.6-48 and 25.2-29 MPa, respectively. This gained strength values for these products are higher than the values for standards in Turkish standards Breu (TS705).

- The results of water absorption tests are in a similar trend as obtained in porosity test.

- The freezing tests showed, no deteriorations took place similarly no efflorescence effect was observed.

- The overall results indicate the possibility of using the fly ash as a brickmaking material. This will lead to cheaper building materials as well as minimize to pollution of the environment.

BÖLÜM I

1.GİRİŞ

Ülkemizde termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında yılda yaklaşık 15 milyon ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Büyük miktardaki bu külleri depolamak veya atmak çoğu kez büyük güçlükler doğurmakta, toplum ve çevre açısından yeni sorunların kaynağı olmaktadır.

Ülkemizde miktarı her geçen gün biraz daha artan uçucu küller ya kuru olarak atık sahalarında biriktirilmekte ya da su ile karıştırılmak suretiyle uçucu kül barajlarına pompalanmaktadır. Her iki durumda da çevrenin kirlenme riski ortadan kaldırılamamaktadır. Çevre kirliliğini önlemek ve aynı zamanda ucuz bir malzeme kaynağı olarak kullanmak amacıyla, uçucu küllerin çeşitli alanlarda değerlendirilmesine çalışılmaktadır. Yapılan araştırmalar, uçucu küllerin tuğla, çimento, beton, hafif agrega yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, seramik ve cam sanayinde, duvar harçlarında, taşkın önlenmesinde, metal yüzeylerinin temizlenmesinde, petrol kuyuları sondajlarında ve döküm kumu olarak kullanımının da mümkün olduğu saptanmıştır [1].

Bu çalışmanın amacı, Kütahya/Seyitömer Termik Santrali atık uçucu küllerinin sinterleşme karakterizasyonlarının incelenmesi ve yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinin araştırılmasıdır. Çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, uçucu küllerin ve bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlerin çeşitli karakterizasyonları yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, uçucu kül ve bentonitler kullanılarak değişik oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan yarı-kuru presleme yöntemi ile üretilen değişik boyutlardaki numunelere sinterleme öncesi ve sonrası çeşitli testler uygulanarak özellikleri tesbit edilmiştir.

BÖLÜM II

2. UÇUCU KÜLLERİN TANIMI, ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Uçucu küller, genellikle düşük kalorili ve endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömürlerin, toz haline getirilerek, yakılması sonucu, bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince kül parçacıklar, elektrostatik yöntemlerle elektrofiltrelerde tutulmakta ve sonra siklonlarda toplanarak, baca gazları ile atmosfere çıkışları önlenmektedir. Böylece hava kirliliği de mümkün olduğu kadar azaltılmış olmaktadır. Baca gazları ile sürüklenen ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 0.5-100 μm arasında olup, aglomere ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir [2,3].

Bir termik santralden üç çeşit atık madde elde edilmektedir [4];

1- Baca gazları ile taşınmayan, yanarak tabana düşen ve aglomere olan kül (taban külü) ,

2- Siklon tipi ocaklarda, yanan kömür külünün ergimesiyle ve suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen kül (ergimiş kül veya curuf),

3- Baca gazları ile taşınan, mekanik veya elektrostatik toz tutucularında tutulan çok ince küller (uçucu kül),

Atık malzeme olarak elde edilen küllerin yaklaşık %75-80 'ini uçucu küller oluşturmaktadırlar. Uçucu küller, kimyasal yapıları bakımından dört sınıfa ayrılmaktadır [1,5].

1- Silikat-alumina esaslı uçucu küller : Kimyasal yapılarının büyük bir kısmını SiO_2 ve bir miktar Al_2O_3 meydana getirmektedir. Bu uçucu küller, içerdikleri alkali ve toprak alkali element oksitleri nedeniyle çok ince taneli ve camsı yapıya sahiptir.

2- Silikat-kalsit esaslı uçucu küller : Kimyasal yapılarındaki temel oksitler, SiO_2 ve CaO 'dir.

3- Sülfür-kalsit esaslı uçucu küller : Kimyasal yapılarının büyük bir miktarını SO_4 esaslı bileşikler ve CaO oluşturur.

4- Sınıflandırılmayan uçucu küller : Termik santrallerdeki yakma sisteminin homojen olmamasından kaynaklanan ve kimyasal bileşimi sürekli değişme gösteren küllerdir.

Ayrıca uçucu küller, termik santralde kullanılan kömür türüne bağlı olarak da iki gruba ayrılmaktadır ; linyit uçucu külü ve taş kömürü uçucu külü. Kimyasal özellikleri bakımından linyit uçucu külü, taş kömürü uçucu külüne göre özellikle toprak alkali metallerin fazla oluşu bakımından farklıdır. Bu özellik, linyit uçucu külünün kullanılmasında büyük önem taşır. Taş kömürü uçucu külü tamamen kuru olarak elde edilmekte olup, taneciklerin büyük bir kısmı camsı minerallerden meydana gelmektedir [1].

2.2. Uçucu Küllerin Özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal yapıları, fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük ölçüde kullanılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir [2].

2.2.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu küllerin, renkleri açık ve koyu gri ile siyah arasında değişmekte olup renginin açıklığı veya koyuluğu elde edildiği kömüre ve yanış özelliklerine bağlıdır. Linyit kömüründen elde edilen uçucu küller daha koyu renklidir. Ayrıca iyi yanmış bir uçucu kül, iyi yanmamış uçucu külden daha açık renktedir. Uçucu küle siyah rengi veren içindeki yanmamış karbondur [1]. Uçucu küldeki yanmamış karbon miktarı kızdırma kaybı değerinden az olmalıdır [6].

Uçucu küller, çeşitli şekil ve büyüklüklere sahiptir. Genellikle, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden oluşmuştur. Tane boyutu ise kullanılan kömürün cinsine ve öğütölme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taş kömürü uçucu küllerinin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki

eden diğer bir faktör, bacadan kaçan boyutu küçük uçucu küllerin elektrofiltrelerde veya siklonlarda tutulma hassasiyetleridir. Elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulanlardan daha küçüktür [5].

Uçucu küllerin özgül ağırlığı, bünyelerindeki kuvars, alumina, demir ve karbon miktarı ile değişmektedir. Küldeki demir miktarı arttıkça özgül ağırlık artmaktadır. Ayrıca özgül ağırlık, külün mineralojik yapısına göre de değişmektedir. Örneğin, içi dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin özgül ağırlıkları yüksek iken, süngerimsi tanelerden oluşanların daha düşüktür [1]. Uçucu küllerin ortalama özgül ağırlıkları, $2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'tür [7].

Uçucu küller, kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan, ancak, sulu ortamda kireç ile birleştirildiklerinde bağlayıcılık özelliği kazanan pozolanik malzemelerdir [8]. Kireç ve su ile karıştırıldıktan sonra artan süreyle birlikte uçucu küllerin pozolanik özellikleri artmaktadır [1]. Ayrıca CaO miktarı yüksek uçucu küller, daha iyi pozolanik özellik göstermektedir [9]. Uçucu küllerin pozolanik özellikleri, yani kireçteki kalsiyum iyonu ile birleşerek hidrasyon sonucunda kalsiyum-silikat-hidrat jelini üreterek bağlayıcılık kazanabilme özellikleri, içerisindeki $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (S+A+F) miktarına ve inceliklerine bağlıdır. Türkiye 'deki bazı termik santral atık uçucu küllerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.1 'de verilmiştir [2].

Tablo 2.1. Türkiye 'deki bazı termik santral atık uçucu küllerinin fiziksel özellikleri.

		Uçucu Kül					
Özellik		A-E	ÇA	SÖ	S	T	Y
İncelik	200 μm	3.0	2.7	1.0	3.0	4.5	1.9
%	elek						
kalan	90 μm	14.9	11.5	3.0	19.0	13.5	12.8
	elek						
Özgül		2.63	1.97	2.46	2.42	1.99	2.15
ağırlık							
P.A.I.	Kireçle	49.7	45.1	43.8	52.5	34.0	36.0
	Kgf/cm ²						
	P.C.ile	86.4	77.2	79.8	94.5	72.5	67.3
	% kont.						
Su ih-		111.8	102.7	112.4	110.0	104.2	106.5
tiyacı							
%							
kont.							

A-E : Afşin-Elbistan Termik Santrali

SÖ : Seyitömer Termik Santrali

T : Tunçbilek Termik Santrali

(P.A.I. : Pozolanik Aktivite)

ÇA : Çatalağzı Termik Santrali

S : Soma Termik Santrali

Y : Yatağan Termik santrali

2.2.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri, suda çözünürlük ve asitlerin etkisi olarak ikiye ayrılmaktadır [5].

a) Suda çözünürlük : Uçucu küller %2-3 oranında suda çözünürler. Çözelti, kalsiyum ve sülfat nedeniyle reaksiyon vermektedir [10]. MgO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ün suda çözünürlükleri minimum seviyede olup, sıcaklık arttıkça uçucu küllerin suda çözünürlüğü artmaktadır.

b) Asitlerin etkisi : Uçucu küllere asitlerin etkisi çok azdır. Seyreltik asit içerisinde uçucu küllerin çözünürlüğü en fazla %15 'tir. Ancak bu miktar küllerin kimyasal ve mineralojik yapısına bağlı olarak daha düşük olabilmektedir.

2.2.3. Uçucu Küllerin Kimyasal Yapıları

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde %85 veya daha fazla miktarının SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve MgO den meydana geldiği görülmektedir. Kullanılan kömür türüne bağlı olarak bazı uçucu küllerde önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Ülkemizdeki termik santral atık uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonları, Tablo 2.2 'de verilmiştir [6].

Tablo 2.2. Türkiye 'deki bazı termik santral atık uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonları.

Oksit	Uçucu Kül					
	A-E	ÇA	SÖ	S	T	Y
SiO_2	27.4	56.8	40.6	39.8	56.4	51.2
Al_2O_3	12.8	24.1	9.1	22.3	23.0	22.9
Fe_2O_3	5.5	6.8	7.7	4.4	10.1	7.8
S+A+F	39.7	87.7	57.4	66.5	89.5	81.9
CaO	47	1.4	19.9	25.4	2.1	13.0
MgO	2.5	2.4	8.1	1.9	3.3	2.8
SO_3	6.2	2.9	10.6	4.8	0.4	0.3
Alkali	0.3	3.0	1.4	0.4	0.9	2.9
TiO_2	0.7	1.1	n.d	0.6	n.d	0.9
LOI	2.4	0.6	1.4	0.4	1.1	0.4

A-E : Afşin-Elbistan Termik Santrali

SÖ : Seyitömer Termik Santral

T : Tunçbilek Termik Santrali

ÇA : Çatalağzı Termik Santrali

S : Soma Termik Santrali

Y : Yatağan Termik santrali

Uçucu küller içerdikleri $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarına bağlı olarak C 618 sayılı ASTM (American Society for Testing Materials) standardına göre, "F" ve "C" olarak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. "F" sınıfı küller bitümlü kömürlerden, "C" sınıfı küller ise linyitli kömürlerden elde edilmektedir. Ayrıca içlerinde %10 'dan fazla miktarda CaO bulunduran küller, "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır [11]. Birçok ülke standardında ve Türkiye 'de bu tür bir sınıflandırma mevcut değildir [2].

Uçucu küllerde en fazla bulunan mineral fazlar, kuvars (SiO_2 , mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4) ve gipsittir (anhidrit(CaSO_4)). Uçucu küllerin bir kısmı SiO_2 ve Al_2O_3 'den meydana gelirken, diğer bir kısmı alkali ve toprak alkali elementlerin özellikle SiO_2 ve Al_2O_3 ile yaptıkları camı fazlardan oluşur [6,12].

Termik santrallerde kullanılan yakıta ve yanma şartlarına bağlı olarak uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları değişiklikler göstermektedir. Türk Standartları Enstitüsü 'ne göre uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları Tablo 2.3 'de verilmiştir [13].

Tablo 2.3. TSE uçucu kül kompozisyonu

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70(min.)
MgO	5(max.)
SO_3	5(max.)
Nem	3(max.)
Kızdırma Kaybı	10(max.)

2.3. Uçucu Küllerin Oluşumu ve Kullanım Alanları

Termik santrallerde elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan atık küller, kömürün, cinsine, kül oranına, kimyasal yapısına, kazanlara yükleme programına ve kül temizleme işlemleri ile kazan tipine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir [1,14].

2.3.1. Uçucu Küllerin Oluşumu

Termik santrallerde, 0.09 mm tane boyutuna öğütülmüş toz ve parça halindeki kömürler, kazanlarda havada süspansiyon halinde iken yakılır. Yanma işlemi sonucunda parça boyutları daha da küçülür ve oluşan külün büyük bir kısmı baca gazları ile birlikte sürüklenir. Külün sürüklenmesini azaltmak için yanma havasının ve toz kömürün kazana teğetsel olarak üflenmesi tercih edilir. Bu durumda külün iri kısmı kazanda kalır ve kazanın alt kısmından kaba kül olarak alınır. Oluşan külün %20'si taban külü olarak kazan altında toplanırken, %80'i uçucu kül halinde baca gazları ile taşınır [1]. Uçucu küllerin toplanmasında aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır [5].

- 1) Elektrofiltreler
- 2) Siklonlar
- 3) Nemlendirme
- 4) Filtreler
- 5) Ultrasonik çöktürme
- 6) Kontrol prosesleri

Termik santrallerde en çok kullanılan kül tutma yöntemleri elektrofiltreler ve siklonlardır. Kazan külünün tane boyutunun büyük olduğu durumlarda mekanik tutucular, yani siklon ve benzeri üniteler, tane boyutunun küçük olduğu durumlarda ise en verimli ve ekonomik yöntem olan elektrofiltreler kullanılmaktadır [1]. Uçucu küllerin su ile ıslatılarak çöktürülmesi esasına dayanan nemlendirme yöntemi çok su tüketmekte olup, toplanan küllerin değerlendirilememesi ve yüksek maliyeti sebebiyle pek tercih edilmemektedir. Filtreler, ultrasonik çöktürme ve kontrol prosesleri ile 1 μ m tane boyutuna kadar olan uçucu küller yakalanabilmektedir. Bacadan çıkan kül miktarı azaldığı için çevre kirliliğini azaltan bu yöntemlerin yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksektir [5].

Termik santrallerde üretilen külün santral dışına, genellikle santralden oldukça uzak bir yere taşınması veya atılması gerekmektedir. Uçucu küllerin santral içinde taşınmasında bantlar, helezonlar, curuf kırıcılar, silolar, pnömatik ve hidrolik sistemler ve kül tutma havuzları kullanılır. Curuf ve kazan altı külleri iri tanelidir ve kazan dışına alınırken yanmayı durdurma ve sıcaklığı düşürme amacı ile ıslatılırlar. Küllerin hidrolik sistemle taşınmaları ve santral dışına atılmaları büyük sorunlar yaratmaktadır. Uçucu külün düşük kütle yoğunluğu, silolarda toplanmasında güçlükler çıkarmaktadır. Bunun için siloların havalandırmalarında siklon ve filtreler

kullanılır. Silolarda toplanan küller, bantlarla veya çeşitli araçlarla santral dışına taşınır [1].

Uçucu küllerin santral dışına bantla taşınması işleminin tam olarak yapılmadığı durumlarda, ortaya çıkan çevre kirliliğine ek olarak santralin düşük yükte çalışması ve hatta tamamen durması söz konusu olmaktadır. Sonuçta, elde edilen enerji miktarı da düşmektedir [1].

2.3.2. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Uçucu küllerin kullanıldıkları alanlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir;

a) Tuğla üretiminde kullanımı

Uçucu küller çok ince taneli olmaları sertleştikleri zaman yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle tuğla üretiminde kullanılabilir. Aynı zamanda uçucu küllerin bünyesindeki karbon, tuğlaların pişirilmesi sırasında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Uçucu küllü tuğla üretiminde, küllün miktarına göre iki durum ortaya çıkmaktadır. Birinci durumda, kil esas malzemedir, uçucu kül, kilin özelliklerini geliştirmek ve bünyesindeki karbonun yanma değerinden faydalanmak için kullanılır. İkinci durumda ise uçucu kül esas malzemedir ve kil bağlayıcı olarak kullanılır [5]. Tuğla üretiminde kullanılan uçucu küllerin tane boyutu, tuğlaların özelliklerini etkilemektedir. Tane boyutu küçük küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu büyük olanlara nazaran daha yoğun ve daha mukavemetlidir. Ayrıca, daha düşük pişme küçülmesi oranına ve su emme özelliğine sahiptir [14].

b) Çimento ve beton üretiminde kullanımı

Çimento yapımında kullanılan hammaddeler CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 olmak üzere başlıca dört bileşiği içerirler. Uçucu küllerde de değişik oranlarda aynı bileşikler bulunduğundan çimento üretiminde kullanılmaktadırlar [5]. Puzolanik özellik gösteren uçucu küller, çimento ile birlikte kullanıldıklarında, çimentonun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanırlar [8]. Uçucu küller, beton yapımında kullanıldıkları zaman, betonun yüzey temizliği ve işlenebilme özelliği iyileşmektedir. Aynı zamanda betonun su geçirgenliği ve büzülme kanaması azalırken dayanımı artmaktadır [5].

c) Seramik ve cam üretiminde kullanımı

Uçucu küller, kil ve feldispat ilavesi yapılarak, geleneksel (tabak, fincan vs.) ve sanatsal (vazo, küllük, süs eşyaları) seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Uçucu küller seramik sanayiinde kullanıldığında bir takım avantajları beraberinde getirmektedir. Bunlar; tane boyutunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin çok düşük olması ve içerdiği karbonun pişirme işlemleri sırasında sağladığı enerji şeklinde sıralanabilir [15]. Uçucu küller ayrıca, son zamanlarda üzerinde çok çalışılan ve geniş kullanım alanı bulan cam seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadır [16,17].

d) Hafif agrega üretiminde kullanımı

Hafif agregalar, hem doğal olarak hem de bazı malzemelere uygulanan çeşitli prosesler sonucunda elde edilebilirler [4]. Uçucu küller 1100-1200 °C 'de bir miktar ergime göstererek ve uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak yuvarlak veya silindirik taneli agregalar oluşturmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların kullanılması ile hafif beton elde edilmektedir. Bu şekilde yapılan betonlar, normal ağırlıklı betonlar kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, ısı ve ses iletkenliği düşük malzeme elde edilebilmekte ve hafifliği nedeniyle işçilik kolaylaşmaktadır [18].

e) Yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanımı

Uçucu kül, yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda genellikle iki şekilde kullanılmaktadır; dolgu malzemesi olarak ve toprak stabilizasyonu sağlamak amacıyla temel malzemesi olarak. Uçucu küller sıkıştırıldıkları zaman diğer dolgu malzemelerine nazaran daha düşük bir yoğunluğa sahip olurlar. Bu durum, özellikle sıkıştırılabilme özelliği yüksek uçucu küllerin yüksek zeminler üzerinde daha uygun bir dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini gösterir. Böylece, yerleşme nedeniyle oluşan deformasyonlar daha küçük olacak, özellikle yerleşme hareketinin büyük sorunlar yarattığı köprü ayaklarında kullanılması çeşitli yararlar sağlayacaktır [18]. Son zamanlarda uçucu külün çevre geoteknolojisi uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmaktadır. Örneğin, zararlı atık veya çöp depolanan sahalarda sızdırmazlık sağlamak amacıyla, sıkıştırılmış kil yerine, sıkıştırılmış uçucu kül veya uçucu kül+kum karışımının kullanılması düşünülmektedir [19].

f) Diğer kullanım alanları

Yukarıda belirtilenlerin dışında uçucu küllerin diğer kullanım alanları aşağıda verilmiştir [2,8].

- Gaz beton üretiminde
- Harç yapımında
- Taşkın önlenmesinde
- Döküm kumu olarak
- Maden ocaklarında filtre olarak
- Yalıtım malzemesi olarak
- Metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde
- Petrol kuyusu sondajlarında



BÖLÜM III

3. BENTONİTLER

3.1. Bentonitlerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Bentonit, çok kuvvetli kolloidal özellikler gösteren ve su ile karıştırıldığında hacminin birkaç misli büyüyerek şişen, ağartma ve bağlayıcı özelliği olan bir malzeme olup, esas itibarıyla %85-95 montmorillonit minerallerini içeren iyon değiştirme özelliğine sahip, çok ince taneli bir kildir [20,21].

Bentonit, yerin 1-2 m altında bir tortu tabakası halinde bulunur ve açık işletme yöntemiyle çıkarılmaktadır. Çıkarılan bentonit, döner fırınlarda kurutularak öğütülmektedir. Bentonitin rengi, kuru halde beyaz yada krem, nemli olduğunda ise zeytin yeşilidir. Bentonitin ergime sıcaklığı, 1330-1430 °C arasındadır. Bentonitin şişen ve şişmeyen tipleri farklı kimyasal bileşimler içerirler. İçerdikleri değişebilen iyonlara göre, iki gruba ayrılmaktadır; Na bentoniti ve Ca bentoniti.

a) Sodyum bentoniti : Yeryüzünde az bulunan, su ilavesiyle kuru hacminin 5-6 katına şişebilen ve kalıp kumu özelliklerine katkılan açısından daha çok tercih edilen bir bentonit türüdür [21].

b) Kalsiyum bentoniti : Ca bentoniti, su ile temas ettiğinde çok az miktarda şişen bir bentonit olup, diğer bentonitlere nazaran daha yüksek yaş mukavemet sağlamaktadır. Bunun sebebi, su içerisinde fazla şişmemesi ve diğer bentonitlerden daha çabuk karışmasıdır. Ca bentoniti, diğer bentonitlerden daha fazla akışkan kum ihtiva eder fakat Na bentonitinden daha az dayanıklılığı vardır. Bu gruptaki bentonitler, yüksek miktarda Ca ve Mg içerirler [22].

3.2. Bentonitlerin Özellikleri

Bentonit, bünyesinde tuttuğu fiziksel suyu 100-150 °C 'de kaybeder. Kristal suyunu (OH) ise 300 °C 'nin üzerinde kaybetmeye başlar. Bentonitin düşük sıcaklıkta tuttuğu fiziksel su, kilin fiziksel ve kimyasal karakteristiğini kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. Killerde aranan plastisite, kolloidal ve bağlama gibi

özellikleri etkileyen düşük sıcaklıklardaki bu fiziksel sudur. Kilin yüzeyinde adsorbe edilen su, su molekülünün dipol özelliğinden gelir. Kilin yüzeyi negatif olarak yüklü olup suyun pozitif ucu kile doğru gelir ve negatif taraf dışarıya doğrudur. Böylece diğer su molekülleri de birbirlerinin üzerinde yer alırlar. Kilin yüzeyindeki suyu tutan ikinci mekanizma, değişebilen katyonların hidrasyonudur. Katyonlar, negatif yüklü kil yüzeyinden uzaklaşamayacakları için, suyu absorbe ederler [20].

Bentonitler kendi ağırlıklarının yaklaşık beş katı kadar su absorbe edebilir. Kurutuldukları zaman eski hacimlerine dönerler ve yine ıslatıldıklarında şişme gösterirler. Şişme olayı, sıcak su ile daha hızlı olmaktadır. Bentonitin şişme kapasitesi kilin tane iriliğine ve suya ilave ediliş şekline bağlıdır. Suyun bentonitin üzerine ilave edilmesi durumunda, bentonit üzerinde bir jel tabakası oluştuğundan ve tam bir şişme olayı gerçekleşemediğinden suya yavaş yavaş ilave edilmesi gerekmektedir [20].

Bentonitler, büyük miktarlarda K, Na, Ca ve Mg, bunun yanında, küçük parçalar halinde kuvars, feldispat, biotit ve gipsit ihtiva etmektedir. Bentonit tanelerinin elektrik potansiyeli, absorbe edilen katyon sayısına ve bu katyonların hidrasyon özelliklerine bağlıdır [23].

3.3. Bentonitlerin Kullanım Alanları

Bentonitler, su ile karıştırıldığında koloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi ve yüksek plastisiteye sahip olması gibi çeşitli özellikleri nedeniyle çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bentonitlerin kullandıkları endüstriyel alanlar ve aranan özellikler aşağıda verilmiştir.

a) Döküm kumu ve peletlemede kullanımı

Bentonitlerin en çok kullanıldığı endüstri dalı döküm sanayiidir. Yüksek plastisite özelliği nedeniyle dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcı özellik kazandırır. Bentonitler, kalıp kumlarına %2-50 arasında değişen oranlarda katılır. Bu alanda bentonitte aranan en önemli özellik, minimum miktarda kille, yüksek bağlama mukavemetinin ve kum kalıplarında yüksek gaz geçirgenliğidir. Toz demir cevheri peletlemesi sırasında, bentonitin bağlayıcılık özelliğinden yararlanmak amacıyla %0.5'e varan oranlarda katılır [20].

b) Gıda sanayinde kullanımı

Bentonit, gıda sanayinde sıvı ortamlarda berraklaştırma işlemlerinde kullanılır. Şarap, bira ve meyve suyunun yapımı sırasında yabancı maddelerin sebep olduğu bulanıklığı giderirler. Bentonitler, su veya benzer ortamlarda hidrate olur ve (-) yüklü kil taneleri bulanıklığa neden olan maddelerle birlikte floküle olarak, ortamın berraklaşmasını sağlar. Bu alanda yüksek şişme özelliği gösteren Na bentonitlerinin kullanılması uygun değildir. Türkiye 'de yalnızca şarap endüstrisinde bazı işletmelerde bentonit kullanılmaktadır. Bentonitlerin şarap endüstrisinde kullanılması sırasında aranan en önemli özellik, değişebilen katyon olarak sodyumun ve kil bünyesinde yer alabilen Fe miktarının çok az olmasıdır [20].

c) Sondaj alanında kullanımı

Bentonit, Türkiye 'de ve dünyada en çok sondaj alanında kullanılır. Belirli bir viskozite elde edilinceye kadar su ile karıştırılan bentonit, sondaj sırasında matkap uçlarını ve borularını soğutma ve yağlama görevini yapmasına ilave olarak, sondajdan çıkan parçalanmış haldeki ince artık maddelerin yeryüzüne çıkmasını sağlar [20].

d) İlaç sanayinde kullanımı

Alkali bentonitler, merhemlerde dolgu malzemesi olarak ve çok kuvvetli ilaçların seyreltilmesinde kullanılır [23]. İç organların röntgenlerinin çekilmesinde kullanılan baryum sülfatı süspansiyon şeklinde tutan en önemli maddelerden biri yine bentonittir. Bentonit aynı zamanda yapışkan özelliği olan maddelere toz halinde katılarak öğütülmesinde yardımcı olur. Bentonitle yapılan birçok diş macunu patentli vardır. Alkali bentonitler çeşitli sıvılarla karıştırıldığında plastik ve homojen, temizleyici ve iyileştirici özelliği olan süspansiyonlar oluşturur. Kolloidal özellikleri nedeniyle deterjanlar gibi rutubeti, tuzları ve zehirli maddeleri vücut yüzeyinden uzaklaştırırlar ve derideki gözenekleri açarak daha kolay temizlenmesini sağlarlar. Bu nedenle bentonitin kozmetik sanayiinde de önemli bir yeri vardır. Bentonit, ilaçlarda dolgu malzemesi olarak kullanıldığı gibi, aktif maddelerin sürekli süspansiyon şeklinde kalmasını sağladığından ve aktif maddelerle reaksiyona girmediğinden dolayı ilaçlı hayvan banyolarında da kullanılır. [20].

e) Yağ endüstrisinde kullanımı

Yağların rengini gidermekte kullanılan, ağartma toprağı olarak bilinen killer, bentonitin kimyasal işlemler sonucu bazı özelliklerinin geliştirilmiş şeklidir. Bentonitler, renk verici maddeleri absorbe etme özelliğinden dolayı, yağların ağartma işlemlerinde kullanılır. Bentonitin şişme özelliğı, bu alanda istenmeyen bir özelliktir. Türkiye 'de yağ endüstrisinin aradığı özelliklere sahip tabii bentonitler olmadığından ve aktifleştirme (değişebilen katyonları hidrojenleştirme) işlemleri yeterli sonuçlar vermediğinden, bu alanda kullanılan bentonitler ithal edilmek zorundadır [20].

f) Seramik sanayinde kullanımı

Bentonit, seramik çamurunun plastisitesini geliştirip çalışılmasını kolaylaştırdığından seramik sanayinde çok önemli bir yer tutar. Ayrıca bentonit, seramik çamuruna çeşitli özellikler kazandırır. Bunlar, maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Çamurun homojen karışmasını sağlar
- Kuruma çatlamlarını azaltır
- Kuru mukavemeti artırır
- Piştikten sonra ortaya çıkan kırılganlığı azaltır

Seramik sanayinde kullanılan bentonitlerin, yüksek bağlayıcılık, piştikten sonra beyaz renkli olma ve su ile karıştırıldığında yapışkan bir jel oluşturma gibi özelliklere sahip olması istenir [24]. Ayrıca bentonitler, sırlara öğütme sırasında ilave edilerek, sırn dibe çokmeden süspansiyon halinde kalmasını sağlar. Aynı şekilde emaye sanayinde, astar tabakası yapımında kullanılan frite %1 oranında katılan alkali bentonit, %25 oranında katılan kilden çok daha iyi bir emaye süspansiyonu verir [20].

g) Kağıt endüstrisinde kullanımı

Kağıt hamuruna az miktarda ilave edilen bentonit, katranın, rezinin, ve bal mumunun bir yerde toplanmasını önler, pigmentlerin homojen dağılmasını sağlar, hamurun kumaşa, tellere ve silindirlere yapışmasını önler. Ayrıca boya maddelerini adsorbe ederek üstün bir lak meydana getirir [25].

h) İnşaat sektöründe kullanımı

Bentonitin inşaat sektöründe kullanılmasının sebebi, fazla miktarda su absorblayabilmesi ve jel meydana getirerek suyu geçirmemesidir. Kum, kil ve buna benzer malzemelerle karşılaştırıldığında bağlama özelliğinin yüksek olması, su kaçağlarının önlenmesi nedeniyle baraj ve kontrol inşaatlarında kullanılır. Yine bentonit, ticari alçılardaki organik maddeleri absorbe ederek alçının donma hızını artırır. Ayrıca, sıva tabakasının çekilmesini ve çatlamasını önlemesi ve su geçirmemesi gibi özelliklerinden dolayı, duvar sıvalarının astar tabakasında kullanılır [20].

ı) Diğer kullanım alanları

Bentonitlerin diğer kullanım alanları, maddeler halinde aşağıda verilmiştir [20];

- Lastik sanayinde
- Portland çimentosunda
- Gübre yapımında
- Sabun ve temizleyici maddelerin yapımında
- Yangın söndürücülerde
- Boya endüstrisinde
- Kataliz olarak kullanımı

BÖLÜM IV

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney programı

Bu çalışmanın amacı, Seyitömer Termik Santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakterizasyonlarının yapılması ve yapı malzemesi olarak değerlendirilme imkanlarının araştırılmasıdır. Yapılan çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, uçucu küllerin ve bağlayıcı malzemelerin karakterizasyonları yapılmıştır. Bu karakterizasyonlar, uçucu kül ve bağlayıcı malzemelerin, diferansiyel termik ve termogravimetri, x-ışınları difraksiyonu ile mineralojik analizini, özgül ağırlıkların saptanmasını, taramalı elektron mikroskopunda tane morfolojisi ve faz tanımlamalarının yapılmasını kapsamaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, karakterizasyonları yapılan uçucu kül, Kütahya bentoniti, Ünye bentoniti ve kolemanit atığı kullanılarak değişik oranlarda karışımlar hazırlanıp, yarı-kuru presleme yöntemi ile silindirik ve çubuk numuneler üretilmiştir. Daha sonra bu numunelere çeşitli testler uygulanarak özellikleri belirlenmiştir.

4.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

4.2.1.Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül, Kütahya'nın 30 km kuzeybatısında bulunan Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Bu küller tane boyutlarına göre santral tarafından ince ve kalın uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Santral bu silo çıkışlarını birleştirerek uçucu külleri karışım halinde atmaktadır. Araştırmada bu karışım kullanılmıştır. Ancak kimyasal analizler ince ve kalın olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Uçucu küllerin kimyasal analizleri Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Seyitömer Termik Santral atık uçucu küllerinin kimyasal analizi.

Kimyasal Bileşik	İNCE (%Ağırlıkça)	KALIN (%Ağırlıkça)
SiO ₂	53.97	57.37
Al ₂ O ₃	18.14	17.2
Fe ₂ O ₃	12.5	11.3
K ₂ O	1.92	1.5
ZnO	0.02	0.017
CaO	5.19	4.32
MgO	4.5	4.3
Na ₂ O	0.7	0.7
Kızdırma Kaybı	2.87	2.64

4.2.2. Bağlayıcı ve Katkı Malzemeler

Çalışmada bağlayıcı olarak iki farklı bentonit kullanılmıştır. Bunlar Kütahya bentoniti ve Ünye bentonitidir. Ayrıca, çalışmada katkı malzemesi olarak kolemanit atığının kullanılabilirliği de araştırılmıştır. Bentonitlerin ph analizleri sonucunda, Kütahya bentonitinin Ca, Ünye bentonitinin ise Na bentoniti olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca Kütahya bentonitinin DTA eğrisi incelendiğinde, 200-220 °C 'de belirgin bir omuzun görülmesi Ca bentoniti olduğunu desteklemiştir. Kütahya bentonitinin ve Ünye bentonitinin mineralojik analizleri Bölüm 5 'de verilmiştir. Bu bentonitlerin kimyasal analizleri ise, Tablo 4.2 ve 4.3. 'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kütahya bentonitinin kimyasal analizi.

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
SiO ₂	70.86
Al ₂ O ₃	17.94
TiO ₂	0.03
Fe ₂ O ₃	0.76
MgO	1.30
CaO	2.67
Na ₂ O	0.51
Kızdırma Kaybı	5.93

Tablo 4.3. Ünye bentonitinin kimyasal analizi [6].

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
SiO ₂	76.46
Al ₂ O ₃	12.19
Fe ₂ O ₃	1.31
MgO	2.39
CaO	0.50
Na ₂ O	1.93
K ₂ O	0.55
Kızdırma Kaybı	4.56

Kolemanit atığı, Kütahya / Emet Etibank İşletmeleri 'nden temin edilmiştir. Ağırlıkça B₂O₃, SiO₂ ve CaO miktarı yüksek olan kolemanit atığının kimyasal analizi Tablo 4.4. 'de verilmiştir. Kolemanit atığında bulunan mineral ve bileşikler aşağıda görülmektedir [26].

Kolemanit : 2CaO.3B₂O₃.5H₂O

Olivin : MgO.FeO.SiO₂

Muskovit : K₂O.Al₂O₃.6SiO₂.2H₂O

Gipsit : CaSO₄.2H₂O

Tablo 4.4. Kolemanit atığının kimyasal analizi.

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
SiO ₂	20.66
Al ₂ O ₃	2.83
B ₂ O ₃	26.27
Fe ₂ O ₃	6.96
CaO	16.42
MgO	6.72
K ₂ O	0.87
CO ₂	4.19
SO ₃	2.20
H ₂ O	12.88

4.3. Hammadde Karakterizasyonu

4.3.1. Mineralojik Analiz

Uçucu kül ve bentonit örneklerinin mineralojik analizlerinde iki yöntem kullanılmıştır; diferansiyel termal analiz (DTA), termogravimetri (TG) ve x-ışınları difraksiyon analizi.

a) Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetri (TG)

Diferansiyel termal analiz, yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan numunelerde meydana gelen endotermik ve egzotermik reaksiyonları inceleyen bir analiz metodudur. DTA, kil minerallerinde dehidrasyon, kristal yapıdaki su kayıplarının ve yüksek sıcaklıktaki yeni faz oluşumlarının karakteristik termik reaksiyonlarını gösterir[23].

Düşük sıcaklıklardaki endotermik reaksiyonlar, silikat tabakaları arasındaki fiziksel su kaybını gösterir. Tabakalar arasındaki su miktarı, adsorbe edilen iyonları ve onların hidrasyon enerjilerine ve numunenin hazırlanışına bağlıdır [20]. Ayrıca endotermik reaksiyonlar kristal yapının bozulması ve karbondioksit veya sülfür trioksit kayıpları sonucu oluşur. Egzotermik reaksiyonlar, organik maddelerin yanması, yüksek sıcaklıklarda yeni fazların oluşumunu ve amorf maddelerin kristalleşmesini gösterir [27].

DTA, test edilecek madde ile standart inert bir maddenin (kalsine alüminyum oksit ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) veya kalsine kaolin) kapalı bir yerde ısıtılmaları sırasında, aralarındaki ısı farkının ileride veya geride olması sonucunda, test maddesi içerisinde oluşan ısıl reaksiyonun egzotermik olduğunu gösterir. Bu reaksiyonlar, DTA cihazında pikler şeklinde kayıt edilir. Pik sıcaklıkları, alanları ve şekilleri tanımlanarak, test maddesinde bulunan minerallerin kimyasal bileşimi, kristal yapısı ve reaksiyon enerjileri tesbit edilebilir [5].

Termogravimetri (TG), test maddesinin belirli bir ısı artışıyla ısıtıldığında bünyesinde oluşan reaksiyon sonucu kayıp olacak fiziksel ve kimyasal su miktarlarının veya gaz çıkışı sebebiyle oluşacak kayıpların gravimetrik olarak saptanması için kullanılır. Bu tür ağırlık kayıpları, entalpi değişimini de içerdiğinden; termogravimetri DTA yöntemi ile birleştirilerek, minerallerin tanımlanmasında güçlü bir analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ancak test maddesi birkaç mineralden oluşmuş

ve karakteristik pikler birbirleri ile çakışmış ise bu yöntem sınırlı kalabilir. Bu durumda x-ışınları difraksiyon analizi uygulanmalıdır [28].

b) X-ışınları Difraksiyon Analizi

Uçucu kül örneklerinde bulunan kimyasal bileşiklerin tanınmasında ve özelliklerinin saptanmasında kullanılan yöntemlerden biri de x-ışınları difraksiyon analizidir. X-ışınları difraksiyon analiz yönteminde, genellikle Cu veya Co gibi hedef bir elementten elde edilen K_{α} karakteristik x-ışını demeti analiz edilecek madde üzerine gönderilir. Işın demeti maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar ve maddeye has difraksiyon paterni elde edilir. Bu paternlerin incelenmesi, bileşimi belirli standart minerallerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak yapılır. Karşılaştırma sırasında standart ASTM kartları kullanılır [5].

Numunelerin x-ışınları difraksiyon analizi yönteminde Philips. PW 1050/25 X-ışınları Difraktometresi kullanılmıştır. Analiz sırasında Cu K_{α} ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) ışın demeti kullanılmış ve meydana gelen fazların saptanmasında Hanawalt el kitaplarından ve ASTM kartlarından yararlanılmıştır.

4.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi ve Elektron Mikroprob Analizi

Bu analiz yöntemleri, uçucu küllerin farklı büyütme ölçeklerinde mikroyapı incelemelerinin (Joel-840A) ve elementel analizlerinin yapılmasını (TRACOR TN2000 x-ışınları Enerji Dağılım Analizörü) kapsamaktadır. Analiz öncesinde numuneler toz veya parçalar halinde bakalıte alınarak yüzeyi karbon ya da altın ile kaplanmaktadır.

4.3.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi

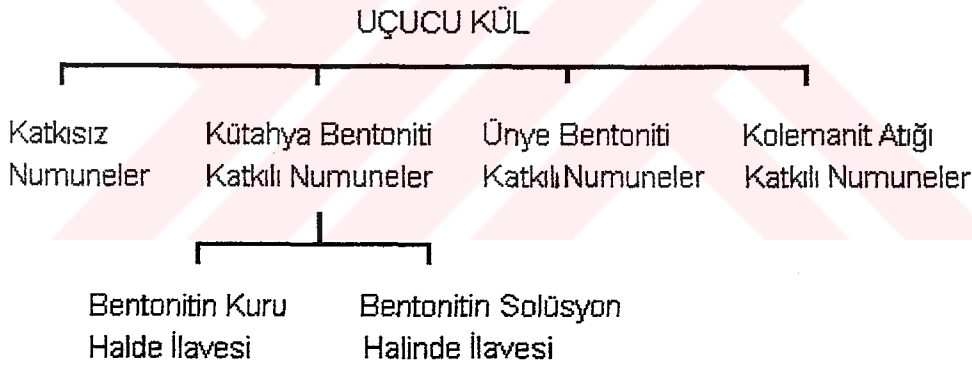
Uçucu kül ve bentonit örneklerinin özgül ağırlıkları, malzemelerin piknometre cihazında tesbit edilmiştir. Toz halindeki malzemeler 16 saat etüvde kurutulduktan sonra tartılarak kroze içerisinde cihaza yerleştirilmiştir. Kalibrasyonları ayarlanarak özgül ağırlık değerleri okunmuştur. Tane boyutu küçük malzemelerin tane boyut dağılımları genellikle Micromeritics cihazı ile belirlenir. Bir hücre içerisinde suda (ağırlıkça %0.05 kalgon çözeltisi) dağıtılan analiz numunelerinin tane boyutları yer çekimi prensibine göre, x-ışınlarının şiddet değişimi ile belirlenmektedir [5].

4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

4.4.1. Harmanlama ve Kalıplama

Karakterizasyonları yapılan uçucu kül, Kütahya bentoniti, Ünye bentoniti ve Kolemanit atığı kullanılarak değişik oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanması sırasında dört farklı çalışma grubu göz önünde tutulmuştur ve bu grupların şematik olarak gösterilişi Şekil 4.1 'de verilmiştir.

- Doğrudan sinterleme işlemleri için katkısız uçucu kül numunelerinin hazırlanması;
- Kütahya bentoniti katkılı numunelerin hazırlanması ;
- Ünye bentoniti katkılı numunelerin hazırlanması (bu katkı malzemesinin kullanılmasına deneyler sırasında karar verilmiştir);
- Kolemanit atığı katkılı numunelerin hazırlanması;



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan karışımların şematik olarak gösterilişi

Yukarıda sözü edilen gruplar içerdikleri malzemelerin karışım oranlarına göre kendi aralarında da 5 farklı gruba ayrılmış ve malzemelerin karışım oranları Tablo 4.5. ve 4.6. 'da verilmiştir.

Tablo 4.5. Çalışmada kullanılan uçucu kül ve Kütahya bentonitinin karışım oranları.

Numune Kodu	Uçucu Kül(%)	Kütahya Bentoniti (%)
1	100	-
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

Tablo 4.6. Çalışmada kullanılan uçucu kül ve Ünye bentonitinin karışım oranları.

Numune Kodu	Uçucu Kül(%)	Ünye Bentoniti(%)
1	99	1
2	98	2
3	97	3
4	96	4
5	95	5

Tablo 4.5. 'de Kütahya bentoniti için verilen karışım oranları Kolemanit atığı için de geçerlidir. Kütahya bentonitinin su ile süspansiyon haline getirilmesi mümkün olmadığından uçucu küle kuru halde ilave edilmiştir. Ayrıca Ünye bentoniti, su ile temas ettiğinde topaklaşma gösterdiğinden, homojen karışım sağlamak amacıyla, uçucu küle kuru halde karıştırılması yerine süspansiyon halinde hazırlanıp karıştırılması tercih edilmiştir. Ünye bentonitinin bağlayıcı özelliği iyi olduğundan Kütahya bentonitine nazaran, uçucu küle daha düşük oranlarda ilave edilmiştir.

Hazırlanan karışımlara, plastisiteyi sağlamak amacıyla % 15 oranında su ilave edilerek, presleme sırasında oluşacak laminasyonları önleyebilmek için granüle edilmiştir. Karışımlardan, yarı-kuru presleme yöntemi ile 36mm çap ve yüksekliğinde silindirik, 41x8x5 mm boyutlarında çubuk numuneler üretilmiştir. Presleme işlemlerinde sırasıyla 34.5 MPa (340 kg/cm²) ve 98.1 MPa (1000 kg/cm²) basınç uygulanmıştır.

4.4.2. Kurutma ve Sinterleme İşlemi

Üretilen deney numuneleri etüvde (FN 500 Nüve) 110 °C de bir saat bekletilmek suretiyle kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra numuneler 900, 1000, 1100 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda 180 °C/saat ısıtma hızı ile sinterlenmiş ve bu sıcaklıklarda bir saat bekletilerek fırında (yerli yapım kapalı muflı) soğutulmuştur. Sinterlenen numuneler üzerinde aşağıdaki testler yapılmıştır.

- Kuruma, pişme, toplu küçülme ve kızdırma kaybı testi
- Gözenek miktarı ve bulk yoğunluk testi
- Su emme testi
- Basma mukavemeti testi
- Üç nokta eğme mukavemeti testi
- Donma testi
- Pamuklaşma testi

4.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri

4.5.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme ve Kızdırma Kaybı

Deney numunelerinde meydana gelen kuruma (K.K.), pişme (P.K.), ve toplu küçülmeler (T.K.) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır [24].

$$\% \text{ Kuruma Küçülmesi (K.K.)} = \frac{h_0 - h_k}{h_0}$$

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi (P.K.)} = \frac{h_k - h_p}{h_k} \times 100$$

$$\% \text{ Toplu Küçülme (T.K.)} = \frac{h_0 - h_p}{h_0} \times 100$$

h_0 = Presleme sonrası yükseklik (mm)

h_k = Kurutma sonrası yükseklik (mm)

h_p = Sinterleme sonrası yükseklik (mm)

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı (K.Ka.)} = \frac{w_k - w_p}{w_k}$$

w_k = Kurutma sonrası ağırlık (kg)

w_p = Sinterleme sonrası ağırlık (kg)

4.5.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluk

Etüvde 110 °C kurutulan numuneler tartılıp (w_a) uygun bir kaba konulduktan sonra, numunelerin yarısına kadar su ile doldurulmuş ve 5 dakika beklenmiştir. Kap bir ocak üzerine konarak ısıtılmış ve su kaynama noktasına yaklaşıncaya, numunelerin tümü su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. 5 dakika kaynadıktan sonra oda sıcaklığında soğutulup, su içerisinde tartılmıştır (w_b). Numuneler sudan çıkarılarak yüzeydeki ıslaklık kaba bir kağıt ile alınmış ve havada yeniden tartılmıştır (w_c). Bu tartımlardan aşağıdaki formüllere göre, gözenek yüzdesi (G) ve bulk yoğunluk (d_b) değerleri bulunmuştur [14].

$$\% \text{ Gözenek (G)} = \frac{w_c - w_a}{w_c - w_b} \times 100$$

$$\text{Bulk Yoğunluk (} d_b \text{)} = \frac{w_a}{w_c - w_b} \times d_s \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

d_s = Kullanılan sıvının yoğunluğu (deneyde su için 1000 kg/m³ alınmıştır).

Gözenek miktarı, malzemenin içerdiği açık ve kapalı gözeneklerin toplamıdır. Bulk yoğunluk ise, numune ağırlığının tüm malzemenin hacmine bölünmesi ile elde edilir [14].

4.5.3. Su Emme

24 saat suda bekletme ve 5 saat suda kaynatma testleri uygulanarak deney numunelerinin su emme miktarları bulunmuştur.

a) 24 saat Suda Bekletme Testi

110 °C 'de kurutulan numuneler oda sıcaklığına soğutularak tartılmıştır. Daha sonra numuneler uygun bir kaba konulup, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra yüzeyleri kabaca kurulan numuneler bekletilmeden tartılarak doymuş ağırlıkları ölçülmüştür. Bu tartımlardan elde edilen değerler yardımıyla, su emme miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [5].

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{w_d - w_k}{w_k} \times 100$$

w_d = 24 saat suda bekletme sonrası ağırlık (kg)

w_k = 110 °C 'de kurutma sonrası ağırlık (kg)

b) 5 saat Suda Kaynatma Testi

Yukarıdaki testte olduğu gibi 110 °C 'de kurutulan numuneler oda sıcaklığına soğutulup tartılmıştır. Her taraflarından suyun hareketine imkan verecek şekilde ince iki cam çubuk mesnet üzerine oturtulan numunelere, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. Kaynama bir saat içerisinde gerçekleştirilmiş ve 5 saat kaynatma sonucunda numuneler oda sıcaklığına soğutulup, tartılarak doymuş ağırlıkları tesbit edilmiştir. Kuru ve doymuş ağırlıklar yardımıyla, aşağıdaki formüle göre su emme miktarı bulunmuştur [5].

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{w_{dk} - w_k}{w_k} \times 100$$

w_{dk} = 5 saat suda kaynatma sonrası ağırlık (kg)

w_k = 110 °C 'de kurutma sonrası ağırlık (kg)

4.5.4. Basma Mukavemeti Testi

Deney numunelerinin basma mukavemetlerinin bulunmasında, çekme-basma (Instron-Model 1115) cihazından faydalanılmıştır. Kırılıncaya kadar sürekli artan bir yük uygulanan numunelerin basma mukavemetleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [29].

$$F_b = \frac{P_k}{A_0}$$

F_b = Basma mukavemeti (Pa)

P_k = Kırılma anındaki yük (N)

A_0 = Numunelerin basınç uygulanan yüzeyinin alanı (m²)

4.5.5. Üç Nokta Eğme Mukavemeti Testi

Deney numunelerinin üç nokta eğme mukavemetleri tesbit edilirken, basma mukavemeti testinde kullanılan çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Ancak test öncesinde çubuk boyutunun orta noktası bulunarak, en kısmından sağa ve sola doğru 12.5 mm işaretlenmiştir. Kırılıncaya kadar artan bir yük uygulanan numunelerin üç nokta eğme mukavemeti, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [29].

$$F_e = \frac{3.P.L}{2.b.h^2}$$

F_e = Üç nokta eğme mukavemeti (Pa)

P = Kırılma yükü (N)

L = Sabit değer (0.25 m)

b = Çubuk genişliği (m)

h = Çubuk yüksekliği (m)

4.5.6. Donma Testi

Numuneler uygun bir kap içerisine yerleştirildikten sonra, numune yüksekliğinin 1/4 'üne kadar su doldurulmuştur. Bir saat sonra numunelerin yarısı, ikinci saatin sonunda 3/4 'ü ve 24 saatin sonunda ise tamamı su içerisinde kalacak şekilde kaba su doldurulmuştur. Bu durumda numuneler 48 saat su içerisinde bırakıldıktan sonra, sudan çıkarılarak bekletilmeksizin soğuk hava deposuna

yerleştirilmiş ve sıcaklık 4 saatte -15°C 'ye düşecek şekilde ayarlanmıştır. Numuneler bu sıcaklıkta 2 saat bekletilip, soğuk hava deposundan çıkarılarak oda sıcaklığındaki su kabına tamamen su içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Don çözüldükten sonra numuneler dikkatle incelenip; çatlama, kopma, pullanma ve dağılma gibi hasarların meydana gelip gelmediği tesbit edilmiştir [5].

4.5.7. Pamuklaşma Testi

Pamuklaşma; seramik malzemelerde bulunan suda eriyebilen tuzların, kılcal gözeneklerden hareket ederek yüzeye çıkması ve burada suyun buharlaşması sonucu birikmesi olayıdır. Pamuklaşmaya sebep olan tuzların başlıcaları; sülfatlar, klorürler, nitratlar ve karbonatlardır [5].

Uçucu kül ve bentonit karışımlarından hazırlanan numunelerin içerdikleri çözülebilir tuzların miktarını belirlemek amacıyla, pamuklaşma testi yapılmıştır. Bir kap içerisine yerleştirilen numunelere yüksekliklerinin 1/3 'ü kadar saf su ilave edilmiştir. Numuneler tarafından emilen suyun tamamen buharlaşarak uzaklaşmasından sonra, aynı işlem tekrarlanmış ve aşağıda ifade edilen özelliklerin olup olmadığı kontrol edilmiştir.

- a) Zayıf pamuklaşma : Numunelerde, yüzeylerinin %10 'unu geçmeyecek oranda ince tuz tabakasının bulunması,
- b) Orta pamuklaşma : Numune yüzeylerinin tozlaşma ve pullanma olmaksızın %50 'ye varan oranlarda tuz tabakasının bulunması,
- c) Ciddi pamuklaşma : Yüzeylerde tozlanma ve pullanma ile birlikte, büyük miktarlarda tuz tabakasının bulunması.

BÖLÜM V

5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

5.1. Hammadde Karakterizasyonu

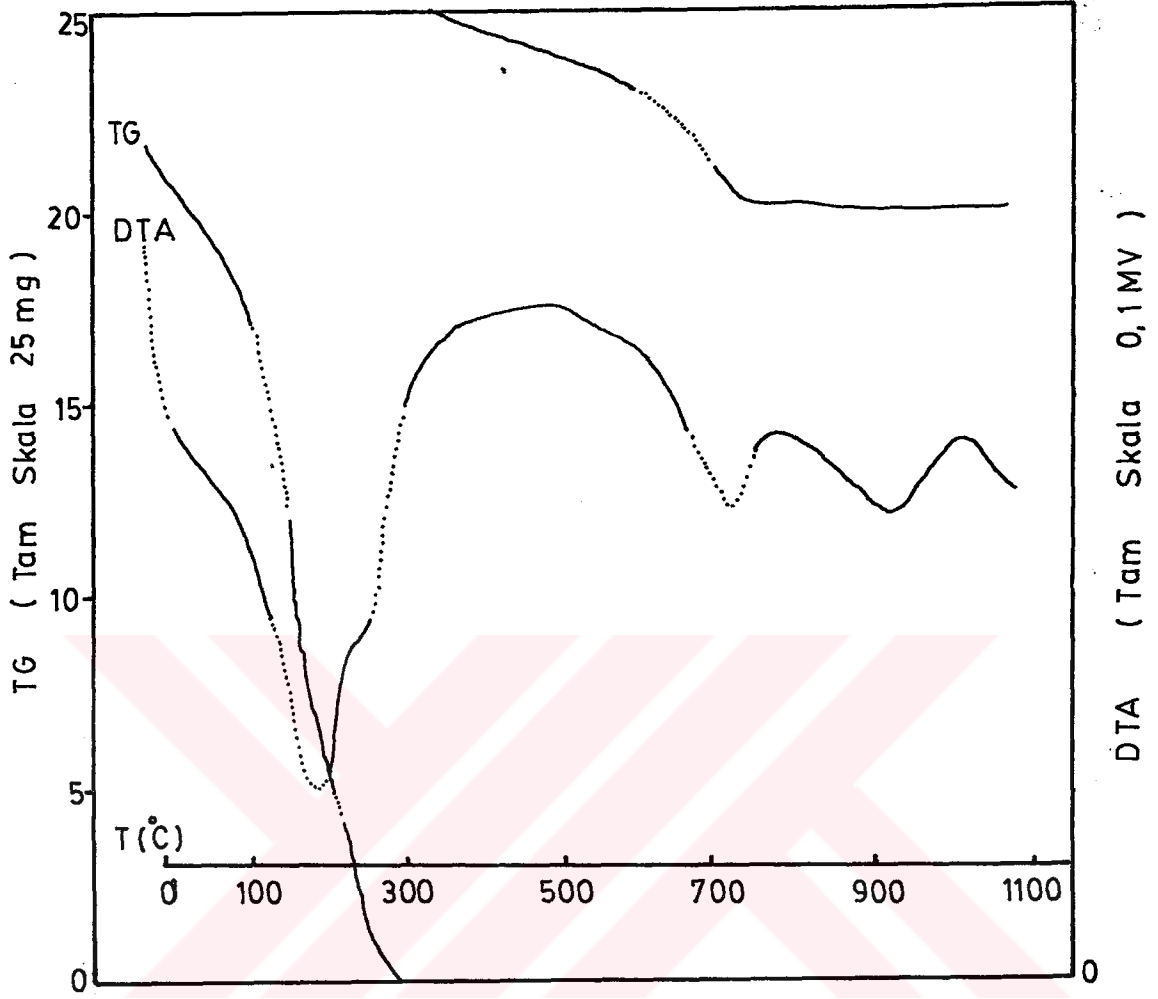
5.1.1. Mineralojik Analiz

Deneyisel çalışmalarda kullanılan katkı malzemelerinin diferansiyel termal analiz (DTA), termogravimetri (TG) ve uçucu küllerin X-ışınları difraksiyon analiz yöntemleri ile yapılan mineralojik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

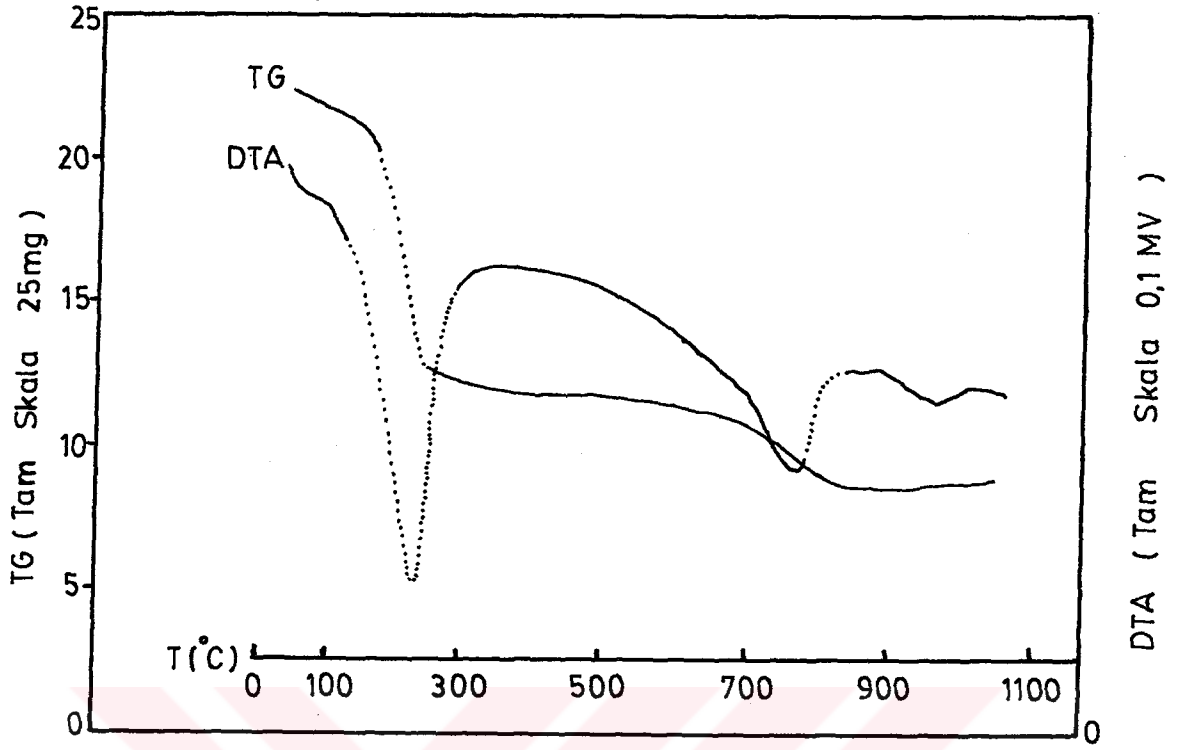
a) Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetri (TG):

Şekil 5.1.' de verilen Kütahya bentonitinin DTA eğrisinde, 160 °C 'de oluşan pik ile bentonitin fiziksel suyunu kaybettiği görülmüştür. Bu pik TG eğrisi ile desteklenmekte olup, 45-385 °C pik aralığına sahiptir. 160-220 °C 'de görülen boyunlaşma ile Kütahya bentonitinin Ca bentoniti olduğu ve iki kademede dehidrate olduğu görülmüştür. Bu da, değişebilen katyonları toprak alkali olan tipik bentonitlerde görülen bir özelliktir. Bu aralıkta numunede meydana gelen kızdırma kaybı 23.6 'dır (kızdırma kaybı değerleri % olarak hesaplanmıştır, Kütahya bentoniti için analiz öncesi ağırlık, 110 mg 'dır). Bentonitin kristal suyunu kaybettiği ve faz dönüşümlerinin meydana geldiği endotermik pikler 730 ve 970 °C 'de oluşmuştur. Pik aralıkları ise sırasıyla 620-790 °C ve 825-1050 °C 'dir. Bu sıcaklıklarda TG eğrisinde yok denecek kadar az bir düşüş görülmüştür. Eğrinin bu kısmı yaklaşık olarak düz bir çizgi şeklindedir.

Ünye bentonitinin DTA ve TG eğrileri Şekil 5.2. 'de verilmiştir. DTA eğrisinde iki tane endotermik reaksiyon meydana gelmiştir. Birinci reaksiyon 135 °C 'de oluşan bir pikle görülmekte olup, pik aralığı 25-240 °C olarak saptanmıştır. Bu aralıkta meydana gelen kızdırma kaybı 8.1 olarak hesaplanmıştır. İkinci reaksiyon 690 ve 880 °C 'de oluşan piklerle görülmüştür. Reaksiyonlara ait pik aralıkları sırası ile 620-745 °C ve 840-910 °C olup kızdırma kaybı 2.6 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 920 °C de görülen pik, ile egzotermik bir reaksiyon saptanmış ve 910-970 °C arasında devam etmiştir.

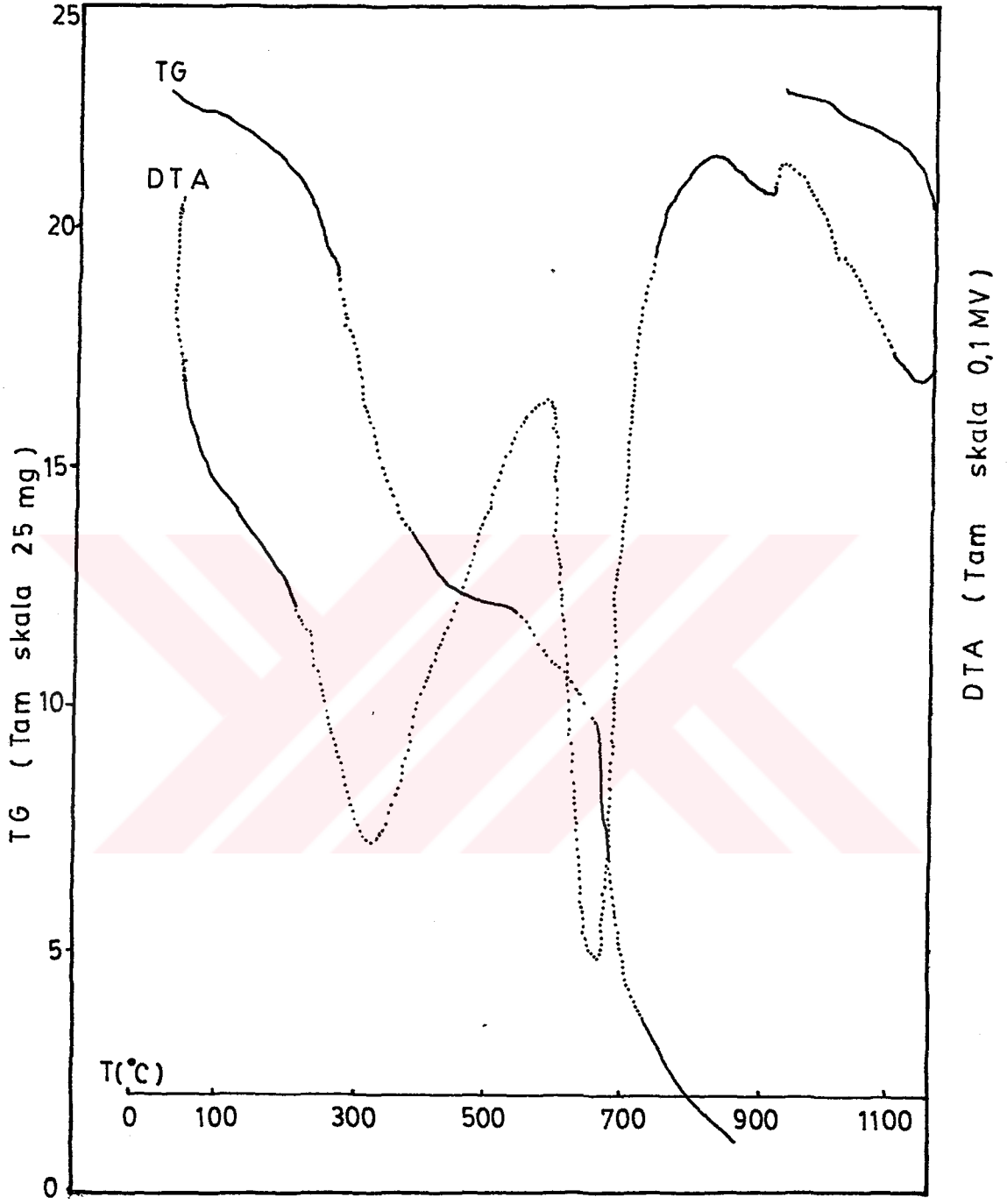


Şekil 5.1. Kütahya bentonitinin Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetri (TG) eğrileri



Şekil 5.2. Ünye bentonitinin Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetri (TG) eğrileri

Kolemanit atığının Şekil 5.3. 'de verilen DTA ve TG eğrilerinden fiziksel suyunu çok hızlı bir şekilde kaybettiği görülmüştür. Piklerin keskin ve birbirlerine yakın bir şekilde meydana gelmiş olması, reaksiyonların çok hızlı bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. İlk endotermik reaksiyon 145 °C 'de meydana gelmiş olup, pik aralığı 70-340 °C 'dir. Bu aralıkta kızdırma kaybı 5.5 'dir(başlangıçta 200 mg kolemanit atığı alınmıştır). Diğer endotermik reaksiyonlar, 410 ve 760 °C 'de oluşan piklerle görülmüştür. Pik aralıkları sırasıyla, 340-540 °C ve 630-825 °C olup, bu aralıkta numunede oldukça fazla ağırlık kaybı meydana gelmiştir. TG eğrisinde, kristal suyun uzaklaşması sonucu lineer bir azalma olduğu görülmüştür. Ağırlık kaybının fazla olduğu, analiz sonucunda numune krozesinin içinde çok az miktarda kolemanit atığı kalması ile kesinlik kazanmıştır.



Şekil 5.3. Kolemanit atığının Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetri (TG) eğrileri

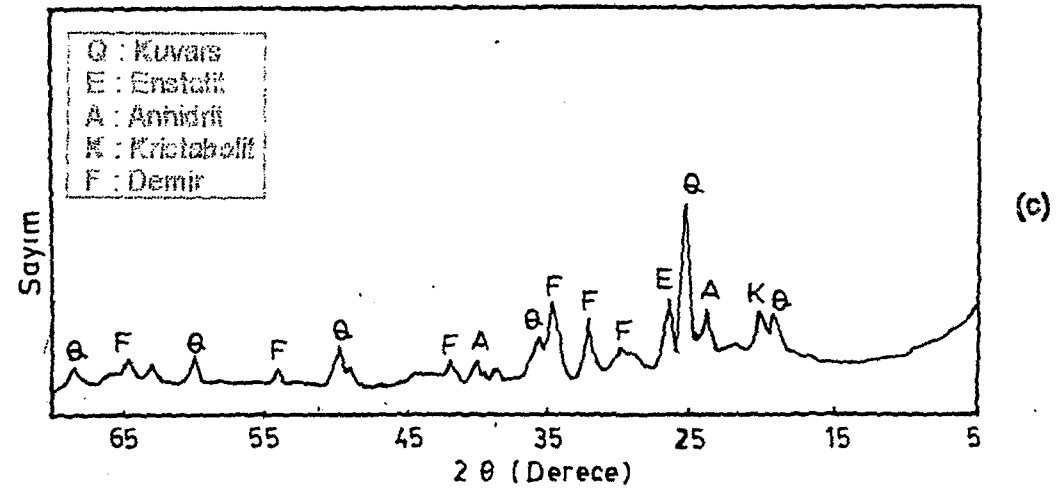
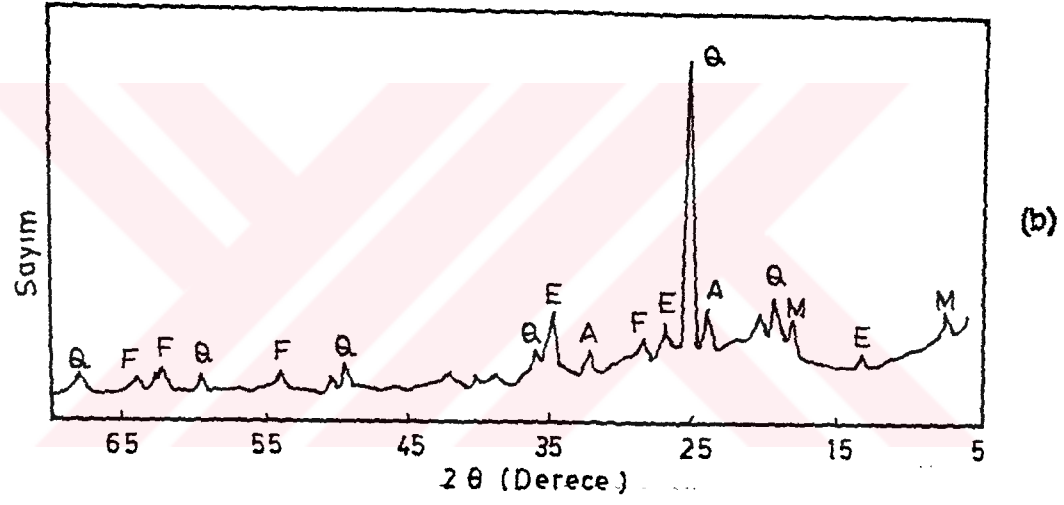
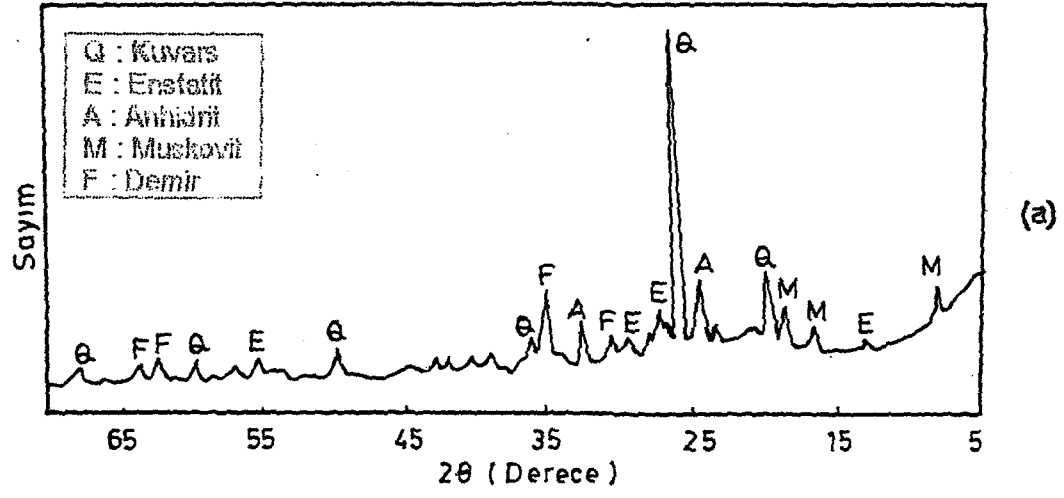
b) X-Işınları Difraksiyon Analizi

Uçucu küllerin ve farklı sıcaklıklarda sinterlenen bentonit katkılı numunelerin x-ışınları difraksiyon analizi sonucunda elde edilen difraksiyon paternleri, Şekil 5.4., 5.5., 5.6., 5.7. 'de verilmiştir. İnce ve kalın uçucu kül örneklerinin α -kuvars, enstatit, CaSO_4 anhidrit, muskovit ve demir bileşikleri görülmüştür (Şekil 5.4.). Fe bileşikleri ASTM kartlarında maghemit ve hematit şeklinde bulunmasına rağmen, elementel analizler sırasında serbest demire rastlanmamıştır. Bu yüzden x-ışınları difraksiyon analizinde demirin hangi şekilde olduğu tesbit edilememiştir.

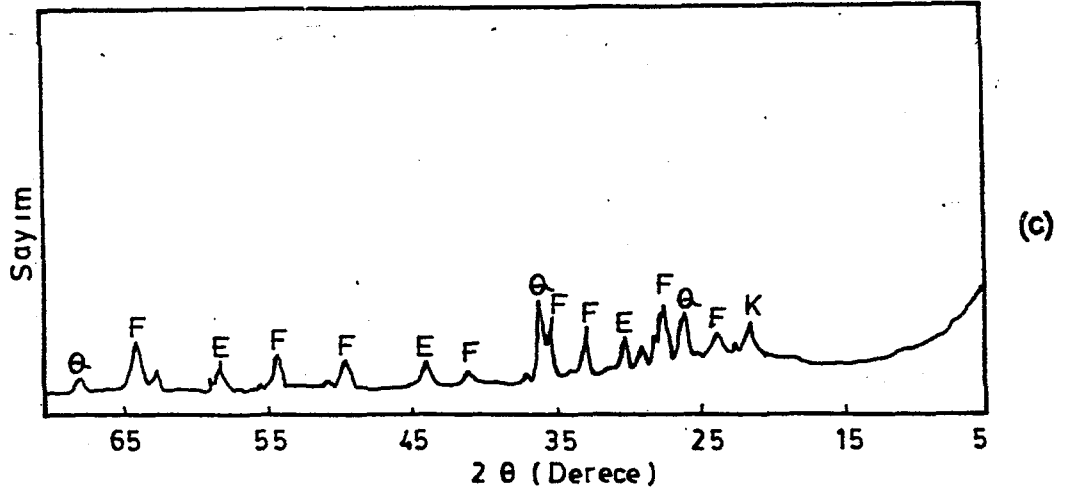
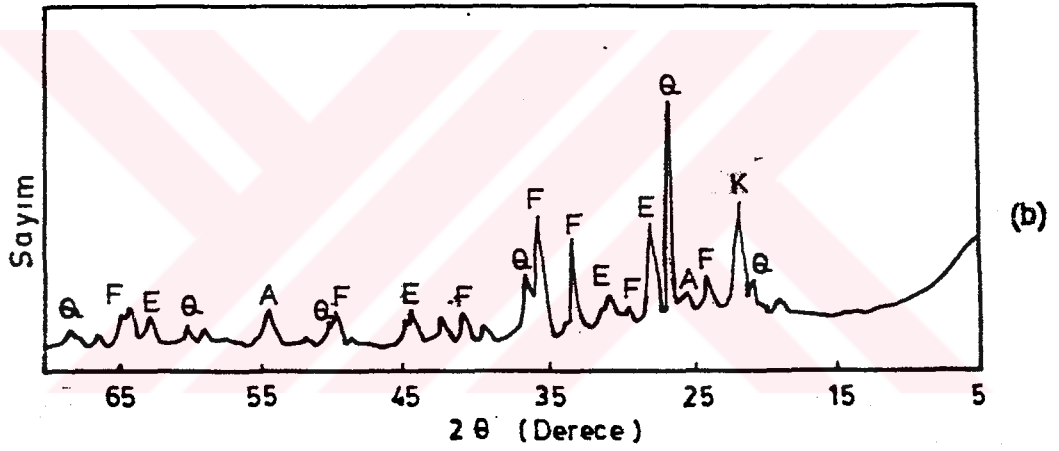
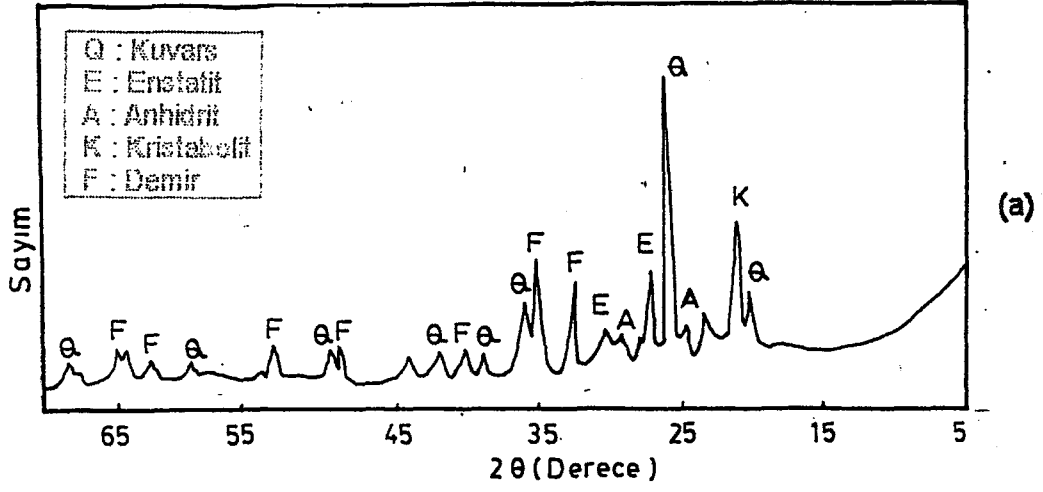
Uçucu kül numunelerinin 900, 1000, 1100 ve 1200 °C 'de sinterlendikten sonra x ışınları difraksiyon paternlerinde değişiklikler meydana gelmiştir. α -kuvar-sın bir kısmı kristabolite dönüşmüş bir kısmı ise aynı şekilde kalmıştır. Yüksek sıcaklıklarda camsı fazların oluşması ve kristal tanelerin amorf hale dönüşmesi sonucunda pik boylarında küçülmeler olduğu saptanmıştır. Örneğin bu durum, Şekil 5.5. (c) 'de verilen 1200 °C 'de sinterlenen %100 uçucu kül numunesinde açık bir şekilde görülmektedir.

Şekillerde verilen bileşiklerin ASTM kartlarında yer alan kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir.

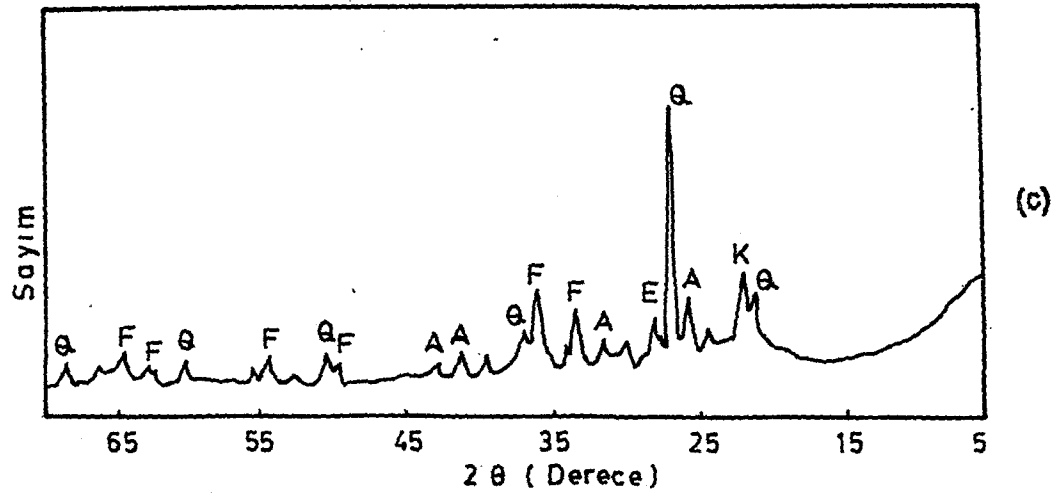
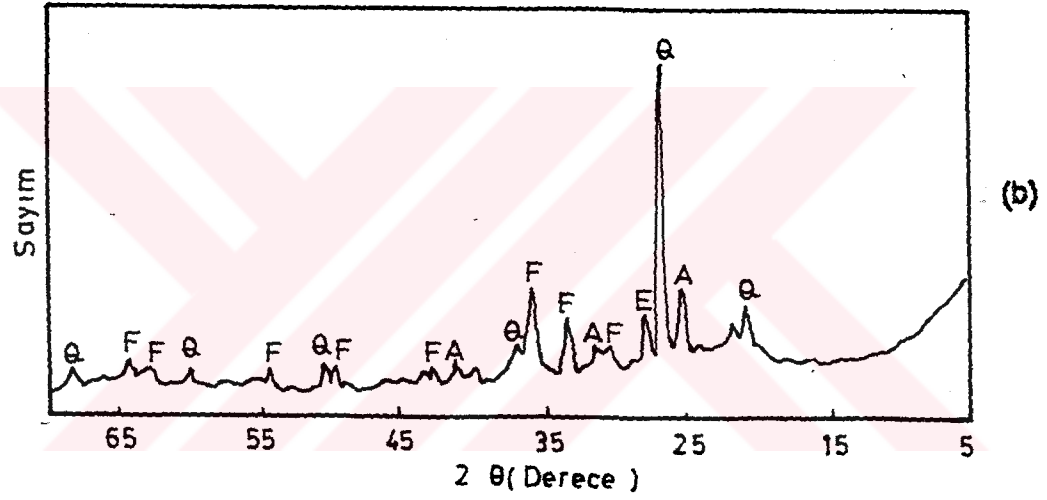
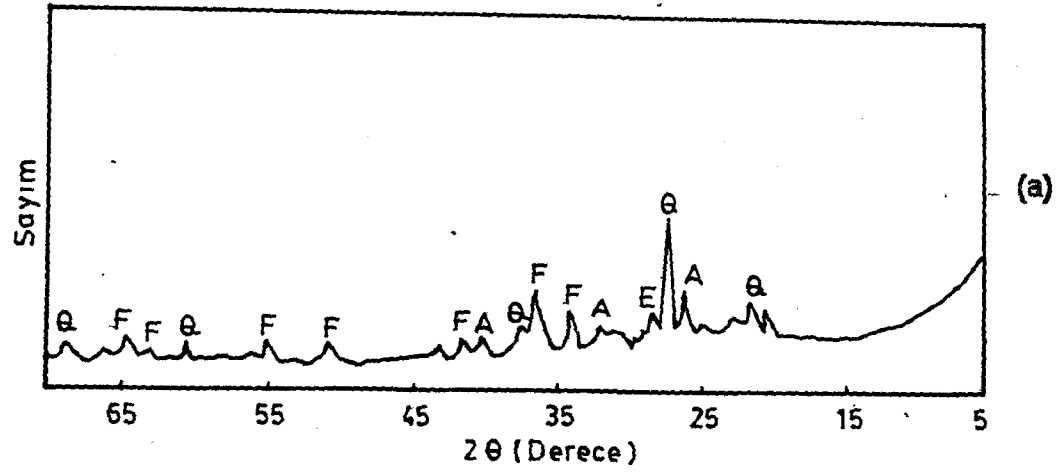
α - kuvars	: SiO_2
Enstatit	: (Mg, Fe). SiO_3
Anhidrit	: CaSO_4
Muskovit	: $\text{K}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$



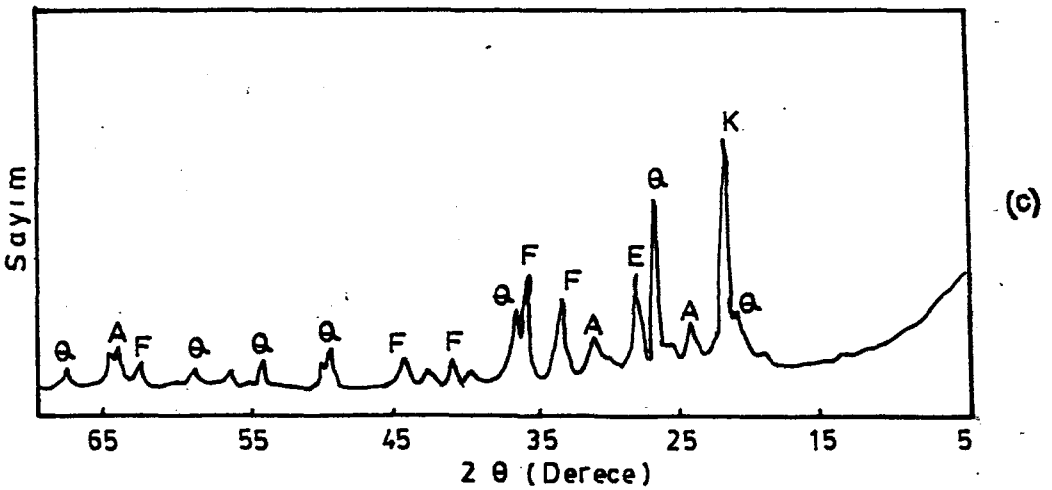
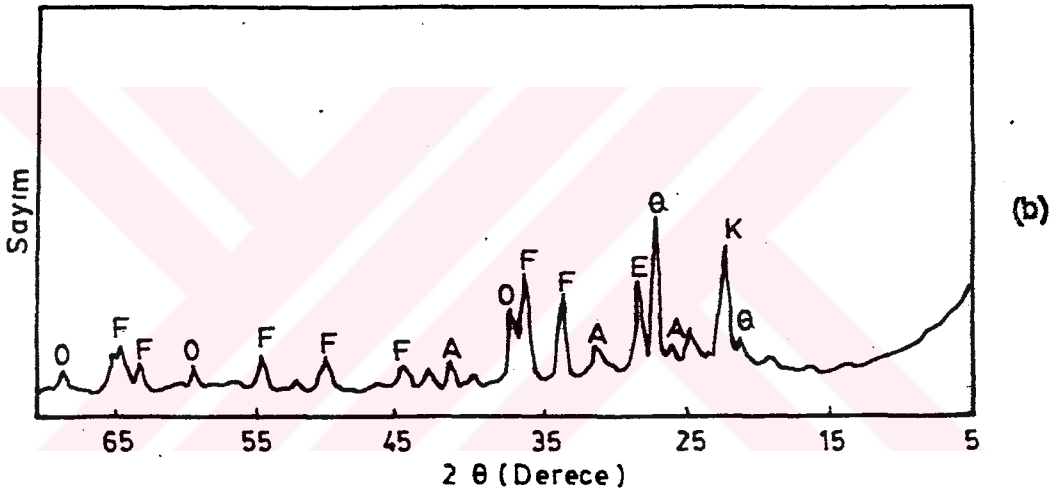
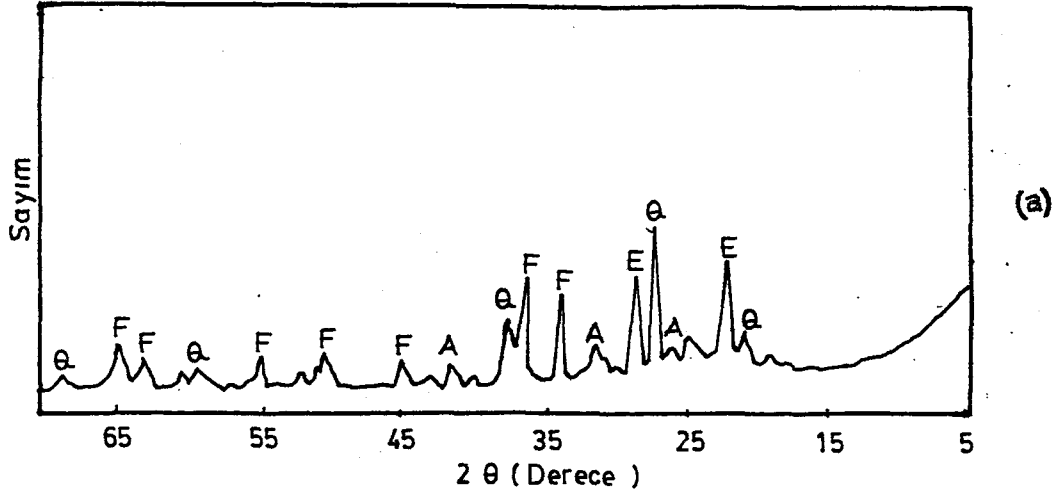
Şekil 5.4. (a) Kalın uçucu kül, (b) ince uçucu kül ve (c) 900 °C'de sinterlenen %100 uçucu kül içeren numunelerin x-ışınları difraksiyonu



Şekil 5.5. (a) 1000 °C, (b) 1100 °C ve (c) 1200 °C 'de sinterlenen %100 uçucu kül içeren numunelerin x-ışınları difraksiyon analizi



Şekil 5.6. 900 °C'de sinterlenen (a) %1.0 Ünye bentoniti (b) %5.0 Ünye bentoniti ve (c) %20 Kütahya bentoniti içeren uçucu kül numunelerinin x-ışınları difraksiyon analizi



Şekil 5.7. 1100 °C 'de sinterlenen (a) %1.0 Ünye bentoniti (b) %5.0 Ünye bentoniti ve (c) %20 Kütahya bentoniti içeren uçucu kül numunelerinin x-ışınları difraksiyon analizi

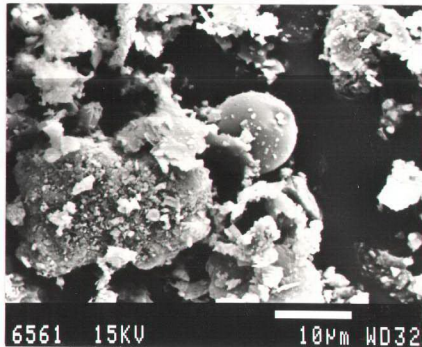
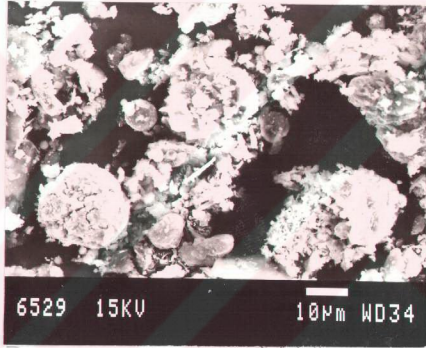
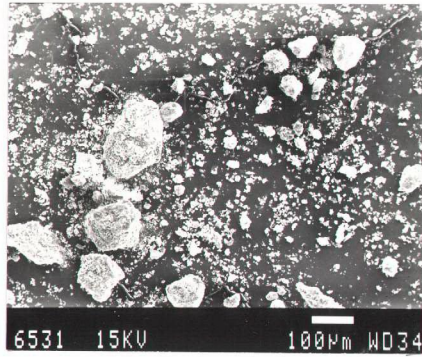
5.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemesi

Seyitömer Termik Santral 'ından temin edilen ince ve kalın uçucu kül örneklerinin farklı büyütme ölçeklerinde ikincil elektron görüntüleri Şekil 5.8. 'de verilmiştir. Genellikle küresel ve aglomere tanelerden oluşan küllerin tane boyutları homojen değildir. Aglomere taneler, tamamen erimiş tanelerle erime sıcaklığı yüksek kristal yapıdaki tanelerin birleşmesi sonucunda oluşmuştur. Erime sıcaklığını düşüren alkali elementlerin yüksek sıcaklıklarda erimesi ve camsı faza dönüşmesi sonucunda küresel yapıda taneler oluşmuştur (Şekil 5.8.(c)). Yapılan analizlere göre, aglomere ve küresel tanelerin Si, Al, Fe, Ca, K ve Mg 'dan meydana geldiği tesbit edilmiştir. İnce ve kalın uçucu kül örneklerinde farklı bölgelerden alınan elementel analizler Şekil 5.9. 'da verilmiştir.

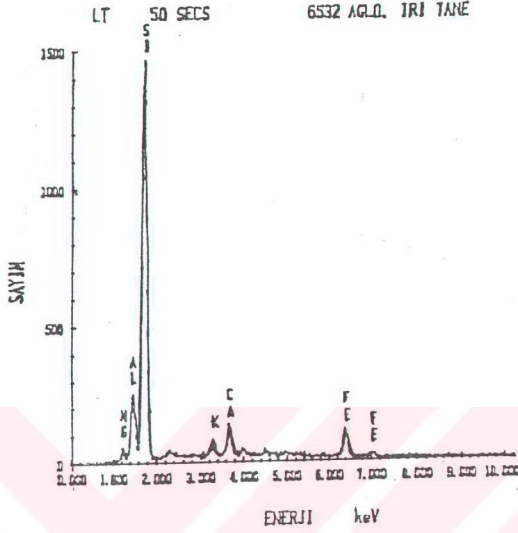
900, 1000 ve 1100 °C 'de sinterlenen %100 uçucu kül içeren numunelerin ikincil elektron görüntüleri Şekil 5.10 'da verilmiştir. 900 °C 'de sinterlenen numunede ikincil erimelere rastlanmamıştır. Yapıda görülen camsı fazlar santral kazanlarında kömürün yakılması sırasında meydana gelmiş olanlardır. Bu sıcaklıklarda sinterlenen uçucu küllerin tane morfolojisinin camsı ve kristal fazlardan oluştuğu görülmüş, elementel analizler sonucunda camsı bölgelerin Si, Al, Fe, Ca ve Ti 'dan, kristal tanelerin ise Si, Fe, Ca, Al ve Mg 'dan oluştuğu saptanmıştır. 1100 °C 'de sinterlenen numunelerin ikincil elektron görüntülerinde (Şekil 5.10 (c)), ikincil erimelerin olduğu ve kristal tanelerde, Si, Al, Fe, Ca, K ve Mg elementlerinin bulunduğu tesbit edilmiştir.

1100 °C 'de sinterlenen Kütahya ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin ikincil elektron görüntüleri Şekil 5.11 'de verilmektedir. %5 Kütahya bentoniti içeren numunede kristal ve camsı yapılar görülmekte, bu numunenin iki ayrı bölgesinden alınan elementel analizler ise Şekil 5.12 'de verilmiştir. Bu elementel analizlere göre, camsı bölgelerde, Si, Al, Fe, Mg, K ve Ca olduğu saptanmış, ancak kristal yapıdaki bölgelerde Fe miktarının düşmesine karşılık Ca ve S miktarının arttığı görülmüştür. %20 Kütahya bentoniti içeren numunelerin refrakter özellikte yani camlaşmış bölgelerin az olduğu saptanmıştır.

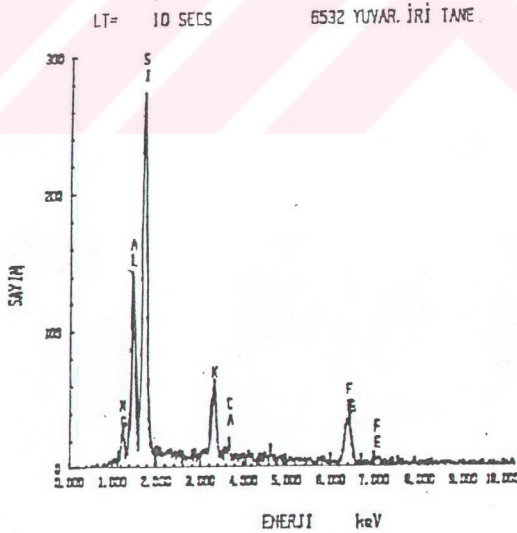
1200 °C 'de sinterleme işlemine tabi tutulan %100 uçucu kül içeren numunelerde gaz çıkışı nedeniyle şişme ve patlamalar meydana gelmiştir. Bünyesindeki CaSO_4 'ın hızlı bir şekilde ayrışması sonucunda tamamen süngerimsi bir görünüm alan numunelerin ikincil elektron görüntüleri Şekil 5.13. 'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Çalışmada kullanılan uçucu küllerin farklı büyütmelerdeki ikincil elektron görüntüleri

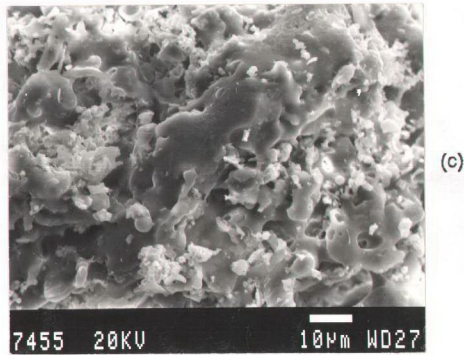
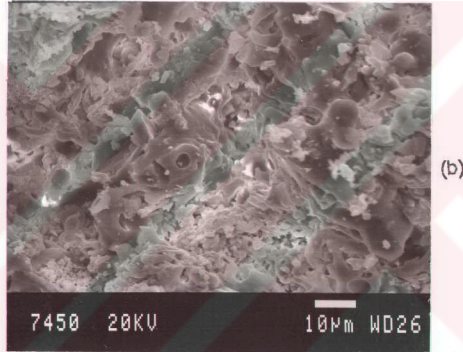
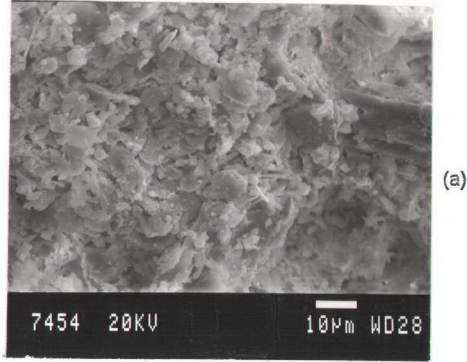


(a)

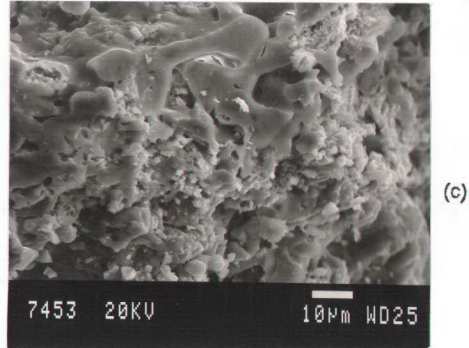
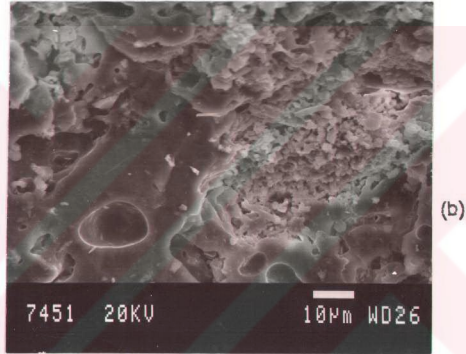
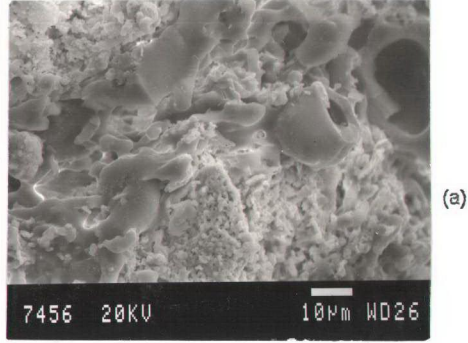


(b)

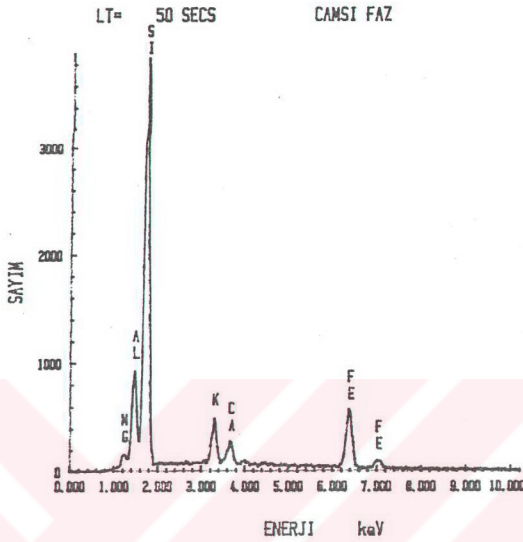
Şekil 5.9. Uçucu kül örneklerinde (a) aglomere tanenin ve (b) yuvarlak iri tanenin elementel analizleri



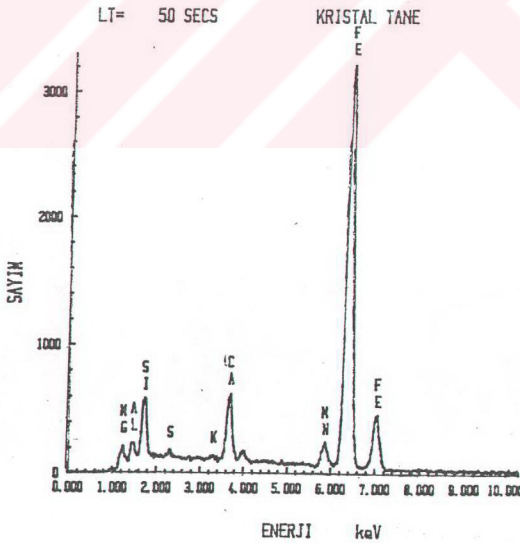
Şekil 5.10. %100 uçucu kül içeren numunelerin (a) 900 , (b) 1000 ve (c) 1100 °C 'de sinterleme işlemleri sonrasında ikincil elektron görüntüleri



Şekil 5.11. 1100 °C 'de sinterlenen (a) %5.0 Kutahya bentoniti, (b) %5.0 Ünye bentoniti ve (c) %20 Kutahya bentoniti içeren uçucu kül numunelerinin ikincil elektron görüntüleri

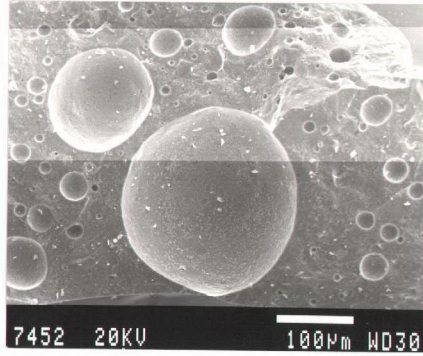


(a)



(b)

Şekil 5.12. %5 Kütahya bentoniti içeren numunede (a) camsi fazın (b) Kristal tanenin elemental analizleri



Şekil 5.13. 1200 °C 'de sinterlenen %100 uçucu kül içeren numunenin ikincil elektron görüntüsü

5.1.3. Tane Boyutu ve Özgül Ağırlık Analizi

Uçucu küller, %11-13 oranında Fe_2O_3 içerdiğinden bu numunelerin tane boyut dağılım analizleri yapılamamıştır. Bunun sebebi Sedigraph 5000D. Micro-meritics cihazının karıştırıcısının manyetik olması ve analiz sırasında Fe içeren numunenin karıştırıcıya yapışmasıdır. Uçucu küllerin ve bağlayıcı malzemelerin piknometre cihazında yapılan özgül ağırlık analizi sonucunda, uçucu kül, Kütahya bentoniti ve Ünye bentonitinin özgül ağırlıkları sırasıyla, 2.35×10^3 , 2.36×10^3 ve $2.57 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuştur. Uçucu külün özgül ağırlığı, küllerin ortalama özgül ağırlık değeri olan $2.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'den daha yüksektir. Bu sonuç, uçucu külün %11-13 gibi yüksek miktarda Fe_2O_3 içermesinden kaynaklanmaktadır.

5.2. Deney Numunelerine Uygulanan Test Sonuçları

5.2.1. Kuruma, Pişme, Toplu Küçülme ve Kızdırma Kaybı

Numunelerin, kuruma, pişme, toplu küçülme ve kızdırma kaybı değerleri, silindirik numunelerin presleme, kurutma ve pişirme sonrası elde edilen boyut ve ağırlıklarının ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Numunelerin kuruma küçülmesi miktarları oldukça düşüktür. Kullanılan bentonit miktarı arttıkça, kuruma küçülmesinde pek bir değişiklik görülmemiştir. Uçucu küllerin plastiklik özelliği olmadığı için ilave edilen su yalnızca bentonit tarafından absorbe edilir. Uçucu küle ilave edilen bentonit miktarı düşük olduğundan kurutma sırasında numune boyutlarında meydana gelen küçülme miktarı kayda değer büyüklükte değildir.

Kuruma küçülmesinde değişiklik görülmediği için numunelerin toplu küçülme miktarları incelenmiştir. Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin 110 °C 'de kurutma, 900, 1000, 1100 °C 'de sinterleme işlemleri sonucunda alınan ortalama toplu küçülme miktarları ve kızdırma kaybı değerleri sırasıyla Tablo 5.1. ve 5.2. 'de görülmektedir. Toplu küçülme miktarlarına ait grafikler Şekil 5.14. ve 5.15. 'de, kızdırma kaybı değerlerine ait grafikler ise Şekil 5.16. ve Şekil 5.17. 'de verilmiştir.

Kütahya bentoniti ilaveli numunelerde toplu küçülme miktarı (Şekil 5.14); 900, 1000, 1100 °C 'de sinterlenen numunelerde küle ilave edilen bentonit miktarı arttıkça (%0-20 arasında) çok az bir değişiklik göstermiştir. Toplu küçülme miktarında, artan bentonit miktarıyla değişiklik olmamış, ancak artan sıcaklıkla lineer bir artış meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklıklarda, ergime sıcaklıkları düşük alkali elementlerin sıvı faz sinterleşmesini hızlandırması sonucunda camlaşma meydana gelmesi ve gözeneklerin dolması ile numunelerde küçülme görülmektedir.

Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin toplu küçülmelerinde meydana gelen değişiklikler Ünye bentoniti ilaveli numunelerde de görülmüştür (Şekil 5.15). Ancak Ünye bentoniti, Kütahya bentonitine nazaran daha düşük oranlarda uçucu küle ilave edilmesine rağmen meydana gelen küçülme miktarları hemen hemen aynıdır. Bunun sebebi, Ünye bentonitinin uçucu küle daha homojen bir şekilde ilave edilmesi ve Kütahya bentonitine nazaran daha iyi bağlayıcılık özelliğine sahip olmasıdır.

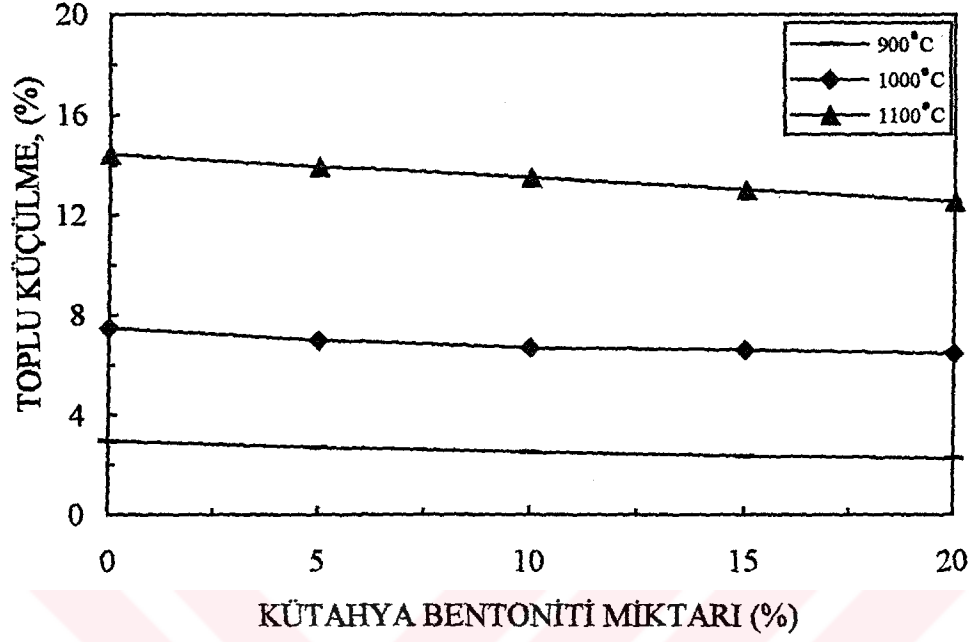
Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin kızdırma kayıpları artan bentonit miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak artış göstermektedir (Şekil 5.16. ve 5.17). Numunelerin ağırlıklarında meydana gelen bu azalmanın sebepleri, uçucu külün bünyesinde bulunan karbonun uzaklaşması, CaSO_4 'ın kısmen parçalanması ve bentonitlerin kristal sularının uzaklaşmasıdır.

Tablo 5.1. Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin toplu küçülme ve kızdırma kaybı miktarları

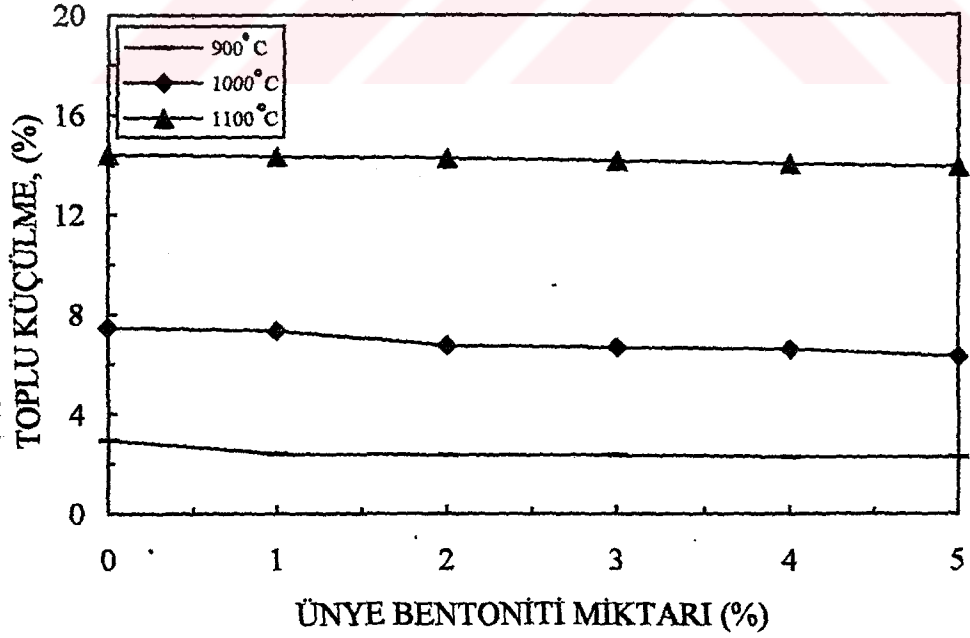
Kütahya Bentoniti Miktarı (%)	Toplu Küçülme Miktarı (%)			Kızdırma Kaybı Miktarı (%)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	2.956	7.477	14.428	2.199	3.044	4.497
5	2.714	7.005	13.923	2.654	3.579	4.578
10	2.520	6.698	13.5	3.492	4.336	4.858
15	2.372	6.616	13.022	4.423	5.000	5.609
20	2.264	6.445	12.518	5.229	5.527	6.031

Tablo 5.2. Ünye bentoniti ilaveli numunelerin toplu küçülme ve kızdırma kaybı miktarları

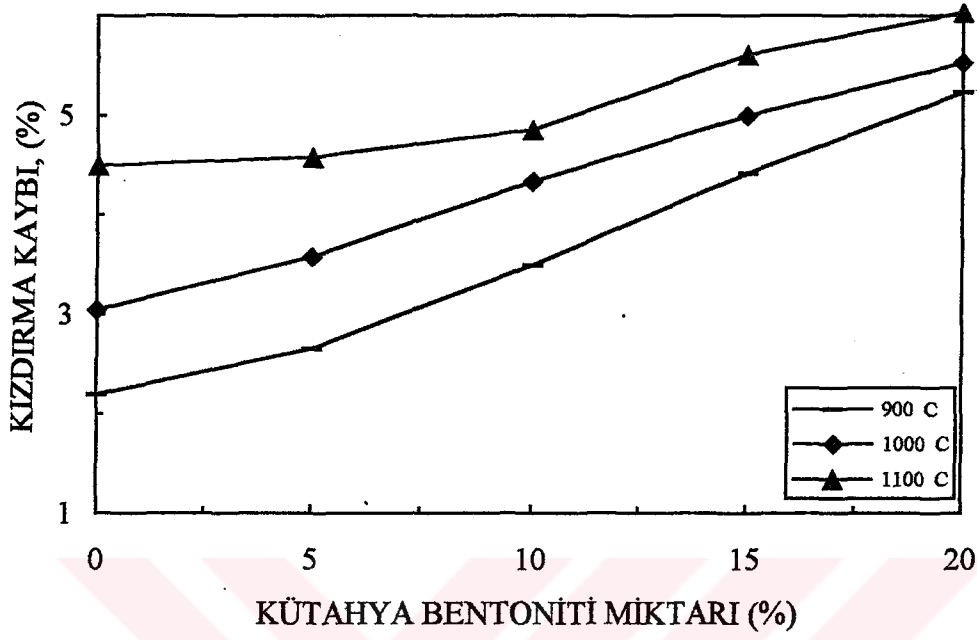
Ünye Bentoniti Miktarı (%)	Toplu Küçülme Miktarı (%)			Kızdırma Kaybı Miktarı (%)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	2.956	7.477	14.428	2.199	3.044	4.497
1.0	2.41	7.36	14.35	2.65	3.28	4.84
2.0	2.372	6.77	14.28	2.94	3.42	4.99
3.0	2.37	6.68	14.17	3.23	3.73	5.15
4.0	2.302	6.61	14.05	3.42	3.87	5.54
5.0	2.297	6.32	13.94	3.92	4.28	6.05



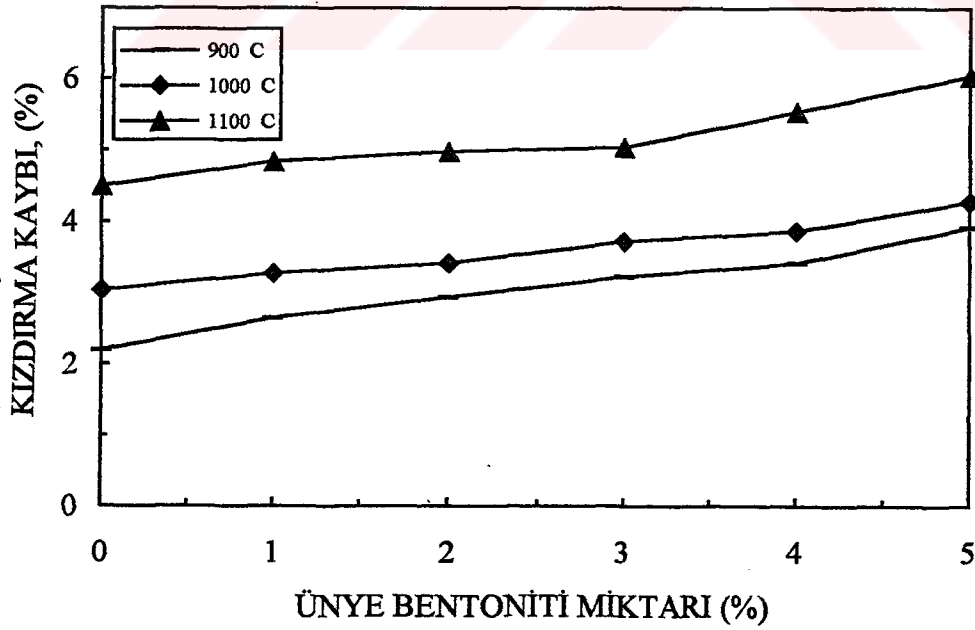
Şekil 5.14. Kütahya bentoniti ilaveli numunelerde toplu küçülme miktarının sıcaklık ve bentonit ilavesi ile değişimi



Şekil 5.15. Ünye bentoniti ilaveli numunelerde toplu küçülme miktarının sıcaklık ve bentonit ilavesi ile değişimi



Şekil 5.16. Kızdırma kaybı miktarının sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.17. Kızdırma kaybı miktarının sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi

5.2.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluk

Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin bulk yoğunluk ve gözenek miktarları Tablo 5.3. ve 5.4. 'de, bu değerlere ait grafikler ise Şekil 5.18, 5.19., 5.20. ve 5.21. 'de verilmiştir. Artan bentonit miktarı ile numune yoğunluklarında pek bir değişiklik olmamakta ancak sıcaklığa bağlı olarak bir artış meydana gelmektedir. Uçucu küllerin ve bentonitlerin bünyesinde bulunan toprak alkali elementler sinterleme sırasında ergiyerek cam oluşturmakta ve sinterleme mekanizması sıvı faz sinterleşmesine dönüşmektedir. Böylece sıcaklık arttıkça cam miktarı artmakta ve buna bağlı olarak da yoğunluklar artmaktadır.

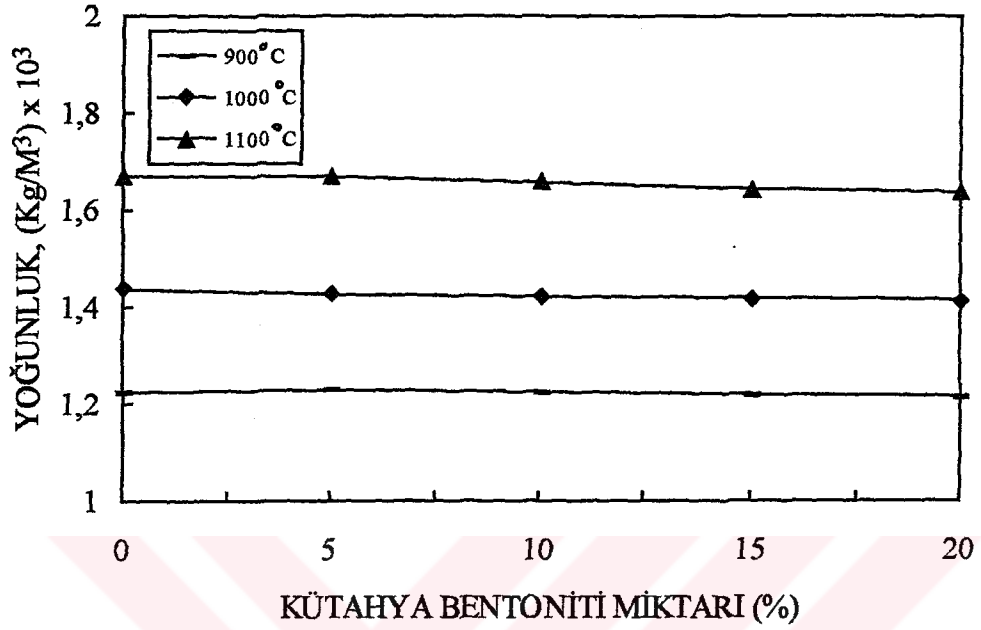
900 ve 1000 ve 1100 °C 'de sinterlenen Ünye bentoniti ilaveli numunelerde yoğunluk ve gözenek testi sonuçları Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin sonuçları ile paralellik göstermektedir. 1200 °C 'de sinterlenen numunelerde gaz çıkışı nedeniyle şişme ve patlamalar meydana gelmiştir. Tamamen süngerimsi bir görünüm alan bu numunelerin oluşum sebebinin 1200 °C 'de CaSO_4 'ın hızlı bir şekilde ayrışması olduğu tahmin edilmektedir. Bu tahminin doğruluğunu 1100 ve 1200 °C 'de sinterlenmiş numunelerin Şekil 5.5. (c) 'de verilen x-ışınları difraksiyon sonuçları desteklemektedir. Bu sonuçlara göre 1100 °C ve daha düşük sıcaklıklarda anhidrit minerali görülmesine karşılık 1200 °C 'de bu mineralin mevcut olmadığı saptanmıştır.

Tablo 5.3. Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin bulk yoğunluk ve gözenek miktarları

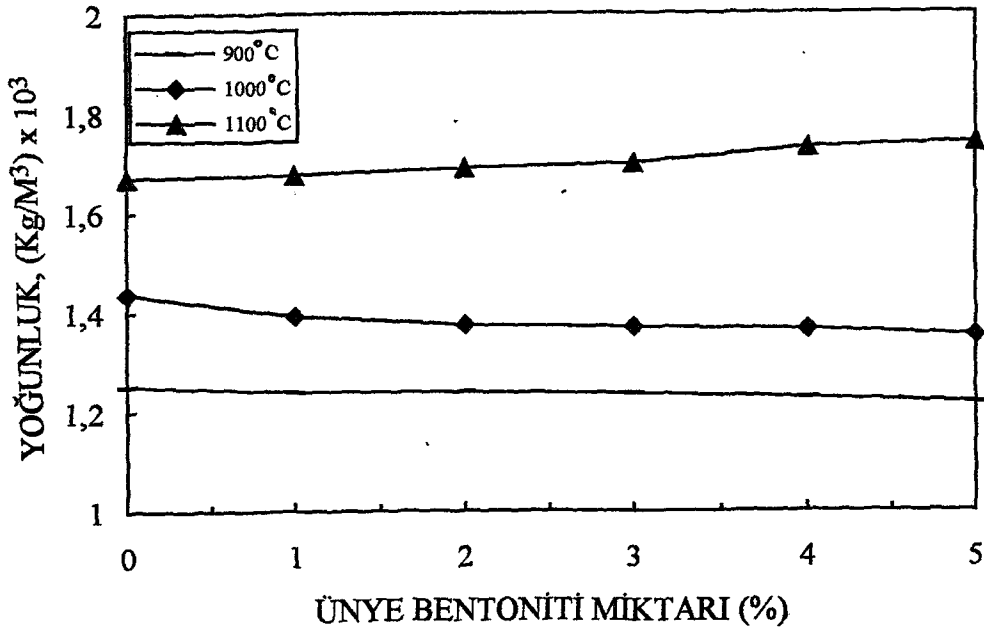
Kütahya Bentoniti Miktarı (%)	Bulk Yoğunluk ($\times 10^3 \text{ Kg/m}^3$)			Gözenek Miktarı (%)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	1.252	1.437	1.671	46.62	39.61	30.904
5	1.230	1.427	1.669	47.21	39.23	31.068
10	1.226	1.422	1.658	47.48	39.37	32.068
15	1.221	1.420	1.644	47.73	38.95	32.878
20	1.216	1.414	1.637	47.81	35.27	32.917

Tablo 5.4. Ünye bentoniti ilaveli numunelerin bulk yoğunluk ve gözenek miktarları

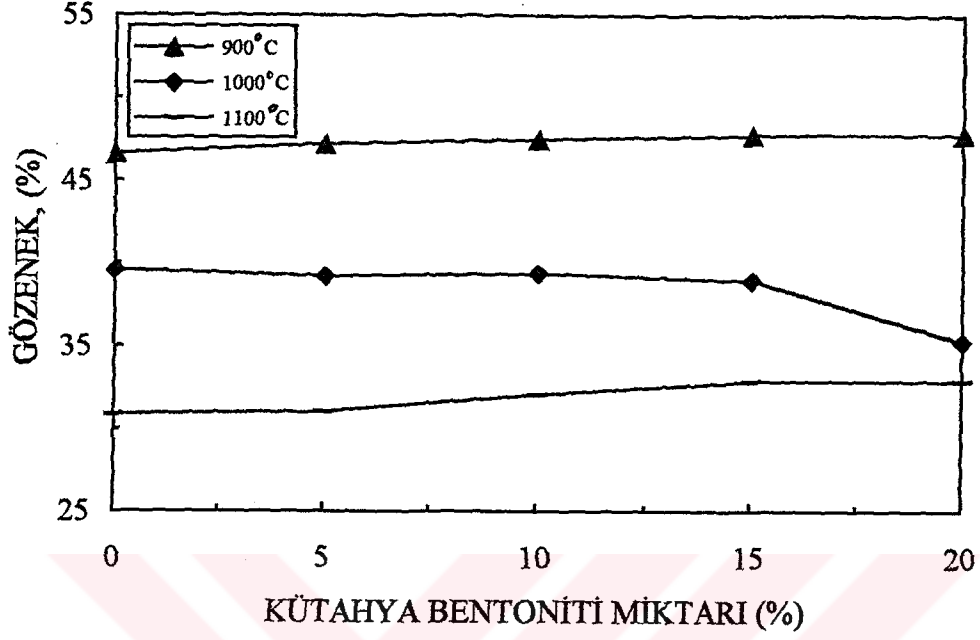
Ünye Bentoniti Miktarı (%)	Bulk Yoğunluk ($\times 10^3 \text{ Kg/m}^3$)			Gözenek Miktarı (%)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	1.252	1.437	1.671	46.62	39.61	30.904
1.0	1.241	1.393	1.678	47.04	41.76	30.61
2.0	1.240	1.375	1.69	47.23	42.98	29.36
3.0	1.237	1.37	1.7	47.54	44.04	28.92
4.0	1.228	1.365	1.73	47.79	44.48	27.26
5.0	1.217	1.352	1.74	48.31	44.85	27.09



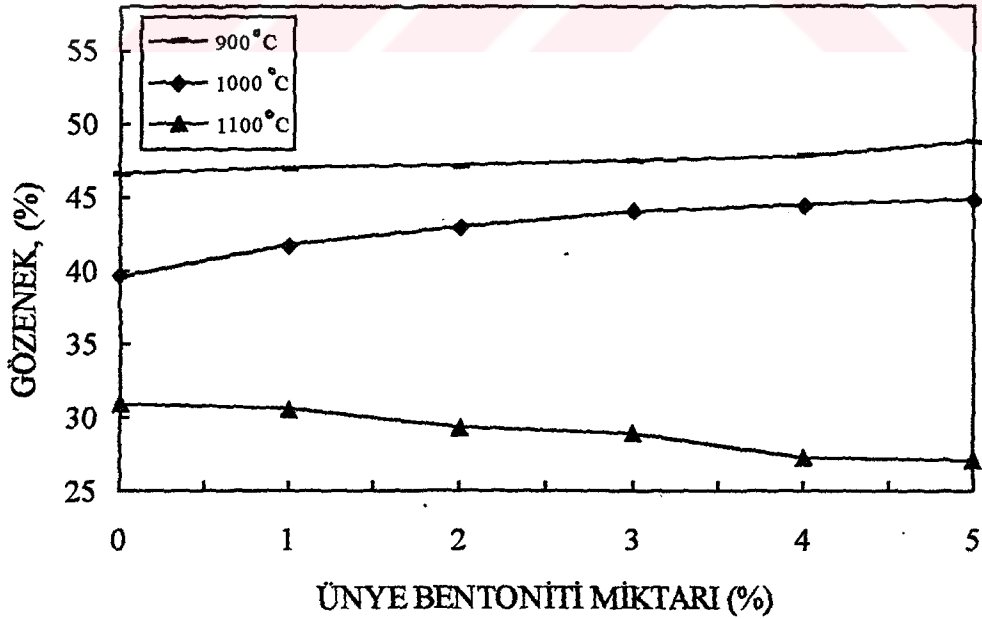
Şekil 5.18. Bulk yoğunluğun sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.19. Bulk yoğunluğun sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.20. Gözenek miktarının sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.21. Gözenek miktarının sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi

5.2.3. Basma Mukavemeti

Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli deney numunelerinin basma mukavemeti test sonuçları Tablo 5.5. ve 5.6. 'da, bu sonuçlara ait grafikler ise Şekil 5.22. ve 5.23. 'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek basma mukavemeti %100 kül ihtiva eden numunelerde görülmüştür. 900 °C 'de sinterlenen Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin basma mukavemetlerinde çok az bir düşüş görülmüştür. Uçucu küle ilave edilen Ünye bentoniti miktarı düşük olduğundan (%5), bu fark Kütahya bentonitine nazaran daha azdır. Ancak Ünye bentoniti ilaveli numunelerin basma mukavemeti değerleri, Kütahya bentoniti ilaveli numunelerden daha yüksektir. Artan bentonit miktarı ile numunelerin sinterleşmesi zorlaştığından basma mukavemetinde düşme meydana gelmesine karşılık, sinterleme sıcaklığının artması camsı fazların oluşmasına ve mukavemetin artmasına sebep olmuştur.

1100 °C 'de sinterlenen Ünye bentoniti ilaveli numunelerde, bentonit miktarı %3 'ün üzerindeki numunelerde basma mukavemetinde artış gözlenmiştir. Bu olayı bentonit miktarının artmasıyla ortama ilave edilen Na 'un artması ve daha fazla cam fazı oluşturması olarak açıklamak mümkündür.

5.2.4. Üç Nokta Eğme Mukavemeti

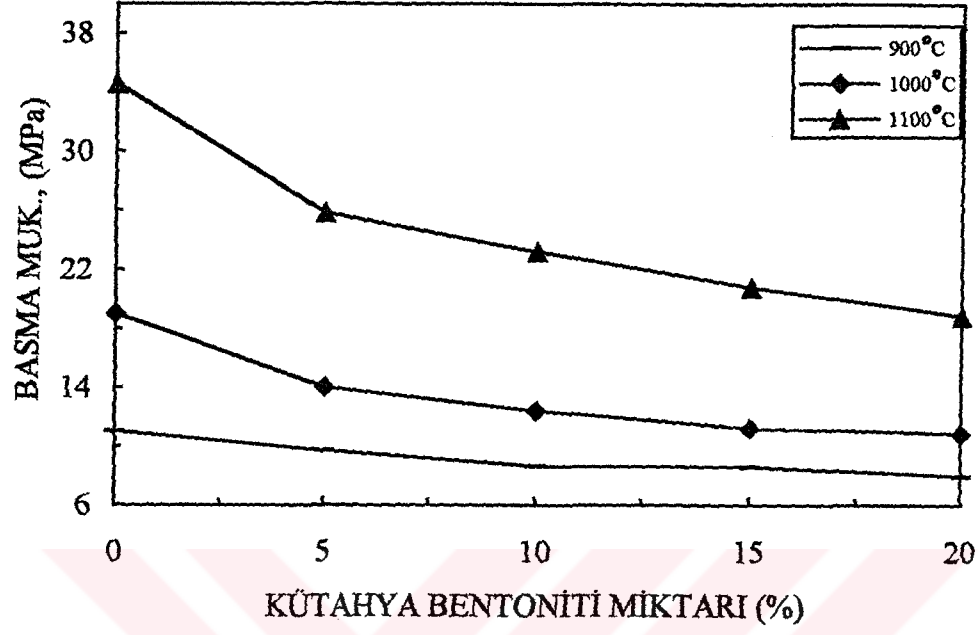
Kütahya ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin üç nokta eğme mukavemetleri Tablo 5.5. ve 5.6. 'da ve bu değerlere ait grafikler Şekil 5.24. ve 5.25. 'de verilmiştir. Numunelerin üç nokta eğme mukavemeti eğrilerinde görülen sonuçlar, basma mukavemeti sonuçlarının benzeridir. Aynı şekilde en yüksek üç nokta eğme mukavemeti, %100 uçucu kül numunelerde ve Ünye bentoniti ilaveli numune grubunda 1100 °C 'de sinterlenen ve %5 Ünye bentoniti içeren numunelerde görülmüştür.

Tablo 5.5. Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin basma ve üç nokta eğme mukavemeti

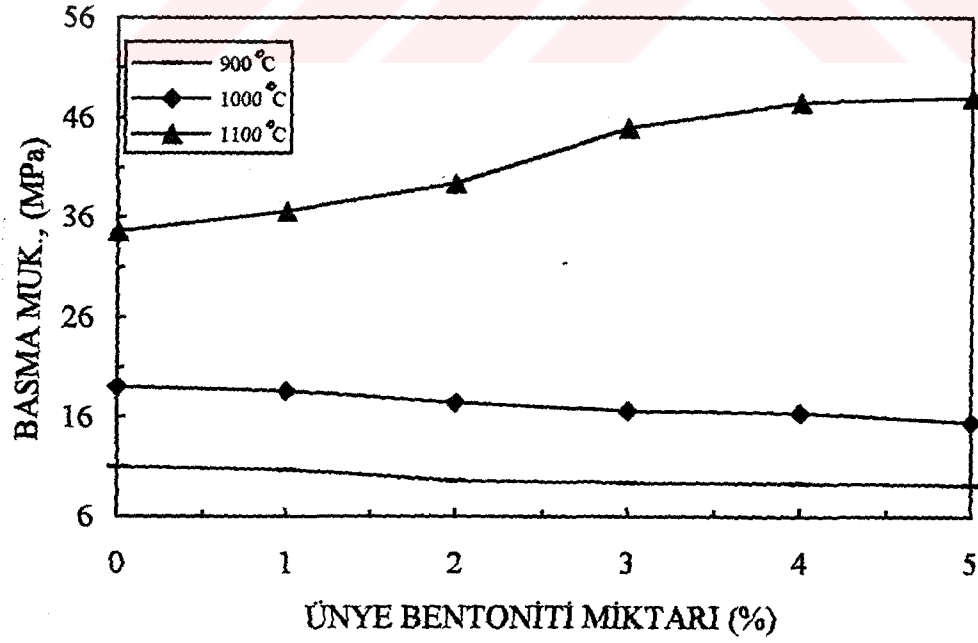
Kütahya Bentoniti Miktarı (%)	Basma Mukavemeti (MPa)			Üç Nokta Eğme Mukavemeti (MPa)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	11.03	19.05	34.6	4.61	17.3	25.21
5	9.73	14.03	25.89	4.48	17.04	24.3
10	8.68	12.44	23.25	4.36	16.58	24.15
15	8.64	11.26	20.82	3.36	16.27	22.77
20	7.98	10.87	18.88	3.28	15.5	21.62

Tablo 5.6. Ünye bentoniti ilaveli numunelerin basma ve üç nokta eğme mukavemeti

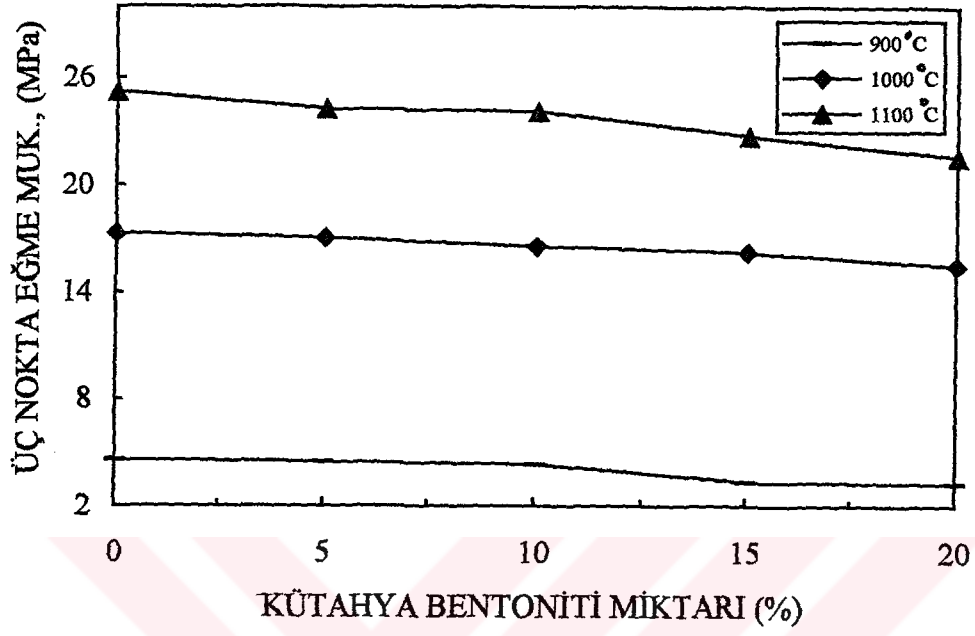
Ünye Bentoniti Miktarı (%)	Basma Mukavemeti (MPa)			Üç Nokta Eğme Mukavemeti (Mpa)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	11.03	19.05	34.6	4.61	17.3	25.2
1.0	10.72	18.6	36.58	4.21	10.36	25.6
2.0	9.64	17.45	39.44	3.18	10.2	26.24
3.0	9.44	16.61	44.94	2.94	9.86	27.7
4.0	9.33	16.4	47.52	2.62	9.14	28.8
5.0	9.17	15.43	47.99	2.01	7.94	28.95



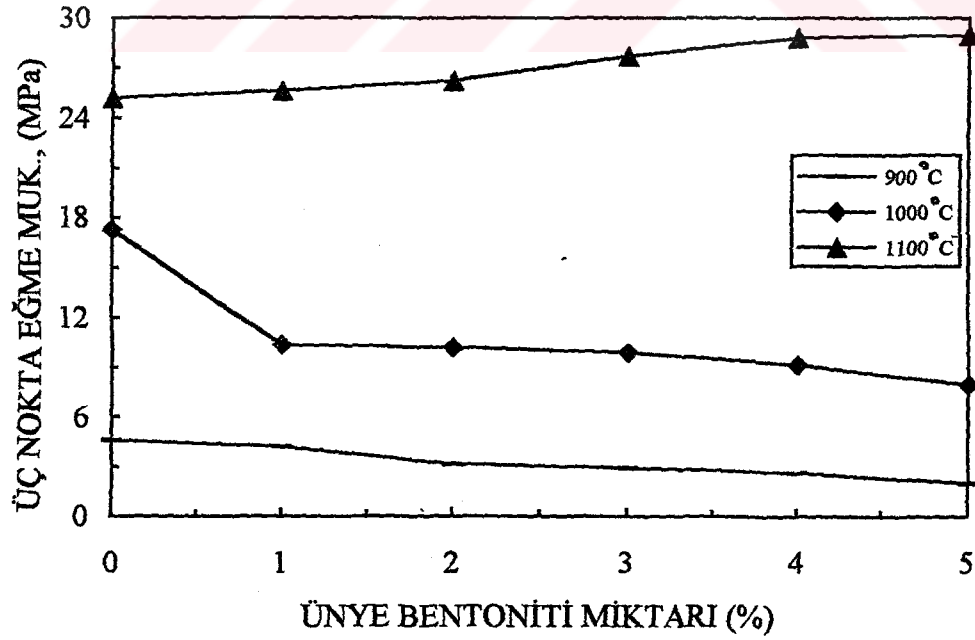
Şekil 5.22. Basma mukavemetinin sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.23. Basma mukavemetinin sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.24. Üç nokta eğme mukavemetinin sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.25. Üç nokta eğme mukavemetinin sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi

5.2.5. Su Emme

Kütahya bentoniti ve Ünye bentoniti ilaveli numunelerin 24 saat suda bekletme ve 5 saat suda kaynatma yöntemleri ile belirlenen su emme miktarları Tablo 5.7. ve 5.8. 'de, bu değerlere ait grafikler de Şekil 5.26., 5.27., 5.28. ve 5.29. 'da verilmiştir.

Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin su emme miktarları, artan bentonit miktarı ile artış göstermektedir (Şekil 5.26., 5.28.). Fakat bu artış pek fazla değildir. Değişiklik olmadığı da söylenebilir. Ancak sıcaklığın artması sonucunda camsı faz oluşması ve gözeneklerin dolması ile su emme miktarında azalma görülmektedir. Kaynatma sırasında suyun hareket kazanması kılcal kanallar ile en küçük gözeneklere kadar girmesi, su emme miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu olay suda kaynatma yöntemi ile tesbit edilen su emme miktarlarının, 24 saat suda bekletme yöntemi ile tesbit edilen su emme miktarından fazla olması ile de açıkça görülmektedir.

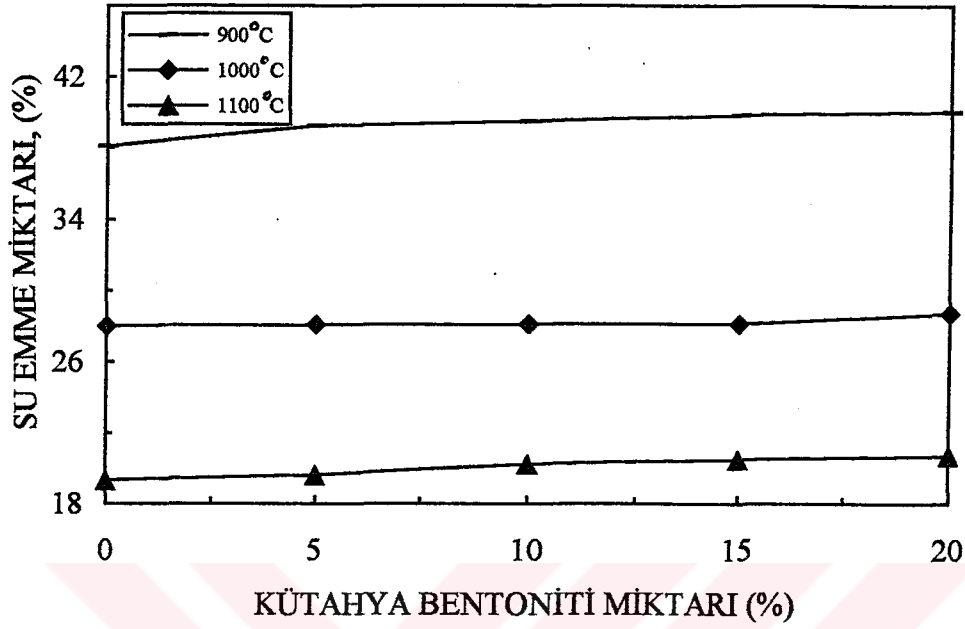
900 ve 1000 °C 'de sinterlenen ilaveli numunelerin su emme miktarları (Şekil 5.27., 5.29.) bentonit miktarının artmasına bağlı olarak artış göstermesine karşılık, sıcaklığa bağlı olarak düşmektedir. 1100 °C 'de sinterlenen numunelerde ise artan bentonit miktarı ile azalmaktadır. İki yöntem arasındaki ilişki Kütahya bentoniti ilaveli numunelerle paralellik göstermektedir. Ünye bentonitinin cam yapıcı Na içermesi ve gözenekleri doldurması nedeniyle Kütahya bentonitine nazaran daha düşük miktarda su emme miktarına sahiptir.

Tablo 5.7. Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin 5 saat suda kaynatma (5 s. S. K) ve 24 saat suda bekletme (24 s. S. B.) yöntemleri ile belirlenen su emme miktarları

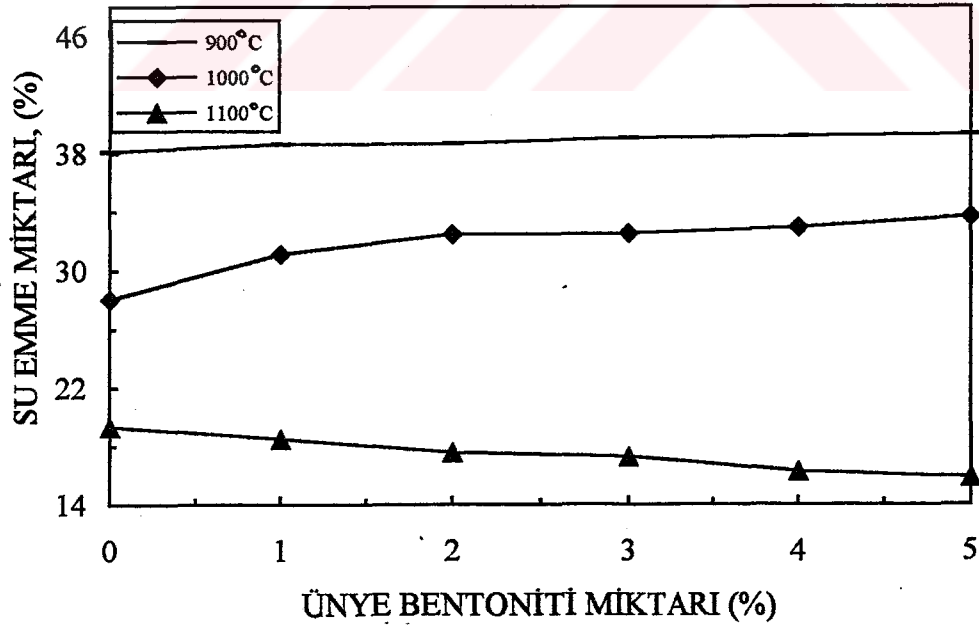
Kütahya Bentoniti miktarı (%)	Su Emme Miktarı (5 s.S.K.) (%)			Su Emme Miktarı (24 s.S.B.) (%)		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	38.13	28.02	19.34	35.64	27.98	14.79
5	39.28	28.07	19.64	36.35	28.41	15.05
10	39.53	28.11	20.25	36.55	29.69	15.44
15	39.87	28.13	20.48	37.81	28.99	16.09
20	40.05	28.68	20.71	37.95	30.15	16.11

Tablo 5.8. Ünye bentoniti ilaveli numunelerin 5 saat suda kaynatma (5 s. S. K) ve 24 saat suda bekletme (24 s. S. B.) yöntemleri ile belirlenen su emme miktarları

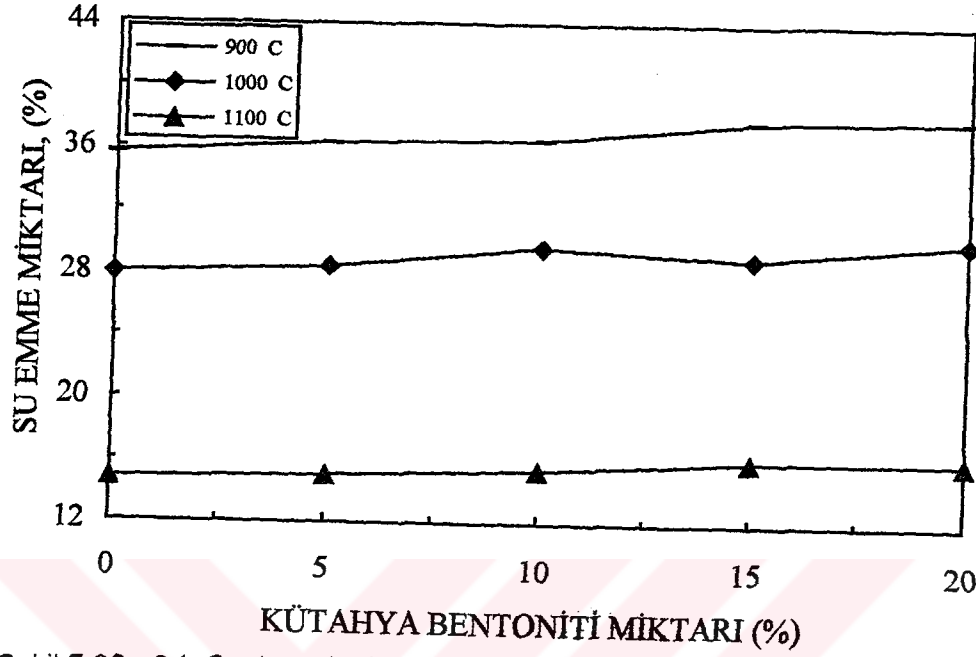
Ünye Bentoniti Miktarı (%)	Su Emme Miktarı (5 s.S.K.) (%)			Su Emme Miktarı (24 s.S.B.) (%)		
	900 °C	1000 °C	100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
0	38.13	28.02	19.34	35.64	27.98	14.79
1.0	38.66	31.14	18.5	36.18	28.24	14.60
2.0	38.69	32.49	17.57	36.27	30.31	14.12
3.0	39.04	32.55	17.3	36.58	31.47	13.95
4.0	39.17	32.92	16.26	37.11	31.85	13.86
5.0	39.33	33.68	15.87	37.25	32.7	13.27



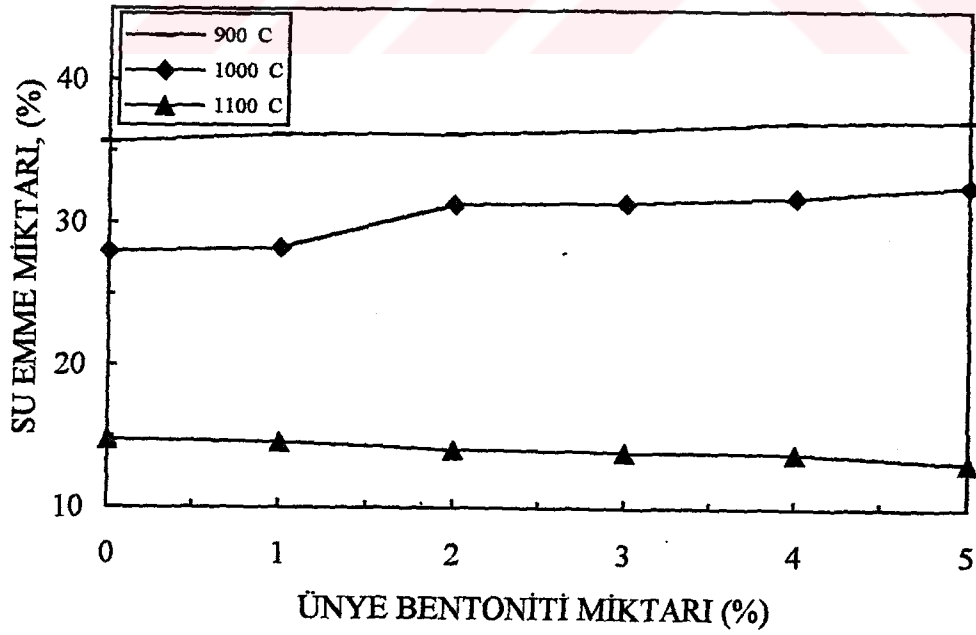
Şekil 5.26. 5 Saat suda kaynatma yöntemi ile belirlenen su emme miktarının sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.27. 5 Saat suda kaynatma yöntemi ile belirlenen su emme miktarının sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.28. 24 Saat suda bekletme yöntemi ile belirlenen su emme miktarının sinterleme sıcaklığı ve Kütahya bentoniti ilavesi ile değişimi



Şekil 5.29. 24 Saat suda bekletme yöntemi ile belirlenen su emme miktarının sinterleme sıcaklığı ve Ünye bentoniti ilavesi ile değişimi

5.2.6. Donma

Donma testi sonucunda, numunelerde çatlama, kopma ve pullanma görülmemiştir. Ancak numunelerin preslenmesi sırasında oluşan küçük miktarlardaki laminasyonlar, test sonucunda ince çizgiler halinde ortaya çıkmıştır.

5.2.7. Pamuklaşma

Numunelerde pamuklaşma çok az miktarda görülmüştür. Oluşan pamuklaşma numunelerin yüzeylerinin %10 'unu geçmediği için zayıf pamuklaşmadır.



BÖLÜM VI

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

a) Sonuçlar ve İrdelenmesi

a) Uçucu küllerin ve farklı sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin x-ışınları difraksiyonu ile yapılan mineralojik analizlerinde çoğunlukla amorf faz içerdiği ve kristal fazında α - kuvars (SiO_2), kristabolit (SiO_2), muskovit ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), enstatit ($(\text{Mg}, \text{Fe}) \cdot \text{SiO}_3$), anhidrit (CaSO_4) ve Fe bileşiklerinden oluştuğu saptanmıştır. Fe bileşikleri, ASTM kartlarında hematit ve maghemit şeklinde bulunmasına rağmen, elementel analizler sırasında serbest demire rastlanmamıştır. Bu yüzden x-ışınları difraksiyon analizinde Fe 'in hangi şekilde olduğu tesbit edilememiştir. Numunelerin sinterlenmesi işlemleri sonucunda α -kuvarsin bir kısmının kristabolite dönüştüğü, kristal yapıdan amorf yapıya geçiş sonucunda pik boylarında azalma görülmüştür. Ayrıca, 1100 °C ve daha düşük sıcaklıklarda anhidrit minerali görülmesine karşılık, 1200 °C 'de sinterlenen uçucu küllere ait x-ışınları difraksiyon analizinde anhidritin parçalanması sonucunda bu minerale ait pike rastlanmamıştır.

b) Uçucu kül, Kütahya bentoniti ve Ünye bentonitinin özgül ağırlıkları sırasıyla $2,35 \times 10^3$, $2,36 \times 10^3$ ve $2,57 \times 10^3$ kg/m³ olarak saptanmıştır. Uçucu külün özgül ağırlığı, küllerin ortalama özgül ağırlığı olan $2,15 \times 10^3$ kg/m³ den daha yüksektir. Bunun sebebi Seyitömer Termik Santral uçucu küllerinin bileşiminde, özgül ağırlığın artmasına sebep olan Fe_2O_3 'ün yüksek miktarda bulunmasıdır.

c) Yüksek miktarda Fe_2O_3 içermeleri ve analiz sırasında numunenin, cihazın manyetik olan karıştırıcısına yapışması nedeniyle uçucu küllerin tane boyut analizi yapılamamıştır.

d) Numunelerin taramalı elektron mikroskopunda tane morfolojisi ve faz tanımlamalarının yapılması sonucunda, uçucu küllerin aglomere ve küresel tanelerden meydana geldiği, sinterlenen malzemelerin ise çoğunlukla camsı fazlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Elektron mikroprob analizinde, aglomere ve küresel tanelerin Si, Al, Fe, Ca, K ve Mg elementlerini içerdiği görülmüştür. 1200 °C 'de

sinterleme işlemine tabi tutulan %100 uçucu kül içeren numunelerde gaz çıkışı nedeniyle şişme ve patlamalar meydana gelmiştir. Bunun sebebi, bünyesindeki CaSO_4 'ın hızlı bir şekilde ayrışması ve gaz oluşturmaktır. Sonuçta, bu sıcaklıkta sinterlenen numuneler, aşırı gözenekli bir yapıda ve süngerimsi bir görünüme sahiptir. Bentonit ilaveli numunelerde, sinterleme işlemleri sonrasında oluşan cam fazı miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

e) Uçucu kül, Kütahya bentoniti, Ünye bentoniti ve Kolemanit atığı kullanılarak değişik oranlarda karışımlar hazırlanarak, yarı-kuru presleme yöntemi ile üretilen ve 900, 1000, 1100 ve 1200 °C 'de sinterlenen numuneler üzerinde yapılan test sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Kolemanit atığı, kristal suyunu çok hızlı bir şekilde kaybetmesi nedeniyle sinterleme sırasında numunelerin patlamasına yol açmıştır. Uçucu küle ilave edilen bentonit miktarı arttıkça sinterleşme zorlaştığından numunelerin toplu küçülmelerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak ilave edilen bentonit miktarı az olduğundan, toplu küçülmedeki düşüş önemli büyüklükte değildir. Sinterleme işlemleri sonucunda, artan sıcaklığa bağlı olarak camlaşmanın meydana gelmesi ve gözeneklerin dolmasıyla toplu küçülme miktarında artış görülmektedir. Numunelerin kızdırma kaybı değerleri, sıcaklık ve bentonit miktarına bağlı olarak yükselme göstermektedir. Bu artışın sebebi, yüksek sıcaklıkta uçucu külün bünyesinde bulunan karbonun uzaklaşması, CaSO_4 'ın kısmen parçalanması ve bentonitlerin kristal sularının uzaklaşmasıdır.

- Kütahya bentoniti ilaveli numunelerin yoğunluklarında bentonit miktarının artması ile, bir azalma meydana gelmesine karşılık, sıcaklığın artmasına bağlı olarak daha yoğun malzemeler elde edilmiştir. Sıcaklığın artması sonucu oluşan sıvı faz sinterleşmesi, gözeneklerin dolmasına ve yoğunluğun artmasına sebep olmuştur. 1100 'de sinterlenen Ünye bentoniti ilaveli numunelerde bentonit miktarının artmasıyla, ortama ilave edilen Na 'un artması ve daha fazla camlaşma meydana gelmesi sonucunda gözenek miktarının azaldığı, buna bağlı olarak da yoğunluğun arttığı saptanmıştır. 1200 °C 'de sinterlenen numunelerde CaSO_4 'ın hızlı bir şekilde ayrışması ile gaz çıkışı nedeniyle şişme ve patlamalar meydana gelmekte ve süngerimsi yapıya sahip bir malzeme elde edilmektedir.

- Numunelerin basma ve üç nokta eğme mukavemetleri bentonit miktarının artması ile düşerken, camlaşmanın olduğu yüksek sıcaklıklara çıkıldığında (1000, 1100 ve 1200 °C) mukavemet değerlerinde yükselme görülmektedir. En

yüksek basma ve üç nokta eğme mukavemeti %100 uçucu kül ihtiva eden numunelerde elde edilmiştir. Bentonit katkısının mukavemeti olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

- 5 saat suda kaynatma ve 24 saat suda bekletme yöntemleri uygulanan numunelerde su emme miktarında bentonit miktarına bağlı olarak bir artışın olduğu, ancak sıcaklığın yükselmesiyle düşme meydana geldiği görülmektedir. 5 saat suda kaynatma yöntemi ile tesbit edilen su emme miktarları, kaynatma sırasında suyun hareket kazanarak kılcal kanallar ile en küçük gözeneklere kadar girmesi sonucu, 24 saat suda bekletme yöntemi ile tesbit edilen su emme miktarından fazladır. 1100 °C 'de sinterlene Ünye bentoniti ilaveli numunelerin su emme miktarları, artan bentonit miktarı ile azalmaktadır. Ünye bentoniti ilaveli numunelerde su emme miktarı, Kütahya bentonitine nazaran daha düşüktür. Bunun nedeni, camlaşmanın Ünye bentoniti ilaveli numunelerde daha iyi olmasıdır.

- Numunelerde önemli ölçüde pamuklaşma görülmemiş ve donma testi sonucunda, çatlama, kopma ve pullanma gibi hasarlara rastlanmamıştır.

Sonuçta, büyük miktarda çevre kirliliğine yol açan atık uçucu küllerin, bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlerden Ünye bentoniti ilavesi ile (%3 'ün üzerinde) hatta hiçbir bağlayıcı madde kullanılmaksızın yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Ancak yapı malzemelerinde, kuruma ve pişme küçülmesi önemli olduğundan ve bentonit ilaveli numunelerde bu küçülme miktarı bentonit oranıyla biraz düşürüldüğünden Ünye bentonitinin kullanılması önem kazanmaktadır.

b) Öneriler

- Enerji darlığının oldukça yüksek düzeyde olduğu ülkemizde, enerjinin akılcı kullanımı ile ilgili diğer önlemlerin yanında uçucu küllerin değerlendirilmesi konusunda vakit geçirmeden uygulamaya geçilmesi gerekmektedir. Bu küllerin değerlendirilmesi ile, çevre kirliliği önemli ölçüde azalacağı gibi, yerini alabileceği doğal malzemelerin tüketimi azalacak, enerji tasarrufu sağlanarak ekonomiye katkıda bulunulacaktır. Değerlendirilmesi bu derece önemli olan uçucu küller, ülkemizde yeterince tanınmamakta, kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararları bilinmemekte ve bu nedenle kullanımı çok sınırlı kalmaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi için, uçucu küllerin her türlü karakterizasyonları yapılarak malzeme özellikleri incelenmelidir.

- Uçucu küllerin değerlendirilmesi konusunda Devlet kuruluşlarının etkin olmadığı görülmektedir. Bu yüzden gerek hammadde temin edilmesi, gerekse tüketim alanları bakımından sağlıklı bir koordinasyonun sağlanması için Devletin çeşitli kuruluşlara zorlayıcı tedbirler önermesi ve bu malzemelerin değerlendirilmesi konusunda teşvik etmesi gerekmektedir.

- Yapılan çalışmada, bentonit miktarının ve sinterleşme sıcaklığının malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sinterleme işlemleri fırında 1 saat bekletilmek suretiyle yapılmıştır. Fırında bekletme süresinin malzeme özellikleri üzerine etkisi incelenmelidir. Aynı şekilde, bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlerin yerine kullanılabilecek değişik bir malzemenin etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] " Türkiye Uçucu Külünün Özellikleri ve Kullanım Olanakları ", E.I.E., Genel Yayın Direktörlüğü, Yayın No.81-45, 1979, Ankara.
- [2] ERDOĞAN, T.Y., " Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 29-35, 1993, Ankara.
- [3] TOKYAY, M., " Betonda Uçucu Kül Kullanımı ", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 29-35, 1993, Ankara.
- [4] BAYKAL, G., ÖZTURAN, T., SAVAŞ, M., RAMADAN, K., " Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde bazı Kullanım Olanakları ", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 88-92, 1993, Ankara.
- [5] YILMAZ, Ş., " Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Külünün Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi ", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil., Ens., 1992, İstanbul.
- [6] " Sintered PFA as a Light Weight Aggregate ", PFA Data Book, Cent. Elec. Gen. Board, 1974, England.
- [7] " PFA Information ", Powergen Broch., 1990, England.
- [8] ÖZKAN, L., " Isıl İşlem Uygulanması ile Birlikte Uçucu Kül Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi ", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil., Ens., 1986, İstanbul.
- [9] HE, J.Y., SCHEETZ, B.E., ROY, D.M., "Comparison of Tuff and Fly Ash in Blended Cement ", Am. Ceram. Soc., Vol. 64, No.5, pp.707-711, 1985.
- [10] " An Introduction to Pulverized Fuel ash ", Powergen Broch., 1990, England.
- [11] " Fly Ash and Row or Calcined Natural Puzzolan For Use as a Mineral Admixture in Portland cement Concrete ", ASTM C 618-80, Annual Book of ASTM Standards, Vol.14, pp. 381- 384, 1980.
- [12] " Bricks and Other Structural Ceramics ", PFA Data Book, Cent. Elec. Gen. Board, 1967, England.
- [13] " Uçucu Kül Standartı ", TS 639, 1975.

- [14] ANDERSON, M., JACKSON, G., "The beneficiation of Power Station Coal and Its Use in Heavy Clay Ceramics ", Trans. J. Brit. Ceram. Soc., Vol.82, No.2, pp.50- 55, 1993.
- [15] MUKHERJI, S.K., MACHHOYA, B.B., SAVSANI, R.M., VYAS, D.R., DAN, T.K., " The Utilisation of Fly Ash in The Preparation of Ceramic Tableware and Artware ", Br. Ceram. Trans., pp.254-257, No.6, 1993.
- [16] SHADMAN, F., CUMPSTON, B., RISBUD, S., "Utilisation of Coal Ash Minerals For Technological Ceramics ", Journal of Materials Science, 27, pp.1781-1784, 1992.
- [17] CIOFFI, R., PERNICE, P., ARONNE, A., QUATTRONI, G., " Nucleation and Crystal Growth in Fly Ash Derived Glass ", Journal of Materials Science, 28, pp.6591-6594, 1993.
- [18] ERDOĞAN, T.Y., " Türkiye Uçucu Külleri-Üretim, Kullanılma Olanakları, Sorunlar ve Öneriler ", E.İ.E. Yayın No: 82-19, Sh.15, 1982, Ankara.
- [19] EDİL, B.T., BERTHAUEX, P.M., VERGERMEN, K.D., " Fly Ash As a Potantial Waste Liner ", Geotechnical Practice For Waste Disposal, 87, Geotechnical Special Publication No.13, Ed. R.D. Woods. ASCE Newyork, N.Y., pp.447-461, 1987.
- [20] ÖZKAN, O.T., " Türkiye 'deki Ticari Bentonit Kallerinin Özellikleri ve Kullanım Alanlarının Tesbiti ", TÜBİTAK MAM, Malzeme Araştırma Bölümü, Proje No: 04 7652-1, 1979.
- [21] ÇAVUŞOĞLU, E.N., " Döküm Teknolojisi ", İ.T.Ü., Gümüşsuyu Matbaası, 1981, İstanbul.
- [22] AYAZ, M., " Bentonit Bağlayıcılı Döküm Kumunun Kalıplama ve Döküm Değerlerine Etkisi ", İ.T.Ü. Sakarya Müh. Fak., 1988, Sakarya.
- [23] DASAND, C.W., VACHER, H.C., " Bentonite, Its Properties, Mining, Preparation and Utilisation ", U.S. Bur. Mines Tech., No. 609, pp.83, 1940.
- [24] ERDEM, A., SÖZER, Z., " Seramik Testleri ve Hesaplamaları ", Seramik Teknoloji Tasarım Tezi, Anadolu Üniversitesi, 1990, Eskişehir.
- [25] " Minerals For The Chemical and Allied Industries ", pp.69-75.
- [26] ŞENGİL, A., AYDIN, A.O.; YILDIZ K." Kolemanit Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi ", Tübitak Projesi, No: Yag.21, 1993.

- [27] ARCASOY, A., " Seramik Teknolojisi ", Marmara Üniv., Güz., San., Fak., 1983, İstanbul.
- [28] ÖZKAN, O.T., KINIKOĞLU, S., TAŞAR, M.S., " Seramik Hammaddelerine Uygulanan Kimyasal Analiz ve Test Metodları ", TÜBİTAK MAM, Malzeme Araştırma Bölümü, Proje No: 03-1601-7801, 1979.
- [29] " Modulus of Rupture of Refractory Materials at Elevated Temperatures ", ASTM C 583-80, Annual Book of ASTM Standards, Parts.17-44, pp.259-262, 1982.



ÖZGEÇMİŞ

1969 Yılında Sivas/Zara 'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı yerde tamamladıktan sonra, Zara Lisesi 'ni birincilikle bitirdi. Aynı yıl girdiği İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü 'nden bölüm ikincisi olarak mezun oldu ve İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü 'ne girmeye hak kazandı. Burada, Dil ve İnkılap Tarihi Bölümü 'nde bir yıl İngilizce hazırlık sınıfını okuduktan sonra Metalurji Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi Programında yüksek lisans öğrenimine devam etti.

1992 Yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atanan Şaduman ERGÜT, halen bu görevini sürdürmektedir.

F.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DONÜMANTASYON MERKEZİ