

**T.C.**

**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**KÖMÜR KÜLÜNÜN ÇİMENTO ESASLI KİLİT PARKE  
TAŞLARININ BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Osman OKUR**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Fuat KÖKSAL**

**Yozgat 2019**

T.C  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110712006 numaralı öğrencisi Osman OKUR 'un hazırladığı “**Kömür Külünün Çimento Esaslı Kilit Parke Taşlarının Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 30/01/2018 günü saat 10:00’da yapılmış, tezin onayına ~~OY ÇOKLUĞU~~ / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR

Üye: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL (Danışman)

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 21.07.2019 tarih ve

10...sayılı kararı ile onaylanmıştır.

21.07.2019

  
Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI  
Müdür

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	v
<b>KISALTMALAR</b> .....	vii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI</b> .....	4
2.1. Kömür .....	4
2.1.1. Koklaştırma .....	10
2.1.2. Sıvılaştırma .....	10
2.1.3. Gazlaştırma .....	11
2.1.4. Briketlenme .....	12
2.1.5. Kömür İçerisindeki İz Elementler Ve Yanma Sırasındaki Davranışları .....	13
2.1.6. Yanma Sonucu Oluşan Küller .....	15
2.2. Kömür Külü .....	16
2.2.1. Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri .....	18
2.2.2. Puzolanik Özellikleri .....	19
2.2.3. Küllerin Kullanım Alanları .....	19
2.2.4. Küllerin Çevresel Etkileri .....	20
2.3. Kömür Küllerinin Çimento Esaslı Malzemelerin Özelliklerine Etkisi .....	21
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	28
3.1. Deneysel Malzemeler .....	28
3.1.1. Çimento .....	28
3.1.2. Atık Kömür Külü .....	29
3.1.2. Agrega .....	36
3.1.4. Karışım Suyu .....	37
3.2. Karışım Oranları .....	38
3.3. Numune Üretimi .....	39
3.4. Deneyler .....	44

3.4.1. Kuru Birim Ağırlık .....	44
3.4.2. Su Emme.....	45
3.4.3. Porozite .....	47
3.4.4. Aşınma Direnci.....	49
3.4.5. Yarma Dayanımı.....	50
3.4.6. Donma-Çözülme .....	54
<b>4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>57</b>
4.1. Fiziksel Özellikler.....	57
4.1.1.Kuru Birim Ağırlık .....	57
4.1.2. Su Emme.....	58
4.1.3. Porozite .....	60
4.1.4. Donma – Çözülme .....	61
4.2. Mekanik Özellikler .....	62
4.2.1. Yarma Dayanımı.....	62
4.3. Dayanıklılık Özellikleri .....	67
4.3.1. Aşınma Direnci.....	67
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>77</b>

**KÖMÜR KÜLÜNÜN ÇİMENTO ESASLI KİLİT PARKE TAŞLARININ  
BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Osman OKUR**

**Yozgat Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2019; Sayfa: 77**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL**

**ÖZET**

Bu çalışmada kömür külü ilave edilerek üretilen çimento esaslı parke taşlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Üç farklı kömür külü üç farklı oranlarda kömür külü çimento miktarının %10, %20, %30, oranlarında çimento miktarıyla yer değiştirilmesi ile numuneler üretilmiştir. Standart küre tabii tutulan kilit parke taş numunesine herhangi bir ilave katılmamıştır ve referans olarak kabul edilmiştir. Üretilen kilit parke numuneleri üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla, birim ağırlık, su emme ve porozite değerlerinin belirlenmesi, aşınma ve donma çözünme deneyleri yapılmıştır. Mekanik dayanımların tespiti için ise yarma dayanımı deneyi yapılmıştır.

Çalışmada üretilen beton kilit parke taşlarının kuru birim ağırlıklarında azalma gözlenirken, su emme ve porozite oranlarında artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar daha ince bir yapıya sahip olan kömür cüruflarının bir neticesi olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada kullanılan 3 farklı kömür cürufu 90 günlük yarma dayanımı KC-1 kodlu cüruf %10 ve %20 oranlarında, KC-2 kodlu cüruf ise %10 ve 360 günlük yarma dayanımında ise KC-3 kodlu cüruf %10 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirdiğinde beton parke taşları için ilgili standartta verilen minimum kriterleri sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür külü, kilit parke, kömür cürufu.

**SOME OF THE CEMENT BASED LOCKED PARTS PAVER STONES PRODUCED  
FROM COAL ASH ARE PHYSICAL AND MECHANICAL  
EFFECT ON FEATURES**

**Osman OKUR**

**Yozgat Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of civil engineering  
Master of science thesis**

**2019; Page: 77**

**Thesis Supervisor: Prof.Dr. Fuat KÖKSAL**

**ABSTRACT**

In the study, the effect of the cement ash padlocks on the physical and mechanical properties of the cements was investigated. Three different coal ash samples were produced by replacing three different amounts of coal ash cement with 10%, 20%, 30% cement content. No additive was added to the sample of the standard sphere-treated paving stone and was accepted as a reference. In order to determine the physical properties on the produced key parquet samples, unit weight, water absorption and porosity values were determined, wear and freeze dissolution tests were performed. For the determination of mechanical strengths, the strength of the shear test was performed.

While the dry unit weight of the concrete paving stones produced in the study decreased, water absorption and porosity rates increased. These results are considered as a result of coal slag with a finer structure. 3 different coal slag used in the study 90-day splitting strength KC-1 coded slag was 10% and 20%, KC-2 coded slag was 10% and in 360-day splitting KC-3 coded slag with 10% and 20% cement content When it changes, it has been observed that the minimum criterion for concrete paving stones meets the relevant standards.

**Keywords:** Coal Ash, Paving Stone, Coal Slag

## TEŞEKKÜR

Deneyleirim ve çalıŐmalarım boyunca bilgi ve tecrübese ile bana her konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fuat KÖKSAL hocama çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen baŐta Sayın Dr. Öğr. Üyesi YuŐa ŞAHİN 'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN 'e, emeği geçen Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli hocalarıma hem eğitim hem de deneysel çalıŐmalarım tamamlanıncaya kadar geçen süre içerisinde her aŐamada bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim. Sevgili eŐim AyŐe OKUR ve biricik kızım Alya Duru'ya son olarak en büyük Őükranlarımı kıymetli annem Sevim OKUR ve babam Fikret OKUR 'a sunarım.

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Kömürde Bulunan Minerallerin Listesi .....	6
<b>Tablo 2.2.</b> Çevresel Etkisine Göre İz Elementlerin Sınıflandırılması .....	14
<b>Tablo 3.1.</b> Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri .....	28
<b>Tablo 3.2.</b> Çalışmada Kullanılan Atık Küllerin Elek Analiz Sonuçları .....	31
<b>Tablo 3.3.</b> Kömür Cürufu Yoğunluğu Değerleri .....	32
<b>Tablo 3.4.</b> Çalışmada Kullanılan Küllerin Kimyasal Özellikleri .....	34
<b>Tablo 3.5.</b> Parke Taşı Numuneleri İçin Karışım Miktarları .....	38
<b>Tablo 3.6.</b> Parke Taşı Üretiminde Kullanılan Tipik Numune Boyutu .....	42
<b>Tablo 3.7.</b> Birim Ağırlık Deney Sonuçları .....	44
<b>Tablo 3.8.</b> Su Emme Deney Sonuçları .....	46
<b>Tablo 3.9.</b> Porozite Deney Sonuçları .....	48
<b>Tablo 3.10.</b> Aşınma Deneyi (Kütle Kaybı) Oranı Deney Sonuçları .....	49
<b>Tablo 3.11.</b> 90 Günlük Numunelere Ait Yarma Dayanımı Deney Sonuçları .....	51
<b>Tablo 3.12.</b> 360 Günlük Numunelere Ait Yarma Dayanımı Deney Sonuçları .....	53
<b>Tablo 4.1.</b> 90 Günlük Yarma Dayanım Deney Sonuçları .....	62
<b>Tablo 4.2.</b> 90 ve 360 Günlük Yarma Dayanımı Deney Sonuçları Karşılaştırılması .....	65



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Dünyadaki Enerjilerin Cinslerine Göre Gösterimi .....	5
Şekil 2.2. Dünyada Bulunan Kömür Rezervlerinin Ülkelere Göre Dağılımı .....	7
Şekil 2.3. Dünya Linyit Rezervlerinde Ülkelerin Payları .....	8
Şekil 2.4. Dünyada 2013 Yılındaki Kömür Üretim Miktarları .....	9
Şekil 2.5. Dolaylı Yönden Sıvılaşmayı Gösteren İşleyiş Şeması .....	11
Şekil 2.6. Winkler Gazlaştırıcısının Akım Şeması .....	12
Şekil 2.7. Yanma Sırasında Ve Sonrasında İz Elementlerinin Durumu .....	15
Şekil 2.8. Yanma Sırasında Oluşan Küllerin Kazandan Çıkışı.....	17
Şekil 3.1. Şeker Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası .....	29
Şekil 3.2. Çoşkunlar Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası .....	30
Şekil 3.3. Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası.....	30
Şekil 3.4. Elekten Geçen Küllerin Elek Analizi Eğrisi .....	32
Şekil 3.5. Şeker Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-1) .....	33
Şekil 3.6. Çoşkunlar Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-2).....	33
Şekil 3.7. Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-3).....	33
Şekil 3.8. Şeker Fabrikası (KC-1) Elektron Mikroskobu Görüntüsü.....	35
Şekil 3.9. Çoşkunlar Tuğla Fabrikası (KC-2) Elektron Mikroskobu Görüntüsü .....	35
Şekil 3.10. Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası (KC-3) Elektron Mikroskobu Görüntüsü .....	36
Şekil 3.11. Agregaya Ait Tane Dağılımı Eğrisi.....	36
Şekil 3.12. Çalışmada Kullanılan (0-7) mm Boyutlarındaki Agregası.....	37
Şekil 3.13. Çalışmada Kullanılan (7-15) mm Boyutlarındaki Agregası.....	37
Şekil 3.14. Üretim Şeması ve Otomasyon Sistemi .....	39
Şekil 3.15. Makina Kontrol Paneli.....	40
Şekil 3.16. Üretim Başlangıcı Görünümü.....	40
Şekil 3.17. Numune Üretilirken Uygulanan Baskı Makinesi .....	41
Şekil 3.18. Numune Üretilirken Uygulanan Baskı Makinesi .....	41
Şekil 3.19. Çalışmada Üretilen Numune Örneği .....	42
Şekil 3.20. 24 Saat Kür Odasında Bekletilen Numuneler.....	43
Şekil 3.21. Numune Kırılma İşlemi .....	43
Şekil 3.22. Su Emme Deneyi Numune Görünümü .....	47
Şekil 3.23. Sudaki Ağırlığın Tartımı .....	47
Şekil 3.24. Aşınma Deneyi Böhme Cihazı Görünümü .....	50
Şekil 3.25. Yarma Deneyi Düzeneği .....	52

<b>Şekil 3.26.</b> Yarma Deneyi Sonrası Numunelerin Görünümü .....	52
<b>Şekil 3.27.</b> Yarma Deneyi Düzenegi Sorgun Taş Ltd. Şti .....	54
<b>Şekil 3.28.</b> Numunelerin Kesilmesi .....	55
<b>Şekil 3.29.</b> Kesilen Numunelerin Görünümü.....	55
<b>Şekil 3.30.</b> Numunelerin Deneye Hazır Hale Getirilmesi.....	56
<b>Şekil 3.31.</b> Donma-Çözülme Deneyi İçin Hazırlanan Numune Görünümü .....	56
<b>Şekil 4.1.</b> Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Değişimi .....	57
<b>Şekil 4.2.</b> Numunelerin Su Emme Oranı Değişimi.....	58
<b>Şekil 4.3.</b> Kömür Cürufu Miktarına Bağlı Porozite Oranı.....	60
<b>Şekil 4.4.</b> 90 Günlük Küre Tabi Numunelerin Yarma Dayanımı Deneyi Grafiği .....	63
<b>Şekil 4.5.</b> 90 ve 360 Günlük Numunelerin Yarma Dayanımı Deney Grafiği.....	66
<b>Şekil 4.6.</b> 90 Günlük Küre Tabi Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları.....	67

## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	:	Amerika Birleşik Devleti
<b>CTF</b>	:	Coşkunlar tuğla fabrikası
<b>DEK</b>	:	Dünya Enerji Konseyi
<b>KK</b>	:	Kızdırma kaybı
<b>MPa</b>	:	Mega Pascal
<b>Mtep</b>	:	Milyon ton eşdeğer petrol
<b>Mt</b>	:	Milyon ton
<b>ŞF</b>	:	Şeker fabrikası
<b>KC-1</b>	:	Şeker Fabrikası Kömür Atığı (Cürufu)
<b>KC-2</b>	:	Coşkunlar Tuğla Fabrikası Kömür Atığı (Cürufu)
<b>KC-3</b>	:	Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası Kömür Atığı (Cürufu)
<b>TS</b>	:	Türk Standartları
<b>EN</b>	:	Avrupa Normu
<b>UK</b>	:	Uçucu Kül
<b>ÜYTF</b>	:	Üç Yıldırım tuğla fabrikası

## 1. GİRİŞ

Günümüzde beton yapı malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistemlerin yapımından yüzey ve zemin kaplama malzemesi imal edilmesine kadar birçok değişik hedef doğrultusunda, çok farklı yapılarda ve oranlarda üretilmektedir. Beton parke taşı, genellikle şehirleşmenin fazla olduğu yüksek tonajlı araç yoğunluğunun fazla olmadığı otoyollarda ve çevre düzenlemesi yapımında sıkça kullanılan kullanışlı, elverişli ve üretimi kolay yapı elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

Çevremizde sıkça karşımıza çıkan beton parke taşları, toplum tarafından kabul görmüş şekliyle kaplama malzemesi olarak tercih sebebi olmuştur. Birçok bina ve site çevresinde sıkça kullanılan ve birçok yapıya uygun parke taşı, görsel görüntüsü ve sağlamlığı ile kendini göstermektedir. Genellikle şehrin iç yollarında ve kaldırımların kaplanmasında fabrika çevrelerinde yolların büyük kısmında, otomobillerin park sahasında, ticaret merkezlerinin çevrelerinde, sürekli çalışma yapılan çevrelerde değerlendirilmektedir. İçinde bulunduğumuz bu zamanda beton parke taşlarının önemi ve talebi gözle görülür şekilde arttığı görülmektedir [1].

Parke taş kullanımı geçmişi Romalılara kadar uzanan doğal taş malzemeli parke taşı günümüzde yerini betonarme parke taşına bırakmıştır. Üretim hızı, kalitesi ve dayanaklılığı ile ön plana çıkan betonarme parke taşının üretimin aşamasında çimentoya katılan küllerin değerlendirilmesi ile kimyasal etkilere dayanıklı, ekonomik ve atık malzemeyi değerlendiren bir üretim olması hem ekonomiye hem de çevreye katkısı olacağı düşünülmektedir [1,2].

İçinde bulunduğumuz bu zamanda kömürün en değerli enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Yaşadığımız bu ülkede termik santraller, fabrikalar ve birçok tesisler enerjilerini kömür ve yüksek kül ihtiva eden linyitlerden sağlamaktadır. Kullanılan bu kömürlerin yanmalarının bir sonucu olarak taban külü, kömür cürufu ve uçucu kül gibi atık malzemeler açığa çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak son derece önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar ekonomiyi, toplumsal sağlığı ve yaşamı zora sokmaktadır [3].

Kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin özellikleri yanmış olan kömürün cinsine yapısına ve yanma sistemine göre değişkenliğe sahip olur. Özellikle alümin ve silis içeren bileşimler bağlacı özelliği dolayısıyla beton ve çimento ihtiva eden karışımlara ilave malzeme şeklinde faydalı olmaktadır. Beton yapılarda işlenebilme özelliğinin artmasını sağlayan ana özelliği küreye benzeyen taneleri ve ince yapıda olmasıdır. Diğer özelliği ise çimentonun hidrasyon ısısının azalmasına sebep olmasıdır. Kül birçok malzemeyle reaksiyona girme özelliği vardır, hidrasyon sonucunda ortaya çıkan kireçle reaksiyonu sonucunda puzolanik özellik gösterirler. Yanma sonucunda oluşan küllerin içerisindeki kireç miktarı yanan kömürün cinsine göre artıp azalmaktadır [4].

Dayanımı yüksek beton ile bulunduğu bölgeye ve enerji kaynaklarının daha az tüketilmesi sağlanabilir. Bunu da ancak enerji kaynaklarını azaltarak değil daha çok atık ürün kullanarak başarabiliriz. Gezegenimizin yarınlara varabilmesi için kullandığımız enerjilerden açığa çıkan atıkların diğer bir sektörde endüstriyel madde olarak kullanılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu şekilde yaşadığımız çevreye daha az zarar vermiş oluruz [5].

Beton kilit parke taşlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması ile ilgili birçok bilimsel çalışma mevcuttur [6].

Çimento esaslı beton kilit parke üretilirken suyun özelliği, kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, makine ekipman özelliği, kürlenme sıcaklığı ve uygulanan pres baskı üretilen ürünün kalitesini oluşturmaktadır [7].

Beton kilit parke taşlarının fiziksel görünüşünü inceleyecek olursak alt kısım taşıyıcı özellik gösterirken üst tabaka daha çok görsel ve kilit parkenin genel şeklini oluşturmaktır. Bu tabakalar kullanılan agreganın türene göre değişkenlik gösterir. Kullanılan agregalar çeşitli deney ve testlere tabi tutularak en iyi ve en kullanışlı kilit parke taş üretmek için teknolojik test makinelerle en iyi karışım hazırlanır. Yapılan deneyler alt tabaka için donma- çözülme, üst tabakalar içinse kullanılan agreganın elek analizleri ve özgül ağırlıkları bilinmesi gerekmektedir [7].

Günümüzde birçok kurum ve kuruluşlar çimento esaslı kilit parke taşın yaygın kullanılmasını önermektedir. Üretim kolaylığı ve ekonomik avantajları gibi nedenlerden dolayı kullanım oldukça yaygınlaşmıştır [7].

Bu çalışma, kömür külünün çimento esaslı kilit parke taşlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi altında nasıl bir davranış sergileyeceğinin araştırılmasını içermektedir. Yapılan deneysel çalışmada kömür külü ilave edilen çimento esaslı kilit parke taş harcına Menşei farklı 3 tip kömürü yakıt olarak kullanan 3 farklı işletmeden (2 adet tuğla fabrikası ve 1 adet şeker fabrikası) temin edilen kömür atıklarının (cürufplarının) kilit parke taşı üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan kömür cürufplarının çimentonun yerine %10, %20 ve %30 oranlarda yer değiştirmesi ile üretilen beton kilit parke taşlarının kuru birim ağırlığı, su emme, porozite, aşınma direnci, donma-çözülme direnci ve mukavemet (yarma dayanımı) deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde kömür külünün çimento esaslı kilit parke taşlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1. Kömür

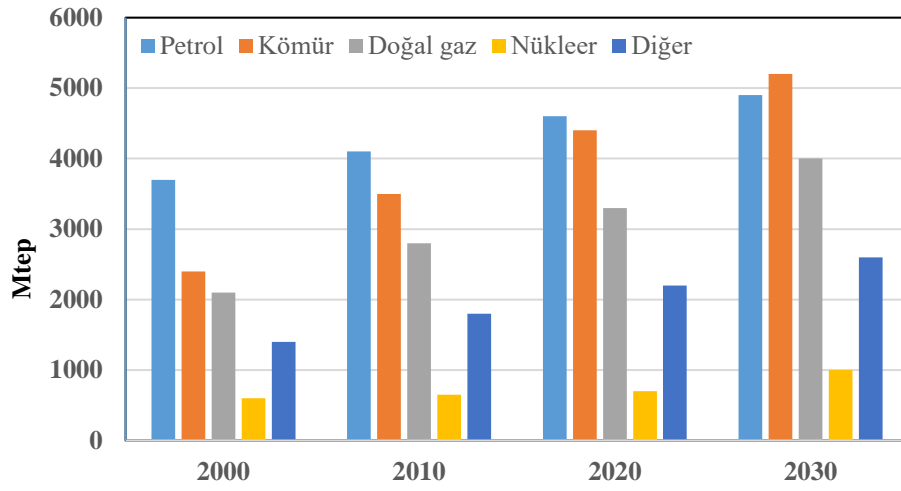
Kömür, içerisinde %55-%95 arasında karbon ihtiva eden ve havadaki oksijen ile reaksiyona girebilen üründür. Kömür sedimenter bir kayaç olmasından dolayı birçok heterojen malzemelerden oluşmuştur. Bu oluşum onun fiziksel ve kimyasal özelliğine bağlı olarak oluşumu uzun süreç alan belirli bir katman boyunca ısı ve basınçla şeklini alan bir ürün olduğunu göstermektedir. Kömür oluşumu itibariyle geniş alanlarda kendini göstermektedir. Üretim rezervleri bir hayli fazla ve sağladığı avantajlar enerji ihtiyacı yönünden kömürü önemli bir konumda tutmaktadır [8,9].

Günümüzdeki üretim seviyesine kıyasla 4 kat rezerve sahip olması, geniş coğrafyada saptanması, üretim, lojistik ve tüketimin kolay olması, düşük maliyetli ve yüksek güvenilirliği nedeniyle önemli bir enerji kaynağı olan fosil bir yakıttır [8,9].

Kömür oluşumu 2 kademede açıklanabilir:

1. Turbalaşma: Kömürün oluşum olayıdır. Kömürün fosil bir yakıt olmasından dolayı uğradığı dönüşümlerden dolayı linyit, turba, taş kömürü ve antrasit olarak şekillenmektedir. Kömürün oluşumu metamorfik ve biyokimyasal olarak şeklini korumuştur. Toprağın altında katmanlaşmış şekilde yeraltı buda onun fosil atık olarak geçirdiği evrelere bağlı olarak değişime uğrar bu sayede turbalaşma evresini oluşturmuş olur [10].
2. Kömürleşme: Turbalaşmayla oluşan ürünler yeraltında yaşanan çeşitli değişimlerin etkisi ile linyit kömürü, bitümlü kömür, antrasit gibi kömürleri oluşturmaktadır. Yer kabuğunun altında basınç ve sıcaklıkla şekillenen turbalar yaşanan reaksiyonlar sonucunda kömür oluşumunu tamamlamaktadırlar [11,12].

Uluslararası Enerji Ajansı gibi Çeşitli ajanslar aracılığıyla kömürün öneminin hızla artacağı mevcut petrol rezervinin önemini kaybedeceği yorumunda bulunmaktadır. Buna göre gelecek yıllara bakılınca kömür hızla enerji hammadresi olarak kullanılacak ve 2030 yılına gelindiğinde zirve yapacaktır. Buna oranla petrol, doğalgaz ve nükleer yakıtların önemini kaybedeceği Şekil 2.1’de görülmektedir [13].



**Şekil 2.1.** Dünyadaki Enerjilerin Cinslerine Göre Gösterimi [13]

Kömürlerdeki inorganik bileşenlerin cins ve miktarları, kömürlerin jeolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Kömürlerde gözlenen mineraller Ward (2002) raporunda gösterilmiştir [14]. Kömürlerde gözlenen önemli inorganik bileşenler bataklık ortamındaki su akış hızının düşmesi sonucu detritik olarak ortama gelen kuvars, feldispat ve kil mineralleridir. Kaolinit ve pirit gibi mineraller ise gömülme ve kömürleşme sırasında diyajenetik süreçlerle çoğunlukla sinjenetik olarak oluşmaktadır. Kömürler içinde gözlenebilen üçüncü tip mineraller ise kömürleşmeden sonra kırık ve çatlaklarda epijenetik olarak oluşan (örneğin kalsit, pirit vb.) minerallerdir Tablo 2.1.’de gösterilmektedir [14].

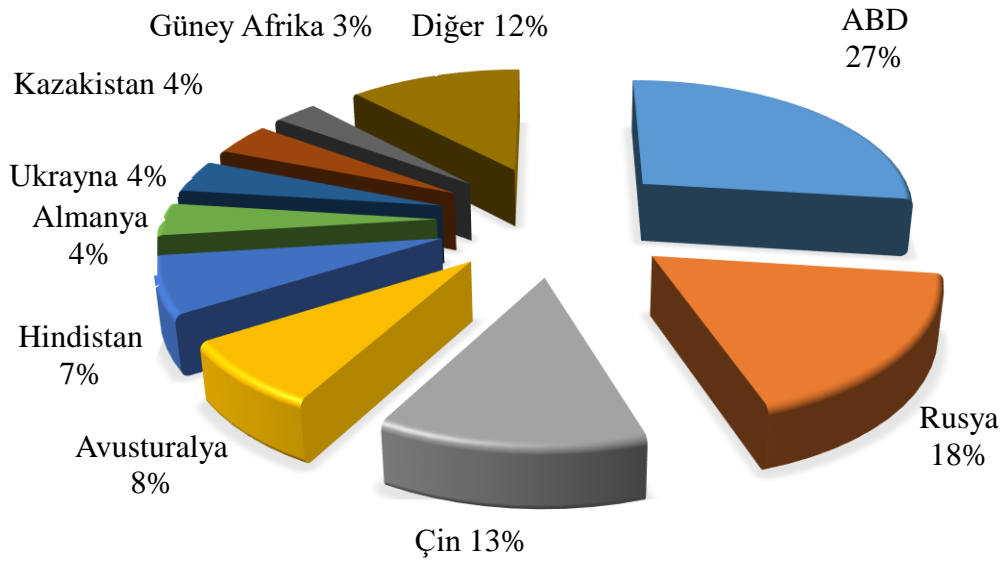


**Tablo 2.1.** Kömürde Bulunan Minerallerin Listesi [14]

<b>Silikalar</b>	<b>Karbonatlar</b>
• Kuvars	• Kalsit
• Kalsedon	• Aragonit
• Kil Mineralleri	• Dolomit
▪ Kaolinit	• Ankerit
▪ İllit	• Siderit
▪ Smektit	• Davsonit
▪ Klorit	• Stronsiyonit
▪ İnterstratifye kil mineralleri	• Viterit
• Feldispatlar	• Alstonit
• Turmalin	<b>Sülfatlar</b>
• Analsim	• Jips
• Klinoptilolit	• Bassanit
• Höylandit	• Anhidrit
<b>Sülfidler</b>	• Barit
• Pirit	• Rozenit
• Markasit	• Natrojarosit
• Pirotit	• Globerit
• Sfalerit	<b>Diğer Mineraller</b>
• Galen	• Anataz
• Stibnit	• Rutil
• Millerit	• Boehmit
<b>Fosfatlar</b>	• Götüt
• Apatit	• Krokoit
• Krandalit	• Kromit
• Ksenotim	• Zirkon
• Monazit	
• Goyazit	
• Gorseiksit	

DEK tarafından yapılan araştırmada 2011 yılının sonları ile dünya kömür stoku toplamda 892 milyar ton olarak belirlenmektedir. Bu rezervin 403 milyar ton kadarı antrasit olarak 287 milyar tonu ise bitümlü kömür şeklinde görünmekte kalan kısım olan 201 milyar ton linyit olarak kayıtlara geçmektedir [15].

Bu araştırmaların sonucunda yaklaşık 80 ÷lkede kömür rezervleri bulunmaktadır. Bu rezervlerin en büyüğü 237,3 milyar ton ile ABD’de bulunmaktadır. şekil 2.2 ye bakacak olursak %27 ile ABD’ yi ilk sırada görmekteyiz. Sırasıyla Rusya %18 ile onu takip eden Çin %13, Avusturya %8, Hindistan %7, Almanya %4, Ukrayna %4, Kazakistan %4 ve Güney Afrika %3 şeklinde toplam 9 ÷lke %88 kömür rezervini elinde bulundurduğu gör÷lmektedir. Diğer ÷lkeler ise %12 gibi bir rezerve sahip oldukları şekil 2.2 de gör÷lmektedir [15].

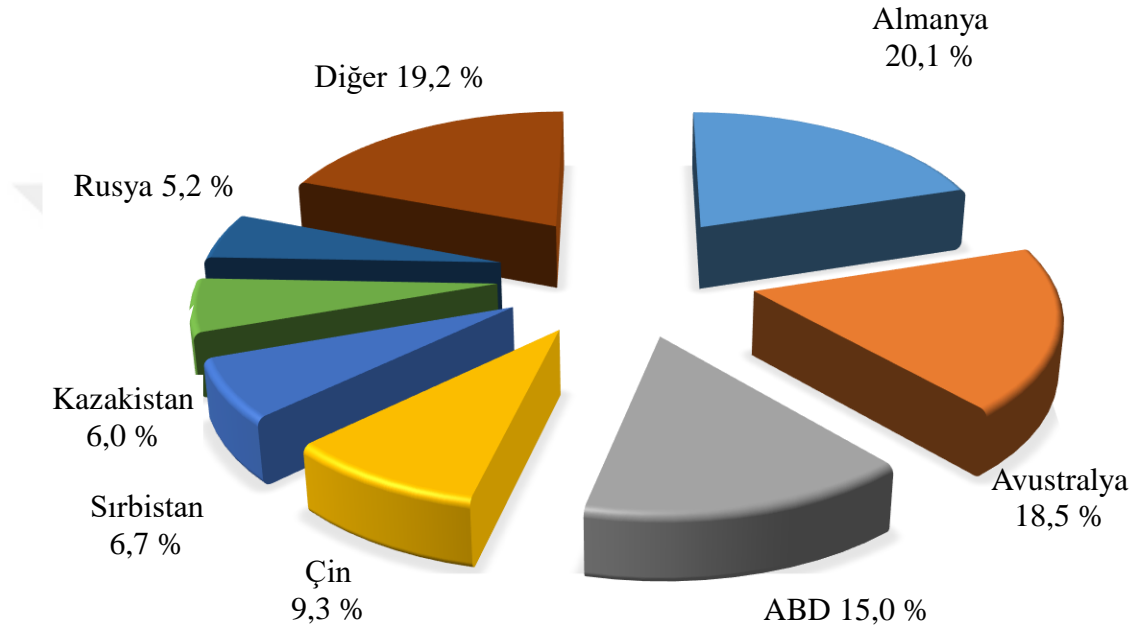


**şekil 2.2.** Dünyada Bulunan Kömür Rezervlerinin Ülkelere Göre Dağılımı [15]

Dünya ÷lkeleri arasında Almanya en büyük linyit kapasitesine sahip olarak karşımıza çıkmaktadır. Almanya’nın sahip olduğu linyit rezervi dünya rezervleri arasında %20,1 orana sahip ve yaklaşık 40,5 (mt) ile hatırı sayılır bir büyüklüktedir. Almanya’yı %18,5 oranla Avusturya takip etmekte ve 37,2 (mt) gibi bir büyüklüğe sahiptir. Bu ÷lkeleri sırasıyla ABD 30,2 (mt) ile oranı %15,0 olarak kayıtlara geçmektedir. Çin 18,6 (mt) ve oranı %9,3, Sırbistan 13,4 (mt) oranı %6,7, Kazakistan 12,1 (mt) ve oranı

%6,0, Rusya 10,5 (mt) ve oranı %5,2 ve son olarak diğer ülkelerin oranı ise %19,2 ile dünya linyit rezervlerini oluşturmaktadırlar.

Ülkemizin rezervi ise 13,9 (mt) olarak görülmekle beraber resmi rakamların DEK göre 8,4 (mt) gibi kayıtlara geçmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.3'te dağılımı görülmektedir [15].

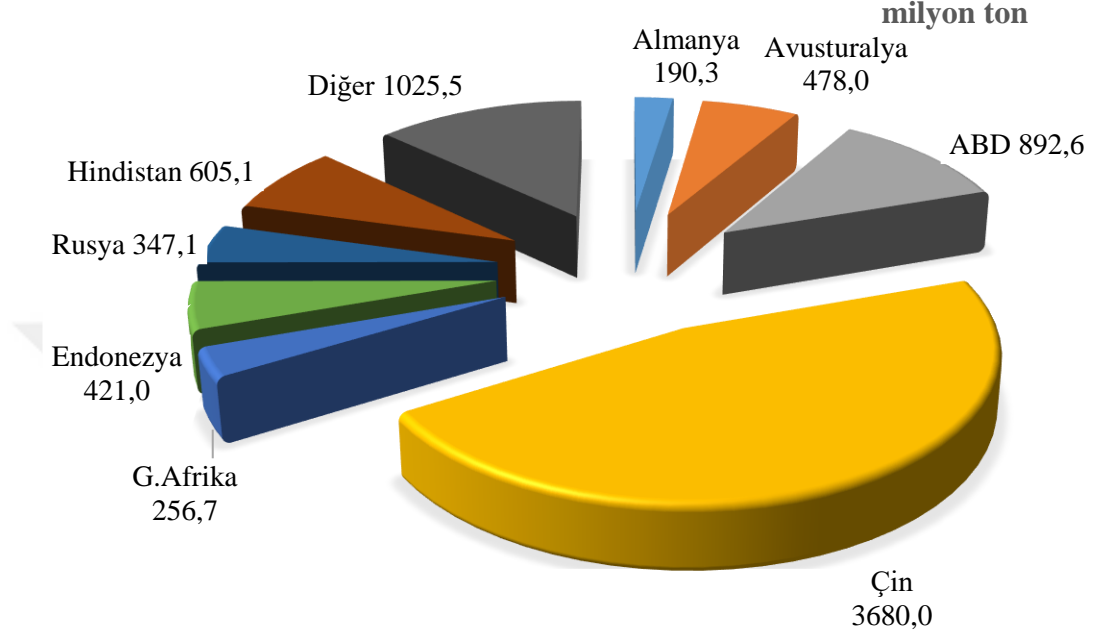


**Şekil 2.3.** Dünya Linyit Rezervlerinde Ülkelerin Payları [15]

Çin 2013 yılında dünyada kömür üretimi en büyük payı alan ülke olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçekleştirmiş olduğu üretim miktarı %46,6 ile 3,680 (mt) olarak hesaplanmıştır.

Bu ülkeyi sırasıyla ABD %11,3 oranla 892,6 (mt), Hindistan %7,7 oranla 605,1 (mt) olmuştur. Üretim miktarları ve oranları ülkelerin ihtiyaç ve kapasitelerine göre değişkenlik göstermektedir. Avustralya oranı %6,1 ve 478 (mt) ve diğer ülkeler aşağıdaki Şekil 2.4'te gösterildiği gibi yer almaktadır. Bu bize dünya ülkelerinin

üretimde ve enerji ihtiyaçlarında kömürün ne denli önemli olduğunu göstermektedir [16].



**Şekil 2.4.** Dünyada 2013 Yılındaki Kömür Üretim Miktarları [16]

Kömür 'ün önemi ülkeler arasında değişebildiği gibi gelişmişlik seviyesine görece değişkenlik göstermektedir. 2000 ile 2013 yılları arası verilerine baktığımızda gelişmekte olan ülkeler arasındaki üretim artışı göze çarpmaktadır, buna en güzel örnek %446 kömür üretim artışı ile Endonezya en başı çekmektedir. Bu dönem arasında gene dikkat çeken üretim artışı %255 ile Vietnam'a aittir. Devam eden ülkeler %166 oranla Çin, %124 Kolombiya ve %124 oranla Hindistan göze çarpmaktadır. Avrupa'daki ülkeler arası geneline baktığımızda Macaristan, İspanya, Çek Cumhuriyeti ve İngiltere'de kömür üretim oranı ciddi şekilde azalma kayıtlara geçmiştir [16].

Dünya'da üretilen kömürün kullanım amacına göre değişiklik gösterir, elektrik üretiminden fabrikaların enerji ihtiyacına ve ulaşımdan konutların ısınmasına kadar

birçok alanda kullanılmaktadır. Bununla birlikte kömürün mevcut teknolojiyle asileştirilmesi ve üretilen ürün yelpazesini genişletmesi kömürün kullanım yaygınlığını artırmaktadır. Bu ürünleri oluşturan yöntemler koklaştırma, sıvılaştırma, gazlaştırma ve briketlenme şeklinde sıralanır [16].

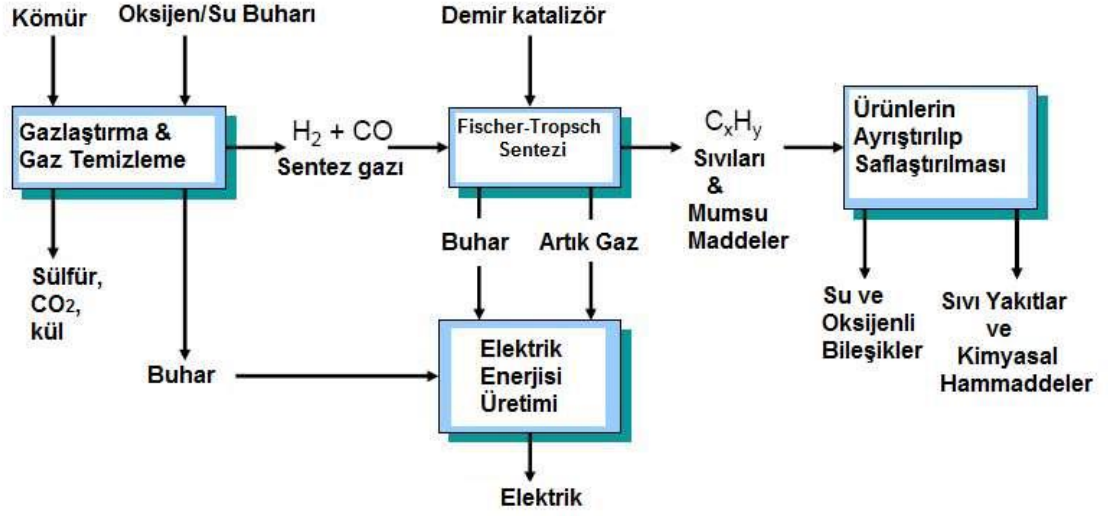
### **2.1.1. Koklaştırma**

Bazı taş kömürlerinde oluşan koklaştırma özelliği şu şekilde açıklanabilir. Kömürün yumuşaması için belirli bir sıcaklığa ulaşması gerekir bu sıcaklık yaklaşık 350 ile 500 °C olarak bilinir. Bu sıcaklığa ulaşan kömürler akışkanlık özelliği göstererek koyu bir renk görünümüne kavuşurlar böylece sıvı özellik gösteren bu özelliğe kömürün plastikleşmesi denir. Bunun nedeni ise termik parçalanmaya uğrayan kömürün ortamda katran birikimi oluşturmasından dolayıdır. Kömürün koklaştırması işlemi ise oksijen olmayan ortamlarda sıcak işleme tabi tutularak gerçekleşir, bunun nedeni karbon oranının artırılmasını sağlamaktır. Bu işleme koklaştırma denir. Bu ortamda ısı işleme tabi tutulan kömür kimyasal işleme uğramakta ve moleküler parçalanmaya maruz kalmaktadır. Böylece kömür içerisinde ayrışmalar olmakta, bu ayrışmalar neticesinde katı sıvı ve gaz ürünler oluşmaktadır. Bu işlem sonunda kalan katı kısma kok denirken geriye kalan kısımlar sıvı ve gaz şeklinde ayrışarak uçucu madde adını alırlar [17].

### **2.1.2. Sıvılaştırma**

Sıvılaştırma dolaylı ve doğrudan olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Kömürün gaz halinden üretilen sentez gazıyla üretilmesi işlemine dolaylı sıvılaştırma denir. Bu olay aşağıdaki Şekil 2.5'te gösterildiği gibidir [17,18].

Doğrudan sıvılaştırma ise kömürün hidrojen gazı veren çözücüyle karıştırılmasıyla tepkime vererek belirli sıcaklığa ve belirli basınca maruz kalarak sıvılaşmasına denir [17,18].

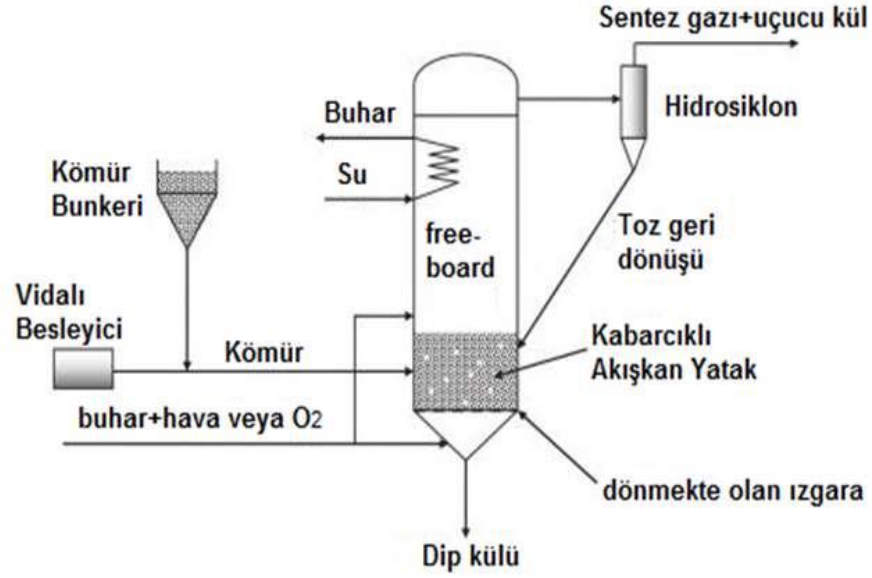


Şekil 2.5. Dolaylı Yönden Sıvılaşmayı Gösteren İşleyiş Şeması [18]

### 2.1.3. Gazlaştırma

Kömürün gaz haline dönmesiyle ulaşımı ve depolanması kolay, doğaya salınan karbon miktarı daha da azalmış olur ve daha safsızlıklardan da arınmış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kömürün bu özelliğiyle gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerin gazlaşmış kömür yakıtı üzerine yoğunlaşmaları ilgi çekicidir. Bunun nedeni ise artan petrol fiyatları gazlaşmış kömürün kolay taşınması ve kömür rezervinin fazla olması gösterilebilir [17,18]. Gazlaştırma işlemi akım şeması Şekil 2.6’da gösterilmektedir [19].



Şekil 2.6. Winkler Gazlaştırıcısının Akım Şeması [19]

#### 2.1.4. Briketlenme

Kömürde en çok yaşanan olay tozlaşma olayıdır. Bundan dolayı kömürde en görülen durum ise toz halinde bulunması durumudur. Bu durum içerisinde birbirlerine yapışan toz parçacıklarını oluşturmaktadır. Bu hale briketlenme ve bu olay sonrasında oluşan parçaya da briket denmektedir. Kömürün yapısına göre değişiklik göstererek bağlayıcılı ve bağlayıcısız şeklinde briketlenmektedir. Isıl işleme tabi tutularak (400-500 °C) elde edilen briketlenme işlemine de sıcak briketlenme denmektedir [20].

Bağlayıcısız briketlenme yöntemi yapısal olarak daha elverişli sert olmayan linyit kömürlerinde uygulanan bir yöntemdir. Böylece belirli bir boyut kazanan kömür taneleri bağlayıcı kullanılmadan basınç ve nem altında briketlenme işlemine tabi tutulmaktadır [20].

Bağlayıcılı briketlenme yönteminde ise ısınma amaçlı konutlar için kullanılan yüksek kalitede olan ve yumuşak olmayan linyit kömüründen ve taş kömüründen oluşan az derece kül ortaya çıkaran kalori değerleri oldukça yüksek yakıt elde etmek için uygulanmaktadır. Bağlayıcılı briketlenme yönteminin esas amacı bağlayıcıya ihtiyacı olmasında yatar bu şekilde üretilen briketin kalitesi uygun olan bağlayıcı ve kömürün

yapısal ve özelliğine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Burada esas olan bağlayıcı miktarının fazla olması ve bağlayıcının özelliği etki etmektedir [20].

Genel olarak baktığımızda burada esas olan bağlayıcısız briketlenme ön plana çıkmaktadır. Çünkü bağlayıcılı briketlenme her tür kömür için olabilme özelliği taşımaktadır burada kömürün özelliği cinsi o kadar önemli değildir. Bu yüzden daha verimli ve enerji seviyesi yüksek daha az küllü olması nedeniyle bağlayıcılı briketlenmenin önemi de açığa çıkmış oluyor [20].

### **2.1.5. Kömür İçerisindeki İz Elementler Ve Yanma Sırasındaki Davranışları**

Madenlerden elde edilen kömür içerisindeki iz elementlerinin neler olduğunun bilinmesi çevreye verilebilecek tahribatın öngörülmesi ve tedbirler alınabilmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Kömür madenlerinin içerisinde inorganik kökenli ve yeterince fazla olması halinde ekonomik olarak da üretimi sağlanabilecek bazı elementler mevcuttur. Bunlara örnek olarak germanyum (Ge), galyum (Ga), uranyum (U) ve bakır (Cu) verilebilir. Ekonomik değer potansiyeline sahip bu elementlerin haricinde kömür bünyesinde bulunup kirliliğe sebep olma ihtimali yüksek olan molibden (Mo), vanadyum(V), çinko (Zn), bakır (Co), berilyum (Be), arsenik (As), kadmiyum (Cd), selenyum (Se), krom (Cr) ve kurşun (Pb) gibi toksik iz elementler mevcuttur [21,22].

Kömürün 66 adet iz element içerdiği tespit edilmiştir. Bu 66 elementin 24 adedi çevresel etki adına dikkat edilmesi gereken elementler olup kendi aralarında çevresel ilişkilerine bağlı olarak Tablo 2.2’de dört ana grupta toplanmıştır [23].

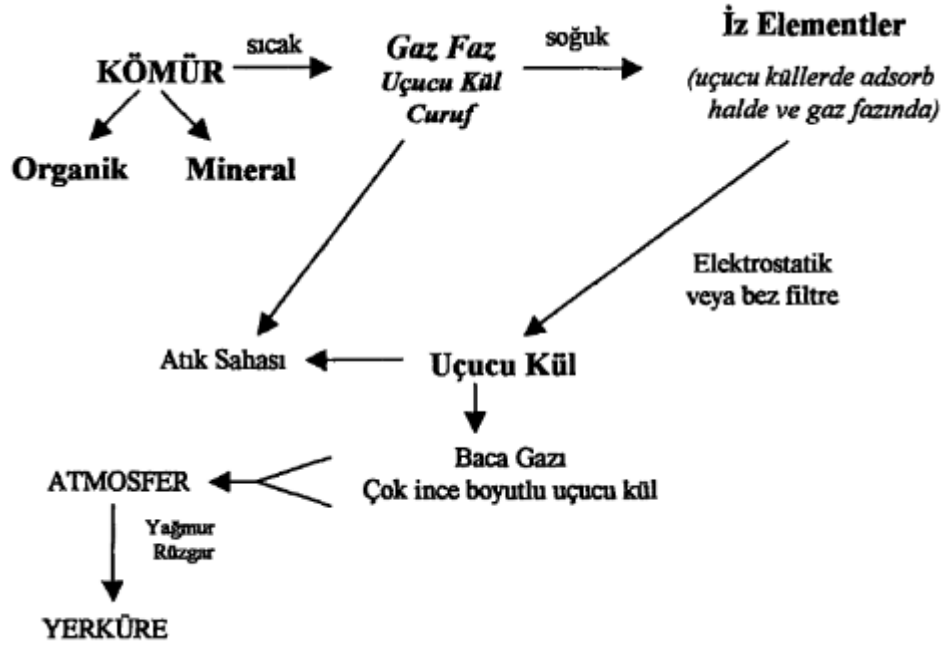


**Tablo 2.2.** Çevresel Etkisine Göre İz Elementlerin Sınıflandırılması [23]

Grup	I	IIA	IIB	III
Element	As	B	Be	Ba
	Cd	Cl	Cu	Co
	Cr	F	P	Sb
	Hg	Mn	Th	Sn
	Se	Mo	U	Ti
		Ni	V	
		Pb	Zn	

Birinci grupta kömür içerisinde çok düşük konsantrasyonlarda bulunsalar bile çevre açısından son derece tehlikeli olan elementler bulunmaktadır. Bu grup içerisinde özellikle As ve Se mutlaka kontrol altında tutulmalıdır. 2A grubu elementleri içeren kömürler yüksek klor ihtiva ettiğinden dolayı korozyonlara ve atmosferin asitliğinin artmasına sebep olurlar. Bu sebepten dolayı kömür içerisindeki miktarları mutlaka bilinip kontrol altına alınması gerekmektedir. Eğer kömür içerisinde U ve Th varsa bunların radyoaktivitesi minimize edilmelidir. Çünkü bunlar uçucu küllerde bulunmaktadır. Yanma olayı sırasında kömür bünyesinde bulunan elementlerden azot kükürt ve karbon oksitlenerek karbondioksit azot dioksit ve kükürt dioksit meydana getirirler. Yanma sonucunda oluşan uçucu gazlar elektro filtrelerde tutulmaya çalışılmakta bir kısmı baca gazı ile sağlanmakta cürufklar ise kazanın dibinde birikmektedir. Kömür bünyesindeki iz elementlerin çoğunlukla uçucu küllerin üzerinde bulunduğu yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır.

Yanma sırası ve sonrasında iz elementlerinin ne şekilde davranış gösterdikleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Yanma Sırasında Ve Sonrasında İz Elementlerinin Durumu [23]

Termik santrallerde kullanılan kömürün bünyesinde bulunan elementlerin ve bunların ne kadarının doğaya salındığı konusu çevresel açıdan hayati öneme sahiptir. Yanma olayı sırasında stabil halde bulunan As, Ga, Ge, Cd, Sr, Mo, gibi toksik iz elementler atıklara geçerler. Özellikle uçucu küller yüksek yüzey alanına sahip oldukları için ve yüksek ısıya dayandıklarından dolayı gaz ve sıvı ortamlarda elementlerin yüzeyde tutunabileceği uygun ortamlar oluştururlar [23].

#### 2.1.6. Yanma Sonucu Oluşan Küller

Termik elektrik üretim santrallerinde yaklaşık 9 milimetre inceliği kadar öğütülen düşük kalorili kömürler yanma fırınlarına su ile püskürtülmektedirler. Yanma fırınlarında 1100-1600 °C arasında yakılan kömürlerin bir kısmı cüruf oluşturmakta ve su ile uzaklaştırılmaktadır. Çok daha hafif olmalarından dolayı uçucu kül olarak adlandırılan külün diğer kısmı ise renkleri kül içerisindeki yanmamış karbon oranına bağlı olarak bej renginden siyaha kadar değişen küresel yapıdaki mikro taneciklerden oluşmaktadır [24].

Termik santrallerde 3 farklı tipte yakma kazanı kullanılmaktadır. Yanma sonucunda oluşacak olan külün ne kadarının cüruf ne kadarının uçucu kül olacağı kazan tipine bağlıdır. Örneğin ıslak tabanlı kazanlarda yakılan kömürün yaklaşık %50 uçucu küldür. Kuru tabanlı kazanlarda ise %80 oranında uçucu kül (UK) oluşur. Diğer bir kazan tipi ise siklon fırınlardır [25,26].

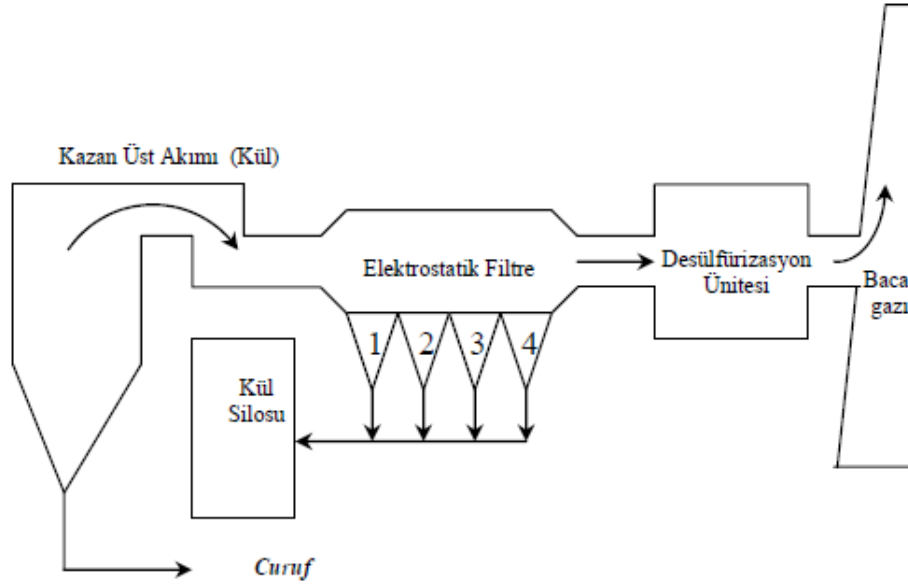
Bir atıktan daha ziyade endüstriyel kullanım alanı olan uçucu küller ülkelerin ihtiyaçlarına göre farklı standartlarda sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırmalar kimyasal bileşen yüzdelerine göre olabildiği gibi kimyasal yapılarına göre de olabilmektedir. En basit sınıflandırma yöntemi ise külün üretildiği kömürün kökenine göredir. Kökenine göre yapılacak olan bir sınıflandırmada küller taş kömürü UK ve linyit kömürü UK olarak tasnif edilebilir [26].

## **2.2. Kömür Külü**

Türkiye’de termik santraller ve işletmeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek kül oranı olan düşük kalorili kalitesi düşük ve yaygın kullanılmayan endüstrinin az bir bölümünde kullanılan linyit kömürü tercih edilmektedir. Termik santrallerin ve endüstriyel işletmelerin kullanmış olduğu kömür doğanın kirlenmesine solüğümüz havanın ciddi derecede kirlilik içermesine sebep olmaktadır. Altmışlı yıllardan sonra birçok teknik ve teknolojik yenilenmelerle düşük kalitedeki ve kısmen az kullanılan linyit kömürler artık kullanıma başlamıştır. Bu kömürlerin yanması ile atık olarak cüruf, taban külü ve uçucu kül olarak açığa çıkmaktadır. Yanma olayıyla düşük kalorili linyit kömüründen açığa çıkan tozların ve gazların emülsiyonları büyük sorunlar oluşturmaktadır. Bunun neticesi olarak görülüyor ki ortaya çıkan bu sorunlar linyit kömürünün ve yanma için kullanılan yöntemlerin bir eseridir. Yanma sonucunda oluşan kül içeriği 100 µm boyutundan fazla olan iri toz taneleri kazanın yanma sonucunda çıkışında bulunan su ile dolu bölümlerine dökülürler. Bu iri toz tanelerine cüruf denmektedir. Bu şekilde cüruf karışım içerisinde bulunur. Karışımın içerisinde su ile karışmış şekilde iri taneli tozlar yani cüruflar bulunur. Diğer bulunma şekli ise susuz yani katı halde atık şeklinde bulunmalarıdır. Kül yüzdesi cüruf/ uçucu şeklinde içerisindeki külün miktarlarına bağlı olarak cüruf/elektro filtre aracılığıyla belirlenir. Bu şekilde belirlenen oran 5/95 veya 20/80 olarak tahmin edilmektedir [27].

Artık maddeler uçucu ve taban külleri olarak bilinmektedir. Uçucu küllerin özelliğine bakarsak 10-200  $\mu\text{m}$  boyutlarında olan küllerdir. Fiziki şekillerine bakarsak küresel ve camsı görünüme sahiptirler. Yanma olayı sonunda hava ile dışarı atılmak üzere bacadan çıkan malzemeler arasında filtreye tutulurlar. Filtreye tutulamayan kısımlar yani çok ince uçucu kül taneleri bacadan atmosfere salınımı gerçekleşir. Diğer artık madde olan küller ise taban külü olarak yanma olayı sonunda çökelti şeklinde kazan içerisine çökelmiş vaziyette bulunurlar [27].

Günümüze bakacak olursak üretim yapan fabrikaların ve termik santrallerin yakıt sistemleri değişkenlik göstermektedir. Bu sayede pulvarize kömür yakabilmektedirler. Kullanmış oldukları kazan tipleri farklılık göstermektedir. Yanma sistemine göz atacak olursak, kazan üst akımıyla ilerleyen küller elektrostatik filtreden geçerken bir kısmı tutulur kalan kısım desülfürizasyon bölümünden geçerken tutulur ve en son baca gazı ünitesine geçerler. Bu yanma şemasını Şekil 2.8’de görülmektedir [27].



Şekil 2.8. Yanma Sırasında Oluşan Küllerin Kazandan Çıkışı [27]

### 2.2.1. Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Yanmış olan kömürün cinsine ve özelliğine göre küllerin kokuları, görüntüleri ve renkleri değişiklik gösterebilir, fosilleşmiş olan kayaçların yanmaları sonucunda oluşan kömürün yanması işlemi sonucunda açığa çıkan atık maddeye genel ifadeyle kül adı verilir. Çünkü yanma bir oksidasyon olayıdır

Kömürle ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalara bakıldığında külü oluşturan ana oksit sayısının yaklaşık 8 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Külün elementer bileşimleri cüruf oluşumunu ve cüruf oranını belirleyen önemli bir etkidir. Bu ana oksitlerin bölümlerine bakacak olursak amfoterik oksitler, bazik oksitler, asidik oksitler şeklinde sıralanabilir. Bunlar asidik oksitler olarak  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  alınırken, bazik oksitler olarak  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{MnO}$ , amfoterik oksit olarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alınmaktadır. Ancak iki grupta toplanırsa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  asit oksit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ise bazik oksit olarak sınıflandırılmıştır. Baziklik durumu, oksitin bazikleşme durumunun asitleşme durumuna kıyasla belirlenir. Cüruflaşmanın ana nedeni baziklik durumunun yükselmesi ve ergime seviyesinin düşürmesiyle meydana gelmektedir. Bundan dolayı, asidik oksitleşme seviyesinin yükselmesi istenir. Bunun nedeni cüruflaşma sorunun düşürmek içindir. Buna bağlı olarak S (kükürt) seviyesi küldeki demir (III) oksitin cüruflaşma durumunun yükselmesi açısından oldukça etkilidir. İçeriğinde bulunan demirin kömürlerin yanma sırasında daha fazla cüruf oluşumunu artırdığı görülmektedir. Kömürün yanması sonucunda kazan tabanına çöken cürufun birikmesi ergime sıcaklığı ve kuru halde yapışması olarak bilinen asılma durumuna da bağlı olarak oluşmaktadır. Bu durumun nedeni ise alkalilerden olan sodyum ve potasyum varlığının ve içeriğinde bulunan demir bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum bize gösteriyor ki kömürün içeriğinde bulunan bileşikler yanma sonucunda oluşan bileşikleri de etkilemekte ve reaksiyona giren elementler sıcaklıkla ve reaksiyona girme oranlarıyla alakalı olduğunu göstermektedir. Örnek verecek olursak sıcaklığı  $1700\text{ }^\circ\text{C}$  seviyelerinde olan silikalar, potasyum silikalara dönüştüğü zaman  $700\text{ }^\circ\text{C}$  gibi bir sıcaklığa inebilmektedir. Yapılan araştırmalara baktığımızda birçok araştırmacı bazik içeren oksitlerin toplamı ile asit oksitlerin toplam oranlarına bölünmesi ile cürufun oluşum eğilimini gösteren bir durum olduğunu bulmuşlardır. Kül ile bu bilgiler bizlere ergime testlerinin yanan kömür ile ilgili önemli derecede bilgiler

içerdiğini göstermektedir. Yapılan bu testler en baştan külde meydana gelen deformasyonların sıcaklık etkisinden cüruflaşma durumuna dönüşene dek geçirdiği değişimi gözlemlememizi sağlamaktadır. Tabi ki bu yapılan testler yalnız başına yeterli olmamakla birlikte kömürlerin mineralojik ve kimyasının ne denli önemli olduğunu göstermektedir [27].

### **2.2.2. Puzolanik Özellikleri**

ASTM C 618 in tanımına göre puzolan maddeler, kendi kendilerine bağlayıcı özelliği olmayan ya da belirli oranda olan toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddeler olup istenen rutubeti sağlayan buna bağlı olarak uygun sıcaklık derecesine sahip olan kireç ile reaksiyon verip bağlayıcı özelliğe sahip maddelerdir [28,29]. İsmi ilk olarak İtalya'daki Puzzouli Kasabası'ndan alan volkanik küller binlerce yıldır hidrolik bağlayıcı olarak kullanılan puzolanlar esasen SiO<sub>2</sub> miktarı kütlece %25 ten az olmamak şartıyla reaktif silisyum dioksit ile alüminyum oksitten oluşmuştur. Geri kalan kısmını demir oksit ile diğer oksitler oluşturmaktadır [30].

Su ve kireç ile karıştırıldıktan sonra geçen sürenin puzolanik aktiviteye etkisi artmaktadır. Ayrıca daha yüksek kalsiyum oksit içeren küller daha iyi puzolanik özellik gösterir. Puzolanik aktivitede külün inceliği önemli bir etmendir inceliğin minimum olduğu küllerde dayanım ve puzolanik etki maksimumdur. Bunun yanında silisyum dioksit ve alüminyum oksitin amorf yapıda olması ve miktarının artması puzolanik etkiyi artırır [31].

### **2.2.3. Küllerin Kullanım Alanları**

Oluşan atıkların bertaraf edilmesi sorunun oluşturduğu ve enerji üretimlerinin buna oranla artması bu konunun araştırılmasını sağlamıştır. Bunun nedeni küllerin kullanım alanlarının genişlemesi kullanılabilir malzeme özelliği taşıması önem derecesini artırmıştır. Genel olarak bakıldığında cüruf ve uçucu küllerin termik santraller, endüstriyel kullanım alanları ve fabrikaların oluşturduğu bu oksit malzemeler zararı olmayan başka malzemelere dönüşmüştür. Bu şekilde mühendislik alanında, tarımın ilgili sahasında ve endüstrinin farklı çevrelerinde kullanılabilme olanağına kavuşmuştur [32].

Genel olarak baktığımızda kömür kullanan termik santraller ve diğer birçok sektörlerde karşımıza çıkan çevresel sorunlar ortadan kalkmış olmaktadır. Özellikle enerjiden elde edilen tasarruf, depolanan alanların sorunu ve doğal olan hammaddenin tasarrufu atıkların sorununu ortadan kaldıracak ve fayda sağlayacaktır. Sağlayacağı bu faydalar bizleri nitelikleri ve nicelikleri açısından yeni ve kaliteli ürünlerin eldesin de bizlere önemli derecede kolaylık sağlayacaktır [32].

#### **2.2.4. Küllerin Çevresel Etkileri**

Kömürün yanması ile oluşan atıkların yeraltı suyunu ciddi derecede etkilemekte ve büyük çevresel sorunlar meydana getirmektedir. Bu sorunu meydana getiren yanma olası sonrası açığa çıkan elementlerden kaynaklanmadır. Bu elementler; Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se ve As gibi toksin madde içermelerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte suya geçebilecek zararlı tuzlar, çevreye oldukça fazla zarar verici hal alabilmektedir [33].

Maalesef külden kaynaklı atık malzemeler arazileri verimsiz hale getirmekte ve atıldığı tarım arazilerini de kullanılamaz hale getirmektedir. Tarımsal alanları tahrip ettiği gibi bu alanların takibi ve korunması da bir hayli zorlaşmaktadır. Atık kül yığınları yeraltı suyunu da ciddi derecede tehdit etmekte ve bunların tespitini de zorlaştırmaktadır. Bu yüzden bazı çalışmalarla kirlenen yer altı suyunu tespit etmek mümkün olabilmektedir [34].

Yapılan arazi ve alan çalışmaları kül atılan bölgelerin yeraltı suyunun niteliğini ve mevcut durumu hakkında bilgi vermektedir. Böylece külün fiziksel ve kimyasal özelliğine bağlı olarak ne derecede bu duruma etki ettiğini tespit edebiliriz [35].

Yeraltı suyunu en çok yeni atılan atık küller kirletmektedir. Bunun sebebi yeni olan atık kömür küllerinin içerdiği tuzların çözünme durumudur. Yeni olan bu atıklar yüksek derecede çözünabilir tuz içerir zamanla içerisinde bulunan tuzlardan arındığı için geçen zaman içinde etkisi de azalmaktadır. Bu şekilde çözünen tuzlar etkisini kaybetmiş ve çevreye daha az zararlı hale gelmiştir [36].

Küller üzerine yapılan birçok çalışmada ve laboratuvar sonuçlarında, küllerin çok sayıda ortak özelliklerinin olduğunu bilinmektedir. Ortak özellikleri incelendiğinde tuzların çözünebildiği derişimler dikkat çekmektedir. Bununla beraber kalsiyum ve kükürt olmak üzere bu üç özelliği göstermektedir. Kükürt seviyesi az olan ve yüksek seviyede kalsiyum içeren kömürler bazik liç vermektedirler. Kükürt seviyesi fazla olan kömür külleri ise genellikle asidik olarak yığılma gösterirler. Bu elementlerin ph değerleri 3 ila 12 arasında olduğu bilinmektedir [37].

Yanmış kömür küllerinin atıkları çevremize oldukça zarar vermektedir. Öyle ki atıkların yakın çevrelerindeki sularda kirlenme görülmektedir. Bu kirlenme atıklara yakınlık ve uzaklığa bağlı olarak değişmektedir [38].

Atık kömür küllerinin yeraltı suyuna karışarak atıkların bulunduğu çevrelere etki ederek metal toksik liçleri oluşturmaktadır. Bu liç laboratuvarında oluşturulandan daha düşük seviyede olduğu bilinmektedir [39].

### **2.3. Kömür Küllerinin Çimento Esaslı Malzemelerin Özelliklerine Etkisi**

Yüksek ve Kaya [39] yaptıkları araştırmada Kangal Termik Santralinden elde ettikleri uçucu küller ile kirecin ve alçının farklı oranlarda kullanılmasıyla hafif olan yapı malzemesi elde etmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar kütlece %20 kireç, %70 alçı ve %10 kül içeren karışımla kontrol karışımına kıyasla basınç dayanımında artış ve su emme değerlerinde azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır [40].

Akkaya ve Toroğlu [41] yaptıkları çalışmada uçucu küllerin miktar yönünden, taban küllerine göre çok daha fazla olduğu ve çok daha hafif küçük taneli oldukları için baca gazı ile birlikte sistemi terk etme eğiliminde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Taban külü ise özgül ağırlığının yüksek olması ve iri taneli olması nedeniyle termik santral kazanının tabanında birikme eğilimindedir ve kontrolü nispeten daha kolaydır. Bu temel farklılıklar nedeniyle uçucu küller taban küllerine göre çok daha ciddi bir sorun haline gelmektedir. Günümüzde dünya genelinde, termik santrallerde yıllık 600 milyon tonun üzerinde uçucu kül oluşmaktadır. Bu miktarın 13 milyon tonu, 12 termik santrale sahip Türkiye’de meydana gelmektedir. Türkiye’deki termik santrallerin



nemli bir kısmının yakıt olarak linyit kullanması da dikkate alınırsa uçucu kül ve taban külü sorunu bir kez daha önem kazanmaktadır [41].

Tekin ve Tekin [42] çalışmalarında taban külü ikame edilmiş kompoze çimentolarda süper akışkanlaştırıcı etkisinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Bu çalışmayla Yatağan Termik Santralinden elde ettikleri taban külü ile çimento harcının süper akışkanlaştırıcı etkisi incelenmiştir. Yaptıkları bu deneylerde çimentoya ağırlıkça %0, 10%, 20% ve 30% oranında ilave ederek taze hamur davranışlarında özellikle priz başlangıcında kısıalma ve priz bitişinde uzama gibi etkiler gösterdiği görülmüştür fakat harç karışımlarda önemli derecede etki oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır [42].

Doğan- Sağlam Timur ve Bilgil [43] araştırmalarında atık kazan altı külü ve pomza elek altı atığından geopolimer yapı malzemesi üretmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmalarında %50 atık kazan altı külü + %50 pomza elek altı atığı karıştırılarak oluşturulan atık dolgu malzemesine ağırlıkça %10, 15, 20 ve 25 oranında NaOH ilave ettiği gözlemlenmiştir. Üretilen numuneler 70, 100 ve 150 °C' ye ayarlanan etüvde 24 saat süresince kürlendiği görülmüş ve numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Basınç dayanım değerlerine göre optimum sonuç, %20 NaOH aktivatörlü 100 °C'de kürlenen numunede 16,5 MPa olarak bulunmuştur. Basınç dayanımlarında 28 günün sonunda 7 günlük değerlere göre %6-9 oranında artış gözlenmiştir. Su emme ve porozite değerlerinde, diğer yapı malzemelerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Atık malzeme esaslı NaOH aktivatörlü numunelerden dış tesirlere dayanıklı geopolimer yapı malzemesi üretildiği sonucuna varılmıştır [43].

Koçak [44] çalışmalarında uçucu küllerin çimento üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmacı yaptığı bu çalışmada, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranında çimento yerine uçucu kül ilave ederek araştırmıştır. Yaptığı deneylerle basınç dayanımını, prizlenme süresini ve ne kadar su ihtiyacı olduğunu belirlemiştir. Böylece suya olan ihtiyacın uçucu kül ilaveli ve uçucu kül ilavesiz çimentolardan hangisinin daha fazla ihtiyaç duyduğunu belirlemiştir. Buna göre uçucu kül ilavesiz olan çimento su ihtiyacı ve prizlenme süresinin diğerine göre daha fazla olduğunu deneylerle tespit etmiştir. Uçucu kül ilaveli olan basınç dayanımları sonuçlarına bakılınca 2, 7 ve son olarak 28

günlük değerlerin düşük olduğunu belirtmektedir. Bu karşın %10, %20 oranda karışıma sahip harçların standarda uygun olduğunu belirtmiştir [44].

Ulugöl [45] yapılan çalışmada Kardemir firmasındaki yüksek fırınlardan elde edilen cürufun çimento üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Böylece Yüksek fırın cürufu öğütüldükten sonra bir adet referans ve altı adet farklı oranlarda cüruf içerecek şekilde toplam yedi farklı çimento grubu üretilmiştir. Bu çimentolar incelik, özgül yüzey gibi fiziksel özellikleri bakımından incelemiş ve 84 adet 40x40x160 mm ölçülerinde prizmatik harç üretilmiştir. Bu harçların bir kısmı 180 gün kür edilerek farklı günlerdeki basınç dayanımları tespit etmiş, diğer kısmınınsa 28. günde %10 derişime sahip ayrı ayrı sodyum ve potasyum sülfat çözeltilerine yerleştirilerek dayanım kayıpları incelemiştir. Bu sayede belirli bir miktara kadar yüksek fırın cürufu kullanımının çimento harcının durabilite performansına olumlu etki ettiği görülmüştür. Bu araştırmada sonunda kullanılan %20 cüruf oranı için optimum kullanım oranı olduğunu tespit edilmiştir [45].

Kara ve Bekem [46] çalışmalarında Artvin-Borçka'da bulunan Muratlı çay fabrikasına ait yakma ünitesi kuru tip toz siklon filtre sisteminde tutulan kömür külünün endüstriyel bir atık olarak beton üretiminde kullanılabilirliği araştırmışlardır. Farklı oranlarda çimentoya ikame edilmiş kömür külü atığının betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, %0, %5, %10 ve %15 oranlarında kömür külü atık olarak çimento ikamesi ile C20/25 sınıfı 4 farklı beton karışımı hazırlanmışlardır. Böylece taze beton üzerinde slump deneyi, sertleşmiş beton örnekleri üzerinde ise Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Çalışma sonunda erken yaşta (7. Gün) %5 atık ikamesinin referans betona göre ultrases geçiş hızını (%3.40) ve basınç dayanımını (%19,70) arttırdığı; 28. günde ise atık malzemenin C20/25 tasarımında beton içerisinde çimento ikamesi ile %15'e kadar kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır [46].

Delikurt ve Sevim [47] yaptıkları çalışmalarında Yumurtalık/Adana Sugözü termik santralinden almış oldukları uçucu külün beton yapımında mineralli bir katkı olarak kullanılabilceğini araştırmışlardır. Bu amaca yönelik olarak basınç dayanımı, su

emme oranı, ultrasonik ses frekansları, yangına karşı dayanımı, aşınmaya karşı direnci ve kapilaritesine ait birçok deney yapmışlardır. Yapmış oldukları deney 400 kg/ m<sup>3</sup> olarak uçucu kül dozajını ayarlamışlardır. Karışımın bağlayıcı ve su oranı 0,45 seviyesinde tutmuşlardır. Hiperakışkanlaştırıcı kullanılarak karışım çökme değerini 15 cm yakın seviyelerinde tutmuşlardır. Karışımlarda kullanılan uçucu küllerin sınıfı F olarak belirtmişlerdir. Bu şekilde uçucu küller ağırlıkça% olarak 0, 10, 20, 30 ve 40 oranları belirlenmiştir. Sonuçları incelendiğinde %10 ve %20 ağırlıkça ikame edilen uçucu külün betondaki dayanım değerleri yüksek olarak karşımıza çıkmıştır. Diğer yandan kapiler geçirgenlik ve su emme oranının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Yaptıkları deneyin sonucunda mineral katkı maddesi olarak uçucu külün kullanılabilir olduğu bu sayede çevreye olan faydaları hem de ekonomi olarak fayda sağladığı sonucuna varılmışlardır [47].

Topçu ve Cambaz [48] çalışmalarında uçucu külün kullanımının beton karışımında bağlayıcılık özelliğini araştırmışlardır. Ürettikleri beton numuneleri için uçucu külleri Çayırhan Termik Santrali sahasından, agregaları Eskişehir çevresinden ve PKÇ/B 32.5R çimento tipi kullanılmıştır. Üretilen bu numunelere %20 ve %40 oranlarında çimentonun yerine uçucu kül ikame edilerek elde edilen 300 kg/ m<sup>3</sup>, 350 kg/ m<sup>3</sup> ve 400 kg/ m<sup>3</sup> dozajlar hazırlanmıştır. Bu sayede numuneler üzerinde birçok deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde birim ağırlığı ölçmek için ve çökme durumunu tayin etmek için yapılan taze beton deneyleri yapıldığı görülmektedir. Yapılan diğer deneylere baktığımızda araştırmacılar 7, 28 ve 60 günlük bekleme süreleri sonunda mekanik özellikleri ve fiziksel özellikleri belirleyen deneylerin yapıldığı görülmektedir [48].

Dorum ve Tekin [49] yaptıkları bu çalışmada, saf su kullanılarak çimento esaslı uçucu kül karışımı yapmışlardır. Bu sayede hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımı deneyine tabi tutmuşlardır. Bu sayede uçucu kül ilaveli çimento harcının prizlenme sürelerini de ölçmüşlerdir. Yaptıkları bu deneyde uçucu külü çimentonun ağırlıkça % olarak 5, 10, 15 ve 20 oranlarında yer değiştirilerek karışım suyu içinde saf su ve normal içilebilir su ilavesi yapılmıştır. Bu şekilde basınç dayanımını ölçmek için 60 adet, prizlenme sürelerini tayin etmek üzere 30 farklı karışım numuneleri hazırlamışlardır. Yapılan deneylerin standartlara uygun olması için TS EN 196-1 ve

TS EN 196-3 yönetmenliklerine uygun şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır. Sonuçları incelediğimizde uçucu külün numunelerin basınç dayanımlarını ve prizlenme sürelerini etkilediği deneylerle belirlemişlerdir. Diğer taraftan saf su katılarak hazırlanmış olan %15 uçucu kül ihtiva eden numuneye bakacak olursak aynı formda hazırlanmış oldukları şehir şebeke suyuna göre basınç dayanımı %12 gibi bir yükselme olduğunu görmüşlerdir. Uçucu külün olduğu bütün numunelere baktığımızda prizlenme sürelerinin artış gözlemlendiği araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir [49,50,51].

Çelik [52] araştırmasında uçucu kül oranı %40 olan ve tras kullanılmak kaydıyla üretilen üç farklı çimento harcı hazırlamıştır. Karışımları şu şekilde hazırlamışlardır; ilk grubun karışımına 45  $\mu$  eleküstü değerlerini, ikincil grubun karışımına Blaine değerlerini eşitleyerek ve son grubun karışımına uçucu külü ve tras malzemeyi laboratuvar şartlarında 15 dakikaya kadar öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Yaptıkları bu karışımların 2,7, 28, 60, 90 ve 360 gün süreyle kürlenme işlemine tabi tutulmuşlar ve basınç dayanımlarını belirlemiştir. Sonuçları incelediğinde 3.grubun oldukça yüksek basınç değerlerine ulaştığını gözlemlemiştir [52].

Subaşı ve ark. [53] yaptıkları çalışmada uçucu küllerin sınıfları birbirinden değişik olmak üzere ilave edilen miktarları farklı beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen çimento esaslı uçucu kül karışımlarına basınç eğilme dayanımını ve birim ağırlık deneyleri araştırılmıştır. Birbirinden farklı iki termik santral ve iki farklı sınıf uçucu kül kullanılarak çimento esaslı numuneler hazırlamışlardır. Yaptıkları karışımların oranları % olarak 0, 5, 10, 15, 20 şeklindedir. Karışımlardan hazırlanan boyutları 40x40x160 mm olan prizma şeklinde üçer adet numune oluşturulmuştur. Karışım suyu ve ihtiyaca göre belirli ASTM C230, ASTM C109 ve ASTM C1437 standartlarına uygun şekilde hazırlandığı anlaşılmaktadır. Yaptıkları deneylerde bulunan sonuçları istatistiksel verilere çevirerek değerlendirme işlemi yapmışlardır. Yaptıkları araştırma sonucu dayanımı etkileyen uçucu külün sınıfı olduğu belirlenmişler ve basınç dayanımının standart değerler seviyesinde bulunduğunu yaptıkları deneyle görmüşlerdir [53,54,55,56].

Subaşı ve ark. [57] bu çalışmayla uçucu küllerin ilavesi ile elde edilen betonun belirli sıcaklık altında sürdürülebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında uçucu külün oranı çimentonun ağırlıkça oransal olarak %5, %10, %20 şeklinde yer değiştirilmesiyle üretmişlerdir. Hazırladıkları numunenin boyutları ise 40x40x160 mm olacak şekilde hazırlamışlardır. Bu numuneler 100-200-300-400-500-600 °C sıcaklıkta ve basınç altında testlere tutulduktan sonra elde edilen değerler listelenmiştir. Uçucu külün %5 oranlarında olması fiziksel ve mekanik olarak karışımın özelliklerine pozitif etki yapmıştır. Uçucu külün %10 oranlarında olması ise sıcaklığın etkisini azaltarak fayda sağladığını gözlemlemişlerdir. Sonuçlara bakacak olursak yaptıkları bu çalışmayla uçucu külün bulunduğu bütün karışımlarda sıcaklığın artmasıyla dayanım değerlerinde azalma olduğu sonucuna varmışlardır [57].

Güçlüer ve Ünal [58] yaptıkları araştırmada belirli oranlarda çimento yerine uçucu kül ikame edilerek çeşitli deneyler yapmışlardır. Yaptıkları bu deneylerde çimento miktarının 10, 20, 30 % olarak ikame edilerek 15 cm lik küp numuneler hazırlamışlardır. Bu numunelere yaptıkları deneyler arasında geçirimsizlik ve basınç dayanımı irdelenmiştir. Karışım oranına bakacak olursak 300 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde ayarlamışlardır. Karışım içerisindeki oranlara bakacak olursak su/çimento oranı 0,5 olarak belirlemişlerdir. Üretilen bu numunelere belirli bir kür uygulanmış olup 7, 28 ve 56 günlük hallerinde çeşitli deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler basınç dayanımı, ultrases geçiş sürelerini ölçmek için yapmışlardır. Numuneler 60. gün seviyelerinde geldiğinde ise permeabilite deneylerini yapmışlardır. Sonuçları karşılaştırmak için ise referans numune ile karşılaştırılarak uygun olup olmadığını belirlemişlerdir. Yaptıkları bu karşılaştırma sonucunda %10 ve %20 olan uçucu kül numunelerinde beton dayanımı arttığı ve geçirimsizlik miktarına baktığımızda ise azalma gösterdiği yaptıkları deneylerle gözlemlemişlerdir [58].

Bilim [59] yapmış olduğu çalışmada çimento karışımı içerisine ilave edilen cürufun üretilen beton numuneler üzerine etkilerini araştırmıştır. Bu araştırmaya göre değişkenlik gösteren su/bağlayıcı oranı ve yüksek fırın cürufunun oranları ile numuneler hazırlanmış bu sayede harcın ve betonun özelliklerine ve herhangi bir malzeme ikame edilmemiş çimento numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırmacı sodyum ilavesi ile üç farklı numunede hazırlamıştır. Hazırlamış olduğu sodyum silikat

çözeltileri içerisinde yüksek fırın cüruf ilavesi yapılarak karışımın dayanıklılıkları ve dayanımları incelenmiştir. Araştırmacı sonuçları incelediğinde yüksek fırın cürufu ilave edilen numunelerin basınç dayanımlarının arttığını referans numuneyle karşılaştırarak gözlemlemiştir. İkame % oranları 40, 60 olan numunelerin aşınma direnci, basınç dayanımı ve eğilme deneylerine bakılınca artış gözlendiğini tespit etmiştir. Diğer açıdan bakılınca referans numunelere kıyasla kapiler su emme katsayısında ve boşluk oranlarında düşüş gözlendiğini tespit etmiştir. NaOH ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ile aktive edilmiş çözeltilere bakılınca mekanik dayanımlarının yüksek olduğunu görülmektedir. Araştırmacı sonuçları incelediğinde kuruma rötresini artıran özelliğin alkali çözeltisi ihtiva eden karışımların olduğunu görmektedir [59].

### 3. Deneysel Çalışma

Bu bölümde, numunelerin üretimi için kullanılan çimentonun, atık kömür külünün, agreganın, karışım suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretilen malzemelerin karışım oranları, kuru haldeki birim hacim ağırlıkları, üretilen numunenin su emme oranı, numunelerin porozite oranları, aşınma dirençleri, yarma dayanımları, deneylerin yapım metotları, yapım aşamaları ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

#### 3.1. Deneysel Malzemeler

Çalışmada çimento, atık kömür külü, agrega ve karışım için gerekli karışım suyu kullanılarak numuneler üretilmiştir

##### 3.1.1. Çimento

Çalışmada, Votorantim Çimento Sanayi ve Ticaret A. Ş'nin Yozgat Çimento fabrikasında üretilen çimentonun tipi CEM I 42,5 R olarak seçilmiştir. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri

<b>Kimyasal Bileşim</b>	
<b>Bileşen, (%)</b>	
MgO	2,60
SiO <sub>2</sub>	18,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,01
Na <sub>2</sub> O	0,23
K <sub>2</sub> O	1,22
SO <sub>3</sub>	3,25
CaO	62,30
Kızdırma Kaybı	2,57
Çözünmeyen Kalıntı	0,84
<b>Fiziksel Özellikleri</b>	
Özgül Ağırlığı g/cm <sup>3</sup>	3,11
Özgül Yüzeyi cm <sup>2</sup> /g	3,31

### 3.1.2. Atık Kömür Külü

Yapılan çalışmada 3 farklı kömür işletmelerinden elde edilen küller kullanılmıştır. Şeker Fabrikası külü (KC-1) Çiçekdağı Kömür İşletmesinden, Coşkunlar tuğla fabrikası külü (KC-2) Bolu Kömür İşletmesinden, Üç Yıldırım tuğla fabrikası (KC-3) Yeni Çelttek Kömür İşletmesinden temin edilmektedir.

Şeker Fabrikasının atık kömür küllerini Şekil 3.1’de görüldüğü gibi fabrika sahası içerisinde belirledikleri alanda stoklanmaktadır.



**Şekil 3.1.** Şeker Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası

Coşkunlar tuğla fabrikası yakmış oldukları kömürün atık malzemesini kazan dışında Şekil 3.2’de görüldüğü gibi stoklanmaktadır.





**Şekil 3.2.** Çoşkunlar Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası

Üç Yıldırım tuğla fabrikası ise yaktıkları kömürün atık malzemesini yani küllerini Şekil 3.3’de görüldüğü gibi stoklanmaktadır.



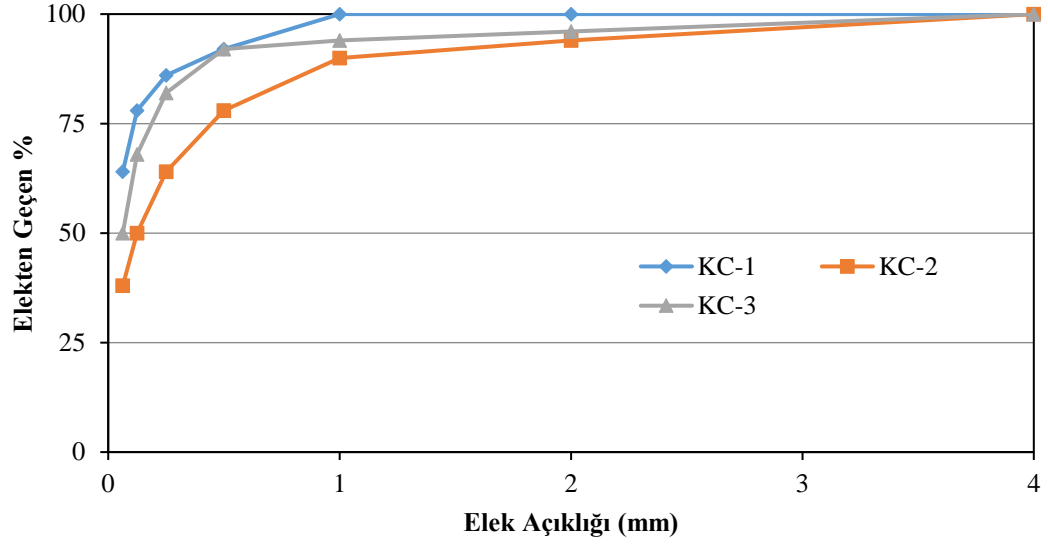
**Şekil 3.3.** Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü Sahası

Fabrikaların atık kömür külü sahalarından alınan kömür küllerinin tane boyutlarını belirlemek için elek analizi deneyine tabi tutulmuştur. Elek analizi deneyi sayesinde atık kömür küllerinin fiziksel özellikleri belirlenmiş olmaktadır. Herbir kömür külü

numunesi için elek analizi deneyi yapılmıştır. Yapılan elek analiz sonuçları Tablo 3.2’de ve elek açıklığına bağlı elek analizi Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Yapılan elek analizi sonuçlarına göre kömür külünün incelik bakımından sırasıyla (KC-1) kodlu kömür külü (KC-3) ve (KC-2) kodlu kömür külü şeklinde sıralanmaktadır.

**Tablo 3.2.** Çalışmada Kullanılan Atık Küllerin Elek Analiz Sonuçları

<b>Elek No (mm)</b>	<b>KC-1 Geçen (%)</b>	<b>KC-2 Geçen (%)</b>	<b>KC-3 Geçen (%)</b>
<b>4</b>	100	100	100
<b>2</b>	100	94	96
<b>1</b>	100	90	94
<b>0,5</b>	92	78	92
<b>0,250</b>	86	64	82
<b>0,125</b>	78	50	68
<b>0,063</b>	64	38	50



**Şekil 3.4.** Elekten Geçen Küllerin Elek Analizi Eğrisi

Çalışmada kullanılan kömür küllerine ait fiziksel özellikler Tablo 3.3'te verilmektedir. Şeker fabrikası atık kömür külü (KC-1) Şekil 3.5'te, Coşkunlar tuğla fabrikası atık kömür külü (KC-2) Şekil 3.6'da ve Üç Yıldırım tuğla fabrikası atık kömür külü (KC-3) ise Şekil 3.7'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.3.** Kömür Cürufu Yoğunluğu Değerleri

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)
KC-1	2,48	26,8
KC-2	2,41	40,0
KC-3	2,58	38,0



**Şekil 3.5.** Şeker Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-1)



**Şekil 3.6.** Çoşkunlar Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-2)

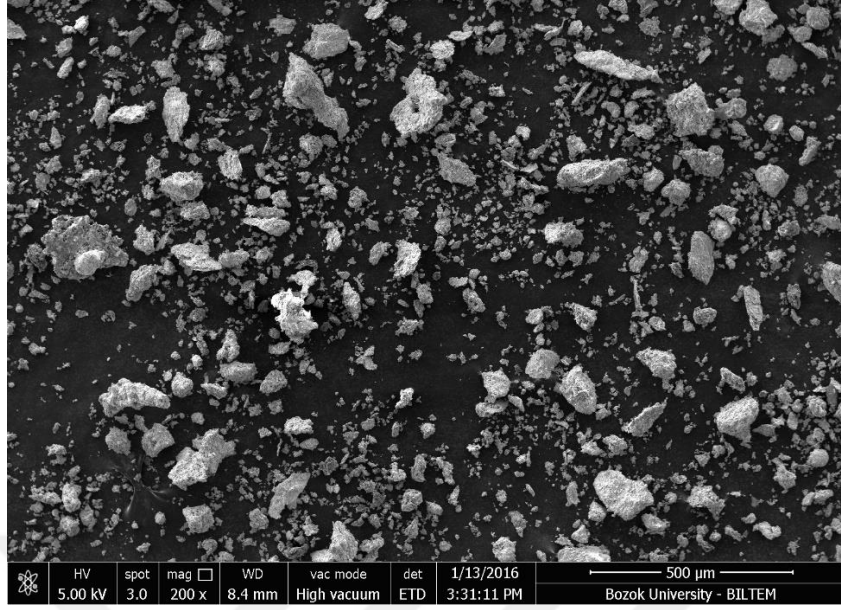


**Şekil 3.7.** Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası Atık Kömür Külü (KC-3)

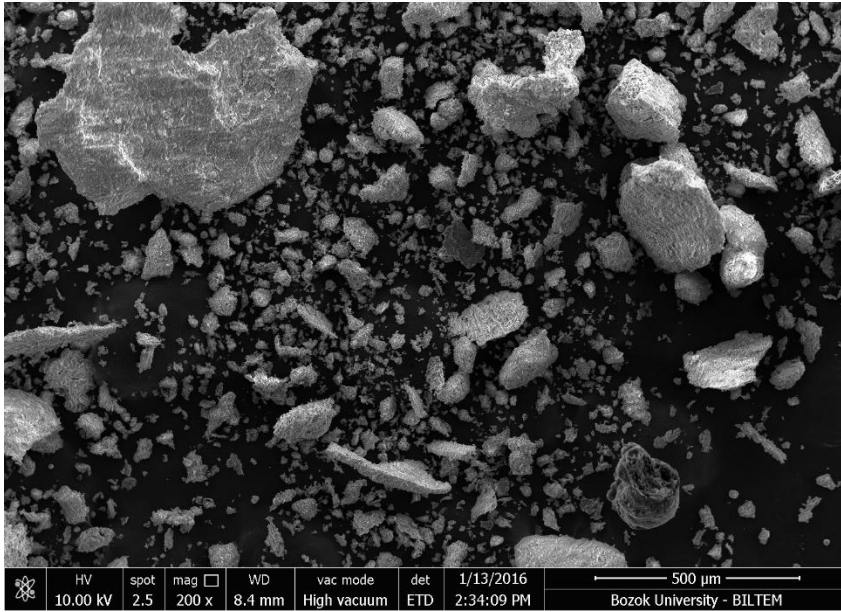
Çalışmada kullanılan atık kömür küllerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.4’de verilmiştir. Şeker fabrikası, Coşkunlar tuğla fabrikası ve Üç Yıldırım tuğla fabrikası atık kömür küllerine ait elektron mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da gösterilmektedir.

**Tablo 3.4.** Çalışmada Kullanılan Küllerin Kimyasal Özellikleri

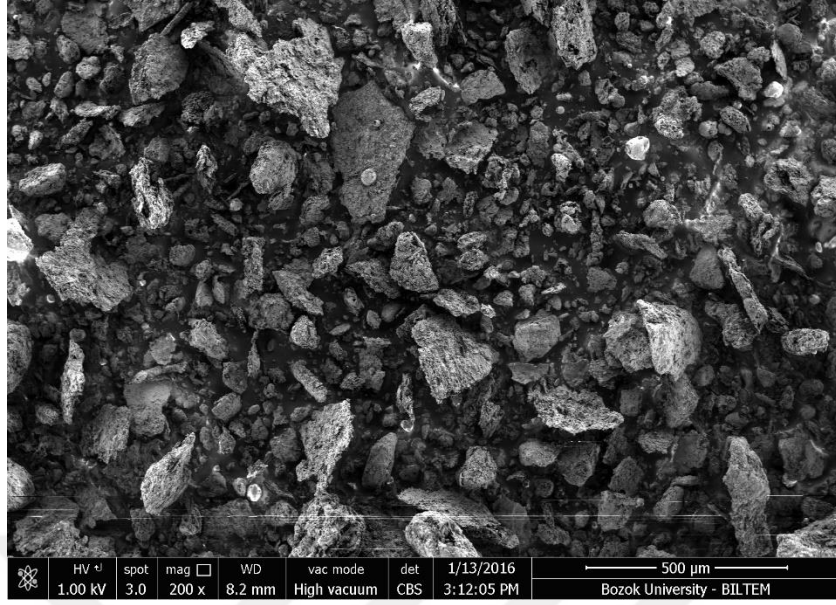
<b>Kimyasal Bileşim</b>			
<b>Bileşen</b>	<b>KC-1</b>	<b>KC-2</b>	<b>KC-3</b>
	<b>Yüzdesi (%)</b>	<b>Yüzdesi (%)</b>	<b>Yüzdesi (%)</b>
<b>Çözünen SiO<sub>2</sub></b>	50,28	49,89	53,03
<b>Çözünmeyen Kalıntı</b>	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,80	28,82	32,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,88	8,64	7,63
CaO	4,42	2,33	1,33
MgO	1,47	0,95	0,60
SO <sub>3</sub>	0,06	0,12	0,08
<b>Kızdırma Kaybı</b>	4,65	5,98	1,46
Na <sub>2</sub> O	0,74	0,32	0,21
K <sub>2</sub> O	1,35	1,63	1,65
<b>Ölçülemeyen</b>	1,35	1,32	1,62
<b>Toplam</b>	98,65	98,68	98,38
H <sub>2</sub> O	15,40	0,50	0,70



Şekil 3.8. Şeker Fabrikası (KC-1) Elektron Mikroskobu Görüntüsü



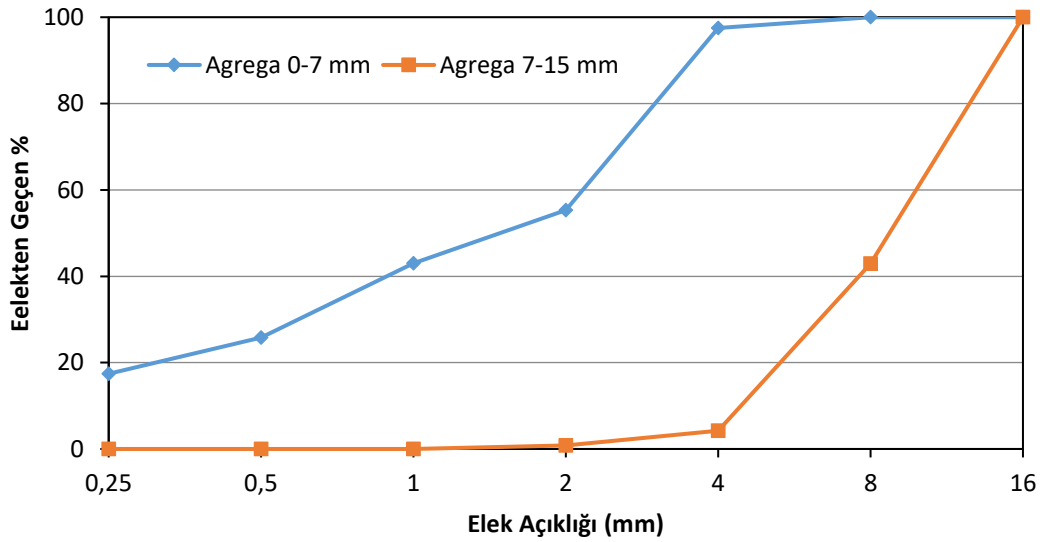
Şekil 3.9. Çoşkunlar Tuğla Fabrikası (KC-2) Elektron Mikroskobu Görüntüsü



Şekil 3.10. Üç Yıldırım Tuğla Fabrikası (KC-3) Elektron Mikroskobu Görüntüsü

### 3.1.2. Agregata

Çalışmada (0-7) mm ve (7-15) mm boyutlarında agregata kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan agregaların elek analizi sonuçları Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Agregata Ait Tane Dağılımı Eğrisi



**Şekil 3.12.** Çalışmada Kullanılan (0-7) mm Boyutlarındaki Agrega



**Şekil 3.13.** Çalışmada Kullanılan (7-15) mm Boyutlarındaki Agrega

#### **3.1.4. Karışım Suyu**

Yapılan çalışmada karışım suyu olarak Yozgat şebeke suyu kullanılmıştır.



### 3.2. Karışım Oranları

Yapılan çalışmada, kömür külü içermeyen karışım referans kabul edilmektedir. Bütün karışımlarda atık kömür külü çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilmiş ve kül oranları %0, %10, %20 ve %30, olacak şekilde numuneler üretilmiştir. Bu şekilde 4 farklı karışım numunesi kullanılmıştır. Harç karışım miktarları Tablo 3.5'te değerler gösterilmiştir.

**Tablo 3.5.** Parke Taşı Numuneleri İçin Karışım Miktarları

Karışım Kodu	Sıra No	Çimento (Kg)	Kül (%)	Kül (Kg)	Su (Kg)	Agrega (0-7 mm) Kg	Agrega (7-15 mm) Kg
REF.	1	120	0	0	60	650	350
KC-1	2	108	10	12	60	650	350
	3	96	20	24	60	650	350
	4	84	30	36	60	650	350
KC-2	5	108	10	12	60	650	350
	6	96	20	24	60	650	350
	7	84	30	36	60	650	350
KC-3	8	108	10	12	60	650	350
	9	96	20	24	60	650	350
	10	84	30	36	60	650	350

### 3.3. Numune Üretimi

Bu çalışmada standart kilit parke taş kalıpları kullanılarak Sorgun Taş Ltd.Şti'nin sahip olduğu kilit parke taş fabrikasında üç farklı kömür külü üç farklı oranlarda kömür külü çimento miktarının %0, %10, %20, %30, oranlarında çimento miktarıyla yer değiştirilmesi ile 4 farklı karışım 10 farklı grup olmak üzere 300 adet numune üretilmiştir. Standart küre tabii tutulan kilit parke taş numunesine herhangi bir ilave katılmamıştır ve referans olarak kabul edilmiştir.

Üretilen numunelerde kodlama sistemi uygulanmıştır. Bu sayede karışım malzemelerinin depolandığı bölümler, malzemelerin taşıma sistemleri, ölçme tertibatları ve uygun karıştırıcı kullanılmaktadır. Makinan üretim şeması ve makine çalışma şekli ve kullanım otomasyonu Şekil 3.14'te ve Şekil 3.15'te sırasıyla görülmektedir.



Şekil 3.14. Üretim Şeması ve Otomasyon Sistemi



**Şekil 3.15. Makina Kontrol Paneli**

Çalışmada numune üretilirken sırasıyla karışım miktarlarına göre kül, ince agrega, iri agrega, çimento ve su karışım silosuna Şekil 3.16'daki gibi ilave edilmektedir.



**Şekil 3.16. Üretim Başlangıcı Görünümü**

Karışım silosundan çıkan karışımlar kalıba dökülerek sıkıştırma bölümüne dökülmektedir. Kalıba döküle karışım Şekil 3.17’de gibi gösterilmektedir.



**Şekil 3.17.** Numune Üretilirken Uygulanan Baskı Makinesi

Baskı makinasından çıkan parke taşların üst kısmına görünüm açısından 0,3 (mm) boyutunda kumla sırlanarak Şekil 3.18’deki gibi üretilmektedir.



**Şekil 3.18.** Numune Üretilirken Uygulanan Baskı Makinesi

Çalışmada üretilen numunelerin boyutları Tablo 3.6’da verilen boyutlarda ve Şekil 3.19’da gösterilen şekildeki gibi numuneler üretilmektedir [60].

**Tablo 3.6.** Parke Taşı Üretiminde Kullanılan Tipik Numune Boyutu

Genişlik, (cm)	Uzunluk, (cm)	Yükseklik, (cm)
16	20	6



**Şekil 3.19.** Çalışmada Üretilen Numune Örneği

Üretilen numuneler bir gün sonra kür odasından çıkarılmış ve 1 hafta boyunca günde 2 defa (sabah akşam), yağmurlama yöntemi ile sulanmıştır. Burada amaç betonun priz alma süresini kısaltarak dayanımını artırmaktır.

Üretilen numuneler Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görüldüğü gibi üretilip depolanmıştır.



**Şekil 3.20.** 24 Saat Kür Odasında Bekletilen Numuneler



**Şekil 3.21.** Numune K rleme İşlemi

### 3.4. Deneyler

#### 3.4.1. Kuru Birim Ağırlık

Numunelerin birim ağırlığın tespiti yapılmış olup, bu numunelerin üretimi aşamasında TS EN 12350-6' da belirtilmiş olan kurallara uygun olarak herbir numune kodu için 3'er adet numunenin kuru birim ağırlık deneyleri yapılmıştır [60]. Birim hacim ağırlığı (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanmış ve deney sonuçları Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

$$BHA = \frac{W_0}{W_1 - W_2}, kg / m^3 \quad (3.1)$$

Burada,

$W_0$ : Etüv kurusu ağırlık

$W_1$ : Suyu doymun havadaki ağırlık

$W_2$ : Su içerisindeki ağırlık.

olarak ifade edilmektedir.

**Tablo 3.7.** Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	Birim Ağırlık, (Kg/m <sup>3</sup> )	Std. Sapma
REF.	0	2260	37,42
KC-1	10	2211	32,82
	20	2204	33,97
	30	2183	35,75
KC-2	10	2239	38,59
	20	2207	33,56
	30	2140	33,27
KC-3	10	2218	33,49
	20	2179	21,50
	30	2136	0,00

### 3.4.2. Su Emme

Çalışmada her bir numune kodu için %0, %10, %20 ve %30 kömür cürufu ikame edilen numuneler olmak üzere 3'erlik dağılımlarla ayrı ayrı su emme oranı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

Su emme deneyi için numuneler  $W_2$  kütesine ulaşıncaya dek suda bekletilmiştir. Suda bekletme süresince numunelerin belirli mesafede tutularak üzerine gelen su miktarının yaklaşık 20 (mm) seviyesinde ve altındaki su miktarı ise yaklaşık 15 (mm) civarında olmasına dikkat edilerek hazırlanmıştır. Suda geçen bu süre yaklaşık olarak 3 günü tamamladıktan sonra ardı ardına 2 tartım yapılarak arasındaki kütle farkı hesaplanmış olup bu sayede doymuş olan kütle kabul ettiğimiz seviyeye ulaşılmıştır. Numunelerin tartılmadan önce su dökülerek ne kadar su doymuş olduğuna bakılmıştır. Numunelerin yüzeyinin mat bir görünümde olması silme yöntemi ile kurulanmanın yeterli olduğunu göstermektedir. Birim hacim ağırlığı (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanmış olup deney sonuçları Tablo 3.8'de ve numunelere ait deney görüntüleri Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

$$\mu(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} * 100 \quad (3.2)$$

Burada,

$W_0$ : Etüv kuru ağırlık

$W_1$ : Suya doymuş havadaki ağırlık

$W_2$ : Su içerisindeki ağırlık.

olarak ifade edilmektedir.



**Tablo 3.8.** Su Emme Deney Sonuçları

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	Numune No	Kuru Ağırlık (g)	Doğgun Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Su Emme (%)	Ortalama Su Emme (%)	Std. Sapma
REF.	0	1	3598	3710	2114	3,11	2,99	0,244
		2	3667	3764	2159	2,65		
		3	3649	3766	2138	3,21		
KC-1	10	1	3711	3866	2183	4,18	3,97	0,161
		2	3716	3857	2178	3,79		
		3	3630	3773	2134	3,94		
	20	1	3634	3787	2138	4,21	4,20	0,078
		2	3731	3884	2196	4,10		
		3	3658	3815	2150	4,29		
	30	1	3674	3804	2163	3,54	4,41	0,629
		2	3582	3750	2101	4,69		
		3	3579	3758	2085	5,00		
KC-2	10	1	3887	4005	2301	3,04	3,69	0,570
		2	3685	3818	2175	3,61		
		3	3706	3870	2180	4,43		
	20	1	3690	3843	2166	4,15	4,28	0,145
		2	3613	3775	2133	4,48		
		3	3878	4041	2294	4,20		
	30	1	3753	3975	2217	5,92	5,72	0,168
		2	3832	4043	2268	5,51		
		3	3602	3809	2116	5,75		
KC-3	10	1	3633	3759	2135	3,47	3,80	0,325
		2	3696	3832	2173	3,68		
		3	3632	3786	2126	4,24		
	20	1	3649	3823	2145	4,77	4,68	0,305
		2	3600	3780	2119	5,00		
		3	3696	3854	2171	4,27		
	30	1	3607	3815	2127	5,77	5,74	0,148
		2	3618	3832	2129	5,91		
		3	3676	3880	2167	5,55		



**Şekil 3.22.** Su Emme Deneyi Numune Görünümü



**Şekil 3.23.** Sudaki Ağırlığın Tartımı

### 3.4.3. Porozite

Standart bakıma tabi tutulan 90 günlük numuneler kuru ağırlığı değişmeyinceye kadar kurumaya bırakıldı. Araştırmada üretilen karışım içerisinde kömür cürufu numunelerin porozite (boşluk oranı) değerleri herbir cüruf tipi için belirlenmiştir.

$$P = \frac{W_1 - W_0}{W_1 - W_2} * 100, (\%) \quad (3.3)$$

Burada,

$W_0$ : Etüv kurusu ağırlık

$W_1$ : Suyu doymuş havadaki ağırlık

$W_2$ : Su içerisindeki ağırlık.

olarak ifade edilmektedir.

Bu çalışmadaki üretimde standart karışım miktarları referans alınmıştır. Bütün karışımlarda atık kömür külü çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirmiş ve kül oranları %0, %10, %20 ve %30, olacak şekilde üretilen numunelerin porozite (boşluk) oranı belirlenmiştir. 300 adet Üretilen numunelerin porozite(boşluk) oranı % değerleri Tablo 3.9'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.9.** Porozite Deney Sonuçları

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	Porozite (%)	Std. Sapma
REF.	0	6,7	1,64
KC-1	10	8,2	1,42
	20	9,3	1,38
	30	9,6	1,44
KC-2	10	8,4	1,54
	20	9,4	1,43
	30	12,2	1,46
KC-3	10	8,8	1,44
	20	10,2	1,05
	30	12,3	0,00

#### 3.4.4. Aşınma Direnci

Üretilen numune kilit parke tasları aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyleri TS 2809 EN 1342'e göre yapılmıştır [61]. Üretilen numunelerin aşınma direnci (kütle kaybı) oranı % değerleri Tablo 3.10'da görünümü ise Şekil 3.24'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.10.** Aşınma Deneyi (Kütle Kaybı) Oranı Deney Sonuçları

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	Kütle Kaybı (Aşınma Deneyi) (%)	Std. Sapma
REF.	0	0,09	1,71
KC-1	10	0,09	1,73
	20	0,13	1,74
	30	1,47	1,72
KC-2	10	0,19	1,83
	20	1,35	1,73
	30	4,48	1,79
KC-3	10	0,26	1,81
	20	2,53	1,08
	30	4,70	0



**Şekil 3.24.** Aşınma Deneyi Böhme Cihazı Görünümü

#### **3.4.5. Yarma Dayanımı**

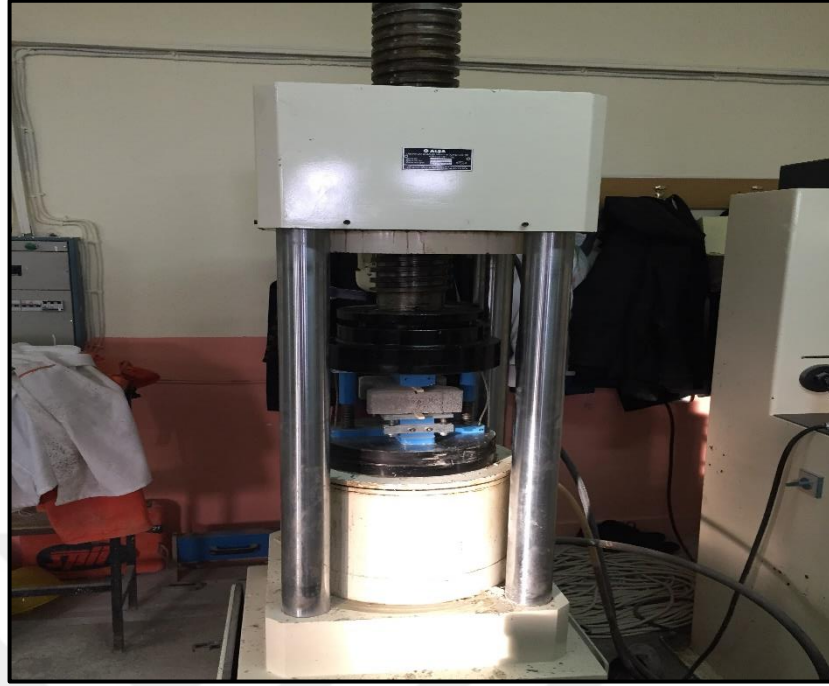
Yarma deneyleri TS 2824 EN 1338 'e göre yapılmıştır [62]. Standart şartlarına uygun numuneler deney yapmaya elverişli hale getirilmiştir.

Araştırmada %10, %20, %30 ve referans olarak 'da %0 kömür cürufu katkılı çimento esaslı üretilen numunelerden 15'şer adet numune kilit parke taşın her bir numune kodu için yarma dayanımları Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Deneye tabi tutulan numuneler yarma deneyi cihazına Şekil 3.20'deki gibi yerleştirilmektedir. Bu sayede yarma deneyine tabi tutulan numuneler basınç altında paralel bir şekilde ve yarıma kesit boyunca gerçekleşmiş olmaktadır. Yarma deneyinde uygulanan yük değerleri ortalama (0,05) MPa gerilme artışını sağlayacak şekilde uygulama yapılmaktadır. Bu sayede uygulanan yük sonrasında herbir kilit parke taş için yarma dayanımı değerleri bulunmaktadır. Yarma deneyi düzeneği Şekil 3.25'te gösterilmektedir.

**Tablo 3.11.** 90 Günlük Numunelere Ait Yarma Dayanımı Deney Sonuçları

No	KC-1			KC-2			KC-3			REF.
	%10	%20	%30	%10	%20	%30	%10	%20	%30	
1	3,72	3,83	2,82	2,30	3,72	2,04	3,65	3,32	2,44	4,05
2	4,66	3,31	3,27	3,04	2,63	2,36	2,65	3,42	2,04	3,73
3	3,74	3,86	2,95	3,59	2,87	2,40	2,48	2,79	2,09	4,55
4	3,72	4,00	3,06	2,55	3,53	3,03	3,00	2,50	2,41	3,99
5	4,01	2,34	2,95	4,89	2,44	2,69	4,02	2,19	2,12	3,13
6	5,16	2,72	2,92	3,53	2,99	2,63	2,92	2,68	2,47	3,17
7	3,78	3,81	3,59	3,59	3,34	2,40	3,16	2,59	2,16	3,48
8	2,92	3,20	3,21	3,21	3,55	2,84	2,98	2,94	1,88	5,26
9	2,98	3,97	3,95	2,35	2,69	2,45	2,74	2,92	1,64	3,25
10	2,24	2,75	3,13	3,31	3,61	1,91	3,58	1,96	2,07	4,50
11	2,48	3,78	3,01	4,24	3,16	2,66	3,59	2,55	2,01	4,45
12	3,44	3,58	2,80	3,39	3,09	2,40	4,32	2,17	2,44	4,51
13	3,97	3,95	2,98	3,55	3,25	2,27	2,65	1,98	2,19	3,72
14	3,01	3,53	2,54	3,52	2,56	2,21	2,68	2,67	2,01	4,46
15	4,45	3,39	2,19	4,59	2,58	2,30	2,66	2,17	2,15	3,14
<b>Ort.</b>	3,97	3,66	2,94	3,60	3,16	2,48	3,18	2,67	2,19	0,630
<b>S.S</b>	0,775	0,499	0,393	0,714	0,413	0,284	0,544	0,432	0,221	0,630



**Şekil 3.25.** Yarma Deneyi Düzeneği

Bir haftalık kr edilerek hazırlanan numuneler 90 günlük yarma deneyine tabi tutulan numunelerin yarma deneyi sonrasında numuneler 2 parçaya ayrılarak Şekil 3.26'da görülmektedir.



**Şekil 3.26.** Yarma Deneyi Sonrası Numunelerin Görünümü

Bir haftalık küre tabi tutulmuş numuneler 360 günlük yarma deneyine tabi tutularak numuneler deney yapmaya elverişli hale getirilmiş ve TS 2824 EN 1338 'e göre yarma deneyi yapılmıştır [62].

Araştırmada %10, %20, %30 ve referans olarak 'da %0 kömür cürufu ikameli çimento esaslı 360 günlük numunelerden 3'er adet kilit parke taş kullanılmıştır. Yapılan deney sonucunda her bir numune kodu için yarma dayanımları değerleri Tablo 3.12'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.12.** 360 Günlük Numunelere Ait Yarma Dayanımı Deney Sonuçları

NO	KC-1			KC-2			KC-3			REF.
	%10	%20	%30	%10	%20	%30	%10	%20	%30	
<b>1</b>	4,56	4,29	4,23	5,31	2,72	2,26	4,14	4,35	2,09	5,83
<b>2</b>	4,97	4,81	2,59	4,20	3,99	2,33	3,75	4,08	2,93	5,37
<b>3</b>	5,12	4,60	2,96	4,44	3,31	3,33	4,53	3,96	4,94	5,09
<b>Ort.</b>	4,88	4,57	3,26	4,65	3,34	2,64	4,14	4,13	3,32	5,43
<b>S.S</b>	0,234	0,215	0,700	0,475	0,516	0,487	0,320	0,164	1,198	0,303



360 günlük yarma deneyine tabi tutulan kilit parke taş numunelerinin Sorgun Taş Ltd.Şti'e ait kilit parke taş fabrikasında yapılan yarma deneyi görünümü Şekil 3.27'de gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Yarma Deneyi Düzeneği Sorgun Taş Ltd. Şti

#### 3.4.6. Donma-Çözülme

Çalışmada üretilen numuneler kodlama yöntemiyle kodlanmıştır. Herbir numuneden 3'er adet numune taş kesme makinesiyle küp şeklinde kesilerek Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler plastik bir kap içerisine konarak etrafına poliüretan köpük sıkılmış ve bu sayede donma-çözülme deneyine tabi tutulan numuneler için deney hazırlığı Şekil 3.30'daki gibi deney numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 3.31'de görünen numuneler üzerine donma-çözülme deneyi için yeteri miktarda numuneler üzerine su konarak numuneler donma-çözülme deney cihazına yerleştirilmiş +20°C ve -20°C arasında 36 çevrim uygulanmış ve daha sonra numuneler cihazdan çıkarılarak deney sonucu değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.28.** Numunelerin Kesilmesi



**Şekil 3.29.** Kesilen Numunelerin Görünümü



Şekil 3.30. Numunelerin Deneye Hazır Hale Getirilmesi



Şekil 3.31. Donma-Çözülme Deneyi İçin Hazırlanan Numune Görünümü

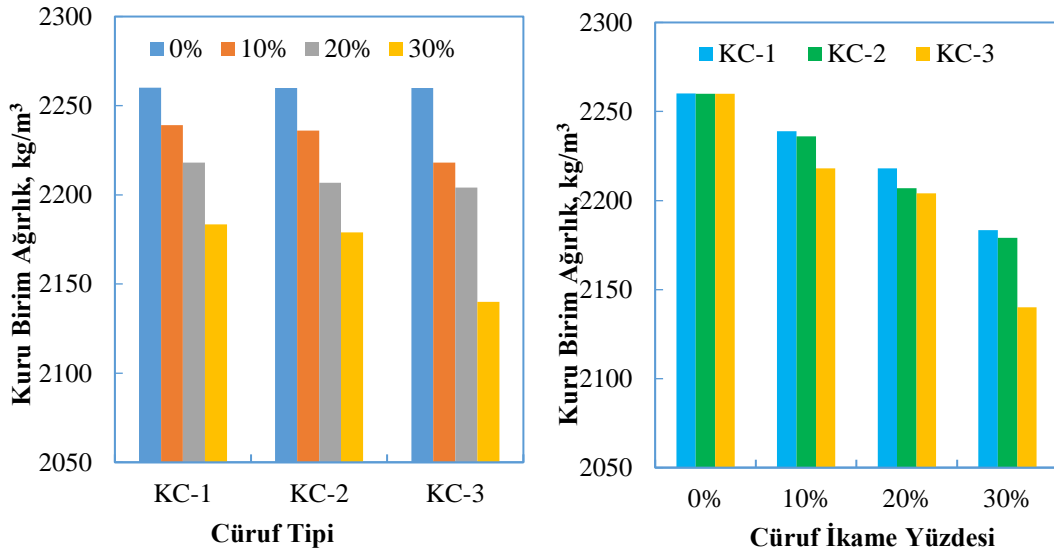
## 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada deneylerin sonuçlarına ve değerlendirmesine bu bölümde değinilmektedir.

### 4.1. Fiziksel Özellikler

#### 4.1.1.Kuru Birim Ağırlık

Şekil 4.1’de üretilen numunelerin kuru birim ağırlık değişimleri kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre sırasıyla verilmektedir.



Şekil 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Değişimi

Karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin kuru birim ağırlıkları her bir cüruf tipi için azalmıştır.

KC-1 kodlu numunede en fazla kuru birim ağırlık değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %3,3 oranında azalmıştır. Kuru birim ağırlık değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %0,93 ve %1,86 oranında azalmıştır.

KC-2 kodlu numunede en fazla kuru birim ağırlık değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %3,7 oranında azalmıştır. Kuru

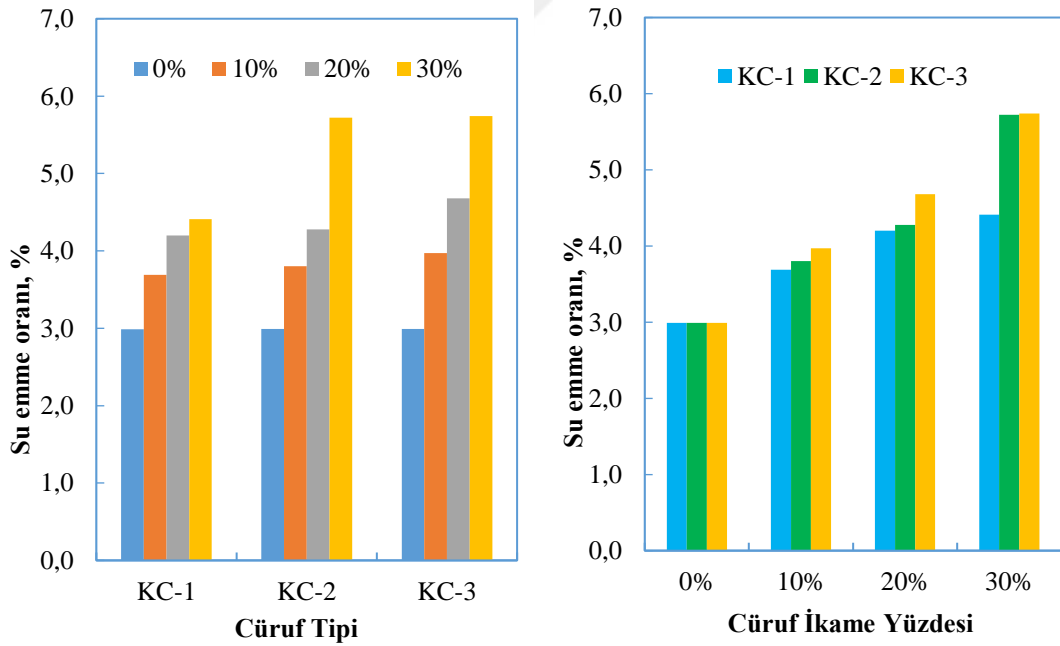
birim ağırlık değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %0,01 ve %2,4 oranında azalmıştır.

KC-3 kodlu numunede en fazla kuru birim ağırlık değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %5,6 oranında azalmıştır. Kuru birim ağırlık değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %1,89 ve %2,54 oranında azalmıştır.

Cüruf ikame miktarı grafikleri incelendiğinde KC-1 kodlu numunelerin her bir ikame yüzdesinde KC-2 ve KC-3 kodlu numunelere kıyasla kuru birim ağırlığı daha az düşürdüğü görülmüştür.

#### 4.1.2. Su Emme

Numunelerin su emme oranları kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre sırasıyla Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Numunelerin Su Emme Oranı Değişimi

Karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin su emme oranları her bir cüruf tipi için artmıştır. Bu durumun kullanılan cürufların inceliğinden

kaynaklandığını göstermektedir. Burada su emme oranı en az KC-1'de görüldüğü en fazla su emme ise KC-3'de görülmektedir.

KC-1 kodlu numunede en az su emme oranı değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %23 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %40 ve %47 oranında artmıştır.

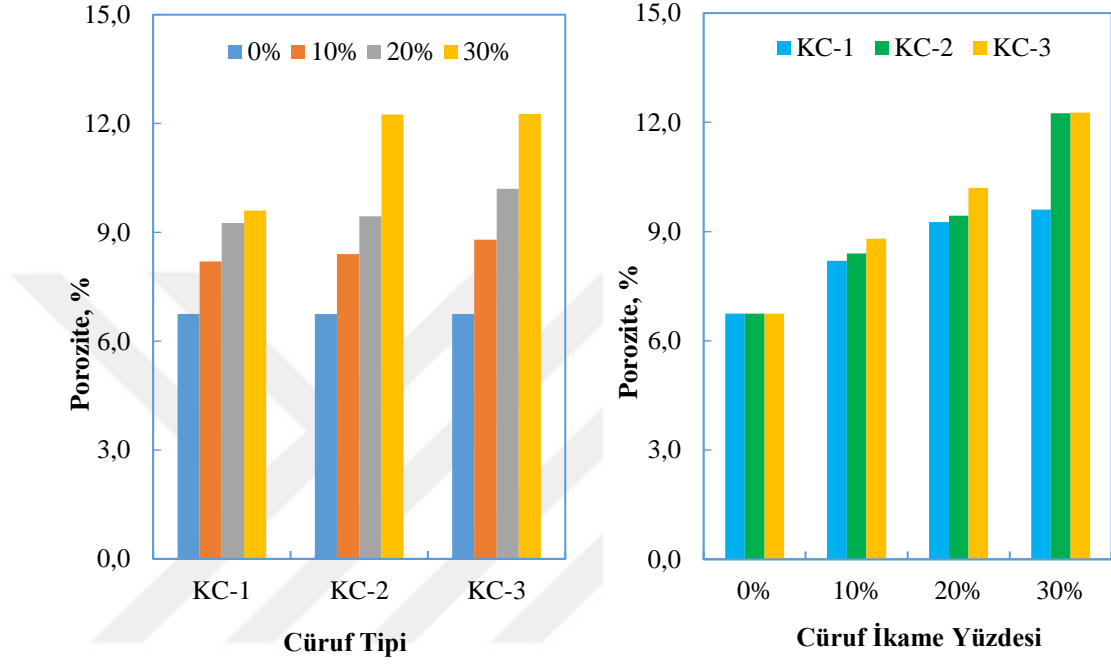
KC-2 kodlu numunede en az su emme oranı değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %27 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %43 ve %52 oranında artmıştır.

KC-2 kodlu numunede en az su emme oranı değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %25 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %27 ve %52 oranında artmıştır.

Cüruf ikame miktarı grafikleri incelendiğinde KC-1 kodlu numunelerin her bir ikame yüzdesinde KC-2 ve KC-3 kodlu numunelere kıyasla su emme oranını daha az düşürdüğü görülmüştür.

### 4.1.3. Porozite

Çalışmada Şekil 4.3'te üretilen numunelerin porozite oranı değişimleri kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre değişimi sırasıyla verilmektedir.



Şekil 4.3. Kömür Cürufu Miktarına Bağlı Porozite Oranı

Karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin porozite oranlarında her bir cüruf tipi için artmıştır. Su emme oranı değerleri ile benzer olarak, porozitedeki bu artışın kullanılan cürufların incelik yapısından kaynaklanmaktadır.

KC-1 kodlu numunede en fazla porozite oranı değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %29 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %19 ve %28 oranında artmıştır.

KC-2 kodlu numunede en fazla porozite oranı değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %45 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %21 ve %29 oranında artmıştır.

KC-3 kodlu numunede en fazla porozite oranı değişimi %30 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %46 oranında artmıştır. Porozite oranı değerleri %10 ve %20 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %24 ve %34 oranında artmıştır.

Cüruf ikame miktarı grafikleri incelendiğinde KC-1 kodlu numunelerin her bir ikame yüzdesinde KC-2 ve KC-3 kodlu numunelere kıyasla porozite oranı değişini daha az düşürdüğü görülmüştür.

#### **4.1.4. Donma – zlme**

Donma-znme deneyi sonucunda parkelerin üst yüzeyinde kullanılan sır tabakası dolayısıyla hasar oluşmamıştır. Deney öncesinde numunelerde hasar oluşacağı düşünülerek tüm numuneler sır tabakalı olarak deneye tabi tutulmuştur.



## 4.2. Mekanik Özellikler

### 4.2.1. Yarma Dayanımı

Numunelerin 90 günlük yarma dayanımından elde edilen sonuçlar kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre sırasıyla Tablo 4.1’de verilmektedir.

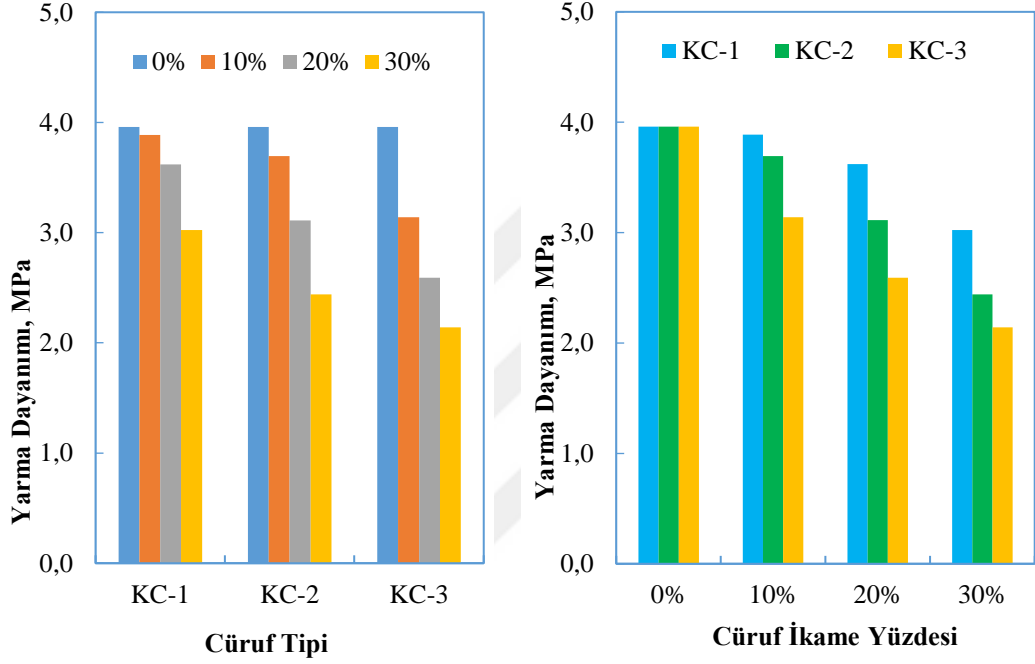
**Tablo 4.1.** 90 Günlük Yarma Dayanım Deney Sonuçları

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	Yarma Dayanımı	
		Ortalama Yarma Dayanımı (MPa)	Minimum Yarma Dayanımı (MPa)
REF	0	3,96	3,13
KC-1	10	3,89	2,98
	20	3,62	2,85
	30	3,02	2,19
KC-2	10	3,69	2,92
	20	3,07	2,44
	30	2,44	1,91
KC-3	10	3,14	2,48
	20	2,59	1,96
	30	2,14	1,64

Karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin yarma dayanımları azalmaktadır. 90 günlük yarma dayanımından elde edilen sonuçlara bağlı olarak TS 2824 prEN 1338 standardına göre yarma dayanımı için verilen 3,5 MPa ortalama dayanım ve 2,8 MPa minimum dayanım (deney numuneleri içerisindeki en düşük

dayanım) şartı KC-1 nolu numunede %10 ve %20 cüruf ikame oranında, ayrıca KC-2 nolu numunede %10 cüruf ikame oranında minimum değerler sağlanmaktadır [62].

Çalışmada üretilen numunelerin 90 günlük yarma dayanımları kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.4'te verilmektedir.



**Şekil 4.4.** 90 Günlük Küre Tabi Numunelerin Yarma Dayanımı Deneyi Grafiği

Grafik incelendiğinde karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin yarma dayanımları her bir cüruf tipi için azalmaktadır. En yüksek performans KC-1 kodlu %10 cüruf ikameli numune olduğu görülmektedir.

KC-1 kodlu numunede en iyi performans değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %2 oranında azalmıştır. Yarma dayanımı oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %9 ve %24 oranında azalmıştır.

KC-2 kodlu numunede en iyi performans değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %7 oranında azalmıştır. Yarma dayanımı oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %22 ve %39 oranında azalmıştır.

KC-3 kodlu numunede en iyi performans değişimi %10 kömür cürufu ikameli numunede görülmüş olup referans numuneye göre %21 oranında azalmıştır. Yarma dayanımı oranı değerleri %20 ve %30 kömür cürufu ikameli numunelerde sırasıyla %35 ve %46 oranında azalmıştır.

Cüruf ikame miktarı grafikleri incelendiğinde KC-1 kodlu numunelerin her bir ikame yüzdesinde KC-2 ve KC-3 kodlu numunelere kıyasla yarma dayanım değerlerini daha az düşürdüğü görülmüştür.

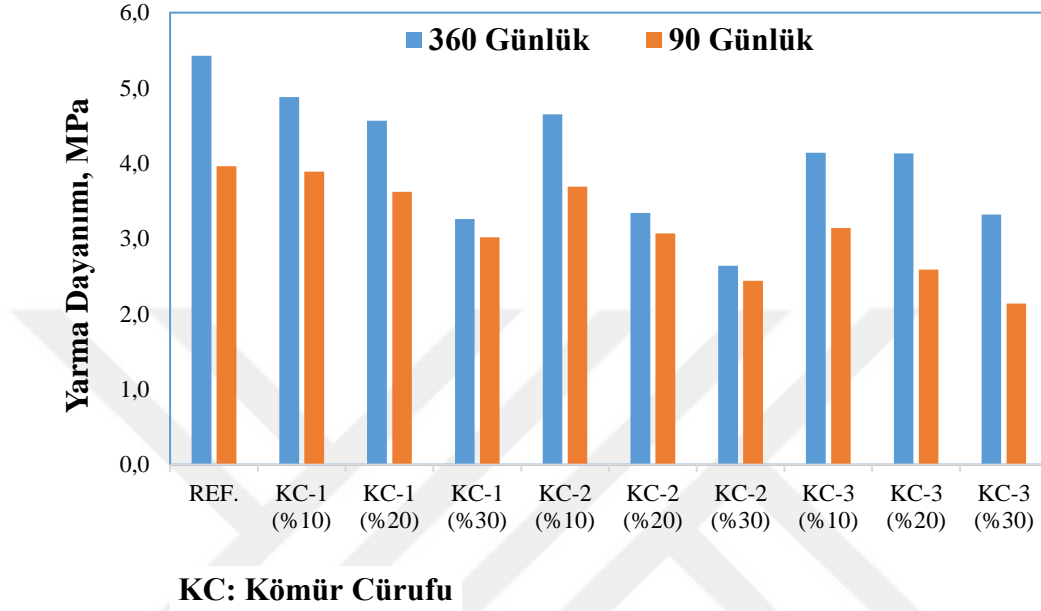
Çalışmada üretilen numunelerin 90 ve 360 günlük yarma dayanımı deneyleri yapılarak ortalama yarma dayanımı değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir. Bulunan bu değerler basınç dayanım değeri olarak not edilmiştir.

**Tablo 4.2.** 90 ve 360 Günlük Yarma Dayanımı DeneY Sonuçları Karşılaştırılması

Numune Kodu	Cüruf İkame (%)	90-360 Gün Artış Oranı (%)	90 Günlük Yarma Dayanımı		360 Günlük Yarma Dayanımı	
			Ortalama Yarma Dayanımı (MPa)	Std. Sapma	Ortalama Yarma Dayanımı (MPa)	Std. Sapma
REF	0	27	3,96	0,630	5,43	0,303
KC-1	10	20	3,89	0,775	4,88	0,237
	20	20	3,62	0,499	4,57	0,215
	30	7	3,02	0,393	3,26	0,700
KC-2	10	21	3,69	0,714	4,65	0,475
	20	8	3,07	0,413	3,34	0,516
	30	8	2,44	0,284	2,64	0,487
KC-3	10	24	3,14	0,544	4,14	0,320
	20	37	2,59	0,432	4,13	0,163
	30	36	2,14	0,221	3,32	1,198

Yapılan çalışmada bu sayede herbir numune koduna ait 90 ve 360 günlük artış oranında tespit edilmiş olmaktadır. Yapılan tespite göre herbir numunenin zaman geçtikçe dayanımın arttığı görülmüştür. En fazla artış KC-3 kodlu numunede meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak 360 günlük yarma dayanımı TS 2824 prEN 1338 standardına göre yarma dayanımı için verilen 3,5 MPa ortalama dayanım (deneY numuneleri içerisindeki en düşük dayanım) şartına göre KC-1 kodlu %10 cüruf ikameli numunen %20 artışla minimum değeri sağladığı, KC-1 kodlu %20 cüruf ikameli numunenin %20 artışla minimum değeri sağladığı görülmüştür [62]. Ayrıca KC-2 kodlu %10 cüruf ikameli ve KC-3 kodlu %10 ve %20 cüruf ikameli numunelerin %21 ve %24 artışla minimum değeri sağlamaktadır.

Çalışmada üretilen numunelerin 90 ve 360 günlük yarma dayanımları kullanılan cüruf ikame tipine ve ikame miktarlarına göre değişimi sırasıyla Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. 90 ve 360 Günlük Numunelerin Yarma Dayanımı Deney Grafiği

Grafiğe göre bütün numunelerin yarma dayanımı arttığı görülmektedir. Referans numunenin 360 günlük dayanımı 90 günlük dayanımından %27 daha fazla olduğu ve numuneler içerisinde en yüksek değere sahip olduğu grafikten görülmektedir.

KC-1 kodlu numunenin 90 ve 360 günlük artış değerlerine göre karşılaştırıldığında en fazla dayanım artışı %10 ve %20 ikameli numunelerde, en düşük artışın ise %30 olduğu grafikten görülmektedir

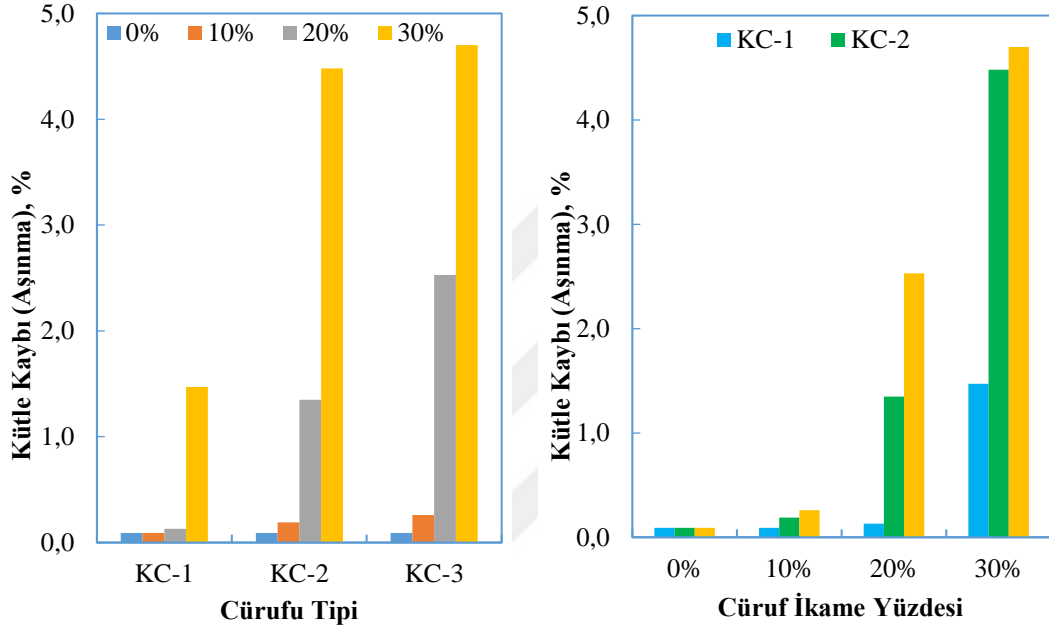
KC-2 kodlu numunenin 90 ve 360 günlük grafikleri incelendiğinde en yüksek artışın %10'da en düşük artışın ise %20 ve %30 ikameli numunelerde olduğu görülmektedir.

KC-3 kodlu numunenin 90 ve 360 günlük grafikleri incelendiğinde en yüksek artışın %20'de ve en düşük artışın %10 ikameli numunede olduğu görülmektedir.

### 4.3. Dayanıklılık Özellikleri

#### 4.3.1. Aşınma Direnci

Karışım içerisinde kömür cürufu miktarı arttıkça numunelerin kütle kaybı miktarlarında arttığı Şekil 4.6'daki grafikte görülmektedir.



Şekil 4.6. 90 Günlük Küre Tabi Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları

KC-1 kodlu numunede en fazla aşınma değeri %30 kömür cürufu ikameli numunede gözlemlenmiş olup, %20 kömür cürufu ikameli numune arasında %91, %10 kömür cürufu ikameli numune arasında %94 ve referans numuneye göre %99 daha fazla değişimi görülmektedir.

KC-2 kodlu numunede en fazla aşınma %30 kömür cürufu ikameli numunede gözlemlenmiş olup, %20 kömür cürufu ikameli numune arasında %70, %10 kömür cürufu ikameli numune arasında %96 ve referans numuneye göre %98 oranında değişimi görülmektedir.

KC-3 kodlu numunede en fazla aşınma %30 kömür cürufu ikameli numunede gözlemlenmiş olup, %20 kömür cürufu ikameli numune arasında %46, %10 kömür cürufu ikameli numune arasında %94 ve referans numuneye göre %98 oranında değişimi görülmektedir.

KC-1 kodlu %10 kömür cürufu ikameli numunede en az kütle kaybı meydana gelmiş meydana gelmiş olup, KC-2 kodlu %10 kömür cürufu ikameli numuneden %53 ve KC-3 kodlu %10 kömür cürufu ikameli numuneden %65 daha az olduğu anlaşılmaktadır.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Özellikle fabrikalar ve termik santrallerde yanma sonucu ortaya çıkan tonlarca küllerin ekonomiye katılarak hem atık üretimini azaltma hem de çevreye zararlarının giderilmesine adına yan ürün olarak kullanılması önem arz etmektedir. Endüstriyel atık olan küller fiziksel olarak incelik özellikleri sayesinde beton üretiminde çimentoya ve agregaya katılarak değerlendirilebilir. Çalışmada atık kömür külü (cürufu) ikameli çimento esaslı kilitli parke taşlarının 90 günlük yarma dayanımını, 360 günlük yarma dayanımı, su emme, porozite, donma-çözülme, aşınma dayanımı ve yoğunluk özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışmada kullanılan kömür cüruflarının çimentonun yerine %10, %20 ve %30 oranlarda yer değiştirmesi ile üretilen beton kilit parke taşlarının kuru birim ağırlıklarında azalma gözlenirken, su emme ve porozite oranlarında artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar çimentoya kıyasla daha düşük yoğunluğa ve daha ince bir yapıya sahip kullanılan kömür cüruflarının bir neticesi olarak değerlendirilmektedir.
- Çalışmada kullanılan 90 günlük numunelerin yarma deneyi sonucunda 3 farklı kömür cürufundan KC-1 kodlu cüruf %10 ve %20 oranlarında, KC-2 kodlu cüruf ise %10 oranında çimento ile yer değiştirdiğinde beton parke taşları için ilgili standartta verilen minimum değerleri sağladığı görülmektedir.
- Çalışmada kullanılan 360 günlük numunelerin yarma deneyi sonucunda 3 farklı kömür cürufundan KC-1 kodlu cüruf %10 ve %20 oranlarında, KC-2 kodlu cüruf ise %10 oranında bunlara ilave olarak yaşın artmasıyla KC-3 kodlu %10 ve %20 cüruf ikameli numunelerinde beton parke taşları için ilgili standartta verilen minimum değerleri sağladığı görülmektedir.
- Uygun kömür cürufu kullanılarak daha ekonomik (çimento miktarında azalma ile) beton parke taşı üretmek mümkün olabilmektedir.



- Kömür cüruflarının kimyasal yapıları da dikkate alınarak imento bağlayıcı beton parke taşları üzerindeki etkileri ve performansları üretilen numunelerin içyapı incelemeleri ile desteklenerek değerlendirilmelidirler.
- Kalıcılık (durabilite) açısından kömür cürufu kullanılarak üretilen beton parke taşlarının uzun süreli (5 yıllık) davranışlarının incelenmesinde fayda vardır.



## KAYNAKLAR

1. Açıkgöz, Y., Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2008.
2. Durmuş, G., Şimşek, O. Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Tübav Bilim Dergisi,1(1),1-6, Ankara,2008.
3. Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2Q05, İzmir, Haziran 9-12, 2005.
4. Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması Ve Özellikleri, TCMB / Ar-Ge / y03.03, Ankara, Temmuz 2009.
5. Yüksel, İ., Bilir, T., Yüksek Fırın Cürufunun Parke ve Bordür Üretiminde Kullanılması, Deprem Sempozyumu 2003, Kocaeli, Mart 23-25, 2005.
6. Kaya, T., Karakurt, C., Uygulamadaki Beton Parke Taşlarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 469-474, Düzce, 2016.
7. <http://www.betonparke.net/neden-beton-parke.asp>, 2014. (20/12/2018)
8. Kırdım, Ö., Seyitömer (Kütahya-Türkiye) Termik Santralında Yanan Kömürlerin ve Oluşan Katı Atıkların Mineralojisi ve Petrografisi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2006.
9. DEK-TMK, Türkiye Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayını, 2004.
10. Şimşek, E.H., Türk Kömürlerinin Mikrodalga Enerji Etkisiyle Tetralindeki Hidrojenerasyonu, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 1997.
11. Ateşok, G., Kömür Hazırlama, s.190, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 1986.
12. Kural, O., Kömür Özellikleri, Teknolojisi Ve Çevre İlişkileri, 785, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 1998.
13. IEA (International Energy Agency), World Energy Outlook, Paris, 2013b, 573, 2013.

14. Ward, C.R., Analysis And Significance of Mineral Matter in Coal Seams, International Journal of Coal Geology, 50, 135-168, 2002.
15. WEC (World Energy Council), World Energy Resources – 2013 Survey, London, 9-10, 2013.
16. BP (British Petroleum), Statistical Review of World Energy, British, June 2014.
17. Miller B.G., Coal Energy Systems Elsevier Academic Press, Landon, p.195-267, 2005.
18. National Energy Technology Laboratory, Fischer-Tropsch Synthesis Pittsburgh, USA, March 2016.
19. Bell, D.A., Towler, B.F., Fan, M., Coal Gasification and Its Applications, Elsevier, Great Britain, 78, 2011.
20. Wüster, D.R., Brikettierung Der Steinkohle, Verlag Glückauf GMBH, Essen, 1958.
21. Zouboulis, A.I., Tzimou-Tsitouridou, R., Fly Ash Utilization in Environmental Engineering the Case of Greece, Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes, Rainbow, Balkema, Rotterdam, 493-499, 1990.
22. Finkelman, R.B., Environmental Impacts of Trace Elements in Coal, Short Course Notes, Sponsored by USGS and General Directorate of Human Research and Exploration, Ankara, 1996.
23. Swaine, D.J., The Contents and Some Related Aspects of Trace Elements in Coal in Environmental Aspects of Trace Elements in Coal, Ed. By. D.J. Swaine And F. Goodarzi, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 5-19, 1995.
24. Bayat, O., Characterization of Turkish Fly Ashes, Fuel 77, 1059-1066. 1998.
25. Çağlar, G.A., Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
26. Davutoglu, C., Termik Santral Baca Gazı Arıtma Tesisi Kaynaklı Koagülasyon Çamurunda Florür Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2008.

27. Akar, G., Kömür Mineral Madde İçeriğinin Yanma Prosesindeki Etkilerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Mayıs 2009.
28. ASTM C618. Standart Specification for Coal Fly Ash Coal Fly Ashand Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM international, West Conshohoken, PA, 2017.
29. Ataç, A., Çayırhan Uçucu Külü ile Üretilen Betonlarda Kür Koşullarının Beton Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001.
30. Gündeşli, U., Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton Ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2008.
31. Alkaya, D., Uçucu Kül Katkısının Dolgu Zeminlerin Stabilitesine Etkisi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2002.
32. G. Güler, E. Güler, Ü. İpekoğlu, H. Mordoğan, Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2Q05, İzmir, sayfa:422-423,9-12 Haziran, 2005.
33. U.S. Environmental Protection Agency, Wastes from The Combustion of Coal by Electric Utility Power Plants, Washington DC, USEPA Rep. 530-SW-88-002 USEPA, 1988.
34. Theis, TL., Westrick., JD, Hsu CL, Marley, JJ., Fieldin vestigation of tracemetals in ground water from fly ashdisposal, Water Pollut, Control Fed, 50, 2457-2469, 1978.
35. Kopsick, D. A., Angino, EE., Effect of leachate solitions from fly And bottomash on ground water quality. J. Hydroi, 54, 341-356, 1981.
36. Cher Kauer, DS., The effect of fly ash disposal on a shallow ground-water system. Ground Water, 18, 554-550, 1980.
37. Mattigod, SV., Rai, D., Eary, LE., Ains worth, CC., Geochemical factors controlling them obilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: I. Review of the majör elements/ Environ QuaL, 19, 188-201, 1990.

38. Spencer, LLS., Drake, LD., Hydrogeology of an alkaline fly ash land fill in eastern Iowa. Ground Water, 25, 519-526, 1987.
39. DiGioia, AM., JE, Niece., RP, Hayden., Environmentally acceptable coal-ash disposalsites. Civ. Eng. 44:64-67, 1974.
40. Yüksek, S., Kaya, S., Kömür Baca Külü, Kireç ve Jips Ürünlerinden Yapı Malzemesi Yapımı, APJES 5-3, 58-70, 2017.
41. Akkaya, B., Toroğlu, İ., Uçucu Külün Boyutu ile Puzolanik Aktivitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 412-418, 2017.
42. Tekin, İ., Tekin, D., Taban Külü İkame Edilmiş Kompoze Çimentolarda Süper akışkanlaştırıcı Etkisinin Araştırılma, Politeknik Dergisi,21(1), 39-46, 2018
43. Doğan – Sağlam Timur, N., Bilgil, A., Atık Kazan Altı Külü ve Pomza Elek Altı Atığından Geopolimer Yapı Malzemesi Üretimi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, 590-599, 2018.
44. Koçak, Y., Termik Santral Atığı Uçucu Külün Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, 135-140, 2011.
45. Ulugöl, H., Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Çimentonun Mekanik Ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2015.
46. Kara, C., Bekem, İ., Endüstriyel Atıkların Beton Dayanımına Etkisi Üzerine Bir Çalışma: Çay Fabrikası Kömür Külü Örneği, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7 (2), 75- 85, Tokat, 2018.
47. Delikurt, B.C., Sevim, U.K., Sugözü Uçucu Külünün Betonun Mekanik Ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4 (1), 47-58, Niğde, 2015.
48. Topçu, İ.B., Canbaz, M., Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim. Fak.Dergisi, C.XIV, 2, Eskişehir, 2001.
49. Dorum, A., Tekin, İ., Uçucu Kül İkameli Çimento Harcının Basınç Dayanımı ve Priz Zamanına Distile Su Etkisinin Araştırılması, Politeknik Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 3, 243-250, 2004.

50. TS EN 196-1. Çimento Dayanım Metotları- Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
51. TS EN 196-3. Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
52. Çelik, Ö., Farklı İnceliklerdeki Tras Ve Uçucu Külün Çimento Dayanımlarına Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 3, 333-3337, Denizli, 2004.
53. Subaşı, S., Koçak, Y., Emiroğlu, M., Uçucu Kül Tür Ve Miktarlarının Çimento Mekanik Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt:14, Sayı: 2, S 155-161, 2011.
54. ASTM C230. Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. ASTM international, West Conshohoken, PA, 2014.
55. ASTM C109. Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens). ASTM international, West Conshohoken, PA, 2016.
56. ASTM C1437. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM international, West Conshohoken, PA, 2015.
57. Subaşı, S., İşbilir, B., Ercan, İ., Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt:14, Sayı: 2, S 141-148, 2011.
58. Güçlüer, K., Ünal, O., Uçucu Kül İçeriğinin Beton Basınç Dayanımı ve Geçirimsizliği Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 1, 11-18, 2010.
59. Bilim, C., Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Adana, 2006.
60. TS EN 12350-6. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
61. TS 2809 EN 1342. Dış Zemin Döşemeleri İçin Tabi Parke Taşları-Özellikler ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.

62. TS 2824 prEN 1338. Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-25, 2006.



## ÖZGEÇMİŞ

Osman OKUR, 1986 yılında Sorgun'da doğdu. İlkokulu Sorgun Milli Egemenlik İlköğretim okulunda, lise öğrenimini ise Sorgun Y.D.A. Lisesi'nde tamamlamıştır. 2005 yılında Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini başlamış olup yatay geçişle 2006 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesine geçerek buradan 2009 yılında başarıyla mezun olmuştur.

2012 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres:** Aydınlikevler Mah. İmamhatip Cad. Osmanlı Sitesi C Blok Kat:4 Daire:9

66700-Sorgun/YOZGAT

**Tel:** 0 354 415 50 55

**GSM:** 0 536 687 97 77

**E-Posta:** osman.okr66@gmail.com