DOLAŞIMLI TİP BİR AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖRDE KİREÇTAŞI-SO_2 REAKTİVİTESİNİN DENEYSEL BELİRLENMESİ

Mahmut BÜYÜKGÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

DOLAŞIMLI TİP BİR AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖRDE KİREÇTAŞI-SO_2 REAKTİVİTESİNİN DENEYSEL BELİRLENMESİ

Mahmut BÜYÜKGÜNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

Mahmut BÜYÜKGÜNER tarafından hazırlanan DOLAŞIMLI TİP BİR AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖRDE KİREÇTAŞI-SO_2 REAKTİVİTESİNİN DENEYSEL BELİRLENMESİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Şenol Başkaya _____

Üye : Doç. Dr. İrfan AR _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur

DOLAŞIMLI TİP BİR AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖRDE KİREÇTAŞI-SO_2 REAKTİVİTESİNİN DENEYSEL BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Mahmut BÜYÜKGÜNER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2005

ÖZET

Bu çalışmayla amaçlanan, reaktör sıcaklığının ve partikül çapının kükürt dioksit (SO_2) tutma verimine etkisinin bir akışkan yataklı reaktör kullanılarak belirlenmesidir. Akışkan yataklı kazanlarda adsorbent malzeme olarak kireçtaşı, dolamit veya benzeri malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerin en önemli özelliği içeriklerinde kalsiyum bulundurmalarıdır. Bu malzemelerin yapısı ve özellikleri Bölüm Üç içerisinde sunulmuştur. Kireçtaşı reaktivitesinin veya kükürt tutma kapasitesinin belirlenmesi konusu, adsorbent malzeme kullanımında oldukça büyük bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmada farklı kükürt tutma kapasitesine sahip kireçtaşlarının akışkan yataklı reaktördeki performansları ve bu performansı etkileyen faktörler deneysel olarak incelenmiştir. Bir dolaşımlı tip akışkan yataklı deney düzeneğinde farklı kükürt içerikli kömürler ile deneysel çalışmalar yapılmış ve alınan deneysel veriler Bölüm Dört ve Beş içerisinde sunulmuştur.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar literatürde mevcut çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların, literatürde yapılan çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 920
Anahtar Kelimeler : SO_2 Tutulması, Reaktivite İndeksi, Adsorbent Performansı
Sayfa Adedi : 152
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

EXPERİMENTAL INVESTIGATION OF LIMESTONE-SO_2 REACTIVITY IN A CIRCULATING FLUIDIZED BED
(M.Sc. Thesis)

Mahmut BÜYÜKGÜNER

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
November 2005

ABSTRACT

The aim of this thesis is to analyze the effect of sulphur dioxide (SO_2) retention by the temperature of reactor and particle size using a circulating fluidized bed. In circulating fluidized beds limestone, dolamite or similar materials are used as adsorbent materials. The most important property of these materials is that they contain calcium in their contents. The properties of the materials are presented in chapter three. The subject of limestone reactivity or sulphur retention capacity is carrying a big importance about usage of adsorbent materials.

In thıs study, the performance of limestones, which have different sulphur retention capacities, in fluidized bed reactors and the factors which effect this performance are investigated. The experimental studies are made in a pilot circulating fluidized bed and the experimental data are presented in chapter four and five, technical pictures are given in appendices.

The results of the experimental studies are compared with the studies in the literature. The concordant results between experimental data and literature studies have seen.

Science Code : 920
Key Words : SO_2 Retention, Reaktivity Index, Adsorbent Capacity
Page Number : 152
Adviser : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sn. Hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL'a, deneysel çalışmalarda yardım aldığım Laburatuvar Teknisyen Belgin DORUK'a, ayrıca çalışmalarımın farklı aşamalarında yardımlaştığım Arş. Gör. Oğuzhan ERBAŞ'a, manevi destekleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme ve çok değerli eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iii

ABSTRACT iv

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ…….. xiii

SİMGELER ve KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 5

3. AKIŞKANLAŞMA VE AKIŞKAN YATAKLARDA KÜKÜRT TUTMA 18

3.1. Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklar 18

3.2. Avantaj ve Dezavantajları 21

3.3. Akışkan Yatak Sisteminin Sınıflandırılması 23

3.3.1. Kabarcıklı akışkan yatak sistemleri 23

3.3.2. Dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemleri 25

3.3.3. Basınçlı akışkan yataklı yakma sistemleri 27

3.4. Akışkan Yatak Yakma Sisteminin Temel Elemanları 27

3.4.1. Hava dağıtım sistemi 30

3.4.2. Hava ön ısıtıcısı 31

3.4.3. Akışkanlaşacak tanecikler 31

3.4.4. Yakıt besleme ve dağıtım sistemi 31

Sayfa

3.4.5. Yatak üst ısıtıcısı 33

3.4.6. Siklon..... 33

3.5. Akışkanlaşma Prensipleri 34

3.5.1. Akışkanlaşma eğrisi 34

3.5.2. Minimum akışkanlaşma teorisi..... 36

3.5.3. Minimum akışkanlaşma hızı..... 39

3.5.4. Maksimum akışkan (terminal) hızı..... 41

3.6. Adsorbent Maddeler 42

3.6.1. Adsorbent maddelere ait genel bilgiler..... 42

3.6.2. Adsorbent maddelere ait bazı tanımlar..... 43

3.6.3. Adsorbent maddelerin üretimi..... 43

3.6.4.Adsorbent maddenin bileşenleri 44

3.6.5. Adsorbent maddelerin elemanları..... 44

3.6.6. Belli başlı adsorbent maddeler 46

3.6.7. Kireç 46

3.6.8. Deneylerde kullanılan adsorbentlerin özellikleri..... 49

3.7. Hava Kirliliği Kontrolünde Standartların Önemi 49

3.8. Stokiyometrik Hesaplamalar 50

3.8.1. Kimyasal reaksiyonlar..... 51

3.8.2. Gerekli hava 52

3.8.3. Gerekli sorbent 53

3.8.4. Meydana gelen katı atıklar 53

3.8.5. Atık gaz ürünler..... 54

Sayfa

3.8.6. Yakıt ısıl değerleri 56

4. DENEYSEL ARAŞTIRMA ALTYAPISI VE DENEYSEL SONUÇLAR 57

4.1. Akışkan Yatak Test Sistemleri 57

4.2. Ölçme ve Veri Değerlendirme Sistemleri..... 63

4.3. Deney Prosedürü..... 70

4.4. Yakıt ve Kireçtaşı Analizleri 71

4.5. Dolaşımlı Akışkan Yatak Yakma Sisteminin Yanma ve Emisyon Davranışının İncelenmesi..... 74

4.5.1. Dolaşımlı akışkan yatak yakma sisteminin yanma davranışının incelenmesi 74

4.5.2. Dolaşımlı akışkan yatak yakma sisteminin emisyon davranışının incelenmesi 81

4.6. Kireçtaşı Reaktivite İndeksinin Belirlenmesi 88

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 94

KAYNAKLAR..... 97
EKLER..... 99
EK-1. Numunelerin Boyut Analizleri..... 100
EK-2. Deney Sistemine Ait Teknik Resimler..... 114
EK-3. Deney Numunelerine Ait Fotoğraflar..... 123
EK-4. Bacagazı Analizi Excel Programı..... 127
EK-5. Analiz Raporları..... 129
EK-6. Hava Besleme Sistemi İle İlgili Hesaplamalar..... 137
EK-7. Akışkanlaşma İle İlgili Temel Parametreler, Hidrodinamik Tasarım Ve Yanma Kaybı Hesaplamaları..... 139
EK-8. Deney Sonuçları..... 144
EK-9. Adsobent Kullanımı İle İlgili Bir Örnek..... 150
ÖZGEÇMİŞ..... 152

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 3.1.	Kireçtaşı Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması …….....	46
Çizelge 3.2.	Kirecin tüketim alanları.....	48
Çizelge 3.3.	Deneylerde Kullanılan Kireçtaşlarının Kimyasal Analizleri……...	48
Çizelge 4.1.	METL'nda Bulunan Ölçme Sistemleri ve Yardımcı Cihazlar.....	66
Çizelge 4.2.	Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri……	67
Çizelge 4.3.	Gaz ölçüm analizörü, kalibrasyon gazı ve konsantrasyonları……..	69
Çizelge 4.4.	Kömür kaba ve elementel analizi(Gelik Taşkömürü)….....	71
Çizelge 4.5.	Kömür kaba ve elementel analizi(Tunçbilek Linyiti)….....	71
Çizelge 4.6.	Cemaltepe kireçtaşı analizi…….....	72
Çizelge 4.7.	Göynük bölgesi kireçtaşı analizi…….....	72
Çizelge 4.8.	Farklı kireçtaşı tane boyutlarında işletme verileri, hesaplanan yanma kayıpları ve yanma verimleri……..….	75
Çizelge 4.9.	Farklı Ca/S oranlarında işletme verileri, yanma kayıpları ve yanma verimleri (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)……..……	77
Çizelge 4.10.	Farklı Ca/S oranlarında işletme verileri, yanma kayıpları ve yanma verimleri (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)……...	78
Çizelge 4.11.	Yanma odası ortalama sıcaklığı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi……..……...	79
Çizelge 4.12.	Farklı kireçtaşı tane boyutunda ölçülen ve hesaplanan emisyon parametreleri…..……..……...	82
Çizelge 4.13.	Farklı Ca/S oranlarında ölçülen ve hesaplanan emisyonlar (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)……..……..	83

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.14. Farklı Ca/S oranlarında ölçülen ve hesaplanan emisyonlar (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)……. 84

Çizelge 4.15. Yanma odası sıcaklık değişimine bağlı olarak ölçülen ve hesaplanan emisyonlar...……..……. 86

Çizelge 4.16. Ortalama test şartları ve sonuçları……..... 88

Çizelge 4.17. Farklı kireçtaşlarının Reaktivite ve Kapasite İndeksleri…... 89

Çizelge 4.18. Kül analiz sonuçları..... 90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 2.1.	Beş tür sorbentin 850°C'deki sülfürizasyon dönüşümü……	16
Şekil 2.2.	Beş tür sorbentin farklı sıcaklıklardaki dönüşüm oranları…	17
Şekil 3.1.	Akışkanlaştırma prensibi ve akışkan yatak yakma sisteminin yeri……...	19
Şekil 3.2.	Boş kolon gaz hızına karşı yatak basınç düşüşü eğrisi üzerinde akışkanlaşma rejim bölgelerinin şematik gösterimi……	21
Şekil 3.3.	Kabarcıklı akışkan yatak yakma sistemi……...	25
Şekil 3.4.	Dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemi……..	26
Şekil 3.5.	Akışkan yataklı yakma sisteminin temel parçaları……	28
Şekil 3.6.	Akışkan yataklı buhar kazanının madde akış şeması……	28
Şekil 3.7.	Karakteristik Akışkanlaşma Eğrisi……	35
Şekil 3.8.	Dağıtıcı elek üzerinde akışkanlaşma hali……..	38
Şekil 4.1.	Sıcak model dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemi şematik resmi…….	58
Şekil 4.2.	Soğuk model dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemi şematik resmi…….	61
Şekil 4.3.	Ana Kolon Üzerindeki Isıtıcı Grupları…..……..	62
Şekil 4.4.	Baca gazı ölçme ve veri değerlendirme sistemlerinin şematik görünümü…….	64
Şekil 4.5.	Mobil Emisyon Test Laburatuvarı genel akış şeması……..	65
Şekil 4.6.	Kireçtaşı tane boyutu ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi ...…….	76
Şekil 4.7.	Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)……...……...…….	78

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)……... 79

Şekil 4.9. Yanma odası ortalama sıcaklığı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi……..… 80

Şekil 4.10. Kireçtaşı tane boyutu ile emisyon parametrelerinin değişimi ……...……. 83

Şekil 4.11. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile emisyonların değişimi (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)..…… 84

Şekil 4.12. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile emisyonların değişimi (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)..... 86

Şekil 4.13. Reaktör sıcaklığı değişimi ile emisyonların ve SO_2 tutma veriminin değişimi.…… 87

Şekil 4.14. Babcock-Hitachi Europe firmasının hazırladığı kireçtaşı kullanım abağı……... 93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim		Sayfa
Resim 4.1.	Mobil Emisyon Test Laburatuvarından çeşitli görünüşler....	66
Resim 4.2.	Kireçtaşı ilaveli deneylerden alınan kül örnekleri ……	77

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$\mathbf{a_c}$	Yakıcıyı Terk Eden Uçucu Kül
A	Eş. 7'deki Faktör
AID	Alt Isıl Değer, kJ/kg
Ar	Arşimed Sayısı, $\rho.d_p^3(P_p-P_g).P_g / \mu^2$
C	Kömür İçindeki Karbon Miktarı
$\mathbf{E_c}$	Yanma Verimi
$\mathbf{E_{sor}}$	Yatakta Tutulan Kükürt
g	Yerçekimi İvmesi
H	Kömür İçindeki Hidrojen Miktarı
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
KÜL	Kömür İçindeki Külün Ağırlığı
$\mathbf{L_k}$	1 kg Yanmış Kömür İçin Gerekli Kireçtaşı, kg/kg yakıt
$\mathbf{L_s}$	1 kg Yanmış Kömür İçin Gerekli Sorbent, kg/kg yakıt
m	Eş. 2'deki Stokiyometrik Katsayılar
$\mathbf{M_{kh}}$	1 kg Kömür Başına Gerekli Kuru Hava, kg/kg
$\mathbf{M_s}$	Kömürün Nem İçeriği, kg/kg
$\mathbf{M_{yh}}$	1 kg Kömür İçin Gerekli Islak Hava, kg/kg
n	Eş. 2'deki Stokiyometrik Katsayılar
N	Kömür İçindeki Azot Miktarı
O	Kömür İçindeki Oksijen Miktarı
R	Kalsiyum, Kükürt Mol Oranı
R'	Adsorbent İçindeki CaO'ya Bağlı Olarak Kalsiyum-Kükürt Molar Oranının Azalması
Re	Reynolds Sayısı, $U.d_v.P_g / \mu$
S	Kömür İçindeki Kükürt Miktarı

Simgeler	Açıklama
T_{kh}	1 kg Kömür Yakmak İçin Gerekli Toplam Kuru Hava, kg/kg
ÜID	Üst Isıl Değer, kJ/kg
W_{bg}	Yakıtın Yanmasına Bağlı Olarak Oluşan Baca Gazı, kg/kg yakıt
W_{CO2}	Al Yandıktan Sonra Kalsinasyona Bağlı Olarak Oluşan CO_2 , kg/kg
W_k	Yanmış Kömür Başına Üretilen Kül Miktarı
X_{CaCO3}	Kömür İçindeki $CaCO_3$ Miktarı
X_{CaO}	Kömür İçindeki CaO Miktarı
x_i	i ve i+1 arasındaki toplam partiküllerin ağırlığı
X_{inert}	Kireçtaşı İçindeki İnert Miktarı
X_m	Kuru Havadaki Kireç Miktarı
X_{MgCO3}	Kömür İçindeki $MgCO_3$ Miktarı
X_{ml}	Kireçtaşındaki Kireç Miktarı
(Ca/S)	Kalsiyumun Kükürt'e Molar Oranı
ε	Küresellik Faktörü
Φ	Boşluk Kesri
ρ_g	Gazın Yoğunluğu, kg/m^3
ρ_k	Katının Yoğunluğu, kg/m^3
μ_g	Gazın Vizkositesi, kg/s.m

Kısaltmalar	Açıklama
AYYT	Akışkan Yatakta Yakma Teknolojisi
DAY	Dolaşımlı Akışkan Yatak
DAYYS	Dolaşımlı Akışkan Yataklı Yakma Sistemi
GEÇER	Gazi Üniversitesi Enerji ve Çevre Sistemleri Endüstriyel Rehabilitasyon Araştırma Merkezi
HKKY	Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği
IYS	Izgaralı Yakma Sistemi

Kısaltmalar	Açıklama
KAY	Kabarcıklı Akışkan Yataklı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
METL	Mobil Emisyon Test Laburatuvarı
3T	Yanmanın Üç Kuralı (Time, Turbulance, Temperature)

1. GİRİŞ

Yanma ve yakma teknolojilerinin gelişimi ile beraber çevreyi de kirletmeden, ekonomik ve teknik yanma işlemini yakma sistemlerinde optimum gerçekleştirme son yıllarda önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, gerek verimlilik, gerek çevre kirliliği gündeme gelip, ekonomiklik unsuru da ağır basınca gazla akışkanlaştırılmış akışkan yataklı yakıcılar (AYY) önem kazanmıştır. AYY, çok çeşitli yakıtlarla yanmayı sağlarken, çevre kirliliğini de minimuma indirgemeyi mümkün kılmaktadır.

İlk uygulamalar yakma sistemlerinde yapılmayıp, 1556 yılında cevher işleme için kullanılmıştır. Ancak; 18. yüzyıl başlarında Darba yüksek fırında endüstriyel ölçekte yanma enerjisini kullanmış, 18. yüzyılın sonuna doğru Lavoisier, yanma işleminde oksijenin gerekliliğini deneyler ile ortaya çıkarmıştır. Dalton reaksiyonları, Berthollet hidrokarbonları, Davy tutuşma ve katalitik yanmayı; Bunsen, Rankine ve Hugonoit patlama teorisini bulmuş, Bunsen, Le Chatelier, Mallard patlamayı, Nobel ve Abel patlayıcıları, 20. yüzyıl başlarında Ford seri otomobil üretimi ile yanma enerjisinin yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır. Akışkan yatağın ilk uygulaması Fritz Winkler tarafından 1922 yılında ticari amaçlı olarak gerçekleştirilmiştir. 13 m yüksekliğinde, 12m^2 kesit alanındaki ilk yatak 1926 yılında faaliyete geçmiştir. Daha sonra 1928'de Stratton fışkırmalı yatağı uygulamıştır.

Katı, gaz karışımından meydana gelen akışkan yatak, kimya sanayinde eskiden beri kullanılmasına rağmen, kömür yakıcısı olarak 1970'li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. İlk defa dolaşımlı akışkan yatak reaktörü Reh tarafından 1971 yılında Fluid Catalytic Cracking katalizlerinin kraking işleminde kullanılmıştır. Zenz 1978'de akışkan yatak teknolojisinin kullanıldığı 100'den fazla alanı tespit etmiş, akışkanlaşmanın önemini, endüstrinin hemen hemen her dalına girmiş temel işlemlerden biri olduğunu vurgulamıştır. Batı Almanya'da Lurgi şirketi, dolaşımlı akışkan yatağa kömür yakma sistemlerini uygulamıştır (1).

İyi, kaliteli, fosil yakıtlar (taşkömürü, petrol, doğalgaz) hızlı bir biçimde tükenmektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan, düşük kalorili yakıt rezervine sahip

ülkeler, enerji kullanımında dışa bağımlılıktan kurtulmak için kendi öz kaynaklarından faydalanarak, ekonomik sektörlerinin (endüstri, sanayi, enerji, ulaşım, tarım vb.) enerji gereksinimlerini her geçen gün daha düşük kaliteli yakıtlarla (linyit, yanıcı artıklar vb.) karşılamak zorunda kalmaktadır.

Kömür, ekonomik ve alternatif bir yakıt olarak petrolün karşısında durmasına rağmen; katı formu (taşıma, depolama, yanma), çevre kirliliği (katı ve gaz atıklar) sebebiyle kullanımında sorunlar meydana gelmektedir. Kömürün yanması ve yakma teknolojilerinin, enerji mühendisliği açısından ele alınması, geliştirme ve uygulamalı çalışma yapılması neticesinde, düşük kaliteli kömürler değerlendirilebilecek, bu tip kömür kullanımındaki sorunlarda çözülebilecektir.

Uygun enerji üretimi açısından, enerji dönüşüm sistemleri oluşturulmasında, beş temel tasarım kriterine uyulması, değişen enerji fiyatlarına ve gelişen teknolojilere göre yapısal açıdan devamlı revizyona tabi tutularak işletilmesi önem kazanmaktadır. Temel tasarım kriterleri, emniyet (security), güvenilirlik (reliability), işlerlik (availability), verimlilik (efficiency), çevresel uyum (environmental acceptibility) dur. Teknoloji ve işletme yönünden en büyük sorun yanma sorunudur. Kömürün yanma ve yakma sistem sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Düşük kaliteli kömür kullanımı yanma sorunlarının çözümünün önemini daha da arttırmaktadır.

Ülkemizde yaklaşık 8,5 milyar ton linyit rezervi ile Avrupa ülkeleri arasında beşinci sırada yar almaktadır. Yine ülkemizde fert başına linyit tüketimi 302kg ile dünya ortalaması 247 kg bir hayli üzerindedir. Diğer enerji kaynaklarının azlığı ve pahalı oluşları linyit kömürünün fazla kullanılmasının bir nedenidir.

Ülkemizin kömür rezervinin yaklaşık 8 milyar tonunu düşük kaliteli kömürler oluşturmaktadır. Türkiye'nin enerji üretimindeki artış, enerji tüketiminin artışından çok daha düşüktür. Kömür kaynakları incelenecek olursa taş kömürünün %10, linyitin %79'luk enerji kaynağı açısından pay sahibi olduğu görülmektedir. Ülkemizin, linyit rezervlerinden optimum düzeyde yararlanma zorunluluğu olduğu bilinmektedir.

Ülkemiz linyitlerinde nem, kül ve kükürt oranı oldukça yüksektir. Zonguldak taş kömüründe yanar kükürt oranı yaklaşık %0,50 civarında iken linyitlerimizin yarısından çoğunun kükürt içeriği %2'den %37'sinin ise %4'den daha fazladır. Standartlara göre ortalama 4000kcal/kg ısı değerine sahip bir kömürün en fazla %0,4 oranında kükürt bulundurması gerekirken, ülkemizdeki linyitlerde bu oran %2 civarındadır.

Türk linyitlerinin özellikleri (düşük ısıl değer, yüksek nem, kül ve kükürt oranları), mevcut yakma sistemlerinde yakılmalarını güçleştirdiği gibi, önemli çevre kirliliği sorunlarına da yol açmaktadır. Ancak; günümüzün alışılmış yakma sistemleri (yüzeyde, hacimde yakma), belli standart yakıt özellikleri (ısıl değer, nem, yanıcı uçucular, kül, kükürt oranı, tane büyüklüğü, taşınabilirlik, depolanabilirlik, yanma davranışı vb.) esas alınarak tasarımlanmakta ve ancak bu özellikler kapsamında enerji ve çevresel etki ekonomisi yönünden uygun biçimde kullanılabilmektedir.

Günümüzde, standart dışı düşük kaliteli yakıtları yakabilecek yegane teknoloji, akışkan yatak yakma teknolojisidir. Akışkan yatak demekle, kömür kül ve/veya kum vb. karışımının hava ile adeta fokurdayarak oluşturduğu yatak kastedilmektedir.

Akışkan yataklı yakma teknolojisinde 850-950ºC aralıkta olması, kazan yanma odası içinde yanma sonucu ortaya çıkan SO_2'nin yine kazan içinde tutulması mümkün olabilmektedir. Böylece, gazla akışkanlaştırılmış, akışkan yatakta yakma teknolojisi, yüksek kükürt içerikli kömürlerin yakılmasını çekici kılmaktadır. Böylece, akışkan yatakta yakma teknolojisi (AYYT), yanmadan kaynaklanan CO, SO_2, NO_x gazı emisyon sorunlarına çözüm getirme özelliği ile, Türk linyitlerinin yaygın ve verimli bir biçimde kullanılmasını sağlayacak önemli bir seçenek oluşturmaktadır.

Ülkemizde, özellikle büyük şehirlerimizin önemli ölçüde etkilendiği hava kirliliğine; düzensiz ve hızlı şehirleşme, düşük kaliteli yakıt kullanımı, taşıt trafiğinin yoğunlaşması sanayi bölgelerinin şehirlerle iç içe olması, endüstriyel gaz atıklar için filtre sisteminin benimsenmemiş olması gibi etkenler neden olmaktadır. Şehirleşmenin neden olduğu hava kirliliği özellikle ısıtma sistemleri, yakma tekniği

ve yakıt kalitesinden kaynaklanmakta, öte yandan nüfus patlaması, yanlış yerleşim, aşırı araç gibi etkenler bu kirliliği hızlandırmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde akışkan yataklı reaktörlerdeki kükürt dioksit emisyonlarını kontrol edebilmek genelde son yıllarda yapılmış çalışmalar taranmıştır. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar incelenmiş ve konuyla ilgili olan bazı çalışmalar seçilerek aşağıda sunulmuştur.

Shriniwas (2), yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta kireç kökenli sorbentlerin kullanılarak hidrojen sülfidin ve kükürt dioksitin kontrol edilmesi konusu üzerine çalışmıştır. Deneylerini 1-3,5MPa basınç ve 500-900°C sıcaklık altında yapmıştır.

Thiede (3), süreksiz gaz analizi yöntemini kullanarak kireçtaşlarının kalsinasyonunu ve sülfasyonunu analiz etmeye çalışmıştır. Partikül analizlerini, süreksiz gaz analiz sonuçları ile kıyaslamıştır. Deneylerini akışkan yataklı yakıcıda yapmıştır.

Razbin (4), akışkan yataklı bir yakıcıda kireçtaşı partikül büyüklüğüne bağlı olarak kükürt tutulması üzerine deneysel olarak çalışmıştır. Yaptığı çalışmada yakıt olarak yüksek kükürt oranına sahip Kanada kömürünü kullanmıştır. Adsorbent olarak ise yüksek kalsiyum oranına sahip Havelock kireçtaşını kullanmıştır. 850 °C sıcaklıkta yaptığı yirmi sekiz deneyde üç değişik kireçtaşı ebadı kullanmıştır.

Marquis (5), dolaşımlı tip akışkan yataklı yakıcılarda hidrasyon ile kireçtaşı reaktivitesi konusu üzerinde çalışmıştır. Geleceğin temiz ve ekonomik enerji ihtiyacı akışkan yataklı yakıcıların önemini arttırmasına karşın kükürt dioksitin tutulması için büyük miktarlarda kireçtaşı harcanması konusunda çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında kalsiyum oksit ile su arasındaki reaksiyonu ve hidrasyonun harcanan kireçtaşındaki sülfasyon üzerine etkilerini anlayabilmek için dolaşımlı akışkan yatakta deneyler yapmıştır.

Christofides (6), kükürt dioksit ve karbon dioksit profillerinin dinamik analizlerinden yararlanarak kükürt tutma oranları üzerine çalışmıştır. Akışkan yataklı reaktörlerde kömürün yanma karakteristiklerini ve sorbent kullanımını tahmin eden yeni bir metot

geliştirmeye çalışmıştır. Ayrıca akışkan yataklı yakıcıda karbon dioksit ve kükürt dioksit analizlerini temel alarak kömürün yanması, kireçtaşı kalsinasyonu ve kükürtün uzaklaştırılması oranlarını açıklamak için bir metot geliştirmeye çalışmıştır. Sonuç olarak gerekli zamanın kireçtaşlarının parça büyüklüğüyle orantılı olduğunu, sülfasyon için gerekli zamanın ise parça büyüklüğüne zayıf bir orantı ile bağlı olduğunu görmüştür.

Ersoy (7), ikincil hava enjeksiyonunun dolaşımlı tip akışkan yatakların hidrodinamiklerine olan etkileri üzerine deneysel olarak çalışmıştır. Partikül hız dağılımlarını ve basınç dağılımlarını incelemiştir. Bulduğu model ile gerekli ikincil hava miktarını ve dolaşımlı akışkan yatağın kolonunun hidrodinamik parametrelerine teker teker etkilerini incelemiştir.

Qıu vd. (8), basınçlı akışkan yatakta kalsiyum sülf idin oksidasyonu ve kükürt yakalanması üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada basınçlı akışkan yatakta yanma şartlarında kireçtaşının kükürt yakalama özelliği ve aynı zamanda kireçtaşının direkt sülfasyon kinetiği sınanmıştır. Bulduğu sonuçlara dayanarak direkt sülfasyon davranış kinetiğini açıklamak için matematiksel bir model öne sürmüştür.

Westby (9), akışkan yatakta kükürt dioksit emisyonu ve karbon yanma verimini incelemiştir. Düşük kükürt dioksit emisyonu ve yüksek karbon verimi olduğu için yakıt olarak linyiti tercih etmiştir. Bu çalışmada pilot akışkan yatak ünitesinde karbon verimi ile kükürt dioksit emisyonu arasındaki ilişkiyi deneysel olarak karakterize etmeye çalışmıştır.

Cox (10), akışkan yatak ortamında linyit küllerinin yanma sırasında kükürt dioksit tutulması ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Deneyleri esnasında linyit kullanmasının sebebini dünya kömür rezervlerinin büyük bölümünü oluşturması olarak açıklamıştır. Linyitin içeriğinde bulunan yüksek kükürt içeriğinden bahsetmiş ve bu yakıt türünün kullanıldığı yerlerde başlıca hava kirliliği olmak üzere ortaya çıkan sorunların çözümlerine değinmiştir. Kullandığı akışkan yatağın içine kireçtaşı enjekte etmiş ve

çevre emisyon standartlarına ulaşabilmek için bunun bir zorunluluk olduğunu savunmuştur.

Couturier (11), akışkan yataklı yakıcılarda kükürt dioksitin uzaklaştırılmasını incelemiştir. Yaptığı deneylerde değişik çaplarda kireçtaşları kullanmış ve değişik sıcaklıklarda deneyler yapmıştır. Böylece akışkan yataklı yakıcılarda kireçtaşı gereksinimlerini azaltmak için öneriler ileri sürmüştür. Bunların başında kireçtaşı partiküllerinin kalsinasyon zamanının önceden tahminini öngören bir matematiksel model bulunmaktadır.

Chi (12), akışkan yataklı yakıcılarda kükürt tutma verimleri ve yanmanın modellenmesi adlı çalışmasında değişik çaplardaki kireçtaşlarının kükürt tutma kapasitelerini deneysel olarak incelemiş ve bulduğu sonuçları geometrik parametrelerle desteklemiştir. Deneylerini küçük skalalı bir akışkan yatakta yapayı tercih etmiştir. Yaptığı çalışmalar kükürt tutma verimliliği, yanma verimi korelasyonlarıyla ve boyutsuz grup adı verilen Damkohler sayısıyla yakından ilgilidir.

Schouten (13), kömürün akışkan yatakta yakılması esnasındaki partikül hareketini ve kükürt tutulmasını incelemiştir. Yaptığı çalışmada kükürt dioksitin uzaklaştırılması için kireçtaşı gibi katı sorbent materyaller kullandı. Çalışmasında iki şeye odaklanmıştır; birincisi; kükürt tutulmasının matematiksel modellenmesi, ikincisi; akışkan yataktaki yanma esnasında partikül hareketidir. Bulduğu model, yakıcının beslemesinde molar kalsiyum ve kükürt oranını, kükürt tutulmasına, akışkan yatak şartlarına, kömürün ve sorbentin özelliklerine göre değişen bir fonksiyon olarak tanımladı.

Wollf (14), akışkan yatakta kükürt tutulması ve kömürün yanması konuları üzerine deneysel olarak çalışmıştır. Yaptığı deneylerde kömür içindeki kükürtün yakalanması için kireçtaşı ve dolamit yerine bunlara alternatif olabilecek sentetik bir sorbent kullanmıştır. Kireçtaşı ile kullandığı sorbenti kıyasladığında 850°C ve 1bar'da yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiğini görmüştür. Deneyin ekonomik analizini

yaptığında ise kükürtün kireçtaşı ile uzaklaştırılmasının maliyetinin, kendi kullandığı sentetik sorbent ile uzaklaştırılması maliyetine göre üç kat daha fazla olduğunu görmüştür.

More (15), akışkan yatakta toz halinde kireçtaşı kullanarak kükürtün yakalanması ve modellenmesi deneyleri yapıştır.

Shimizu vd. (16), akışkan yataklı yakıcılarda kükürt dioksit yakalanması sırasında karşılaşılan NO_x emisyonunun artması problemine değinmişlerdir. Deneylerini kabarcıklı akışkan yataklı yakıcıda yapmışlardır. Yakıt olarak kömür, sorbent olarak ise kireçtaşı kullanmışlardır. Deneylerinde kömürü kabarcıklı akışkan yatakta yakmış, sorbent olarak kullandıkları kireçtaşını ise serbest bölgede kullanmışlardır. Böylece kireçtaşı sayesinde kükürt dioksitin tutulması, kömürün yanmasından ayrılmıştır. Bu ayırma işlemi sayesinde sorbent ile uçucu azot arasındaki ilişkiye bağlı olan NO_x artışı yok edilmiştir.

Mao vd. (17), dolaşımlı akışkan yatakta kükürt oksidin tutulması ve modellenmesi konusu üzerine çalışmışlardır. Aynı zamanda kireçtaşı ile kükürt dioksit tutulması için gaz-katı reaksiyon modeli geliştirmeye çalışmışlardır. Reaksiyon modeli için, makro kimyasal reaksiyonlar mikro kimyasal reaksiyon dinamiklerine benzetilmiştir. Bu model, dolaşımlı tip akışkan yatakta kükürt dioksit ve kireçtaşı dağılımını, kükürt dioksitin tutulması için gerekli kireçtaşı miktarını vermektedir.

Suksankraisorn (18), yüksek nem oranına sahip katı atıkları ve yüksek kükürt değerlerine sahip Thai linyitinin akışkan yataklarda yakılmasını laburatuvar ortamında incelemiştir. Bu raporda, %100 linyite karşı, yakıt karışımı içerisindeki katı atıkların kütle etkisini incelemiş ve kütle etkisini, yanma karakteristiği, sıcaklık dağılımı, karbon yanma verimi, CO–CO_2 konsantrasyonu ve CO, SO_2, NO, N_2O içeren ana kirleticilerin emisyonlarını analiz ederek, bulmuştur. Fazla havanın ve ikincil havanın yanma karakteristiği üzerindeki etkisi ayrıca incelenmiştir.

Bu yanma ayrıca fazla hava miktarına bağlı olarak CO emisyonunu artırabilir veya azaltabilir. %40 katı atıkların fazla havayla ve ikincil havayla testinden SO_2 emisyonunun %7–%18 azaldığını görmüştür. Ayrıca katı atıklardaki kütle etkisinin artmasıyla NO ve NO_2 miktarının da arttığını gözlemlemiştir. Test edilen koşullardan optimum yanma koşulları için, yanma verimi ve CO, NO, N_2O emisyonlarını şu şekilde bulmuştur; %20 katı atık, %40 fazla hava ve toplam orana 0,2 ikincil hava; ayrıca SO_2 azalmasının diğer koşullara göre daha az olduğunu görmüştür.

Katı atıkların kütle etkisinin, yanma işlemindeki fazla havaya ve ikincil havaya ve ana gaz kirleticilerinin emisyon karakteristiği üzerindeki etkisini anlayabilmek için laburatuvar ortamında yüksek nem oranına sahip katı atıkları ve Thai linyitini birlikte yakmış ve şu sonuçları bulmuştur;

%100 linyit yanmasıyla karşılaştırıldığında, yakma sisteminde daha düşük bir reaktör sıcaklığı ve atıklardaki yüksek neme bağlı olarak daha düşük karbon yanma verimi bulmuş, uçucu yakıcıların içerdiği yüksek uçucu miktarından dolayı daha şiddetli yandığını ve %20 katı atık kütlesi karışımının reaktivitesini artıran sinerjistik etkiyi ortaya çıkarmıştır

Ortalama olarak katı atık kütle etkisinin her %10'luk artışı için reaktör sıcaklığı 15°C kadar düşmüş ve ikincil havanın her %10'luk artışı içinse reaktör sıcaklığı 13^oC artmıştır. Fazla hava miktarına bağlı olarak %40 kütleye sahip katı atıkta karbon yanma veriminin % 3–8 arası düştüğünü gözlemlemiştir.

% 100 linyitle karşılaştırıldığında, bu tür yanma fazla hava miktarına bağlı olarak CO emisyonunu arttırabilir veya azaltabilir. Bununla beraber yanma esnasındaki CO emisyonu atık kütlesiyle ve fazla hava miktarıyla değişmezken, ikincil hava miktarı arttıkça artmaktadır.

Genellikle NO emisyonu katı atık kütlesiyle aşağıda sıralanan sebeplerin biri veya kombinasyonlarıyla artar;

1.) Atıktan yayılan NH_3 miktarının artmasıyla
2.) NO miktarını azaltmak için kömür parçacıklarının azaltılması
3.) O ve OH köklerinin neme bağlı olarak artmasıyla NO emisyonunda fazla hava ve ikincil havanın güçlü etkileri vardır.

N_2O emisyonu sadece katı atık kütlesiyle ve fazla havayla artar ama ikincil havayla azalır.

Deney ortamında görmüştür ki katı atığın linyitle yanmasında karbon yanma verimi ve CO, NO, N_2O emisyonlarının optimum koşullar için değerleri şöyledir; %20 katı atık, %40 fazla hava ve toplam havaya 0,2 oranda ikincil hava. Bu yöntemle oluşan, SO_2 derişimindeki azalmanın, yatağa kireç taşı eklenmesiyle oluşacak azalmayla karşılaştırıldığında çok düşük kaldığını bulmuştur.

Cheng (19), akışkan yataklardaki sorbentin kimyasal veya fiziksel özellikleriyle sorbentin kükürt tutma kapasitesi arasındaki ilişkiyi bulmayı amaçlamıştır. Deneyde SO_2 sorbenti olarak üç tür kireç taşı ve iki deniz kabuğu seçilmiştir. Sorbentlerin karakteristiğini atomik adsorbsiyon spektrometresiyle, elektron mikroskobuyla tarayarak ve civa porozimetre analizleriyle değerlendirmiştir. Kükürt tutma kapasitelerini 800, 850, 900 ve 950^oC'lik akışkan yatak sisteminde ölçmüştür. Sorbentlerdeki değişimi sorbentlerin morfolojik ve micro–structure analizlerine dayanarak hesaplamış ve analiz etmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki gözeneklerin büyüklüklerinin ve spesifik yüzeyin 800-950^oC arasında sorbentlerin sülfürizasyon kapasiteleri üzerinde büyük etkisi vardır.

Akışkan yatak ortamında beş sorbentin karakteristiklerinin sorbentlerin kükürt tutma kapasiteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sorbentlerin kükürt tutmaları için kalsiyumdaki değişimin genellikle sorbentin element bileşimlerinden,

morfolojisinden ve mikro yapısından etkilendiğini görmüştür. Geniş spesifik yüzey alanı ve uygun ortalama gözenek büyüklüğü en önemli faktörlerdir.

Kireçtaşları için, toplam gözenek hacmi artarken, kalsiyumlaşmadan sonra kireçtaşı azalır, gözenekli yapı ve spesifik alan artma oranı da azalır. Bununla beraber pürüzlülük ve spesifik yüzey alanının mutlak değeri değişim oranını belirtebilir. Kireçtaşlarının değişimi için optimum sıcaklık 900°C'dir.

Kireçtaşına benzer olarak, deniz kabuklarının değişim oranı da bileşenlerine ve mikro yapılarına bağlıdır. Cheng kireçtaşı ve deniz kabuğunun kalsitleşme ve sülfürizasyonunun farklı karakteristikler gösterdiğini bulmuştur. Deniz kabuklarının düşük sıcaklıklarda yaklaşık olarak kireç taşlarıyla aynı kükürt tutma kapasitesine sahip olduklarını ortaya çıkartmıştır. Bununla beraber bu kapasite reaksiyon sıcaklığının 900–950°C olmasıyla artar. Yüksek sıcaklıklarda Fe, Al ve Na gibi bazı metal elementler deniz kabuklarının sülfürizasyon aktivitelerini etkilemektedir.

Adanez, turbulant dolaşımlı yatakta hidrodinamik davranışları, kömür yanma reaksiyonunun kinetiğini ve kolondaki kükürt tutulmasını incelemek için bir model geliştirmiştir. Turbulant akışın hidrodinamik karakteristiğini kömür yanması ve kireçtaşı tarafından kükürt tutulmasıyla ele almıştır.

Sıcaklık, fazla hava, hava hızı, Ca/S molar oranı, kömür ve kireçtaşı partiküllerinin büyüklük dağılımı, karbon yanma verimi ve kükürt tutulması gibi işletme koşullarının etkilerini kireçtaşı eklenmiş, 20cm iç çapında ve 6,5m yüksekliğinde sıcak bir dolaşımlı akışkan yatak reaktöründe linyit ve antrasitin yanma reaksiyonunda çalışmıştır. Deneysel sonuçları daha önceden modelin yapmış olduğu tahminlerle karşılaştırmış ve sonuçların kullanılan bütün koşullar için çok iyi olduğunu görmüştür.

Hızlı yataklar için karbon yanma verimlerini ve akışkan yataktaki kükürt tutulmasını tahmin etmek için geliştirilen matematiksel model turbulant rejimin hidrodinamiğini belirleyecek şekilde modifiye edilmiştir. Model; hava hızı, fazla hava, sıcaklık,

partikül büyüklüğü dağılımı, Ca/S molar oranı, kireçtaşı reaktivitesi ve kömür tipi gibi ana işletme koşullarının etkilerini tahmine olanak tanımaktadır. Model tahminleri ve reaktörde gözlenen karbon yanma verimi ve kükürt tutulması arasında iyi bir uyum oluşmuştur.

Dolaşımlı akışkan yataklı yakıcılarda kükürt tutma performansının belirlenebilmesi için sorbentin kalsiyum karbonat içeriğinin tahmin edici bir indikatör olarak kullanılmasının uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Yirmi tür kireçtaşı ve dolamit, özellikleri çerçevesinde seçilmiş, kimyasal, fiziksel petrografik olarak örneklenmiş ve karakterize edilmiştir

Artan tetkikler, kömürün, özellikle de SO_2, NO_x ve partikül emisyonları olarak, çok kullanılan fosil yakıtlar içinde ana kirletici olduğunu göstermektedir.

İki ana tip sorbent için akışkan yatakta görülen reaksiyonlar aşağıdaki şemada gösterilmiştir.

Kireçtaşı:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ (kalsinasyon)

$CaO + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4$ (sülfasyon–sülfatlaşma)

Dolamit:

$CaCO_3.MgCO_3 \rightarrow CaO\ .\ MgO + 2CO_2$ (kalsinasyon)

$CaO.MgO + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4\ .\ MgO$ (sülfanasyon)

Yukarıdaki reaksiyonlardan görüldüğü gibi, kireçtaşları saf kalsiyum karbonat değillerdir ve aynı zamanda dolamitler de saf kalsiyum ve magnezyum karbonatlar değillerdir. İkisi de bünyesinde silika gibi saf olamayan maddeler barındırır. Bununla beraber, sadece kalsiyum ve magnezyum karbonatlar kendi oksitleriyle kalsinasyon reaksiyonuna girer ve sadece kalsiyum oksit, akışkan yataklı yakıcılarda işletme sıcaklığı aralığında SO_2 tutulma reaksiyonlarında rol oynar.

Sorbent üreticilerini ve kullanıcılarını karşı karşıya getiren iki önemli neden, talep alan sorbent özelliklerini teşhis etmek ve tam boyut bir reaktörde sorbent performansının tahmin edilmesidir.

Kalsinasyon ve sülfasyon davranışlarını etkileyen bazı sorbent özellikleri şu şekilde bulunmuştur.

1.Tanecik veya kristal boyut dağılımı ve doku
2.Partikül büyüklüğü
3.Gözenek büyüklüğü dağılımı
4.Yüzey alanı

Buna rağmen literatürde, SO_2 emisyon uyumunu devam ettirmek için gereken yüksek kalsiyum–karbonat içeriği değerlerini belirten datalar bulunmamaktadır. Muhtemelen, kalsiyum karbonat içeriğinin artmasının, verilen sorbent ağırlığı için kükürt tutmaya uygun kalsiyum miktarını arttıracağını varsayılmaktadır. Bunun tam tersine ise laburatuvar çalışmaları göstermiştir ki bazı düşük kalsiyum–karbonat içeriğine sahip sorbentler, bazı yüksek kalsiyum–karbonat içeriğine sahip sorbentlerle aynı miktarda veya daha fazla oranda SO_2 tutmaktadır. Yüksek kalsiyum–karbonat içeriğinin bu spesifikasyonları, sık sık daha ucuz olan düşük kalsiyum karbonat içerikli bölgesel materyallerin kullanılmasına sebep olur.

Cheng'in yaptığı çalışmaya ait araştırma programının konusu, bir sorbentin kalsiyum karbonat içeriğinin, dolaşımlı akışkan yataklı yakıcılardaki SO_2 emisyonu uygunluğunu sağlama kapasitesi ve sorbentlerin değerlerinin belirlenmesi ve performanslarının daha önceden belirlenebilmesi için laburatuvar ortamında bir test prosedürü geliştirilmiş ve çalışılmıştır. Bu çalışmanın bir parçası olarak, Pensilvanya bölgesinden 20 tür kireçtaşı ve dolamit seçilip, kimyasal, fiziksel ve petro–grafikel olarak örneklenmiş ve karakterize edilmiştir. Bu kireçtaşları ve dolamitlerin laburatuvar ölçekli bir akışkan yataklı reaktördeki SO_2 tutma karakteristiklerine dayanarak gerçek boyutlu dolaşımlı akışkan yatak yakıcılardaki sorbent performansı tahmin edilmiştir. Tahmin edilen performanslar, yakıcı sıcaklığı, yakıt ve kireçtaşı

besleme oranı ve baca emisyonu gibi sanayide çalışan dolaşımlı akışkan yataklı reaktör datalarıyla karşılaştırılmıştır. Her sorbentin performansının belirlenmesi için yakıt, uçucu kül, yatak külü ve geri dönüşümlü kül örnekleri düzenli aralıklarla gözlemlenmiştir.

Kömür veya diğer kükürt içeren yakıtların kullanıldığı akışkan yataklı yakıcılarda kükürt dioksit'i tutmak için genellikle kireçtaşı $CaCO_3$ ve dolamit $CaMg(CO_3)_2$ gibi kalsiyum bazlı sorbentler kullanılmaktadır. Kireçtaşı ve kükürt dioksit arasındaki reaksiyonlar iki adımda açıklanabilir.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$CaO + SO_2 + ½\ O_2 \rightarrow CaSO_4$$

Akışkan yataklı yakıcılarda genellikle 800–950°C derece sıcaklık aralığında $CaCO_3$, CaO ve CO_2 kalsitleşmesi olur. Daha sonra CaO, $CaSO_4$ oluşturmak için SO_2 ve O_2 ile reaksiyona girer.

Deniz kabuklarının ana içeriği $CaCO_3$'tür ve sorbent olarak kullanılabilmektedirler.

Desülfürizasyonun kontrolündeki ana parametre Ca/S oranıdır. Teorik olarak sorbentteki 1mol Ca 1mol S ile reaksiyona girebilmektedir. Bununla beraber normal şartlarda 1mol S'i absorbe edebilmek için 1molden daha fazla Ca gerekmektedir. Sülfasyon reaksiyonu sorbentin yüzeyinde ve gözeneklerde olur. Reaksiyonda, katı fazın hacmi artmaktadır. 1 mol $CaSO_4$ ($46cm^3/mol$), 1 mol $CaCO_3$ ($36,9cm^3/mol$) den fazla hacim kaplar. Aslında kireçtaşı ve dolamit sülfürizasyonunun ilerlemesi gözeneklerin kapanması ve sorbentleri gaz fazdan ayıran ürün tabakalarından dolayı engellenmektedir. Bundan dolayı sorbentlerin yararı genellikle teorik olarak hesaplanan değerlerin altındadır. Ca/S oranının yanı sıra, reaksiyon sıcaklığı ve kireçtaşının fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi kükürt tutma kapasitesini etkileyebilecek birçok parametre vardır.

Bu araştırmalar, sorbentlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiyi ve bunların kükürt tutma kapasitelerini akışkan yatak ortamında belirlemek ve seçilen kireçtaşları ile deniz kabukları arasındaki farkları, farklı reaksiyon sıcaklıklarında karşılaştırmak için yapılmaktadır. Sorbent olarak üç tür kireçtaşı ve iki tür deniz kabuğu seçilmiştir. Bunlar Fuyang kireçtaşı L–1, Zhoupu kireçtaşı L–2, Jiangshan kireçtaşı L–3, mussel midye kabuğu S-1 ve clam midye kabuğudur S–2.

Deneyler

1.) Fiziksel ve kimyasal özelliklerin analizi:

Sorbentlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri kükürt dioksit tutma işlemi üzerinde önemli bir rol oynadıkları için; kimyasal bileşimi, toplam gözenek hacimleri, gözenek yapıları ve spesifik yüzey alanları atomik adsorbsiyon spektro–fotometresi, SEM ve civa penetrasyon porozimetresi kullanılarak analiz edilmiştir.

2.) Mikro–structure Analizi:

Bütün sorbentler SEM sistemiyle analiz edilmiştir. SEM analizleri sorbentin tanecik boyutu ve gözenek boyutu gibi mikro–yapısal sonuçlarını vermektedir.

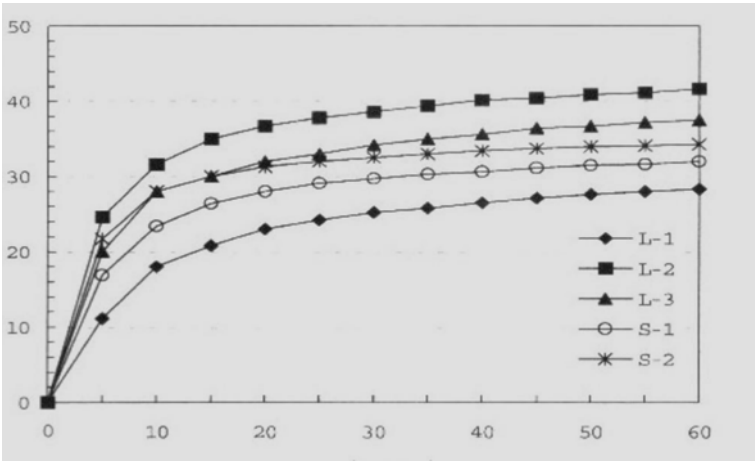
3.) Sorbent sülfürize testleri:

Sorbentlerin akışkan yatak koşullarındaki kükürt tutma kapasitelerini hesaplayabilmek için küçük bir akışkan yatak sistemi kurulmuştur. Akışkan yataklı reaktörün boyu 600mm ve iç çapı 50mm'dir. Test sorbentleri içinde yapılan ölçümler akışkan yatakta kullanılan sorbent partiküllerinin 0,6–10mm büyüklüğünde olduğunu göstermiştir. Akışkan reaktör koşullarında tamamen sülfürize olmaları için 850°C' de 3 saat boyunca kalsitleşme olmaktadır. Örnekler daha sonra kalsinasyondan sonra analiz edilmek için toplanmaktadır.

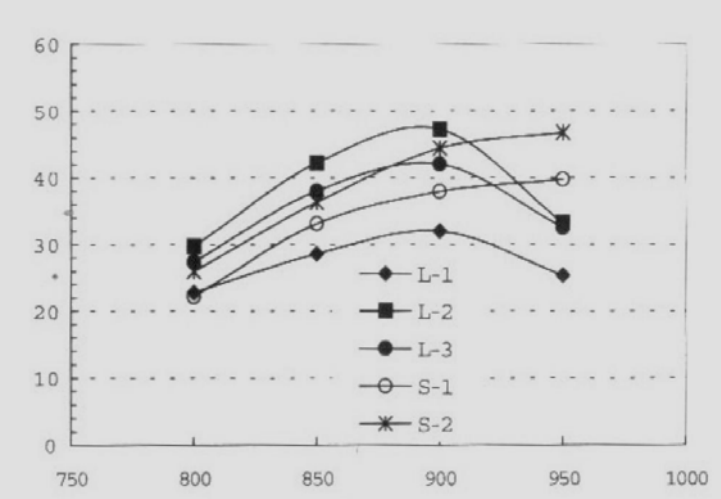
Daha sonra hava ve kükürt dioksitin sentetik bir karışımı reaktöre verilmektedir. Kalsitleşen sorbent partikülleri akışkanlaşmış ve (800–950) sıcaklığında sentetik karışım gazlarıyla reaksiyona girmişlerdir. Hava akışkan yatak reaktöre girmeden önce bir ön-ısıtıcıyla bir test sıcaklığına ısıtılmaktadır.

SO_2 konsantrasyonu, akış kontrolörleri tarafından reaktör girişinde 2200ppm değerinde tutulmakta ve çıkışta ise konsantrasyon değerleri bir gaz analizörü yardımıyla test süresi boyunca takip edilmektedir. Konsantrasyonda değişim kaydedilmediği anda yatak materyali analiz için alınmaktadır ve malzemenin ömrü genellikle 1 saatte bitmektedir.

Reaktör boyunca sıcaklıklar termo–kupullarla ölçülmekte ve otomatik olarak kontrol edilmektedir. Testler 800, 850, 900 ve 950°C derecelerde yapılmıştır. Şekil 2.1 ve 2.2'de sonuçlar görülmektedir.



Şekil 2.1. Beş tür sorbentin 850°C'deki sülfürizasyon dönüşümü



zaman(dakika) sülfürizasyon sıcaklığı (°C)

Şekil 2.2. Beş tür sorbentin farklı sıcaklıklardaki dönüşüm oranları

Sorbentlerin kükürt tutmaları için kalsiyumdaki değişimin genellikle sorbentin element bileşimlerinden, morfolojisinden ve mikro yapısından etkilendiğini görmüştür. Geniş spesifik yüzey alanı ve uygun ortalama gözenek büyüklüğü en önemli faktörlerdir. Kireç taşları için, toplam gözenek hacmi artarken, kalsiyumlaşmadan sonra kireç taşı azalır, gözenekli yapı ve spesifik alan artma oranı da azalır. Bununla beraber pürüzlülük ve spesifik yüzey alanının mutlak değeri değişim oranını belirtebilir. Kireç taşlarının değişimi için optimum sıcaklık 900°C'dir (20).

Ar (21), kireçtaşı ile SO_2 arasındaki reaksiyonun kinetiğini incelemiş, elde ettiği sonuçları sobalara uygulamaya çalışmıştır. Kireçtaşlarının kükürt dioksit tutma kapasiteleri ile fiziksel ve kimyasal yapıları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kireçtaşlarının kimyasal analizlerini ve porozimetre deneylerini gerçekleştirmiştir.

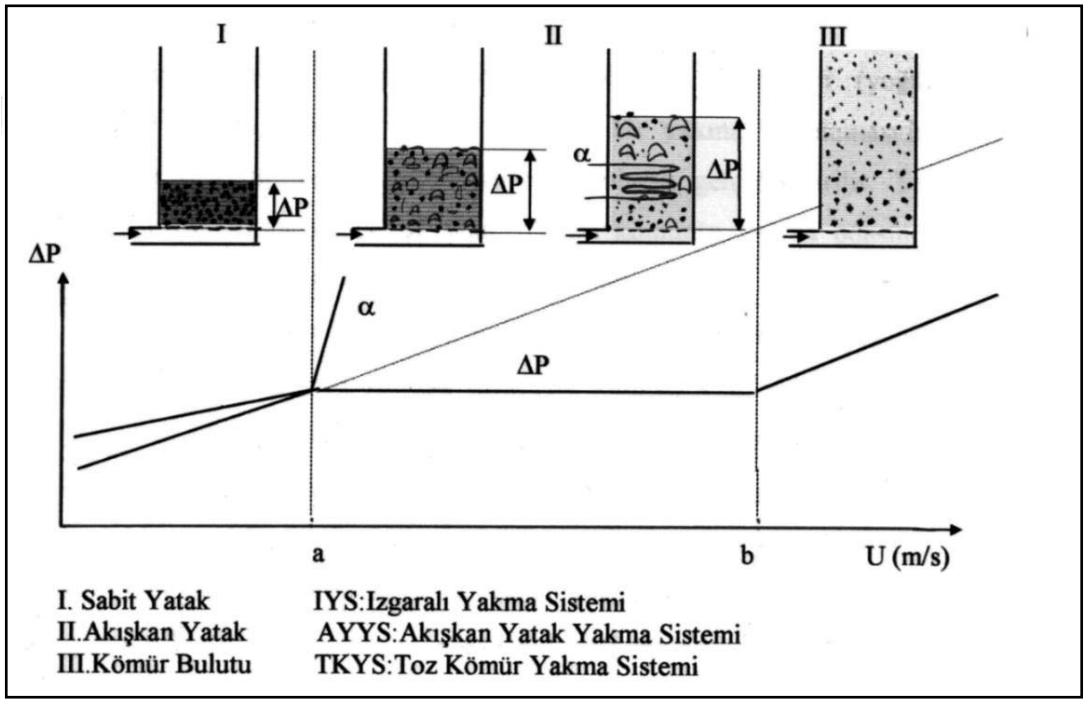
3. AKIŞKANLAŞMA VE AKIŞKAN YATAKLARDA KÜKÜRT TUTMA

3.1. Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklar

Akışkanlaşma olayı, içi ince katı partiküllerle dolu, tabanında geçirgen bir plaka bulunan, silindirik veya dikdörtgen kesitli sabit bir kolon altından bir akışkan (sıvı veya gaz) basılmasıyla içerdeki partiküllerin sıvıya benzer bir davranış göstermesi olarak basitçe tanımlanabilir. Akışkanın düşük hızlarında katı partiküllerde herhangi bir hareketlenme olmaz, fakat Şekil 3.1'den görüldüğü gibi 0-a bölgesinde yatak basınç düşüşü lineer bir artış gösterir. Hız arttıkça yataktaki boşluk oranı artar yani yatak yükselmeye başlar. Bu durumda yatağa genleşmiş yatak adı verilir. Daha sonra gaz hızı artışıyla sırasıyla minimum akışkanlaşma, kabarcıklı akışkanlaşma, türbülanslı akışkanlaşma, hızlı akışkanlaşma ve pnömatik taşıma rejimleri meydana gelir.

Büyük bölümü yanmaya katılmayan (kül, kum, adsorbent) sadece bir ısı deposu işlevi gören maddelerden oluşan akışkan yatak, dağıtıcı plaka üzerinde, plaka altından verilen yakma havası kaldırma kuvveti ile yatak tanecikleri üzerindeki yerçekimi etkisi dengelenerek, kararsız bir dinamik davranışa zorlanır. Oluşan türbülanslı ortamda yatak taneciklerinin sürekli yer değiştirmesi nedeni ile yatak sıvı akışkana benzer bir davranışa kavuşur. Akışkanlaşma prensibi ve akışkan yatak yakma sisteminin yeri Şekil 3.1'de verilmiştir.

Hava kaldırma kuvveti yatak tanecik ağırlığına eşit konuma geldiği an (Şekil 3.1, a) yatak gevşemesi ile birlikte havada askı durumu söz konusu olmaya başlar (minimum akışkanlaşma hızı). Hava hızı daha da arttırılırsa (Şekil 3.1, a-b, ΔP=sabit), kinetik enerji artışı, havada askı durumunu tüm yönlere yönelik türbülanslı hareket durumuna dönüştürür. Akışkan yatak yüksekliği, dolayısı ile kömür tanecikleri arasındaki mesafe, (yatak boşluk derecesi) verilen hava debisi ile orantılıdır. Akışkan yatağın başlıca özelliği; hava hızının artmasına karşın yatak basınç kaybının sabit kalmasıdır (Şekil 3.1, a-b).



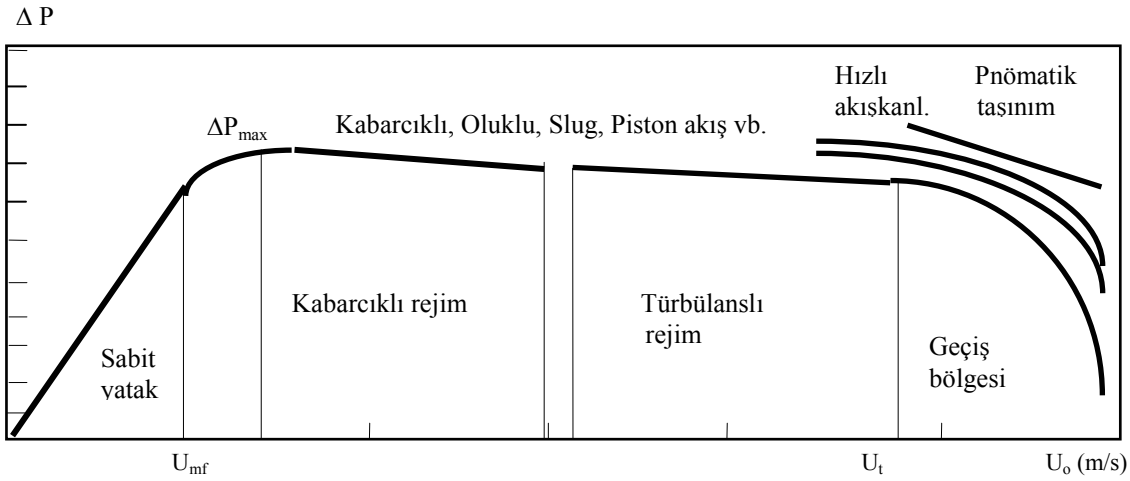
Şekil 3.1. Akışkanlaştırma prensibi ve akışkan yatak yakma sisteminin yeri

Aerodinamik kuvvetlerin yatak tanecik ağırlığını aştığı andan itibaren (taşınım noktası, Şekil 3.1,b) tanecikler akışkan yataktan sürüklenirler (pnömatik taşınım). Pnömatik taşınım noktasından itibaren (Şekil 3.1, b) toz kömür bulutu özelliğini gösteren toz kömür yakma (Şekil 3.1, III, kömür brülörü) bölgesi başlar. Akışkan yataklı yakma yöntemi, ızgaralı yakma sistemindeki (türbülanssız, sınırlı ısı depolu) ile toz kömür yakma sistemindeki (sınırlı türbülanslı) yakıt dinamik davranış bölgeleri arasındaki (yoğun türbülanslı, ısı depolu, emisyon tutma özellikli) bir yakma uygulamasıdır. Burada kömür besleme ve kül alma pnömatik olarak gerçekleştirilir. Toz kömür yakma sisteminin aksine, akışkan yatakta kömürün yanma odasında kalma süresi, yanma gazlarının kalma süresine kıyasla çok daha uzundur. Yatak yanma ve emisyon davranışı en başta yatak partikül dağılımı ve dinamiğine bağlıdır. Akışkan yatağın diğer bir özelliği çok yüksek ısıtma yüzeyi ısı geçiş katsayılarına sahip olmasıdır (Şekil 3.1 α). Bu yüzeylerde küçük sıcaklık farklarına karşın, ancak toz taş kömürle çalışan buhar kazanlarının yanma odalarında ulaşılabilen ısıtma yüzeyi yüklerine erişilebilmektedir (q_W>300 kW_t/m^2). Toz kömür yakma sisteminin aksine, buradaki yanma süreci kinetik yanma ile difüzyon yanması

arasındaki bir konumda olmakta, 650°C dolayında bile yoğun ve kararlı bir yanma sağlanabilmektedir.

Yaklaşık % 99'u külden, ancak % 1'i kömürden oluşması nedeni ile akışkan yatak; yakıt iç tüketim ısısının karşılanabilmesi için büyük bir ısı deposu, yoğun türbülans etkisi (kömür taneciğine çok hızlı ısı aktarımı) ile de tutuşma stabilizörü, kömür taneciklerini bir birinden ayırarak ergime önleyici, kömür taneciklerinin kalma süresini artırarak kok filtresi vb. işlevleri görür. Bu ise her türlü düşük kaliteli yakıtların verimli yanmasını sağlar.

Kül ve kömürün yoğunlukları arasındaki büyük fark (ρ_a/ρ_k=2-3) ve külün daha yavaş tozlaşması nedeni ile kül daha uzun süre yatak içinde kalır. Düşük reaktör sıcaklığı uygulamaları nedeni ile kül ergimesi önlenebilmekte, kül ergimesinin ısıtma yüzeylerinde ısı aktarımını engelleme etkisi de ortadan kalkmaktadır. Düşük yanma sıcaklığı sonucu azot oksit emisyonlarının oluşumu ilgili yönetmeliklerde öngörülen sınır değerlerin altında tutulabilmektedir. Akışkan yataklı yakma sistemlerinin, boş kolon gaz hızı ve yatak basınç düşüşüne bağımlı olarak farklı çalışma rejimleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Yüksek kül, nem, yanıcı uçucu ve kükürt vb. içerikleri ile tanımlanan düşük kaliteli yakıtların verimli ve temiz yakılması yönünden yapısal olarak uygun olan akışkan yataklı yakma sistemi bir uçtan ızgaralı yakma sistemi, diğer uçtan toz kömür brülörlü yakma sistemi tarafından sınırlanmaktadır (Şekil 3.1, 3.2).



Şekil 3.2. Boş kolon gaz hızına karşı yatak basınç düşüşü eğrisi üzerinde akışkanlaşma rejim bölgelerinin şematik gösterimi

Burada U_o boş kolon gaz hızı, U_{mf} minimum akışkanlaşma hızı ve U_t taşınım hızıdır. Akışkan yataklı yakma teknolojisi genelde, kabarcıklı (sabit) ve dolaşımlı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Kabarcıklı akışkan yataklı (KAY) yakıcılar akışkan yatakta yakma teknolojisinin gelişiminde ilk ortaya çıkan ve yaygın olarak kullanılan tiptir. Ancak yakma teknolojisinde, birim kazan alanı başına ısı üretiminin düşük kalması nedeniyle kabarcıklı akışkan yatakların yerini hızlı, dolaşımlı akışkan yataklar (DAY) almaktadır. DAY yakma sisteminde yanma hızı ve ısı aktarım katsayılarının oldukça yüksek olması nedeni ile büyük kapasiteli yakma sistemlerinde tercih sebebidir. Aşağıda her iki sistem temel özellikleri ile verilmektedir.

3.2. Avantaj ve Dezavantajları

Akışkanlaştırılmış katıların sıvı gibi davranmaları bu tekniğin çeşitli alanlarda uygulama bulmasını sağlar. Sistem veriminin yüksek olması, çevre kirliliğine yol açmaması ve ekonomik öğesi de ağır basınca akışkan yataklı yakıcılar gündeme gelmiştir. Dolaşımlı akışkan yatak uygulamalarında, siklon hattı (düşme borusu) ve yanma odası (reaktör, yükselme borusu) arasında akışkanlaştırılmış ortamda yoğunluk farkı oluşturularak yatak dolaşıma zorlanır. Bu ise yanma odası

koşullarının tasarım yönünden, toz kömür yakma koşullarına benzer bir biçime dönüştürülmesi, reaksiyon (yanma, SO_2 tutma vb.) sürelerinin uzatılarak yanma verimi, kapasite ve SO_2 adsorbsiyon etkinliğinin arttırılması, erozyonun azaltılması, mevcut kazanların akışkan yatağa dönüştürülmesi vb. birçok üstünlüğü beraberinde getirmektedir. Akışkan yatakların avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

Avantajlar

1. Akışkan yataktaki karışma özellikleri çok iyidir, böylece, sıcaklık dağılımı da üniforma yakındır. Birim hacmin transfer düzeyi büyük olduğu için, oldukça yüksek ısı transferi katsayıları elde edilebilmektedir, ısı transferi boru yüzey alanları, yanma odası, dolayısıyla kazanın kendisi diğer yakma sistemlerine göre küçüktür ve ilk yatırım maliyetinin azalmasını sağlar.

2. Kazandaki sıcaklık, alışılmış yakıcılara nazaran düşüktür, bu nedenle NOx oluşumu azdır, kül ergimesi olmaz, korozyon ve benzeri problemler azalır.

3. Kireçtaşı ve dolamit gibi adsorbentlerin ilavesiyle, kükürt oksitlerin yüksek oranda, yanma sırasında yatak içerisinde tutulması mümkündür.

4. Çok düşük kaliteli yakıtlar ve çöpler (yüksek kül, kükürt ve nem içerikli, düşük ısıl değerli), akışkan yataklarda, çevre kirlenmesine neden olmayacak biçimde, ikinci bir yakıt olarak başarı ile yakılabilir. Düşük kaliteli yakıtlar ucuz olduğu için, akışkan yataklı yakıcılar, işletme masrafları açısından da ekonomiktirler.

5. Yanma verimi oldukça yüksektir, büyük kapasiteli sistemler için uygulanabilmektedir.

6. Mükemmel bir gaz-katı ve katı-katı karışımı sağlaması nedeniyle kömür çok çabuk yanmaya başlar ve kömür beslemesinde reaktör sıcaklığında bir düşüş görülmez.

7. Akışkan yataklar yüksek ısı kapasitesi ve tutumu ile çok iyi ısı depolama kapasitesine sahiptir.

Dezavantajlar

1. Akışkan yataklı yakıcı içinde ve dağıtıcı plakadaki basınç düşüşü nedeniyle, üretilen elektriğin veya buna eşdeğer ısıl enerjinin %3-4'ü kadarı hava besleme fanları için gerekmektedir.

2. Yüksek gaz geçiş hızları nedeniyle taneciklerin sürüklenmesi, yanma verimini azaltabilmektedir. Tanecikler, sıcak ortamda ufalanarak tozlar yaratmaktadır. Bu, yatak içerisindeki ortalama tanecik çapının değişmesine yol açmaktadır.

3. Akışkan yataklı yakıcı içindeki ısı aktarım yüzeyleri ile aktif yatağın hemen üzerindeki bölgede yer alan yatay geçişli borular erozyondan etkilenmektedirler (19).

3.3. Akışkan Yatak Sisteminin Sınıflandırılması

Akışkan yatakta yakma sistemleri başlıca 3 gruba ayrılır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; kabarcıklı akışkan yatak, basınçlı akışkan yatak, dolaşımlı akışkan yatak.

3.3.1. Kabarcıklı akışkan yatak sistemleri

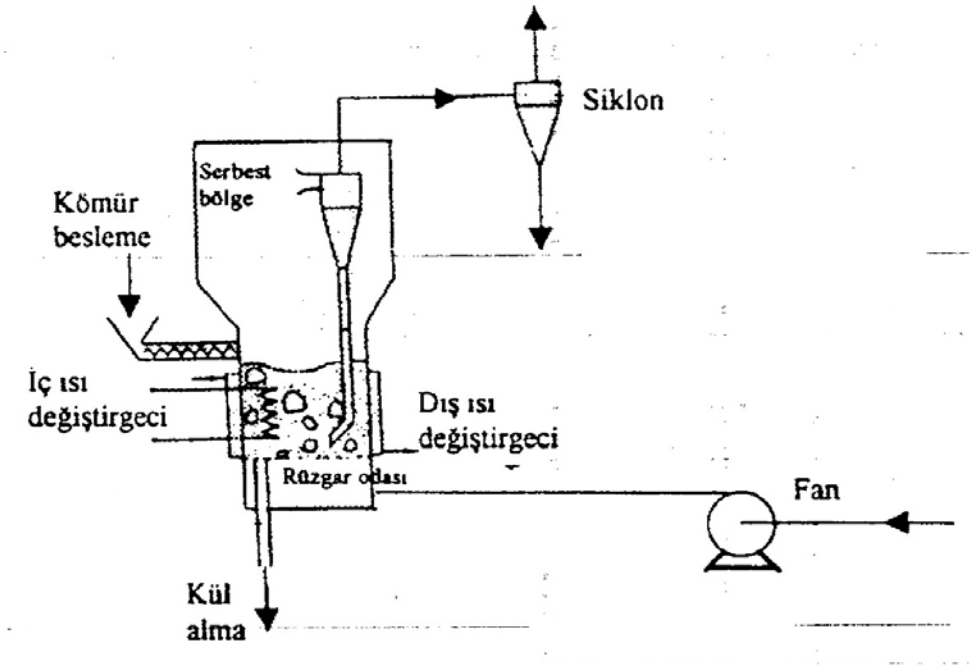
Kabarcıklı, atmosferik basınçlı akışkan yatak yakıcılar, teknolojinin gelişiminde ilk ortaya çıkan ve yaygın olarak kullanılan akışkan yatak tipidir. Minimum akışkanlaşma koşullarını sağlayan gaz debisinin arttırılmasıyla, yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya başlamaktadır. Kabarcıklar, taneciklerin yatak içerisinde dolaşımını sağlayarak, katı taneciklerin, yakıcı içerisinde mükemmel bir şekilde karışmasını mümkün kılmaktadır.

Kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılarda, operasyonel gaz hızı (boş kolon gazı hızı), minimum akışkanlaşma rejimindeki gaz hızının 3-6 katıdır. Gaz hızının düşük seçilmesi, yanma verimini ve kükürt dioksit tutulmasını olumlu yönde etkilemektedir.

Ancak; düşük gaz hızı, aynı zamanda yatak kesit alanının büyümesi anlamına gelmektedir. Dağıtıcı eleklerin, akışkan yataklı yakıcının en pahalı elemanı olduğu hatırlanırsa, sistemin maliyeti yatak kesit alanı büyüdükçe yükselecektir. Gaz hızının artması, kesiti daraltmasına karşılık yakıt taneciklerinin aktif yataktan taşınmasına neden olacaktır. Bu durumda, yatay geçişli ısı aktarım boruları erozyondan daha fazla etkilenmektir. Katı yakıtın özellikleri, dolayısıyla da, gaz hızının seçimi sınırlanacaktır.

Kabarcıklı yakma sistemi genel hatlarıyla yanma havasını sağlayan bir hava üfleyici düzenek sistemi, yanma havasını homojen olarak dağıtan dağıtıcı elek, kömür besleme ve kül boşaltma sistemleri, yatak ön ısıtma sistemi, ısı transfer boruları, baca gazı aspiratörü ve sistemden çıkacak tozların tutulmasını sağlayacak siklon, filtrelerden oluşmaktadır.

Atmosferik kabarcıklı akışkan yataklı sistemler kazan endüstrisinde kullanılan diğer klasik sistemlere göre iyi bir gaz-katı temasına izin verdiklerinden, daha yüksek bir kömür yakma ve kazan verimliliğine sahiptirler. Akışkan yatakların diğer bir üstünlüğü ise yanmanın üç T (Time, Turbulance, Temperature) kuralını kolayca sağlayabilmeleri nedeniyle yapısal olarak yüksek emisyon kontrol özelliğine sahip olmalarıdır. Bu nedenlerle atmosferik akışkan yatakların günümüzde ülkemizde de ticari boyutta kullanımları hızla artmaktadır. Şekil 3.3'de kabarcıklı akışkan yatak yakma sistemi görülmektedir.



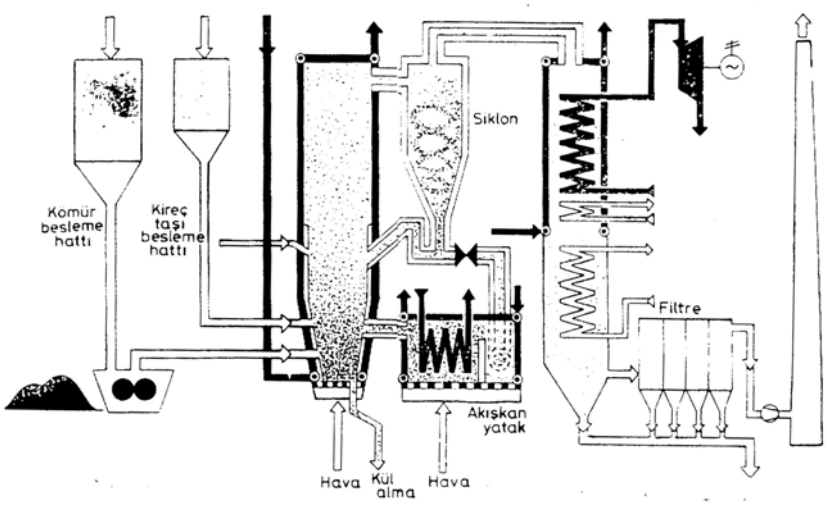
Şekil 3.3. Kabarcıklı akışkan yatak yakma sistemi

3.3.2. Dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemleri

Düşük hız rejimli akışkan yatakta yakma sistemlerine alternatif olarak geliştirilmiş bir sistemdir. Bu sistemde boş kolon gaz hızı 7-10 m/s dolayındadır. Dolaşımlı akışkan yataklarda,yüksek akışkanlaşma hızları nedeniyle, serbest yataktan taşınan yanmamış katılar, siklonlar vasıtasıyla geri beslenmektedirler. Tanecikler, sistem içinde taşınmaktadırlar, bu nedenle, yatak içinde, aktif ve serbest bölge ayrımını yapmak mümkün değildir. Bir başka deyişle, yatak içinde, taneciklerin çok yoğun ve çok seyrek olduğu bölgeleri birbirinden ayıran belirgin bir yüzey yoktur, çünkü, boş kolon gaz hızı, tanecikleri rahatlıkla sürükleyebilecek şekilde seçilmiştir; yani operasyonel hız, terminal hızdan fazladır. Yatak içi tanecik yoğunluğunun sıfıra düşmemesi için sürekli bir geri besleme yapılmalıdır. Bu amaç, yüksek kapasiteli bir siklonla sağlanabilir. Yalnız, gaz hızı çok yüksek olduğu için yatay geçişli ısı aktarım boruları kullanılmaz.

Ancak; gaz ve tanecik hızları arasındaki farkın fazla oluşu ısı aktarım katsayısını pozitif yönde etkilemektedir. Şekil 3.4 de dolaşımlı akışkan yataklı yakıcı tasarımı

görülmektedir. Dolaşım kavramı çeşitli firmalar tarafından, akışkan yataklara değişik şekillerde uygulanmaktadır. Özellikle çok büyük kapasiteli tesislerde enerji üretiminde, yanma ve emisyon kontrolünde büyük üstünlükleri olan bu teknoloji uygulanması son 20 yıldır dünyada da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemi

Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi, dolaşımlı bir sistemde yakıcı kolon, siklon, siklon altında kabarcıklı akışkan yatak, siklonu takiben konvektif geçiş kolonu mevcuttur.

Kabarcıklı akışkan yataklar, hem ısı değişimini gerçekleştirmekte, hem de geri dolaşım miktarını ayarlamaktadır. Isı çekiş yüzeyleri konvektif kolonla, siklon ve yakıcı kolonun üst bölgesinde yer almaktadır. Yanma havası kademeli olarak verilerek, yanmanın tüm kolon boyunca sürmesi sağlanır. Yüksek hız nedeniyle yakıcı kolon boyutları küçülmesine rağmen, sistem bazında büyüklüğü, kabarcıklı akışkan yataklı yakıcılara nazaran çok az fark eder. Ancak, dolaşımlı akışkan yataklarda kullanılan kireç taşı taneciklerinin küçük olması, bir başka deyişle, birim ağırlık başına kireç taşı yüzey alanının çok artması, kükürt dioksit-kireçtaşı reaksiyonunu önemli ölçüde olumlu yönde etkiler. Böylece, Ca/S molar oranı, teorik limite, yani 1'e yakınlaşır ki, bu değere en çok yaklaşan akışkan yatak tipi, dolaşımlı sistemlerdir.

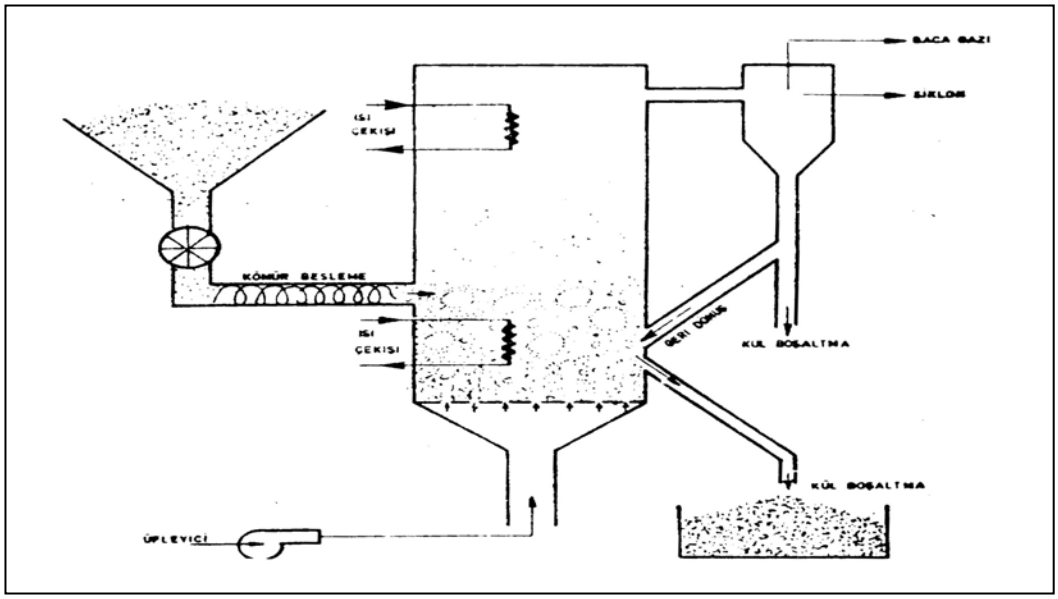
3.3.3. Basınçlı akışkan yataklı yakma sistemleri

Bazı akışkan yataklar, yüksek basınçta da çalışabilirler. Bunlara, basınçlı akışkan yataklı yakıcılar denir. Basınçlı yataklar, 5atm ile 20atm basınç arasında çalışırlar, böylece, yüksek basınçlı gazın enerjisi de gaz türbinleri vasıtasıyla sistemin verimini artırmakta kullanılır. Basınçlı yataklarda, reaksiyonlar daha küçük bir hacimde gerçekleştiği için, sistem fiziksel olarak oldukça küçülmektedir.

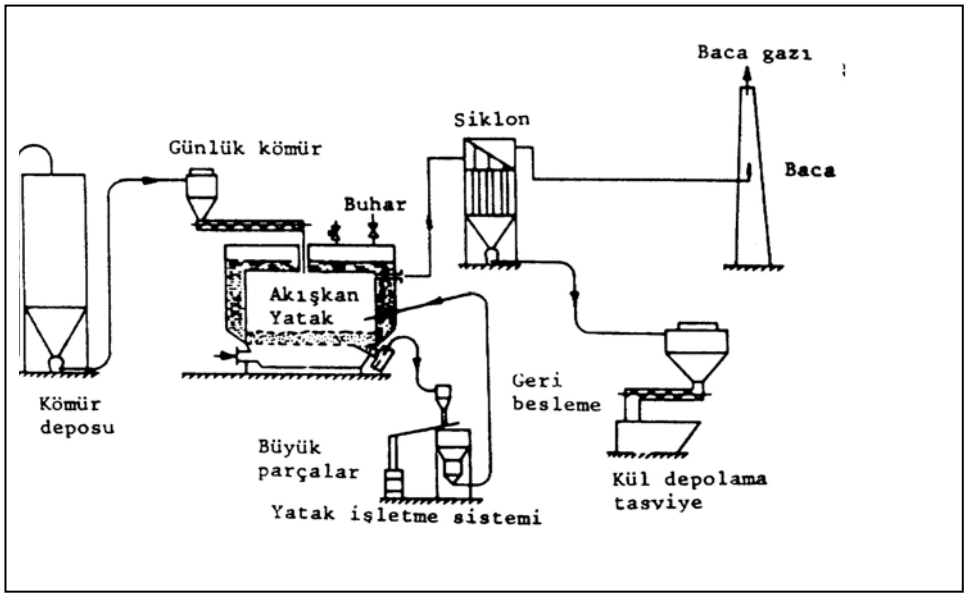
Bu yakıcının en önemli elemanı, siklonlardır. Siklonların katı tanecikleri etkin biçimde tutması gerekmektedir. Sıcak gazla yakıcıyı terk eden gazlar içerisindeki tanecikler, gaz türbini kanatlarında zarar vermemelidir. Ayrıca, sıcak gazların içerisindeki bileşenler korozyona neden olmamalıdır. Birim alan başına üretilen ısıl enerji, basınca bağlı olarak yükselmekte, kükürt dioksitin tutulması daha etkin biçimde sağlanabilmektedir. Azot oksit oluşumu da kabarcıklı yataklara göre azdır. Basınçlı akışkan yataklı yakıcılar, henüz pilot tesis ölçeğinde gerçekleştirilmiş olup, sistem elemanlarının hepsinin yüksek basınç altında çalışma zorunluluğu nedeniyle diğer akışkan yatak tiplerine nazaran yaygınlık kazanmamıştır.

3.4. Akışkan Yatak Yakma Sisteminin Temel Elemanları

Bir akışkan yataklı yakma sistemi, (üfleme) hava dağıtım düzeneği, ön ısıtıcı, dağıtıcı elek, kömür ve kireçtaşı besleme düzeneği, kül boşaltma düzeneği, ısı çekişi için ısı transfer boruları, siklon ve filtreden oluşmaktadır (Şekil 3.5). Şekil 3.6 da bir akışkan yataklı buhar kazanının madde akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.5. Akışkan yataklı yakma sisteminin temel parçaları



Şekil 3.6. Akışkan yataklı buhar kazanının madde akış şeması

Sisteme hava bir üfleyici vasıtasıyla girmektedir. İlk işletim esnasında yatağın, kömürün yanma sıcaklığına kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu ısıtma havanın yatağa girmeden bir ön ısıtıcıyla ısıtılması ile sağlanabileceği gibi, havaya yanıcı bir gaz (Örneğin; doğalgaz, propan) karıştırılarak, karışımın yatak malzemesi içinde yakılması ile de, ya da bir brülörle yatağın üstünde bir alev oluşturulması ile de sağlanabilmektedir. Daha sonra hava dağıtıcı elekten geçerek yatağa girmekte ve akışkanlaşma başlamaktadır. Dağıtıcı elek düzgün bir akışkanlaşmayı sağladığı gibi yatak malzemesini de taşımaktadır.

Kömür, kireçtaşı karıştırılarak, hava ile taşınarak yatağın içine verilmektedir. Besleme noktalarının yerleri, işletme parametreleri ve kömür özelliklerine uygun olarak seçilmelidir. Sistemden ısı, yatakta veya serbest bölgede çekilmektedir. Isının bu iki bölge arasında hangi oranlarda çekileceği de çok önem taşımaktadır. Düşük ısıl değere sahip yakıtlar ya da yüksek uçucu madde içeriği olan yakıtlar kullanılması durumunda reaktör sıcaklığını kararlı tutabilmek için ısı daha çok serbest bölgeden çekilmektedir. Sistemde biriken kül yatak yüksekliğini sabit tutabilmek için sürekli boşaltılmalıdır. Külün boşaltılması sırasında içinde yanmamış halde bulunan kömür parçalarının yanmaya devam etmeleri sonunda sıcaklık yükselmektedir. Külün ısı transfer katsayısı çok düşük olduğu için bu ısı alınmazsa kül sinterleşerek boşaltma sisteminin tıkanmasına neden olabilir.

Bunu önlemek için kül, özel ısı değiştirgeçlerle soğutularak, ısı transferini hızlandırmak için külün arasından hava püskürtülebilir. Daha küçük parçalar halinde oluşan kül ise hava tarafından taşınarak dışarı kaçacaktır, bu parçacıklar bir siklon yardımıyla tutulabilir ve yanmamış olanlar ayrılarak tekrar yatağa besleme yapılabilir. Kükürt oksit yatak içinde kireç taşı tarafından tutulduğu için baca gazlarının ayrıca temizlenmesine gerek yoktur. Bazı uygulamalarda özel filtreler kullanılmaktadır.

Akışkan yataklı kazanların, alışılmış kazanlardan bir diğer farkı da ısı aktarım borularının yerleştirilmesidir. Yatak içindeki borular, ısı aktarım katsayısının yüksekliğinden yararlanmak veya erozyondan kaçınmak amacıyla, hava akış yönüne

göre değişik açılarda dizilmektedirler. Serbest bölgedeki ısı aktarım boruları, ya hava akışına dik, yatay geçiş yapılacak şekilde, ya da duvar boyunca düşey olarak, serbest bölgenin tepesinden daldırmalı olarak da kullanılmaktadır. Hava hızının yüksek olması nedeniyle, verimi artırmak ve filtredeki katı tanecik konsantrasyonunu azaltmak için siklon kullanılmaktadır. Ekonomizör, torba veya elektro filtreler, alışılmış kazan teknolojilerindeki elemanlara benzemektedir. Akışkan yataklı yakma sisteminin kısıtlamaları nedeniyle, kontrol sisteminin farklı olması gerekmektedir. Akışkan yataklı yakıcı elemanlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Hava dağıtım sistemi
- Hava ön ısıtıcısı
- Akışkanlaşacak tanecikler
- Kömür ve kireç taşı dağıtım sistemi
- Yatak üst ısıtıcısı
- Siklon

3.4.1. Hava dağıtım sistemi

Akışkanlaşmayı sağlayacak havanın, aynı zamanda yanma havası olduğunu göz önünde bulundurmak gerekir. Havayı yatağa basan üfleyici;

• Akışkanlaşmayı sağlayacak statik basınç farkına,

• Yakılması planlanan yakıtları, maksimum yükte, belli bir hava fazlalık katsayısıyla yakabilecek debiye,

• Plânlanan akışkanlaşma hızına ulaşabilecek bir kapasiteye sahip olmalıdır. Akışkan yataklı yakıcıda, üfleyicinin devre dışı kalması durumunda, onarımın çok uzun sürmesinden kaynaklanan kül yapışmasını önlemek amacıyla, yedek üfleyicinin bulundurulması yararlı olacaktır.

3.4.2. Hava ön ısıtıcısı

Hava, genellikle sistem içine çevre sıcaklığında gönderilmemektedir. Baca gazının enerjisini havaya aktaran reküperatör kullanılmaktadır. Akışkan yataklı yakıcının devreye alınmasında, bu enerji miktarı veya fazlası, başka bir kaynaktan sağlanmalıdır. Sistemi devreye almak için ihtiyaç duyulacak enerjinin lpg, doğal gaz gibi temiz yakıt kullanılarak karşılanması tercih edilmektedir. Hava sıcaklığı, rüzgar odasının ve özellikle dağıtıcı eleğin, termal gerilemelere maruz kalmasını önleyecek şekilde tutulmalıdır. Bazı tip dağıtıcı eleklerde, bu sakıncayı önlemek için su ile soğutma yapılmaktadır. Özellikle ilk çalışmalarda, yüksek hava sıcaklığı arzulanırsa da, ön ısıtıcının kapasitesi termal gerilmelere neden olmayacak şekilde tespit edilmelidir.

3.4.3. Akışkanlaşacak tanecikler

Yakmanın amacı ve yakıtın cinsine bağlı olarak, akışkanlaşacak tanecikler, başlangıçta kül, kum veya kireç taşı olabilmektedir. Yakıtın kendisi, örneğin; kömür ile kül parçacıkları, kalsine olmuş kireç taşı, kısmen sülfatlaşma reaksiyonuna uğrayan kireç taşı tanecikleri de, yanma başladıktan sonra akışkanlaşan tanecikler arasında yer almaktadırlar Akışkan yataklı yakıcıda herhangi bir andaki kömür miktarı yataktaki tüm akışkanlaşan katıların ağırlıklarının %1–5'i mertebesindedir. Bu limit, kömürün ısıl değerine, yatağın sönmesine, yatağın bağlamasına (kül yapışması) ve yüke bağlı olarak değişmektedir.

3.4.4. Yakıt besleme ve dağıtım sistemi

Enerji üretim miktarına bağlı olarak, yakıtın depolanması gerekmektedir. Kömür, günlük silonun kapasitesinden daha düşük depolama hacmine sahip bir ara bunker ile, akışkan yataklı yakıcıya beslenmektedir. Kömür, amaca veya kömür cinsine bağlı olarak yatağın üstünden, altından veya içinden beslenebilmektedir.

Alttan besleme : Kömür taneciklerinin akışkanlaştırılması ve basınçlı hava ile dağıtıcı eleğin hemen üstünde püskürtülmesi sağlanmalıdır. Püskürtmenin yapıldığı lüleler, dağıtıcı elekte üniform şekilde yerleştirilmelidir. Nispeten yüksek ısıl değerli bir kömür için (yaklaşık 5000kcal/kg), 1 besleme lülesi /12$m^{2'}$lik kesit alan veya 1 besleme lülesi / 1 MW elektrik üretimi yeterli olmaktadır. Alttan beslemenin avantajı, kömür dağıtımının, tanecik büyüklüğünden bağımsız olarak, üniform biçimde sağlanmasıdır. Bu şekilde, kömür tozları da yatağa beslenebilir. Alttan beslemede, kömürün uçucu maddesinin aktif yatak içerisinde yanmasını tamamlama şansı çok daha yüksektir. Ayrıca, büyük bir yatağa geçişte, besleme lülesi sayısını kesitle orantılı olarak artırmak genellikle yeterlidir. Bu besleme sisteminin dezavantajı, dağıtıcı elek altında karmaşık bir düzenleme gerektirmesidir. Ayrıca, alttan beslemede, kömür püskürtme havasının, yataktaki basınç düşüşünü yenmesi gerekir.

Üstten besleme: Ara deponun altına bir boru bağlantısı ile yatağa, yer çekiminden yararlanılarak besleme yapılabilir. Besleme noktası, aktif yatağın içine veya yüzeyine ulaşırsa, bölgesel sıcaklık artışına ve tıkanmalara engel olabilmek amacıyla, kömür, bir miktar hava ile gönderilmelidir. Besleme noktası yüzeyde veya daha yukarıda olursa, kömür tozcuklarının taşınımı söz konusudur. Eğer yatak yüzeyi ile besleme noktası arasındaki yükseklik artarsa kömür uçucusunun bir miktarının serbest bölgede yanması mümkündür. Bu da yatak içerisindeki enerji dengesini bozabilir ve reaktör sıcaklığının düşmesine yol açabilir. Bu sistemin en büyük avantajı, basitliğidir. Üniform dağılım için yayıcı besleyici kullanılabilir. Nispeten küçük yakıcılar için, vidalı besleyici yeterlidir. Kömür dağıtım sistemlerinin en büyük problemi, kömürden kaynaklanan nemdir. Siloların daralma bölgesinde, taşıma hatlarında yön değişimi yapan dirseklerde yapışan tanecikler, kömür beslemeyi aksatırlar. Bu, alttan beslemede, daha büyük bir problem olarak kendini gösterir. Baca gazları ile kurutma veya titreşim gibi yöntemlerle, düzenli bir besleme sağlanabilir. Ayrıca, bu yöntemler higroskopik özelliği olan malzemelerde, geri dolaşımlı olarak, kömürün yüzey nemini azaltmada da kullanılmaktadır. Kireç taşı, yukarıda bahsi geçtiği gibi kükürt dioksit tutmak amacıyla akışkan yatağa beslenir. Kireç taşının kütlesel debisi, Ca/S oranına göre (bir kükürt dioksit molekülünü

tutmak için gerekli kalsiyum molekülü sayısı) hesaplanmalıdır. Kireç taşının, kömürle karıştırılmadan, yatak yüzeyi üzerinden beslenmesi yeterlidir.

3.4.5. Yatak üst ısıtıcısı

Akışkan yataklı yakıcı, devreye alınırken, çoğu kez, havanın ön ısıtılması, akışkanlaşmanın sağlanması ve kömürün tutuşma sıcaklığına ulaşılması için yetersiz kalır. Yetersizliğin nedeni, ön ısıtıcı kapasitesinden ziyade, dağıtıcı eleğin maruz kalacağı termal gerilmelerdir. Bu nedenle, yatak seviyesinin üzerine monte edilmiş bir yakıcı ile taneciklerin sıcaklığı yükseltilir. Daha sonra, ısıtılmış hava yatağa gönderildiğinde, akışkanlaşma kısa sürede gerçekleşir. İyi yalıtılmış bir yataktaki tanecikler, önceki günden, sıcak olarak depolandıkları için yukarıdan ısıtmaya ayrıca gerek olmayabilir. Isıtıcının doğalgaz brülörü olması şart değildir; fuel-oil brülörü de kullanılabilir. Bazı uygulamalarda, yatak üstü ısıtıcının kapasitesi gereğinden büyük seçilmektedir. Bunun nedeni, kömür besleme hatlarında meydana gelecek arızalarda, üst ısıtıcıyı kullanarak sistemin sürekli çalışmasının mümkün kılınmasıdır.

3.4.6. Siklon

Yanma odasını terk eden gazlarda, taşınan yanmamış kömür, yatak malzemesi, kül, ve oluşan katı tanecikler bulunmaktadır. Bunların en azından irilerinin, ısı değiştiricilere veya filtrelere girmeden temizlenmesi, siklonlar kullanılarak sağlanmaktadır. Akışkan yataklı yakıcılarda, gerek katı yakıtların nispeten büyük olması, gerekse gaz hızının yüksekliği nedeniyle, tanecikler, ısı içeriklerinin bir kısmını beraberlerinde kazanın dışına taşımaktadırlar. Bunun sonucu olarak, yanma verimi de düşmektedir. Siklonlar vasıtasıyla, tanecikler, yatak içerisine geri gönderilerek, bu sorun bir ölçüde çözülmektedir. Siklonların verimi, tanecikleri yakalama kabiliyetine göre tanımlanmaktadır ve alt sınır 10μm mertebesindedir. Taneciklerin kütlesel debisi, taneciklerin büyüklük dağılımı, gaz hızı bu verimi önemli ölçüde etkilemektedir.

Değişik tasarımlar ve çoklu siklon sistemleri, yanma verimini olumlu yönde artırmaktadır. Ancak, sistemin gaz yakış hattına ilave olarak getirilen her bir eleman, ek basınç düşümüne neden olacağı için, hava beslemesinin gücünün artırılması,proje aşamasında belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut sistemdeki siklon sayısı artırıldığında, orijinal tasarımda öngörülen enerji ayrışması etkilenecektir. Bir diğer konu da siklonların, yakıcı olarak akışkan yatağın serbest bölge çıkışına bağlanmasıdır. Bu durumda, siklon bir nevi yanmanın tamamlanması için kullanılmış olacaktır. Böylece, serbest bölgeyi terk eden yakıt tanecikleri, siklon yakıcıda yanmalarını tamamlayacak, yakıt içine döndürülmeden, küller sistem dışına alınabilecektir.

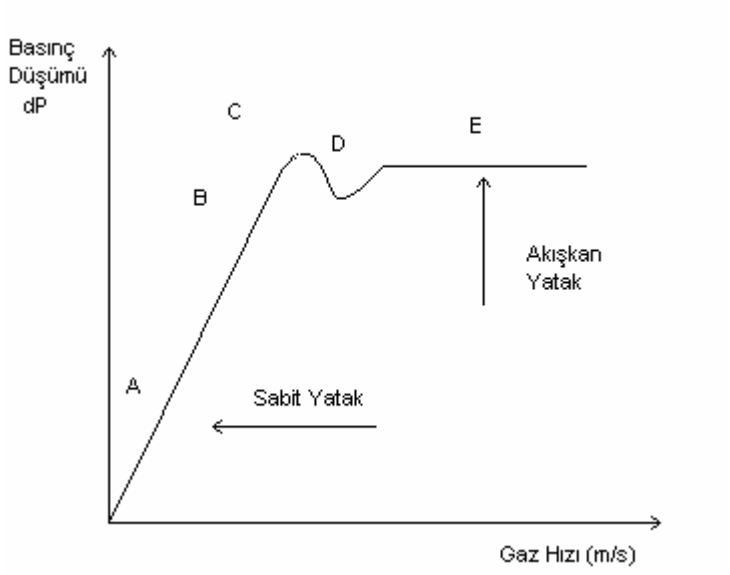
3.5. Akışkanlaşma Prensipleri

Üst üste yığılı hareketsiz durumdaki tanecik sisteminden oluşan sabit yatağın, altından dağıtıcı elek vasıtasıyla gaz beslenirse, tanecikler sıvıya benzer bir davranış göstermesi akışkanlaşma olarak ifade edilmektedir.

Dağıtıcı elek ile taneciklerin üst serbest yüzeyi arasında kalan mesafe yatak yüksekliğidir. Yatak yüksekliği boyunca basınç düşümü olmaktadır. Gaz akışı artırıldığında, tanecikler bir noktada birbirinden ayrılır. Sürtünme kuvveti, taneciklerin ağırlığını dengelemektedir. Bu noktaya akışkanlaşmanın başlangıç noktası denilmektedir. Bu noktadan itibaren gaz hızının arttırılması ile farklı rejimlere geçilmektedir.

3.5.1. Akışkanlaşma eğrisi

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi akışkanlaşma öncesi ve sonrasında; basınç düşüşü değişimi ile hız arasındaki ilişki karakteristik bir eğri ile ifade verilmektedir. Bu eğriye göre gaz hızı arttıkça, basınç düşüşü de artmaktadır. Bu artış ile akışkan yatağa geçirildiğinde küçük bir salınımı takiben basınç düşüşü sabitleşmektedir. Sabit yatak A noktası, A-B arası genleşmiş yatak, C noktası minimum akışkanlaşma noktası, D-E arası akışkan yatak bölgesidir.



Şekil 3.7. Karakteristik Akışkanlaşma Eğrisi

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi akışkanlaşma süreci, (A-E) arasında ΔP düşüşü görülmektedir. Bununla birlikte taneciklerde bir hareketlenme ve biraz sonra da türbülans ile karışma başlamaktadır. Minimum akışkanlaşma ise C noktasında gerçekleşmekte ve bu noktadan sonra akışkan yatak bölgesi (D–E) başlar. D noktasındaki hız minimum akışkanlaşma hızıdır. Daha sonra E noktasından itibaren tanecikler sistem içinde dolaşmaya başlamaktadır. Böylece akışkan yatak özellikleri gerçekleşmektedir. Karakteristik eğri sadece sabit, genleşmiş ve akışkan yatak konumlarını en genel şekilde göstermektedir.

Dolaşımlı akışkan yatak sürecinde tanecikler dağıtıcı elekten başlayarak ayrışma siklonu üzerinden geçerek, tekrara dağıtıcı elek bölgesine geri beslenerek, dolaşımlarını tamamlamaktadırlar. Bu bölgeye beslenen tanecikler ile dolaşımlı akışkan süreci tekrarlanmaktadır.

(D-E) bölgesinde yatak malzemesinin ağırlığı (yer çekimi kuvveti) basınç düşüşü ile kompanse edilmektedir. Yatak kararsız bir duruma itilmekte, türbülanslı bir akışkanlaşma süreci oluşumu için uygun bir ortam sağlanmaktadır. Bu süreç içerisinde başlıca şu akışkanlaşma türleri gözlenmektedir; sabit ve genleşmiş yatak (dağıtıcı elek üzerindeki durum),iki fazlı akışkanlaşma (katı–gaz karışımı), yoğun

fazlı akışkanlaşma (katı taneciklerin yoğunlaşması), havayla taşıma (dolaşımlı geçişin havayla sağlanması). Düşük hızlarda sabit yatak içinde, yatağa doğru gaz geçişi alçak basınç düşüşüne neden olmaktadır. Katı parçacıklar tamamen karıştırılmamıştır. Gaz hızının daha fazla artışı yatakta önemsiz bir genişlemeye neden olmakta ve parçacıklar hareketlerinde biraz serbestlik kazanmaktadır. Belirli bir akış seviyesinde, basınç düşüşü yatağın birim alanına karşılık gelen katı ağırlığına eşit olmakta ve tanecikler gaz akışı içinde birbirlerinin ağırlığını hissetmeden hareket etmektedirler .

3.5.2. Minimum akışkanlaşma teorisi

Akışkanlaşmanın başlama şartı, yukarıya doğru hareket eden gazın uyguladığı sürükleme kuvvetinin, yatakta bulunan taneciklerin ağırlığına eşit olmasıdır. Dolayısıyla;

$$\begin{bmatrix} Yatak \\ Boyunca \\ olan \\ Ba\sin c \\ Düşüşü \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Yatak \\ Kesit \\ Alanı \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Yatak \\ Hacmi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Katı \\ özgül \\ Agirligi \end{bmatrix} \qquad [3.1]$$

biçiminde kuvvet dengesi yazılabilir. Bu dengenin matematiksel karşılığı;

$$W = \Delta P_B A_b = \left(A_b H_{mf}\right)\left(1-\varepsilon_{mf}\right)\left(\rho_p - \rho_g\right)\frac{g}{g_c} \qquad [3.2]$$

biçiminde ifade edilebilir.

Burada, A_b ve H_{mf} yatak kesit alanı ve yüksekliği, ρ_p ve ρ_g katı tanecik ve gaz yoğunluğu, ε_{mf} yatak içindeki boşluk yüzdesidir.

Bu denklemin tanımladığı noktaya "Minimum Akışkanlaşma Noktası" denir. Minimum akışkanlaşma durumu ve yatak üzerine etkileyen kuvvetler Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Yatak için P_1 giriş basıncı, P_2 akışkan çıkış basıncı, A_t yatak kesit alanı, [(P_1-P_2)*A_b] basınç kuvveti, ε yatak boşluğu, H yatak yüksekliği, p taneciğin ve ρ_g gazın yoğunluğu olmak üzere sabit yatak için ;

$$(P_1\text{-}P_2).A_b \quad \leq \quad (\,(1\text{-}\varepsilon)\,\rho_p \,+\, \varepsilon\,.\,\rho_g\,)\,.H\,.\,A_b\,(g/g_c) \qquad [3.3]$$

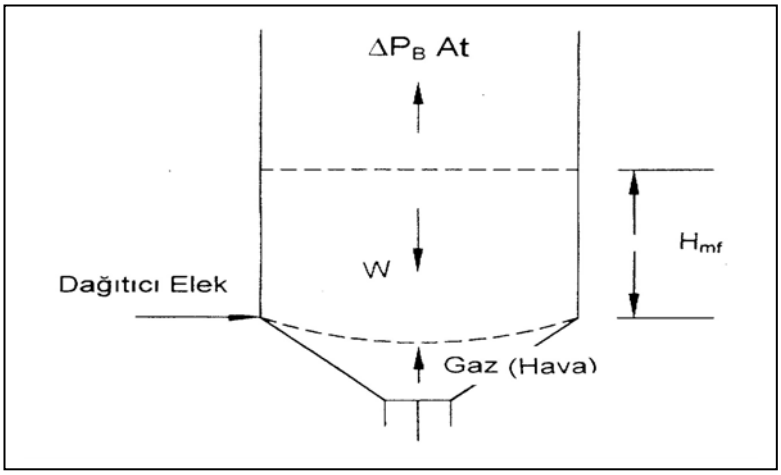
yazılabilir. Basınç farkı sadece partiküllerden kaynaklanmamaktadır. Partiküllerin olmadığı durumda da $\rho_g.H_G$ miktarına eşit statik basınç düşümü olmaktadır. Yalnız partiküllerin oluşturduğu basınç düşümü eşitlik 3.1'den bulunmaktadır. Eşitlik 3.2'de yeniden düzenlenerek aşağıdaki bağıntı elde

$$\frac{\Delta P_B}{Hmf} = \left(1-\varepsilon_{mf}\right)\left(\rho_p-\rho_g\right)\frac{g}{g_c} \qquad [3.4]$$

edilir. Basınç düşümü Şekil 3.8'de görüldüğü üzere gaz hızına bağlı olarak, doğrusal artışla bir noktaya kadar gitmektedir. Bu noktadan itibaren basınç düşümü sabit kalmakta, taneciklerin ağırlığı gazın kaldırma kuvvetine eşitlenmektedir. Bu duruma karşılık gelen hız minimum akışkanlaşma hızı olarak ifade edilmektedir. Aynı boyutta katı taneciklerin bulunduğu bir akışkan yatakta olan basınç düşüşü, Ergun denklemi, enerji denklemi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$g_c \times \frac{\Delta P}{L_{mf}} = 150 \times \frac{\left(1-\varepsilon_{mf}\right)^2}{\left(\varepsilon_{mf}\right)^3} \times \frac{\mu U_{mf}}{\left(\phi_s d_p\right)^2} + 1{,}75 \times \frac{\left(1-\varepsilon_{mf}\right)}{\left(\varepsilon_{mf}\right)^3} \times \frac{\rho_g Umf^2}{\phi_s d_p} \qquad [3.5]$$

Burada, $ø_s$ küresellik olup, taneciğe eş hacimdeki kürenin dış yüzeyinin tanecik yüzeyine oranı olarak tanımlanmaktadır. Yani taneciklerin geometrik olarak ne kadar küreye yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.8. Dağıtıcı elek üzerinde akışkanlaşma hali

Eşitlik 3.21 birinci grup terimi viskoz (μ) ve ikinci grup terimi kinetik enerji ($\rho.Umf^2$) kayıplarını içermektedir.Düşük Re değerlerinde ($Re_p<20$) yalnız viskoz kayıpları önemli olduğu için yukarıdaki eşitlik aşağıdaki biçime indirgenir. Bu durumda ikinci grup terim ihmal edilmektedir.

$$Re_p = d_p \times \rho_g \times U_{mf} / \mu \qquad [3.6]$$

$$g_c \times \frac{\Delta P}{L_f} = 150 \times \frac{(1-\varepsilon_f)^2}{\varepsilon_f^{\,3}} \times \frac{\mu u}{(\phi_s d_p)^2} \quad ,Re_{ep}<20 \qquad [3.7]$$

Yüksek Reynolds sayılarında ($Re_p>1000$) ise yalnız kinetik enerji kayıplarını göz önüne almak yeterli olmaktadır.

$$\frac{\Delta P}{L_f} \times g_c = 1{,}75 \times \frac{1-\varepsilon_f}{\varepsilon_f^{\,3}} \times \frac{\rho_g u^2}{\phi_s d_p} \quad ,Re_p>1000 \qquad [3.8]$$

Eşitlik 3.4 ve 3.5'in minimum akışkanlaşma durumunun özelliğine dayanarak birleştirilmesiyle karesel bir eşitlik elde edilir.

$$\frac{1,75}{\phi_S \varepsilon_{mf}^{\ 3}} \times \left(\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right) + \frac{150 \times (1 - \varepsilon_{mf})}{\phi_s^{\ 2} \varepsilon_{mf}} \left(\frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d_p \rho_g (\rho_p - \rho_g) g}{\mu^2} \qquad [3.9]$$

En son belirtilen eşitlik 3.25 minimum akışkanlaşma teorisini en genel biçimde tanımlamaktadır. Bu denklemdeki temel parametre minimum akışkanlaşma hızı (U_{mf}) dir. Düşük özgül ağırlıklı, küçük tanecikler için son eşitlikteki düşük hızlarda hızın karesi ihmal edilirse; $R_e < 20$

$$U_{mf} = (\phi_s \times d_p)^2 / 150 \times (\rho_p - \rho_g) / g \times \varepsilon_{mf} / (1 - \varepsilon_{mf}) \qquad [3.10]$$

Hızın etken olduğu durumlarda, büyük tanecikler için kullanılan eşitlikte yüksek hızlarda hız, hızın karesine oranla ihmal edilirse;

$$U^2_{mf} = \Phi_s \times d_p \times (\rho_p - \rho_g) / 1,75 \times \rho_g \ \} \qquad R_e > 1000 \qquad [3.11]$$

biçimini alır.

3.5.3. Minimum akışkanlaşma hızı

Minimum akışkanlaşma hızı hesabı için temel hareket noktası sabit dolgulu kolon boyunca basınç düşmesini veren eşitliktir. Akışkanlaşma oluşabilmesi için yukarıya doğru hareket eden gaz, katı sütununu üç kuvvetin etkisi altında bırakmaktadır. Birincisi, malzeme sütununun ağırlığı, ikincisi akışkan kaba giriş ve çıkış basınç değerleri arasındaki farka eşit bir kuvvet, üçüncüsü dağıtıcı eleğin akışkan akışına karşı direnç kuvvetidir.

Akışkanlaşma başlangıcı için yukarı doğru çıkan gazın partiküllere uyguladığı sürüklenme kuvveti yatak birim kesitindeki katıların ağırlığına eşitlenmesiyle elde edilen eşitlikle bir önceki eşitlik birleştirilerek minimum yatak boş hacim kesri, ε_{mf} ve şekil faktörü $Ø_s$ değerleri biliniyorsa minimum akışkanlaşma hızı hesaplanabilir.

Minimum yatak kolon boşluk oranı ε_{mf} ve şekil faktörü $ø_s$ değerleri bilinmediği taktirde $ø_s$'ın 0.136-1.0 ve ε_{mf} 'ın 0.385–0.935 arasında değiştiği durumlarda ε_{mf} ile $ø_s$ arasındaki ilişki için Wen ve Yu tarafından aşağıdaki iki bağıntı verilmiştir.

$$\frac{1}{\phi_s \varepsilon_{mf}^{\ 2}} = 14 \quad \text{ve} \quad \frac{1-\varepsilon_{mf}}{\phi_s \varepsilon^3_{\ mf}} = 11 \qquad [3.12]\ ,\ [3.13]$$

Kunii ve Levenspiel ;

$$U_{mf} = 1{,}1 \times 10^{-3} \times \frac{(d_p)^{1,82} \times \left(\rho_p - \rho_g\right)^{0,94} \times g^{0,94}}{\mu^{0,88} \rho_g^{\ 0,06}} \qquad \text{Tüm Re aralığı} \qquad [3.14]$$

Wen ve Yu ;

$$U_{mf} = \frac{\mu}{\rho_g d_p}\left[\left(1135{,}7 + 0{,}0408 \times Ar\right)^{1/2} - 33{,}7\right] \quad \text{Tüm Re aralığı} \qquad [3.15]$$

Minimum akışkanlaşma durumundaki Reynolds sayısı

$$Re_{mf} = [(33.7)^2 + 0.0408\ Ar\ ]^{1/2} - 33{,}7 \qquad [3.16]$$

Archimeds sayısı;

$$Ar = \frac{\rho_g d_p^{\ 3}\left(\rho_p - \rho_g\right) g}{\mu^2} \qquad [3.17]$$

Minimum akışkanlaşma hızının belirlenmesinde kullanılan bir bağıntıda Ergun tarafından geliştirilmiştir. Reynolds sayılarının tümü için Ergun denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$\frac{U_{mf} d_p \rho_g}{\mu} = \left(33{,}7^2 + 0{,}0408 \times \frac{d_p \rho_g \left(\rho_p - \rho_g \right)}{\mu^2} \right)^{1/2} - 33{,}7 \qquad [3.18]$$

U_{mf}'nin hesabı Fratz, Wen ve Yu, Leva tarafından birçok alternatif yöntemler verilmiştir.

3.5.4. Maksimum akışkan (terminal) hızı

Maksimum akışkan (terminal) hızı, bir gaz–katı akışkanlaşma sürecinde yatağı oluşturan katı taneciklerin gaz akımı ile yataktan dışarı taşınacağı gaz hızıdır. Taneciklerin yataktan taşınması durumunda, kararlı halin sağlanabilmesi için yatak geri besleme veya yatak tane besleme gerekmektedir.

Akışkanlaştırma gazının sürüklenme kuvveti partiküllerin ağırlığından fazla olduğu kriter kullanılarak partiküllerin terminal hızı Kunii ve Levenspiel tarafından aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$U_t = \left(\frac{4}{3} \frac{\left(\rho_p - \rho_g \right) g . d_p}{\rho_g C_D} \right)^{1/2} \qquad [3.19]$$

C_d, deneysel olarak belirlenen sürtünme katsayısıdır. Değişik Reynolds sayıları için aşağıdaki değerler verilmektedir.

$$C_d = \frac{24}{\mathrm{Re}_p} \quad , \qquad \mathrm{Re_p}<0{,}4 \text{ için} \qquad \text{(laminar bölge)} \qquad [3.20]$$

$$C_d = \frac{10}{\mathrm{Re}_p^{1/2}} \quad , \qquad 0{,}4<\mathrm{Re_p}<500 \text{ için} \qquad \text{(geçiş bölgesi)} \qquad [3.21]$$

$C_d = 0.43$, $500 < \mathrm{Re_p} < 200.000$ için (türbülanslı bölge) [3.22]

Burada Re_p , tanecikler için Reynolds sayısıdır. Seçilen Re_p değerleri için bulunan C_d değerleri U_t'yi tanımlayan eşitlikte yerine konarak U_t bulunur. Re_p aşağıdaki biçimde

$$\mathrm{Re}_p = \frac{d_p \rho_g U_t}{\mu} \qquad [3.23]$$

hesaplanarak kabul edilen Re_p değeri ile karşılaştırılır. Eğer seçilen ve hesaplanan değerler uyum içerisinde ise hesaplanan U_t değeri doğrudur. Küresel olmayan partiküllerin terminal hızı hesabı için aşağıdaki korelasyon eşitlikleri verilmiştir.

$$U_{tküresel} = \frac{0{,}153 \times g^{0,71} \times d_p^{\,1,14} \left(\rho_p - \rho_g\right)^{0,71}}{\rho_g^{\,0,29} \mu^{0,43}} \qquad [3.24]$$

$$U_{tkürselolmayan} = 0{,}843 \times \log\left(\frac{\phi_s}{0{,}065}\right) \times U_{tküresel} \qquad [3.25]$$

3.6. Adsorbent Maddeler

Katıların difüzyonla yüzeysel tutunma reaksiyonuna Adsorbsiyon denir. Kömürle ilgili piyasada en çok kullanılan adsorbent maddeler kireç, kireçtaşı, dolamit ve mermer tozu'dur. En önemli farkları ise CaO ve MgO oranlarıdır.

3.6.1. Adsorbent maddelere ait genel bilgiler

Adsorbent madde olarak bilinen ve ince toz halinde bulunan malzemeye su ilave edilerek meydana getirilen hamurun, başlangıçta sahip olduğu plastikliği zamanla kaybetme ve bunu izleyerek seyretme özeliği vardır. Bu özeliğin sayesinde adsorbent madde, tanelerden oluşan muhtelif malzemede taneleri birbirine bağlamak suretiyle istenilen şekil ve boyutta yapı elemanlarının elde edilmesini sağlar. Bu kısa açıklama

adsorbent maddelerin yapı mühendisliğinde gayet büyük olanaklara sahip bir malzeme olduğunu ve üzerinde önemle durulması gerektiğini gösterir.

3.6.2. Adsorbent maddelere ait bazı tanımlar

Genel olarak adsorbent maddeler toz halinde yani boyutları çok küçük, genellikle 90 mikrondan küçük, tanelerden meydana gelen bir malzemedir. Bu malzemeye su ilave edilirse plastik bir hamur elde edilir. Başlangıçta bu hamura kolaylıkla istenilen şekil verilebilir. Fakat belirli bir süre geçtikten sonra hamurda, birdenbire bir değişiklik meydana gelerek, şekil değiştirmeye karşı bir mukavemet baş gösterir. Diğer bir deyişle bu değişiklik olduktan sonra hamura eskisi kadar kolaylıkla şekil veremeyiz. Bu durumdan sonra adsorbent madde hamuru zaman geçtikçe plastikliğini kaybetmeye başlar ve en sonunda da katılaşır. İşte adsorbent maddelerin su ile karıştırılarak bir hamur haline geldikten sonra katılaşma özeliği vardır. Katılaşma olayına Priz denilmektedir. Adsorbent madde hamuru katılaşması onun priz yapması demektir. Priz yapma bakımından adsorbent maddeleri iki büyük gruba ayırmak kabildir. Birinci hidrolik adsorbentler . Bu gruba giren adsorbent maddelerin hem havada hem de su içinde priz yapma özeliği vardır. Bütün çimentolar bu gruba dahildir. İkinci grup hava adsorbentlerdir. Bunların yalnız havada priz yapma özeliği vardır. Bu grubunda en tipik örneği yağlı kireçtir. Bu duruma göre yağlı kireç hamuru su içinde bırakılırsa katılaşmaz.

3.6.3. Adsorbent maddelerin üretimi

Yağlı kirecin üretimi : Yağlı kireç veya kireç saf kalkerin 900°C'nin üstünde pişirilmesi ile aşağıdaki reaksiyona göre vaki olan ayrışma sonunda elde edilir.

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

Bu reaksiyon sonunda meydana gelen kalsiyum oksit (CaO) sönmemiş kireçtir. Bu madde ile su gayet enerjik bir şekilde şu reaksiyonu yapar:

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

Bu reaksiyon sonunda oluşan $Ca(OH)_2$ ye sönmüş kireç denir. Yapılarda adsorbent madde olarak kireç ismi altında kullanılan malzeme budur. CaO'nun su ile yaptığı reaksiyona kirecin söndürülmesi denir. Bu reaksiyon önemli bir ısının açığa çıkmasıyla ve ayrıca büyük bir hacim artışı ile son bulur. Eğer kireç tamamen söndürülmeden yapılarda kullanılırsa söndürme olayı yapıda tamamlanır ki bu durum bir hacim artışına sebep olduğundan kirecin kullanıldığı yerde çatlaklar ve döküntüler, kabuklaşmalar meydana gelir.

Bu kısa açıklamadan kirecin üretimi için kalkerin 900°C de pişirilmesini sağlayan bir fırın ile kirecin söndürülmesi için gerekli havuzların yapılması yetmektedir. Buradan kireç üretiminin oldukça basit tesislerde gerçekleşebileceği anlaşılmaktadır.

3.6.4.Adsorbent maddenin bileşenleri

Kalker, $CaCO_3$ olup bu maddenin fırında pişirilmesi sonunda CaO denilen kireç meydana gelir. Kil denilen malzeme çok karışık bir yapıya sahip olmakla beraber içinde fazla miktarda kaolinit bulunmaktadır. Al_2O_3, SiO_2 su formülüne sahip olan kaolinitin yüksek derecede ayrışımı sonunda alümin (Al_2O_3) ve silis (SiO_2) teşekkül eder. Killerde genel olarak bir miktar demir oksit (Fe_2O_3) daima bulunur.

3.6.5. Adsorbent maddelerin elemanları

Yukarıda açıklanan duruma göre, bir adsorbent madde ve özellikle bir portland çimentosunda bulunan belli başlı elemanlar kireç, silis alümin ve demir oksit'tir. Konumuzla ilgili olarak sadece kirecin belli başlı özellikleri aşağıda kısaca belirtilmiştir:

<u>Kireç</u> (CaO) : Kireç, $CaCO_3$ ün 900°C'nin üstünde pişirilmesi ile elde edilir. Amorf bir görünüşe sahip beyaz bir cisimdir. Kübik sistemde kristalleşme yapar. 1690°C de

buharlaşmaya 2570°C de ergimeye 2850°C'de kaynamaya başlar. Yoğunluğu 3,08-3,30 arasındadır.

Kireç bir bazdır. Silis, alümin ve demir oksitle birleşme özelliği vardır. Kireç adsorbent maddelerin en önemli elemanıdır.

Yağlı kireç denilen adsorbent madde saf kireçten ibarettir. Diğer muhtelif çeşit çimentolarda kireç önemli miktarda bulunur. Portland çimentosunun yaklaşık olarak % 60'ını teşkil eder. Gerek portland çimentosunda ve gerekse diğer çimentolarda kireç silis ve alüminle pişirilme esnasında birleşerek silikatları ve alüminatları meydana getirir. İşte bu silikat ve alüminatlar çimentoları adsorbentlik özelliklerini kazandırırlar. Kirecin üretilmiş çimentoda tamamen silikat ve alüminat halinde bulunması lazımdır. Aksi takdirde çimentoda birleşmemiş kirecin yani CaO'nun bulunması ileride açıklanacağı gibi çok zararlıdır.

3.6.6. Belli başlı adsorbent maddeler

1.Kireç grubu:

1.1. Yağlı kireç

1.2. Su kireci TS 30

2.Puzolan grubu:

2.1. Yapay (Uçucu kül) TS 639

2.1. Doğal (Tras) TS 25

3.Çimentolar

3.1. Portland çimentoları TS 19

3.2. Puzolanlı çimentolar

3.2.1.Uçucu küllü çimento TS 640

3.2.2. Traslı çimento TS 26

3.3.Cüruf çimentoları

3.3.1. Kireç esaslı cüruf çimentosu

3.3.2. Demir portland çimentosu TS 20

3.3.3.Yüksek fırın portland çimentosu

3.3.4.Sülfatlı cüruf çimentosu TS 809

3.4. Alüminli çimento

3.5. Muhtelif çimentolar

3.5.1. Beyaz çimento TS 21

3.5.2. Renkli çimento

3.5.3. Harç çimento

3.6.7. Kireç

Kireç, saf kalkerin 900°C de pişirilmesiyle aşağıdaki reaksiyona göre meydana gelir:

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

100gr kalkerden teorik olarak 56gr kireç CaO elde edilir. Fakat pratikte randıman %54'ü geçmez. Kalkerden başka, $CaCO_3$ ile $MgCO_3$'ı aynı zamanda içinde

bulunduran dolamit taşlarını da yüksek derecede pişirilmesi ile kireç elde edilir. Bu halde kireç CaO ile MgO dan ibarettir.

Beyaz renkte ve yukarıdaki şekilde üretilen CaO suya çok düşkündür. Su ile şu şekilde reaksiyon yapar:

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

Bu reaksiyon sonunda meydana gelen madde yapılarda kullanılan yağlı kireçtir. Yukarıdaki reaksiyona da kirecin söndürülmesi denir. Bu reaksiyonun meydana gelmesi için kireç ağırlığının ⅓ ü kadar suya gerek vardır.

Kireç uluslararası standart sanayi tasnifinde (ISIC), 36 ana grup ve 3692 kod numarasıyla sanayide kullanılan esas kimyasal maddeler grubunda yer almaktadır. Çizelge 3.1'de kireçtaşı uluslararası standart sanayi sınıflandırılması Çizelge 3.2'de ise kirecin tüketim alanları görülmektedir.

Çizelge 3.1. Kireçtaşı Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması
(International Standart Industrial Classification)

BÖLÜM Division	GRUP Group	SINIF Class
29	290	290107 kireçtaşı (kalker) (limestone) 29010701 tuvenan (run of mine) 29010702 ayıklanmış (seperated) yer almaktadır.

Kalker (kireçtaşı): Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bulunan tortul kayaçlara kalker yada kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayaçlara da kalker adı verilmektedir.

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 ihtiva eder. Ancak tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkinci derecede değişik madde ve bileşik içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kalkerin dertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5-2,7 gr/cm^3 arasındadır. Yer altı sularında travertenler şeklinde, deniz yada tatlı sularda ise kimyasal, organik veya mekanik çökelme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerimden de anlaşılacağı üzere kalker iki ana grupta toplanabilmektedir. Organik ve kimyasal kireçtaşları otokton, klasik kireçtaşları ise allokton olarak kabul edilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, detritik veya kimyasal materyaller ihtiva etmektedir.

Kalsit (hegzagonal $CaCO_3$) ve aragonit (ortorombik $CaCO_3$) kristallerinin her ikisi de genç kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Aragonit kristallerinin kalsit kristallerine daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristalleri bulmak güçtür.

Dolamitik Kireçtaşı **:** Kimyasal bileşiminde kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) yanında kütlece %10-35 oranında magnezyum karbonat ($MgCO_3$) bulunan tortul kayaçlara dolamitik kireçtaşı adı verilir (22).

Çizelge 3.2. Kirecin tüketim alanları

KİMYASAL VE ENDÜSTRİYEL	Metalurjik	Eriyik, çelik üretimi
	Kimyasal üretim	Magnezya, alkaliler
	Sağlık, tortu ve kağıt	Pis su, arıtma, ağartma
	Seramik	Cam, tuğlalar
	Besinler	Şeker ve süt prosesi
	Petrol	Yağlama, rafineri
	Çeşitli	Boyalar, pigmentler
YAPI	Bina yapımı, yollar	Sıva, alçı, harç
ZİRAAT	Orman, toprak kireçlenmesi	

3.6.8. Deneylerde kullanılan adsorbentlerin özellikleri

Deneylerde adsorbent olarak kullanılan Bartın kireçtaşı,ve Hasanoğlan kireçtaşının kimyasal analizleri Çizelge 3.3. de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Deneylerde Kullanılan Kireçtaşlarının Kimyasal Analizleri

Kireçtaşı Türü	**CaO**	**MgO**	**R_2O_3**	**SiO_2**	**Kızdırma Kaybı**
Bartın Kireçtaşı	57,23	2,78	1,40	5,6	32,99
Hasanoğlan Kireçtaşı	47,80	1,35	0,73	11,46	38,66

3.7. Hava Kirliliği Kontrolünde Standartların Önemi

Hava kirliliği ile doğrudan veya dolaylı olarak ilgili, bugüne kadar hazırlanmış Türk Standartları aşağıdaki ana başlıklar halinde gruplandırılabilir:

1.Hava kirliliği ölçme metotları, taşıtlarda emisyon sınır değerleri ve kabul deneyleri
2.Doğalgaz, numune alma, deney metotları ve tesisat projelendirme kuralları
3.Petrol ve petrol ürünlerinde numune alma ve deney metotları
4.Kömürler, numune alma ve deney metotları
5.Soba ve kazanlar, işletme, muayene, bakım ve tesisat kuralları

Çevrenin korunmasında ve çevre problemlerinin çözülmesinde teknolojik gelişmelerden imkanlar ölçüsünde istifade edilebilir. Uygulanacak çözüm yollarının dayanakları; doğrulukları, geçerlilikler ve güvenilirlikleri kanıtlanmış metotlar olmalıdır. Son yıllarda ülkemizde önemli bir sorun olan çevre kirliliği ile gelişmiş ülkeler ve gelişme çabasında olan bütün dünya yüz yüzedir. Bu problemlerin bir bölümü için çözüm yolları bulunmuş ve çözüm yolları standart metotlara dönüştürülmüş ve bir kısmı da problemleri oluşmada önleyecek güvenlik kuralları olarak standartlaştırılmıştır. Türk Standartları Enstitüsü, Milletler arası standardizasyon faaliyetlerini çok yakından takip eden bir kuruluş olarak bu alanda hem önemli boyutlarda bilgi birikim oluşturmuş hem de konuyla ilgili çok sayıda standart hazırlamıştır.

Ülkemizde, özellikle büyük şehirlerimizin önemli ölçüde etkilendiği hava kirliliğine; düzensiz ve hızlı şehirleşme, düşük kaliteli yakıt kullanımı, taşıt trafiğinin yoğunlaşması sanayi bölgelerinin şehirlerle iç içe olması, endüstriyel gaz atıklar için filtre sisteminin benimsenmemiş olması gibi etkenler neden olmaktadır. Şehirleşmenin neden olduğu hava kirliliği özellikle ısıtma sistemleri, yakma tekniği ve yakıt kalitesinden kaynaklanmakta, öte yandan nüfus patlaması, yanlış yerleşim, aşırı araç gibi etkenler bu kirliliği hızlandırmaktadır. Ankara'da hava kirliliği sorunu kaliteli yakıt kullanımı, bilinçli yakma tekniği ile bir ölçüde azaltılmış olup başlatılmış olan doğalgaz projesi ile en aza indirilebilecektir.

3.8. Stokiyometrik Hesaplamalar

Stokiyometrik hesaplamalar, dolaşımlı akışkan yataklı kazanların (DAY) dizaynı için gerekli temel bilgiler tedarik eder. Kazanın temel verimi için gerekli kömür miktarını

bulmaya yardımcı olur. Bu hesaplamalar ile yanma için gerekli yakıt miktarı, fan ve hava miktarı bulunabilir. Aynı zamanda kükürtün tutulması için gerekli kireçtaşı miktarını da verir. Son olarak bu hesaplarla, yanma sonucu oluşan katı ve gaz kirliliği tahmin edilebilir. Çoğu hesaplar, kimyasal reaksiyonlara dayalıdır.

3.8.1. Kimyasal reaksiyonlar

Yanma sırasında kömürün içindeki kükürtün tutulması için yüksek kükürde sahip kömürleri yakan bazı DAY yakıcılara ihtiyaç duyulur. Bu yüzden bu kazanların stokiyometrik hesaplamalarında özel düşüncelere ihtiyaç duyulur. Diğer tip DAY kazanlar ise içinde ihmal edilebilir miktarda kükürt bulunan yakıt yakarlar. Bu boylerlerde kükürtün yakalanması için kireçtaşına ihtiyaç yoktur. Birinci tip yakıcının yanma reaksiyonları aşağıdaki gibidir:

$C + O_2 = CO_2 + 32{,}790$ kj/kg karbon [3.26]

$$C_n H_m \left(n + \frac{m}{4} \right) O_2 = nCO_2 + (\frac{m}{2}) H_2 O + ısı \quad [3.27]$$

$S + O_2 = SO_2 + 9260$ kj/kg kükürt [3.28]

(m ve n, stokiyometrik katsayılar)

SO_2'nin emilmesi için yakıcı içine kireçtaşı beslenir. Kireçtaşı, önce aşağıdaki denklemde olduğu gibi kalsinlenir:

$CaCO_3 = CaO + CO_2 - 1830$ kj/kg $CaCO_3$ [3.29]

Eğer sorbent magnezyum karbonat içeriyorsa, fazladan aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir:

$MgCO_3 = MgO + CO_2 - 1183$ kj/kg $MgCO_3$ [3.30]

Kireçtaşı veya kömürün külünden olan kalsiyum oksit, kömürün yanması sırasında oluşan kükürt dioksiti emer. Reaksiyon ise şöyledir:

$$CaO + SO_2 + \left(\frac{1}{2}\right)O_2 = CaSO_4 + 15141 \text{ kj/kg S} \qquad [3.31]$$

Yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı gibi oksijen, hem yanma hem de sülfasyon reaksiyonları için gereklidir. Katı ve gaz proseslerin birbirlerine mükemmele yakın etkileşimleri için fazlalık bir hava gereklidir. Bu ekstra havaya fazlalık hava denir. En iyi gaz-katı karışımına izin veren DAY yakıcılarıdır. Sülfasyon reaksiyonları ve yanma için gerekli bu fazlalık hava yaklaşık %20 dir.

3.8.2. Gerekli hava

Bir ünite kömürün tamamıyla yanması için gerekli kuru hava: M_{kh} ($M_{kuru\ hava}$)

$$M_{kh} = \left[11{,}53C + 34{,}34\left(H - \frac{O}{8}\right) + 4{,}34S + A.S\right] \text{ kg/kg kömür} \qquad [3.32]$$

(C, H, O, S: yakıtın analizi ile bulunan bileşenlerin ağırlıkları)

Her bir kükürt kütlesinin, kalsiyum sülfata dönüşmesi için gerekli fazladan hava miktarına A denir. Kömür için gerekli ekstra hava A*S dir. Kalsiyum sülfat eğer kükürt tutmuşsa A=2,17, tutamamışsa A=0 dır.

Etkili yanma için teorisel hava fazlalığı gereklidir. Toplam hava miktarını bulmak için teorisel hava ile hava fazlalık katsayısı (HFK) çarpılır.

Toplam kuru hava T_{kh} , teorideki gereksinim ile tamamen yanma için gerekli hava fazlalığının toplamıdır.

T_{kh} = HFK * M_{kh} kg/kg yanmış [3.33]

Hava fazlalık katsayısı HFK, çoğu zaman 1,2 veya 20% alınır. Hava çoğunlukla nem içerir. Standart havada nemin kütlesel oranı X_m , yaklaşık 0,013 kg/kg hava dır.

Toplam nemli hava M_{yh} ;

$M_{yh} = T_{da} * (1+X_m)$ [3.34]

3.8.3. Gerekli sorbent

Eğer kömürün külü, ihmal edilebilir miktarda kalsiyum oksit içeriyorsa kükürt tutmak için gerekli sorbent miktarı L_k şöyle bulunur:

$$L_k = \frac{100S}{32X_{CaCO_3}} * R \quad [3.35]$$

S : kömür içindeki kükürtün kütlesel oranı

X_{CaCO_3} : sorbent içindeki $CaCO_3$ ün kütlesel oranı

R : sorbent içindeki kalsiyumun, kömür içindeki kükürde olan molar oranı

3.8.4. Meydana gelen katı atıklar

Eşitlik 3.46 ve Eş. 3.47 notu reaksiyonlardan sorbentin CaO, MgO ve inert maddelere ayrıldığını görüyoruz. Bunun haricinde CaO, $CaSO_4$ e dönüşür. Yanan kömürün ağırlığı başına harcanan sorbentin ağırlığı L_s , $CaSO_4$, CaO , MgO ve inert maddelerin toplamıdır.

$$L_s = 136\frac{S}{32}E_{sor} + 56\left(\frac{L_k * X_{CaCO_3}}{100} - \frac{S * E_{sor}}{32}\right) + 40\left(\frac{L_k * X_{MgCO_3}}{84}\right) + L_k * X_{inert} \quad [3.36]$$

Yanan kömür başına meydana gelen katı atık, W_k

$$W_k = \left[L_w + KÜL + (1 - E_c) - X_{CaO}\right] \quad [3.37]$$

E_c : yanma verimi

L_s : kömür külü

$1\text{-}E_c$: yanmamış karbon

3.8.5. Atık gaz ürünler

W_c yani yanma reaksiyonuna bağlı baca gazı, CO_2 , su buharı , nitrojen , oksijen , SO_2 ve uçucu külün toplamıdır. Baca gazının bu bileşenleri aşağıdaki şekilde bulunur:

Karbondioksit:

Kömür içindeki sabit karbondan üretilen $CO_2 = 3{,}66C$ [3.38]

Sabit karbondan üretilen CO_2'nin haricinde, sorbent içindeki $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ ün kalsinasyonu ile üretilen ekstra miktarda bir CO_2daha vardır (bkz. Eş (3.29) ve Eş (3.30)). Bu miktara W_{CO_2} denir ve

$$W_{CO_2} = \frac{44S * R}{32}\left(1 + \frac{100X_{MgCO_3}}{84X_{CaCO_3}}\right) = 1{,}375\text{S*R}\left[1 + 1{,}19\frac{X_{MgCO_3}}{X_{CaCO_3}}\right] \quad [3.39]$$

R : kalsiyumun kükürte molar oranı

Su Buharı:

Baca gazındaki su, kömür içindeki hidrojenin yanmasından ve yanma havası, kömür ve yanma havası, kömür ve kireçtaşında bulunan nemden gelir.

Yanmış kömür başına oluşan su: $9H + HFK*M_{kh}*X_m + M_f + L_k*X_{ml}$ dir [3.40]

Nitrojen:

Yakıt ve havadan nitrojen : $N + 0,768*HFK*M_{kh}$ [3.41]

Oksijen:

Baca gazındaki oksijen, kömür içindeki oksijenden ve yakma havasındaki oksijen fazlalığından gelir.

Baca gazındaki oksijen:

$O + 0,2315*M_{kh}*(HFK-1) + (1-E_{sor})*S/2$ [3.42]

Kükürt dioksit:

Eğer sadece kükürtteki E_{sor}, CaSO4 e dönüşürse; baca gazındaki SO_2 :

$2S*(1-E_{sor})$ [3.43]

Uçucu Kül:

Baca gazında kömür külü ve sorbent bulunabilir.

Yanmış kömürün birim ağırlığı:

$a_c*KÜL$ [3.44]

a_c: kömürün içindeki kül oranı. Uçucu kül olarak da bilinir. Yaklaşık değeri 0,1-0,5 arasındadır.

Baca gazının toplam ağırlığı, üstteki verileri toplayarak bulunabilir. Basitçe yanmış kömür başına:

$$W_c = M_{wa} - 0{,}2315M_{da} + 3{,}66C + 9H + M_f + L_q{*}X_{ml} + N + O + 2{,}5S(1-E_{sor}) + 1{,}375S{*}R(1+ X_{MgCO_3} / X_{CaCO_3}) + a_c{*}KÜL \quad [3.45]$$

3.8.6. Yakıt ısıl değerleri

Bir katı yakıtın Üst Isıl Değeri (ÜID)yaklaşık olarak DULONG ve PETIT formülünden hesaplanabilir:

$$ÜID = 33{,}823C + 144{,}249(H- \frac{O}{8}) + 9418S \quad kJ/kg \quad [3.46]$$

Alt ve Net Isıl Değer (AID) ise üst ısıl değerden yakıt içindeki nemin buharlaşma ısısının çıkarılmasıyla bulunur.

$$AID = ÜID - 22604H - 2581M_f \quad kJ/kg \quad [3.47]$$

4. DENEYSEL ARAŞTIRMA ALTYAPISI VE DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde deneylerde kullanılan deney ve ölçme değerlendirme sistemleri ayrıntılı olarak verilmektedir. Deneysel çalışma kömür yakılan bir sıcak model DAY yakma sistemi ve farklı sıcaklıklarda çalışan sentetik gazlı bir model olmak üzere iki deney sisteminde yapılmıştır. Ölçme sistemi olarak; baca gazı analiz sistemleri(METL), izokinetik katı partikül örnek alma sistemi, sıcaklık ve basınç ölçme sistemleri ile hız ölçme sistemleri kullanılmıştır.

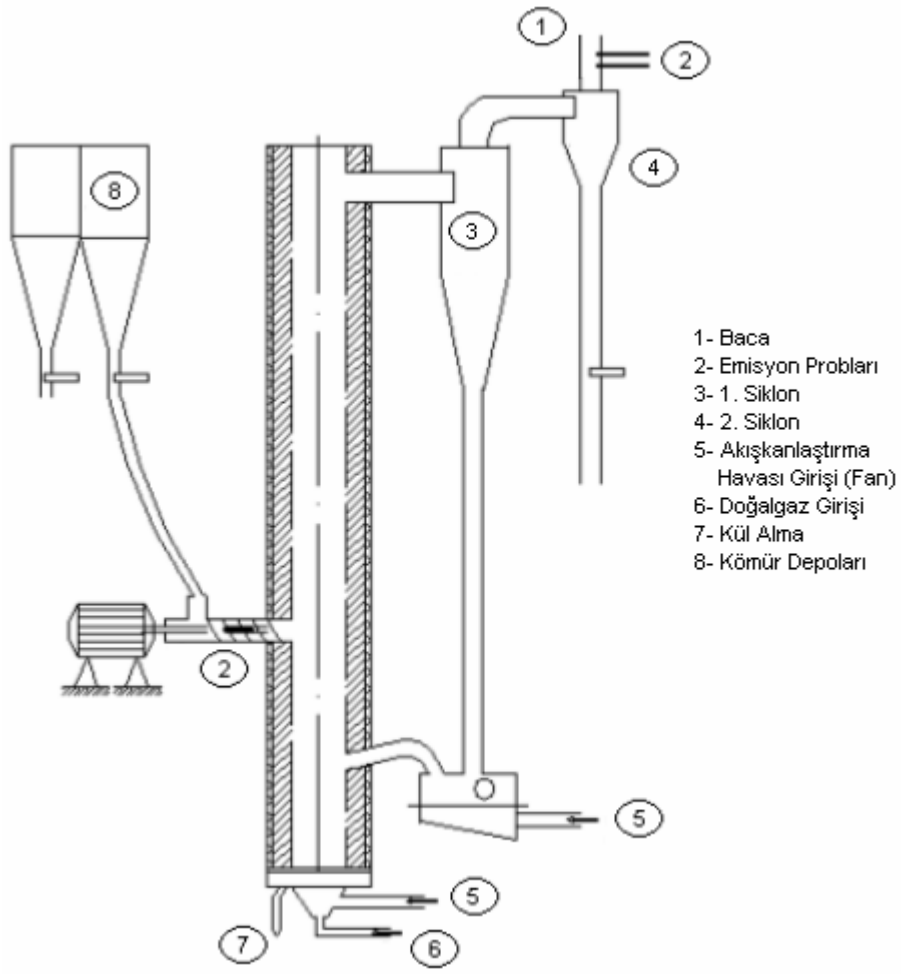
4.1. Akışkan Yatak Test Sistemleri

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isıl Güç Laburatuvarında daha önce yapılan tez çalışmaları ve çeşitli araştırma projeleri kapsamında kurulan bir akışkan yatak araştırma merkezi mevcuttur. Araştırma merkezinde aynı geometri ve ölçüye sahip birer adet sıcak ve soğuk model dolaşımlı akışkan yatak ile akışkan yataklı yakma sistemlerinde ısı transfer özelliklerinin incelenebileceği bir deney düzeneği ve farklı sıcaklıklarda çalışılmaya uygun sentetik gaz ile beslenen bir deney düzeneği mevcuttur. Aşağıda bu deney sistemleri detaylı olarak verilmektedir.

Sıcak model DAY yakma sistemi :

Deneysel çalışmaların yapıldığı DAY yakma sisteminin şematik görünüşü, Şekil 4.1'de verilmiştir. DAY yakma sisteminin yanma kolonu 0,125 m çapında ve 3,0 m yüksekliğindedir. Gövde 0,31 m dış çapında 0,006 m et kalınlığında ve 0,60 m uzunluğunda beş adet standart karbon çelik çekme borudan yapılmıştır. Bu boru parçaları faturalı bir bağlantıyla birbirine bağlanmıştır. Kolon 0,085 m et kalınlığında süper costable-32 ıstampa harcı, monolit harcı ve dökme ıstampa harcının eşit oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan refrakter harcıyla kaplanmıştır. Dış yüzey 100mm'lik alüminyum kaplı cam yünü izolasyon malzemesi ile yalıtılmıştır.

Kolon birincil siklona tepe noktasından 0,08 m iç çapında refrakter malzemesi ile kaplı bir boruyla bağlanmıştır. Birincil siklona teğetsel olarak giren yanma gazları içerisindeki katı partiküller (yatak malzemesi, adsorbent malzemeler ve kömür parçaları) bir düşüş borusu ile geri dolaşım yatak ünitesine beslenmiştir. Geri dolaşım sisteminde 0.10 x 0.14 x 0.10 m boyutlarında ikinci bir akışkan yatak mevcuttur. Burada orifis sayısı 125 ve orifis çapı 0.0025 olan bir dağıtıcı elek kullanılarak katı partiküllerin yatağa geri beslenmesi sağlanmıştır. Geri besleme sistemine ikincil hava, hava besleme fanından alınan 2" lik bir boru ile verilmiştir. Geri dolaşım bağlantısı yatağa dağıtıcı eleğin 0,37 m üzerinden yapılmıştır. Sistemden kül eski kül alma sistemi değiştirilerek geri dolaşım yatağından 1"lik bir boru ile devir sayısı kontrollü bir vidalı götürücü kullanılarak alınmıştır.



Şekil 4.1. Sıcak model dolaşımlı akışkan yataklı yakma sistemi şematik resmi

İlk grup çalışmalar sırasında, sabit devirli kömür besleme sisteminin ve elle kömür beslemenin, sistemin çalışma şartlarını oldukça sınırladığı ve yanma şartlarını bozduğu görülmüştür. Bunun sonucunda kömür besleme sisteminde değişiklik yapılmıştır. Sistemde kullanılan 50 d/d sabit devirli motor yerine, 1380 d/d'lık 3 fazlı bir motor, devir sayısı kontrol (Altivar 18 Telemecanique hız kontrol cihazı) cihazı ve "L" valf ile kullanılan kömür taşıma havasının ölçülebileceği bir akış ölçer ilave edilmiştir (Şekil 4.4). Kömür besleme sisteminde kullanılan vidalı taşıyıcı, kayış kasnak sistemi kullanılarak 0,5 BG gücündeki, 0-1380 d/d devirli bir üç fazlı elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Kullanılan devir sayısı kontrol ünitesi ile kömür besleme debisi geniş bir aralığa çıkartılabilmiştir. Motor hız kontrol sisteminin bir potansiyometre yardımıyla dijital olarak istenen değere uzaktan ayarlanabilmesi ve istendiğinde Mobil Emisyon Test Laburatuvarında bulunan gaz ölçüm sistemlerinin yanına taşınabilmesi, deneyler sırasında proses kontrollü bir kömür besleme ve kül alma olanağı sağlamıştır.

Sisteme hava beslemesi 1000 m^3/h hava debisinde ve 900 mmSS basınç düşüşüne sahip 7,5 BG'nde bir radyal fan kullanılarak yapılmıştır. Fandan çıkan hava dört hat üzerinden sisteme verilmiştir. Bunlar; akışkanlaşma ve yakma havası 4" çaplı bir boru ile kolon altından; ikincil hava olarak geri dolaşım yatağına; üçüncü hat L-valfli kömür besleme sistemine değişken kesitli bir akış ölçer üzerinden; dördüncü hat ise yatağın çeşitli bölgelerinin soğutulması amacı ile kullanılmıştır. Sisteme beslenen hava debileri orifismetreler ve değişken kesitli akış ölçerler kullanılarak kontrol edilmiştir.

Birincil hava dağıtım sistemi, hava giriş yatağı, dağıtıcı elek plakası ve ön ısıtma LPG bekinden oluşmaktadır. Kolon altındaki dağıtıcı elek plaka 0,004 m kalınlığında karbon çeliğinden olup, üzerine 600 adet ve dairesel olarak 0,005 m aralıklarla 0,001 m çaplı orifislerden meydana gelmiştir. Dağıtıcı eleğin alt kısmında olan hava giriş yatağı 0,125 m çapında ve 0,25 m yüksekliğindedir.

Bu çalışmanın ilk deneylerinde karşılaşılan aşırı baca gazı partikül konsantrasyonları, pek çok ticari ve deneysel uygulamada olduğu gibi bu sistemde de ikinci bir siklon

kullanılarak katı partiküllerin tutulması ve sisteme geri beslemesinin sağlanması gerektiğini göstermiştir. Bu amaçla çalışma şartlarına uygun ikinci bir siklon tasarlanarak imal edilmiş ve sisteme monte edilmiştir.

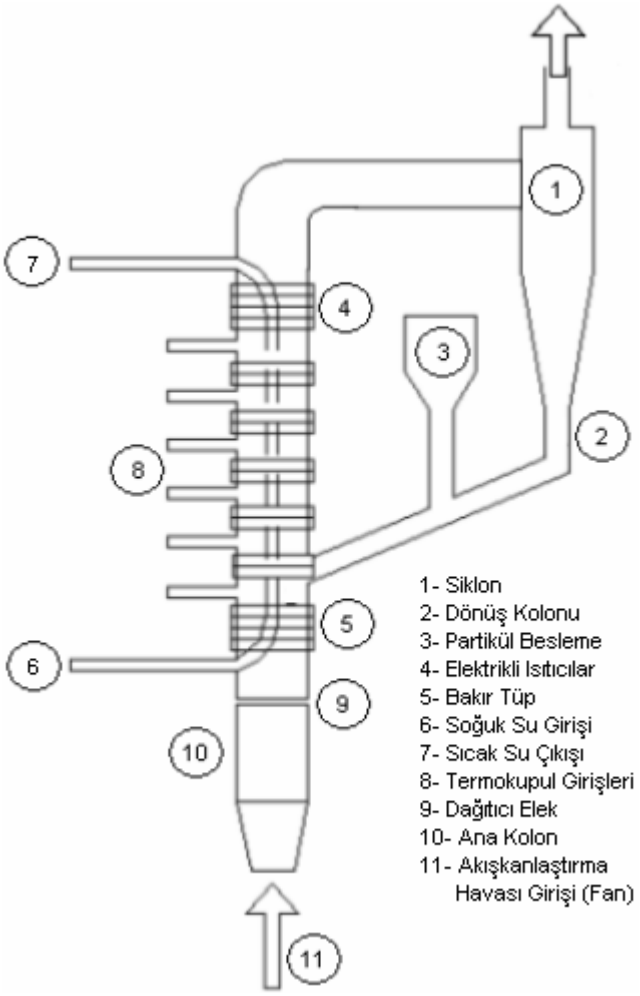
DAY yakma sisteminin ön ısıtılmasında LPG kullanılmaktadır. Gaz, yatak içerisine dağıtıcı plakanın ortasından bir bek ile beslenmektedir. Sistemde ateşleme için bir trafo ile üretilen 1000 Voltluk bir elektrik arkı bir çift elektrod ile sağlanmaktadır.

Mevcut DAY yakma sistemi gövdesine, yatak basınç düşüşlerini, sıcaklık ve gaz konsantrasyonu profillerini ayrıntılı biçimde belirleyebilmek amacıyla 0,20 m aralıklarla sekiz adet delik açılmıştır. Benzeşim çalışmalarının yapılabilmesi için sıcak model ile soğuk modelin örnek alma noktalarının benzer olarak açılmasına özen gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada genel olarak kolonda basınç düşümleriyle, radyal ve eksenel yönde izokinetik partikül örneklemeleri yapılmıştır. Kolonda örnekleme yapılan bölgede katı konsantrasyonunu belirlemek için eğik manometre ile basınç düşüşü ölçümleri yapılmıştır. Bölgesel gaz hızları da, örnekleme sistemi ile eş radyal konumdaki pitot tüpündeki basınç düşüşü ölçümleriyle belirlenmiştir. Kolonda yapılan basınç ölçümlerinde hassas sonuç veren eğik manometreler kullanılmıştır.

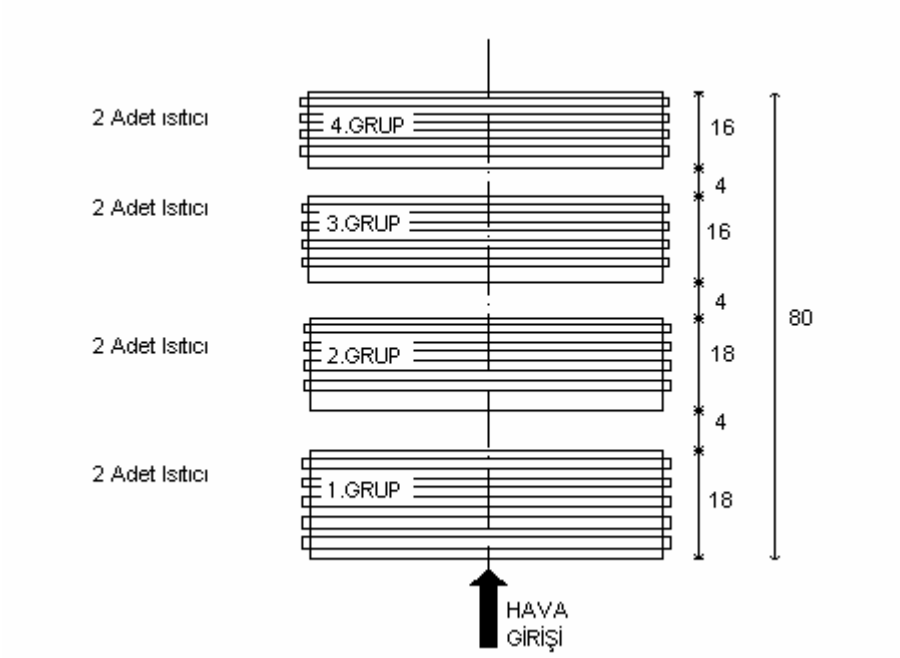
Sıcaklık Ayarlı Sentetik Baca Gazı İle Çalışabilen Bir Akışkan Yataklı Reaktör :

Kolon malzemesi olarak ısıya dayanıklı ve ısı transfer katsayısı yüksek paslanmaz çelik kullanılan, dağıtıcı elekten itibaren 0,9 m yüksekliğinde, 10 cm çapında ana kolona sahip deney sistemi (Şekil 4.2) ile, dolaşımlı akışkan yatakta kireçtaşı-SO_2 reaktivitesi deneysel olarak incelenerek, literatürdeki modellerle karşılaştırılması yapılacaktır. Deney sisteminde, ana kolon, siklon, manşon, alt parça, flanş, elek, besleme kabı ve siklon dönüş borusuna ait teknik resimler Ek 2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Sıcaklık ayarlı sentetik baca gazı ile çalışabilen bir akışkan yataklı reaktör

Kireçtaşı-SO_2 reaktivitesi analizi için, Şekil 4.3'de görüldüğü gibi ana kolon, dağıtıcı elekten itibaren 0,8 m yüksekliğe kadar dışarıdan elektrikli band ısıtıcı ile sarılmıştır. Toplam 8 adet ısıtıcı kullanılmıştır. (2000 W*2 +1000*6)



Şekil 4.3. Ana Kolon Üzerindeki Isıtıcı Grupları

Sistem üzerinde elektrikli bant ısıtıcı montajı yapılan bölgelerin cam yünü ile izolasyonu yapılmıştır. Elektrikli bant ısıtıcı güç ayarı, değişken bir transformatör ile kontrol edilecek, çekilen akım-voltaj değerleri voltmetre ve ampermetre yardımı ile görülebilecektir.

Ana kolon boyunca hava dağıtıcısından itibaren her 10 cm' de bir, doksan derece açı ile bir adet sıcaklık ölçmek için, bir adet de basınç ölçmek için ½ ″ çapında 8'er adet örnek alma(manşon) yeri bırakılmıştır. Egzoz çıkışı ve dönüş kolonunda da yine sıcaklık-basınç ölçümleri için 1'er adet ölçüm noktaları bulunmaktadır.

Yatak malzemesini akışkanlaştırmak amacıyla kompresörden gelen hava, rotametre (hava akış metre) den geçerek, dağıtıcı eleğe ulaşacaktır. Kolondan geçecek hava siklondan dışarı atmosfere verilirken, yatak malzemesi siklondan sonra tekrar yatağa geri beslenecektir.

Yatak malzemesi değişimi için dağıtıcı eleğin alt kısmında açılan malzeme boşaltma manşonu kullanılacaktır. Yatak malzemesi tartılarak siklon dönüş hattının üzerinden (2 no'lu nokta) yatağa geri verilecektir.

Ana kolon üzerinde 5 ayrı yerden thermocouple (K tipi) ile yapılacak basınç ölçümü ile yatak içi basınç değişimi belirlenecektir. Ana kolon elektrikli ısıtıcılar yardımıyla 800-850°C'ye kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta sabit tutulmaya çalışılacaktır. Baca çıkışına bağlanacak sistem sayesinde baca gazlarının konsantrasyonlarındaki değişim ve emisyon değerleri kontrol edilecektir. İstenildiğinde, tasarlanan deney sistemi, kabarcıklı akışkan yatak deneylerinde de kullanılabilecektir.

Gerçek baca gazı şartlarını simüle etmek amacıyla, düzeneğe alttan beslenen akışkanlaştırma havasına uygun debi ve konsantrasyonda sentetik gaz karışımı verilecektir. Sentetik gaz karışımı, yanma gazlarını temsil edecek biçimde oksijen(O_2), azot(N_2), kükürt dioksit(SO_2) ve karbon dioksit(CO_2) içerecektir. Sentetik baca gazı ile kireçtaşı reaktivite analizi yapılacaktır.

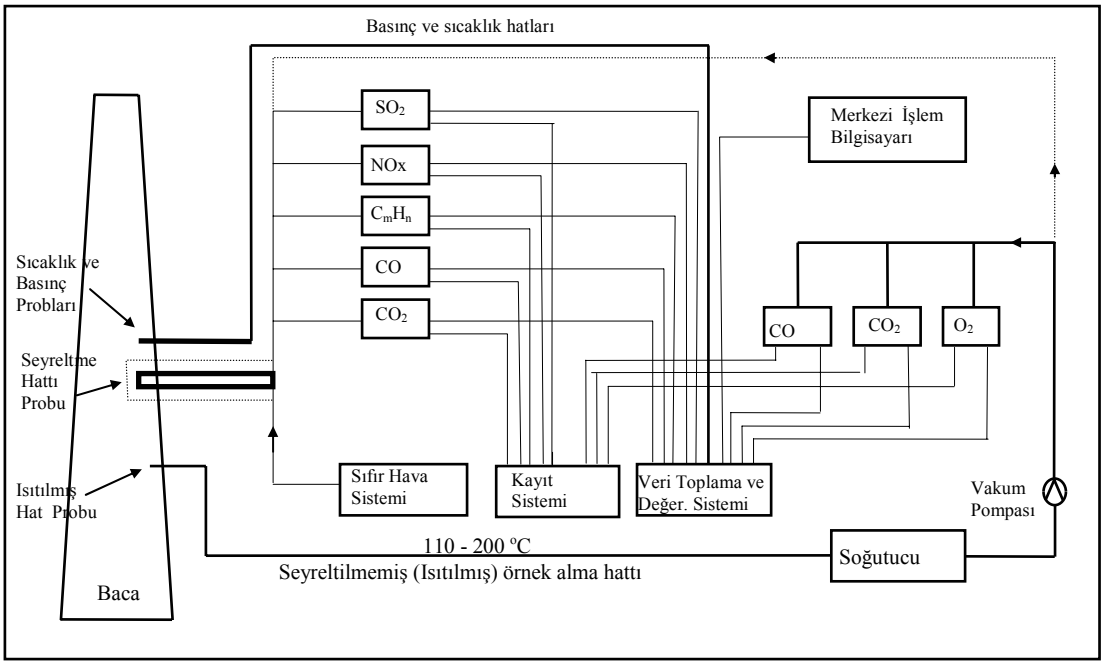
4.2. Ölçme ve Veri Değerlendirme Sistemleri

Deneysel çalışmaların tümü Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Isıl Güç Laburatuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan ölçme ve değerlendirme sistemlerinin büyük bir bölümü, 1987-1992 yılları arasında yapılan NATO-TU Air Pollut projesi kapsamında alınan cihazlardır. Ayrıca Gazi Üniversitesi Rektörlüğü tarafından desteklenen çeşitli Araştırma Fonu Projeleri kapsamında oluşturulan ölçme sistemleri kullanılmıştır. Kullanılan ölçme ve değerlendirme sistemleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

Yakma sistemlerinde yanma ve emisyon özelliklerinin incelenebilmesi gaz ve toz içerikli baca gazı analizlerinin tekniğine uygun yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Baca gazı konsantrasyonlarının doğru olarak analizi, gaz örneklerinin standartlarda belirtildiği biçimde alınmasını, hazırlanmasını ve koşullandırılmasını gerektirmektedir. Katı partikül ölçümlerinin doğru biçimde yapılabilmesi özellikle kaba boyutlu

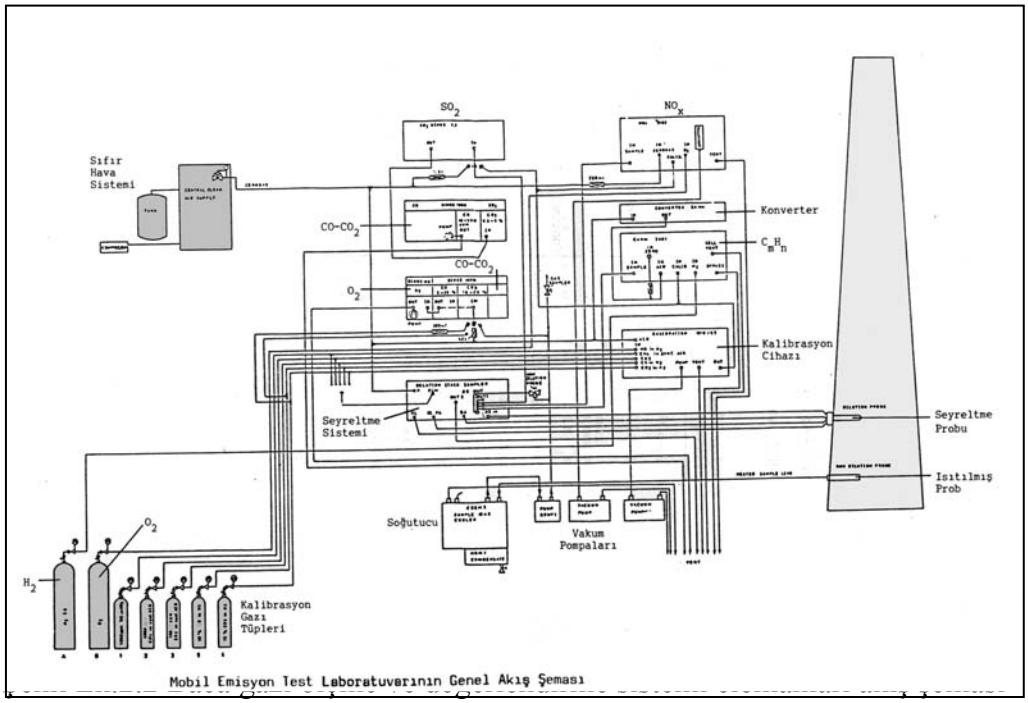
partiküllerin örneklenmesinde gaz örneğinin, izokinetik koşullarda, yani örnekleme gaz hızının baca gazı hızına eşit olarak alınmasına bağlıdır. Örnek gaz hızının baca gazı hızının üzerinde olması durumunda, alınması gereken gaz örneğinden daha fazla miktarda alındığından hatalı ölçüm yapılabilmektedir. Bu durumda gerçek baca konsantrasyonunun üzerinde bir konsantrasyon elde edilir. Örnek gaz hızının, baca gazı hızının altında tutulması durumunda da ölçülen değerler gerçek baca gazı konsantrasyonunun altında kalmaktadır. Şekil 4.4'de baca gazı ölçme ve veri değerlendirme sistemleri görülmektedir.

METL sistem yapısı ve bağlantı biçimi şematik olarak Şekil 4.5'de, METL'den çeşitli görünüşler Resim 4.1.'de görülmektedir. ölçme ve değerlendirme sistemi elemanları akış şeması ise Çizelge 4.1.de verilmiştir. METL örnek gaz alma ve hazırlama sistemi, ölçüm cihazları, sıfır hava hazırlama sistemi, kayıt sistemi, basınç ve sıcaklık ölçme sistemleri, veri toplama ve değerlendirme sistemi, merkezi işlem bilgisayarı ve diğer yardımcı teçhizattan oluşmaktadır. METL'nda analiz edilecek örnek gazın seyreltilerek ve seyreltilmeden alınabilme imkanı bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Baca gazı ölçme ve veri değerlendirme sistemlerinin şematik görünümü

Baca gazı içerisinde bulunan gaz emisyonların doğru ve hassas olarak analizi, örneklenen gaz kütlesinin baca gazının gerçek özelliklerini göstermesine, tozsuz, kuru ve analiz sisteminin gerektirdiği fiziksel özelliklerde sisteme beslenmesine bağlıdır. Örnek alma ve ölçme sistemlerinin bu özellikleri sürekli şartlarda sağlaması gereklidir.



Şekil 4.5. Mobil Emisyon Test Laburatuvarı genel akış şeması

Örnek Alma Sistemi: Gaz emisyon ölçümlerinde seyreltilmiş ve seyreltilmemiş olarak iki örnekleme hattı kullanılmaktadır. Gaz analizleri yapılacak olan numune sürekli olarak aynı anda iki hat ile beraber alınabilmektedir. Örnekleme yapılan gaz konsantrasyonları gaz analiz sistemlerinin ölçme sınırlarının üzerinde olması durumunda, seyreltilmiş hat ile gaz örneği aynı zamanda METL'nda hazırlanan temiz hava ile seyreltilerek alınır. Seyreltme oranına bağlı olarak, su buharının kısmi basıncı düştüğünden, yoğuşma sıcaklıkları ortam sıcaklıklarının çok altına düşürülerek yoğuşma önlenebilmektedir. Seyreltme uygulanmayan örnek gaz alma işlemlerinde, örnekleme hattında yoğuşmanın önlenebilmesi için kesinlikle ısıtılmış hat kullanılmalıdır. Kontrol altında elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan örnek gaz alma

hatlarında, ısıtma sıcaklığı 170-200 °C aralığında ayarlanabilmektedir. METL'na kadar yoğuşmadan getirilen gaz örneğinin nemi bir yoğuşturucuda alındıktan sonra kuru olarak gaz analiz sistemlerine verilmektedir.



Resim 4.1. Mobil Emisyon Test Laburatuvarından çeşitli görüşler

Gaz Analiz Sistemleri: Kazan ısıl performans ve emisyon özelliklerinin incelenmesi amacıyla, yanma gazlarının içerdiği gaz konsantrasyonların zamana bağlı olarak değişimlerinin analizi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonunda, ilgili test programının gerçekleştirilmesinde, her bir gaz analizi için, Çizelge 4.2. de verilen analiz yöntemlerine sahip analiz sistemlerinin kullanılmasının uygun olacağı saptanmıştır.

Çizelge 4.1. METL'nda Bulunan Ölçme Sistemleri ve Yardımcı Cihazlar

	Ölçme Sistemleri Ve Yardımcı Cihazlar
01	Oksijen Analizörü
02	Karbon monoksit - Karbondioksit Analizörü
03	Kükürt dioksit Analizörü
04	Hidrokarbonlar Analizörü
05	Azot oksitler Analizörü
06	Isıtılmış Örnek Gaz Alma Analizörü
07	Seyreltilmiş Örnek Gaz Alma Sistemi
08	Beş Adet Isıl Çift
09	Baca Çekiş Ölçüm Sistemi
10	Basınç Farkı Ölçüm Sistemleri
11	Elektrik Regülasyon Sistemi
12	Klima Cihazı
13	Katalitik Konverter
14	Seyreltme Hattı Kontrol Ünitesi
15	Mikroprosesörlü Kayıt Cihazı
16	Bilgisayar kontrollü Kalibrasyon Sistemi
17	Isıtılmış Hattın Sıcaklık Kontrol Ünitesi
18	Bilgi Kont. Veri Toplama ve Değerlendirme Sist.
19	Kompresör ve Hava Tankı
20	Sıfır Hava Hazırlama Sistemi
21	Soğutucu, Yoğuşturucu
22	Regülatör
23	Vakum Pompaları
24	Kalibrasyon Gaz Tüpleri (CO, CO_2, SO_2, CH_4, NO_x)
25	Hidrojen Tüpü
26	Oksijen Tüpü
27	Yedek Enerji Ünitesi

SO_2 analizinde, baca gazının içerdiği nemin ölçüme olan etkisini en aza indirmek amacıyla, mor ötesi ışıma yöntemi seçilmiştir. Saçınımsız kızılötesi veya morötesi

ışıma yöntemlerinde, analizi yapılan gazın bu ışınları kısmen absorbe ederek, enerji şiddetlerini azaltmasına neden olmaktadır. Işın enerjisindeki azalma, ölçülen gaz konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Çizelge 4.2. Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri

Ölçülen Gaz	**Ölçüm Yöntemi**	**Ölçüm Sınırı**	**Hassasiyeti**
O_2	O_2 Molekülünün Paramanyetik Özelliklerinin Kullanılması	0-100 %	+/- % 1'den az
CO_2	Saçınımsız Kızılötesi Işıma Yöntemi (NDIR-Non Dispersive İnfrared)	0-5 %[1] 0-25 %[2]	+/- % 1
CO	Saçınımsız Kızılötesi Işıma Yöntemi (NDIR-Non Dispersive İnfrared)	0-500 ppm[1] 0-25 %[2]	+/- % 1
SO_2	Saçınımsız Morötesi Işıma Yöntemi (NDUV-Non Dispersive Ultraviolet)	0-4000 ppm	< 2 ppm
NO - NO_2 NO_x	Kimyasal Işıma Yöntemi (Chemilumineszens)	0-5000 ppm	1 ppm
C_mH_n	Alev İyonizasyon Yöntemi (FID-Flame Ionization Detector)	0-10000 ppm	+/- % 2

[1] Seyreltilmiş hat [2] Direk hat

Paramanyetik yöntemde, manyetik alan içinde O_2 moleküllerinin azot ile dolu küreciklere uyguladığı kuvvet sonucu oluşan sapma etkisi, O_2 analizi için kullanılmaktadır. Bu sapma yanma gazlarının içerdiği oksijen konsantrasyonu için bir ölçüdür. Kimyasal ışıma yönteminde, NO_x'lerin ozon ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan ışımanın şiddeti, NO_x konsantrasyonu için bir ölçüdür. Alev iyonizasyon yönteminde, hidrokarbonların yakılması ile oluşan alev iyonlarının miktarı, yanma gazlarının içerdiği C_mH_n konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Kayıt Sistemi: Isıl performans ve emisyon testlerinde kullanılmak üzere bir bilgisayar programı yazılmış ve METL içerisinde bulunan veri toplama sisteminde depolanan veriler kullanılarak kazan verimi ve emisyonlar istenen birimlerde hesaplanarak kaydedilmiştir. METL'nda bulunan ölçüm aygıtlarında ölçülen değerler, analog sinyaller olarak kayıt sistemi ile veri toplama ve değerlendirme sistemlerine

gönderilmektedir. Kayıt sisteminde söz konusu ölçüm değerleri anında kaydedilmektedir. Merkezi işlem bilgisayarı tarafından kontrol edilen veri toplama ve değerlendirme sistemine gelen analog çıkışlar, burada dijital değerlere çevrilmekte ve bir paket program yardımıyla, birçok değişik şekillerde işlenebilmektedir. Bütün değerler sabit tarama süresi olan üçer saniyelik aralıklarla taranmakta ve merkezi işlem bilgisayarının ekranında görülebilmektedir.

Kalibrasyon Sistemi: Genel olarak bütün ölçüm sistemleri, belirli zaman aralıklarında doğru ölçüm değerlerinden sapma gösterirler. Yapılan deneysel çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliği yapılan ölçümlerin hassasiyetine bağlıdır.Isıl performans ve emisyon testlerinde kullanılan gaz analiz cihazları, yapıları ve çalışma prensipleri gereği belirli aralıklarla kalibre edilmeleri gerekmektedir. Gaz analizörleri için sıfır ve açıklık kalibrasyonu yapmak gerekmektedir.

CO, CO_2, SO_2, NO_x ve C_mH_n analizörlerinde sıfır kalibrasyonu için METL'nda bulunan ve sıfır hava hazırlama sisteminde üretilen temiz hava kullanılmaktadır. O_2 analizörü sıfır kalibrasyonu için ise diğer gazlardan herhangi biri kullanılmaktadır. Açıklık kalibrasyonu için her analizöre ait sertifikalı sabit konsantrasyonlu kalibrasyon gazları ve karma havası olarak sıfır hava kullanılmaktadır. Gaz analiz cihazlarında kullanılan, kalibrasyon gazı ve konsantrasyonları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Analizörler Çizelge 4.3'de verilen kalibrasyon gazları kullanılarak, bilgisayar kontrollü bir kalibrasyon cihazında, her analizörün kullanılması öngörülen ölçüm bölgesinde, en az iki konsantrasyon değerinde gaz karışımı sağlanarak kalibre edilmişlerdir. Derişik kalibrasyon gaz tüpleri 100-200 bar gibi yüksek basınçlarda gaz içermektedirler. Doldurulmaları ve taşınmaları başlı başına zorluklar taşımaktadır. Henüz kalibrasyon gazları istenilen konsantrasyonlarda ve saflıkta yurdumuzda üretilemediğinden yurt dışından doldurularak getirilmesi kalibrasyon işleminin maliyetini oldukça artırmaktadır.

Çizelge 4.3. Gaz ölçüm analizörü, kalibrasyon gazı ve konsantrasyonları

Kalibrasyon Tüpü Gaz Analiz Cihazı	Kullanılan Kalibrasyon Gazı	Tüp Konsantrasyonu	Ölçüm Hassasiyeti
CO	CO	10.3 %	+/- % 1
CO_2	CO_2	15.0 %	+/- % 1
SO_2	SO_2	10100 ppm	< 2 ppm
NO_X	NO	4050 ppm	1 ppm
C_mH_n	CH_4	7700 ppm	+/- % 2

Sıcaklık , Basınç, Akış vb. Ölçüm Sistemleri: Yapılan deneylerde, sıcaklık ölçümleri için; ısıl çiftler, cıvalı termometreler, bimetal termometreler, lazerli radyasyon pirometresi gibi çeşitli ölçüm sistemleri, çok kanallı kayıt cihazı ve çeşitli recorderler ile birlikte kullanılmaktadır. Basınç ölçümleri için manometreler, emiş ölçerler farklı çalışma sınırlarına sahip basınç transduserleri, akış ölçümleri için orifis metre, pitot tüpü, gaz sayacı, dijital anemometre vb. cihazlar kullanılmaktadır.

Veri Toplama ve Değerlendirme Sistemi: DAYYS'nin yanma performansı, emisyon özellikleri ve hidrodinamik yapının incelenmesinde genel olarak yanma ve yanma gazı analizi ile yakma sistemi sıcaklık ve basınç dağılımları incelenmiştir. Yatakta radyal ve eksenel sıcaklık dağılımları, akış özellikleri, ısı transferi ve enerji dönüşümünün incelenmesinde, sıcaklık veri toplama ve değerlendirme sistemine gereksinim vardır. Bu amaçla METL'nda 5 adet sıcaklık ölçer ile 36 kanal girişli bir veri toplama sistemi ve 14 adet fark basınç transduseri birlikte kullanılarak çeşitli parametrelerin karşılıklı olarak değişimleri incelenebilmiştir (23).

4.3. Deney Prosedürü

Testler, Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Laburatuvarlarında mevcut bulunan 0,125 m iç çapında ve 3,0 m yüksekliğinde bir laburatuvar ölçekli Dolaşımlı Akışkan Yataklı Yakma test ünitesinde gerçekleştirilmiştir.

Test başlangıcında yatak doğalgaz ile yaklaşık 500°C'e ısıtıldıktan sonra yatak malzemesi sisteme beslenir. Yatak malzemesi taşkömürü için doğalgaz kullanılarak yaklaşık 750°C, linyit kömürü için ise 650-700°C civarına kadar ön ısıtılır. Daha önce hazırlanan uygun tane boyutundaki yakıt ve adsorbent malzeme, silodan yatağa beslenmeye başlanır. Kömür tutuşmasını takiben reaktör sıcaklığı ve baca gazı kontrol edilerek, doğalgaz akışı kapatılır. Yatak boyunca sıcaklıklar ve basınç farkları kontrol edilerek kayıt altında tutulur. Sürekli rejim şartları sağlandıktan sonra baca gazı emisyon ölçümleri sürekli olarak kayıt edilir.

Deney sona erdirilirken yakıt besleme durdurulur. Reaktör sıcaklığının ortalama 100°C'ye inişine kadar hava besleme fanı çalıştırılır. Soğurmayı takiben yatak altından yakıt ve kül boşaltılır. Analiz için örnekleme yapılır. Bir sonraki deney için yatak içi temizlenir ve dağıtıcı bölüm kolona tekrar bağlanır.

Test süresince yatak külü kabarcıklı akışkan yataktan ve yatak altından, uçucu kül ise ikincil siklondan alınır. Baca gazı ile taşınan uçucu partiküller de test süresince izokinetik örnek alma yöntemiyle ölçülür. Test sonunda test süresince alınan yatak külünde ve uçucu külde yanmamış karbon analizi yapılır.

4.4. Yakıt ve Kireçtaşı Analizleri

Yakma testlerinde kullanılan kömür numuneleri Zonguldak Gelik Bölgesi Ocaklarına ait Lavvar tesislerinden yerinde örnek alma kurallarına uygun olarak dört farklı gruptan alınmıştır. Kömür analizlerinin tümünün tek bir laboratuvar tarafından yapılamaması nedeni ile, analizlerin bir bölümü Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından bir bölümü ise tarafımızdan yaptırılmıştır. Kömür ve kireçtaşı analizleri aşağıda Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Ek 5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kömür Kaba ve Elementel Analizi (Gelik Taşkömürü)

BİLEŞENLER		
Kaba Analiz (Ek 5 TÜBİTAK MAM)	**Orijinal Temelde**	**Kuru Temelde**
Nem, %	1,56	-
Uçucu Madde, %	26,26	26,68
Kül, %	24,08	24,46
Toplam Kükürt, %	0,64	0,65
Yanar Kükürt, %	0,49	0,50
Elementel Analiz (Ek 5 TÜBİTAK ATAL)	**Orijinal Temelde**	**Kuru Temelde**
C		59,46
H		4,35
N		0,90
S (yanar)		1,8
Elementel Analiz (Ek 5 İSTANBUL ÜNİV.)		
O		6,70
Termal ve Fiziksel Analiz		
Üst Isıl Değer, kcal/kg	5553	-
Alt Isıl Değer, kcal/kg	5278	-
Partikül ortalama çapı, mm	0,860	-
Serbest Kabarma Endeksi	1	-

Çizelge 4.5. Kömür Kaba ve Elementel Analizi (Tunçbilek Linyiti)

BİLEŞENLER		
Yakıt Analizi	**Yaş**	**Kuru**
C (%)	1,56	-
H (%)	26,26	26,68
O (%)	24,08	24,46
N (%)	0,64	0,65
S (%)	0,49	0,50
A (%)		
$H_{üst}$		59,46
H_{alt}		4,35

Çizelge 4.6. Cemaltepe Kireçtaşı Analizi (Ek 5 TÜBİTAK MAM)

Bileşen	**Orijinal Temelde**
CaO, %	53,90
SiO_2, %	1,32
Al_2O_3, %	0,75
Fe_2O_3, %	0,76
MgO, %	0,66
Na_2O, %	0,06
K_2O, %	<0,10
Kızdırma Kaybı, %	43,56
Partikül ortalama çapı, mm	0,725

Çizelge 4.7. Bartın Bölgesi Kireçtaşı Analizi

Kireçtaşı İçeriği	**Kütlesel Oran (%)**
CaO	58,0
SiO_2	1,7
MgO	3,5
R_2O_3	0,8
Nem	36,0

Yanar kükürt analizi bağımsız bilimsel ve akredite bir kurum olan TÜBİTAK'a ait iki ayrı laburatuvarda yaptırılmıştır. Sonuçlar uyum içerisindedir. Ayrıca analizlerde kullanılan numuneler laburatuvarımızda koruma altında kapalı kaplar içerisinde saklanmaktadır.

4.5. Dolaşımlı Akışkan Yatak Yakma Sisteminin Yanma ve Emisyon Davranışının İncelenmesi

Dolaşımlı akışkan yatak yakma sisteminin yanma ve emisyon davranışının incelenmesinde, yakıt ve adsorbent yapısal, boyutsal ve debisel vb. özelliklere bağlı olarak sistem ekonomik boyutunu belirleyen yanma performansı parametreleri ile çevresel etki boyutunu belirleyen emisyon parametreleri ele alınmaktadır. Yanma performansı, yakma sistemi yanma kayıpları ile yanma verimi tarafından belirlenmektedir. Yakma sistemi emisyon davranışı ise Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde belirlenen başlıca gaz emisyonları tarafından belirlenir.

Sürekli şartlarda yüksek yanma verimi ve düşük emisyonlu yanmanın gerçekleştirilebilmesi amacıyla deneylerde ilgili işletme parametreleri sistematik olarak değiştirilerek optimum yanma koşulları sağlanmaya çalışılmıştır. İşletme parametresi olarak; kireçtaşı tane boyutu, kireçtaşı kullanım oranı (Ca/S) ve yanma odası sıcaklığı belirlenmiştir. Her bir parametrenin en uygun değeri, diğer parametreler incelenirken olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmıştır.

4.5.1. Dolaşımlı akışkan yatak yakma sisteminin yanma davranışının incelenmesi

Yanma davranışını belirleyen başlıca parametreleri, yakıt tane boyutu, sistem hava fazlalık katsayısı, akışkan yatağa ilave edilen adsorbent (kireçtaşı) tane boyutu, Ca/S oranı ve reaktör sıcaklığıdır. Bu bölümde yukarıdaki parametrelerden yanma odası sıcaklığı, Ca/S oranı ve kireçtaşı tane büyüklüğünün sistemin yanma davranışına olan etkileri incelenecektir. Bu parametrelerde yapılan sistematik değişikliklerle her bir deney için yanma kayıpları ve yanma verimleri hesaplanmıştır.

Kireçtaşı tane büyüklüğünün yanma davranışına etkisinin incelenmesi

Deneylerde Zonguldak Gelik Taşkömürü ile birlikte SO_2 emisyonunu azaltmak amacıyla Cemaltepe kireçtaşı kullanılmıştır. Boyutları ASTM normu 8" lik elekler

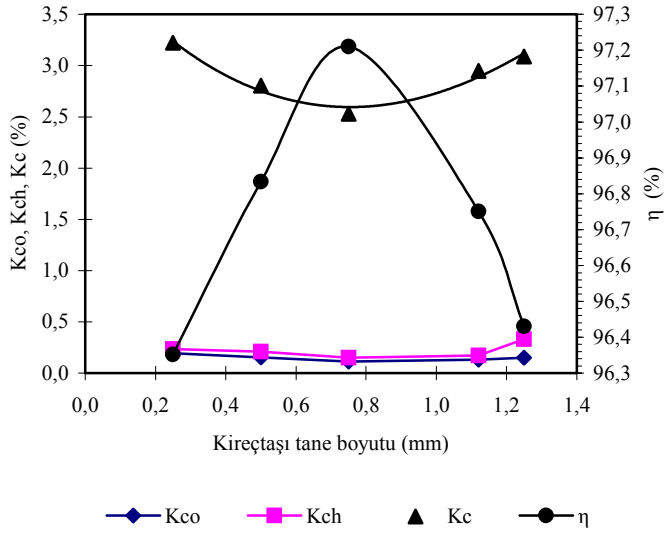
ile belirlenmiş olan kireçtaşları ile çalışılmıştır. Kireçtaşı boyutları, kütlesel kümülatif yöntemle belirlenmiş olup 0,25-0,50-0,71-0,93-1,20 mm dir. Bu grup deneylerde yatak malzemesi olarak 0,50 mm ortalama çapında silis kumu ve kömür olarak yanma ve emisyon davranışı açısından en uygun tane boyutu olan ortalama 0,70 mm'lik karışım kullanılmıştır.

Kireçtaşı boyutunun etkisinin incelendiği bu grup çalışmada literatürde DAY'larda en çok önerilen Ca/S oranı olan 1,5 oranı sabit tutulmuştur. Kireçtaşı ve kömür homojen bir karışımla yatağa beslenerek deneyler yapılmıştır.

Farklı tane boyutunda yapılan deneylerdeki; ölçülen O_2, CO, C_mH_n ve F değerleri ile kül analizleri sonucu elde edilen yanmamış karbon oranı "b" ve hesaplanan yanma kayıpları K_{co} (Karbon monoksit gazından oluşan eksik yanma kaybı), K_{ch} (Hidro karbonlardan oluşan eksik yanma kaybı), K_c (Külde bulunan karbondan oluşan eksik yanma kaybı) ve sistem yanma verimi (η) Çizelge 4.8'de verilmiştir. Yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

Bu deneyde ön ısıtma ile sistem ısıtılmış, peşinden kömür kireçtaşı karışımı yatağa beslenmiştir. Reaktör sıcaklığı belli bir seviyeye (850–900 °C) gelinceye kadar beklenmiş ve sisteme beslenen kireçtaşının kalsinasyonu için gereken süre dikkate alınarak deneyler daha uzun süreli yapılmıştır. Baca gazı analizleri sürekli olarak yapılmış, yanma sonucu oluşan kül örneklerinden yanmamış karbon oranı belirlenmiştir. Deneyler sonunda sistemden alınan kül örnekleri Resim 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.6 incelendiğinde deney sonucunda kireçtaşı boyutuna bağlı olarak özellikle K_c kaybının değiştiği görülmektedir. Kireçtaşının çok ince olduğu 0,25 mm boyutunda K_{co} ve K_{ch} kayıplarının da yüksek olduğu görülmüştür. Yaklaşık olarak 0,7 mm boyutunda yanma verimi açısından bir optimum nokta görülmektedir. Bu boyutta elde edilen yanma verimi % 97,61 olarak elde edilmiştir.

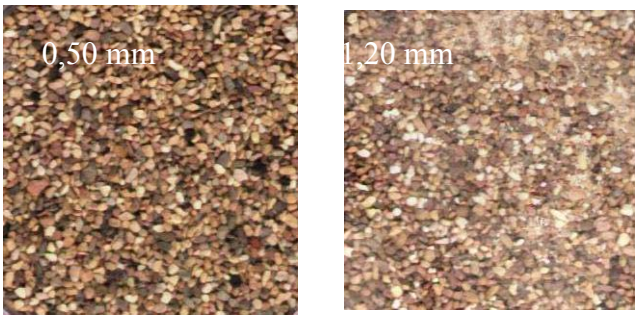


Şekil 4.6. Kireçtaşı tane boyutu ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi

Yanma verimi ve yönetmelik şartlarında kirletici sınırları da dikkate alındığında, verimli ve düşük SO_2 emisyonlu çalışma bölgesi olarak, 0,60-0,80 mm kireçtaşı boyut aralığı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.8. Farklı kireçtaşı tane boyutlarında işletme verileri, hesaplanan yanma kayıpları ve yanma verimleri

Tane boy.	**O_2**	**n**	**V_g**	**M_y**	**b**	**F**	**CO**	**C_mH_n**	**K_{CO}**	**K_{Ch}**	**K_C**	**η**
mm	%		Nm^3/kg	kg/h	%	Kg	%	%			%	
0,25	5,10	1,32	8,19	7,5	0,09	1,75	0,041	0,0175	0,19	0,23	3,222	96,35
0,50	5,30	1,34	8,30	7,5	0,08	1,71	0,032	0,0156	0,15	0,21	2,804	96,83
0,75	5,00	1,31	8,14	7,6	0,07	1,79	0,024	0,0112	0,11	0,14	2,530	97,20
1,12	5,60	1,36	8,46	7,5	0,08	1,80	0,027	0,0125	0,13	0,17	2,946	96,75
1,25	5,60	1,36	8,46	7,6	0,09	1,70	0,031	0,0240	0,15	0,33	3,089	96,43
Ort.	5,32	1,34	8,31	7,5	0,08	1,75	0,031	0,0162	0,14	0,21	2,918	96,715



Resim 4.2. Kireçtaşı ilaveli deneylerden alınan kül örnekleri

Ca/S Oranının yanma davranışına etkisinin incelenmesi

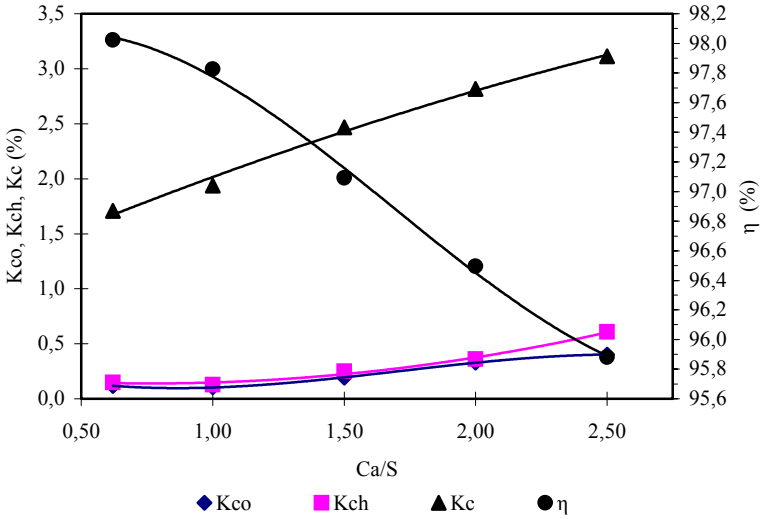
Yanma ve emisyon sonuçlarına göre yanma ve emisyon davranışı açısından uygun olan 0,50 mm ortalama tane boyutundaki kireçtaşı tüm deneylerde adsorbent olarak kullanılmıştır. Kullanılan kömür boyutu 0,70 mm seçilmiş ve yatak malzemesi olarak yine 0,50 mm ortalama tane boyutundaki silis kumu kullanılmıştır.

Kömüre kireçtaşı karıştırma oranı Ca/S, 1,0-1,5-2,0-2,5 olarak alınmış ve ilgili hesaplamalar sonucu çıkan miktarlarda kireçtaşı kömüre karıştırılmıştır. Ayrıca orijinal kömür bünyesinde mevcut bulunan Ca dikkate alındığında Ca/S oranı 0,62 olarak elde edilmiştir.

Bu bölümde yapılan deneysel çalışma sonuçları Çizelge 4.9., 4.10. ve Şekil 4.7., 4.8.'de verilmiştir. Farklı Ca/S oranlarına sahip kireçtaşı kömür karışımlarının denendiği deneylerde ölçülen O_2, CO, C_mH_n ve F değerleri ile kül analizleri sonucu elde edilen yanmamış karbon oranı (b) ve hesaplanan yanma kayıpları K_{co}, K_{ch}, K_c ve sistem yanma verimi (η) Çizelge 4.9., 4.10.'da verilmiştir. Yanma kayıpları ve yanma veriminin Ca/S oranı ile değişimleri Şekil 4.7., 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı Ca/S oranlarında işletme verileri, yanma kayıpları ve yanma verimleri (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)

Tane boy.	**O_2**	**n**	**V_g**	**M_y**	**b**	**F**	**CO**	**C_mH_n**	**K_{CO}**	**K_{Ch}**	**K_C**	**η**
mm	%		Nm^3/kg	kg/h	%	kg	%	%		%		
0,62	5,40	1,35	8,35	7,0	0,06	1,30	0,0246	0,0110	0,1176	0,14	1,71	98,02
1,00	6,12	1,41	8,76	7,5	0,06	1,58	0,0210	0,0090	0,1053	0,12	1,93	97,82
1,50	6,55	1,45	9,03	7,4	0,07	1,70	0,0370	0,0170	0,1912	0,24	2,46	97,09
2,00	7,40	1,54	9,61	7,5	0,08	1,72	0,0600	0,0230	0,3298	0,35	2,81	96,49
2,50	7,13	1,51	9,42	7,5	0,09	1,69	0,0745	0,0396	0,4014	0,60	3,11	95,88
Ortalama	6,52	1,45	9,03	7,4	0,07	1,60	0,0434	0,0199	0,2291	0,29	2,40	97,06

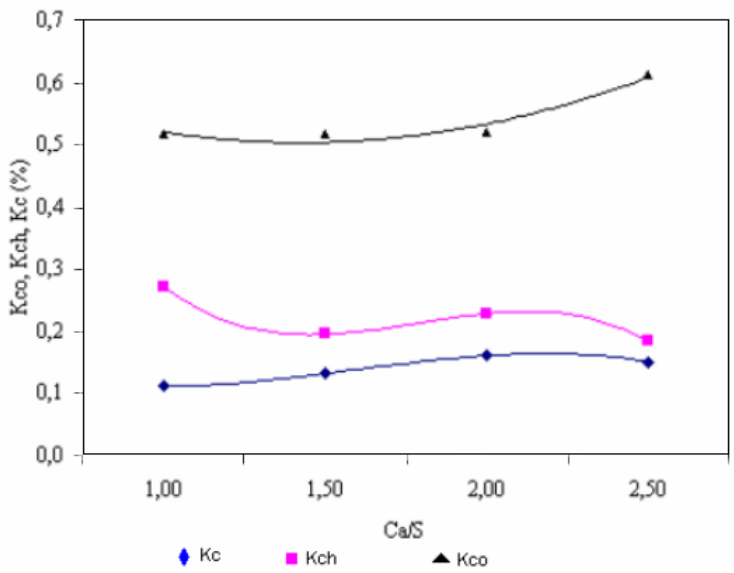


Şekil 4.7. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)

Kireçtaşı kullanım oranının artışı ile sistemin yanma veriminin azaldığı, SO_2 tutma veriminin ise arttığı görülmüştür. Ca/S oranı artışı ile özellikle külde eksik yanma kaybının arttığı dikkati çekmektedir. Küldeki eksik yanma kaybının temel nedeni yatağa beslenen katı kütlesindeki artış sonucu kül alma miktarının artmasıdır. Bu nedenle kül içerisindeki eksik yanma karbon kaybında bir miktar artış görülmektedir.

Çizelge 4.10. Farklı Ca/S oranlarında işletme verileri, yanma kayıpları ve yanma verimleri (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)

Ca/S	**O_2**	**n**	**V_g**	**M_y**	**b**	**F**	**K_{co}**	**K_{ch}**	**K_c**	**η**
/	%	/	Nm^3/kg	kg/h	%	kg	%			
1,00	6,95	1,49	9,29	9,5	0,04	0,80	0,11	0,27	0,52	99,1
1,50	6,90	1,49	9,26	9,5	0,04	0,80	0,13	0,20	0,52	99,2
2,00	7,11	1,51	9,40	10,0	0,04	0,85	0,16	0,23	0,52	99,1
2,50	7,15	1,52	9,43	10,0	0,05	0,80	0,15	0,18	0,61	99,1
Ortalama	7,03	1,50	9,35	9,8	0,04	0,81	0,14	0,22	0,54	99,1



Şekil 4.8. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)

Yanma odası sıcaklığının yanma davranışına etkisinin incelenmesi

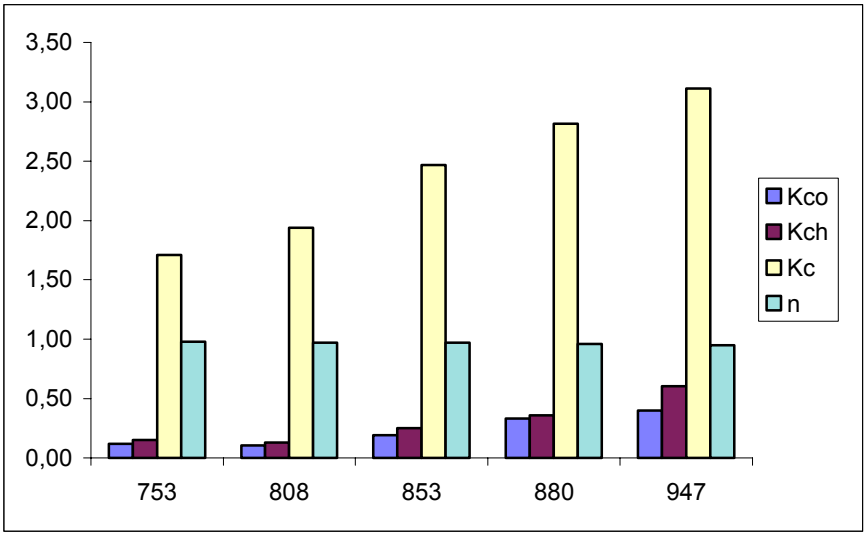
SO_2 emisyon kontrolünde kullanılan adsorbent malzemenin kalsinasyon işleminde sıcaklık önemli bir faktördür. Bu çalışmada Zonguldak Gelik Taşkömürü, Tunçbilek linyiti ile Göynük-Bartın kireçtaşları karışımı kullanılarak yaklaşık aynı işletme şartları altında çalışılmış, sadece kömür besleme miktarı ile reaktör sıcaklığı değiştirilmiştir ve değişik reaktör sıcaklıkları altında sistemdeki SO_2 emisyonu seviyesinin değişimi incelenmiştir. Yapılan deney sonuçları farklı yanma odası sıcaklık şartlarında ölçülen O_2, CO, C_mH_n, b, F değerleri ve hesaplanan yanma

kayıpları K_{co}, K_{ch}, K_c ile yanma verimi değerlerinin ortalamaları Çizelge 4.11'de ve sıcaklık değişimi ile değişimleri ise Şekil 4.9.'da verilmiştir.

Yanma odasında üç seviyeden alınan sıcaklıkların ortalamaları alınmış ve çizelgelerde verilmiştir. Ortalama sıcaklığın, 750 °C ile 978 °C arasında değiştiği 6 grup deney yapılmıştır. Her grup deney, olabilecek hataları azaltmak amacıyla ikişer kez tekrarlanmış ve tüm deney sonuçlarının ortalamaları alınarak çizelge ve grafikler biçiminde verilmiştir.

Çizelge 4.11. Reaktör ortalama sıcaklığı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi

Ort. Sıc.	**O_2**	**n**	**V_g**	**M_y**	**b**	**F**	**CO**	**C_mH_n**	**K_{CO}**	**K_{Ch}**	**K_C**	**η**
°C	%		Nm^3/kg	kg/h	%	kg	%	%	%			
753	6,43	1,4	9,16	6,0	0,11	2,4	0,240	0,087	0,117	0,149	1,710	98,02
808	6,70	1,5	9,30	6,2	0,13	2,2	0,110	0,075	0,105	0,128	1,939	97,66
853	7,20	1,5	9,43	6,5	0,09	1,8	0,095	0,033	0,191	0,249	2,467	97,09
880	7,25	1,5	9,48	7,0	0,08	2,1	0,070	0,040	0,329	0,359	2,815	96,49
947	7,40	1,5	9,42	7,4	0,07	1,9	0,027	0,013	0,401	0,606	3,112	95,88



Şekil 4.9. Yanma odası ortalama sıcaklığı ile yanma kayıpları ve yanma veriminin değişimi

Şekil 4.9 incelendiğinde reaktör sıcaklığı artışının her üç eksik yanma kaybı üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Yanma veriminde ise çok büyük bir değişim görülmemektedir. SO_2 emisyonu tutma veriminin incelendiği bu bölümde yanma veriminin kötü yönde etkilenmediği belirlenmiştir.

4.5.2. Dolaşımlı akışkan yatak yakma sisteminin emisyon davranışının incelenmesi

Bu bölümde yakıt tane boyutunun, sistem hava fazlalık katsayısının, akışkan yatağa ilave edilen adsorbent (kireçtaşı) tane boyutunun, Ca/S oranının ve reaktör sıcaklığının sistemin emisyon davranışına etkileri incelenmektedir. Bu girdilerde yapılan sistematik değişikliklerle yakma sistemi çıkışında baca gazı analizleri sürekli olarak yapılmıştır. Elde edilen baca gazı emisyon ölçüm değerleri ve yönetmelik şartlarına göre hesaplanan emisyon parametreleri çizelgelerde verilmiştir.

Kireçtaşı tane boyutunun SO_2 emisyonuna etkisinin incelenmesi

Deneylerde Zonguldak Gelik Taşkömürü ile birlikte SO_2 emisyonunu azaltmak amacıyla Göynük bölgesi kireçtaşı kullanılmıştır. Boyutları ASTM normu 8" lik elekler ile belirlenmiş olan kireçtaşı ile çalışılmıştır. Kireçtaşı boyutları, kütlesel kümülatif yöntemle belirlenmiş olup 0,25-0,50-0,71-0,93-1,20 mm'dir. Bu grup deneylerde de yatak malzemesi olarak 0,50 mm ortalama çapında silis kumu ve kömür olarak tane boyutu ortalama 0,70 mm'lik karışım kullanılmıştır.

Kireçtaşı boyutunun sistemin emisyon davranışına etkisinin incelendiği bu bölümde literatürde DAY'larda en çok önerilen Ca/S oranı olan 1,5 oranı sabit tutulmuştur. Kireçtaşı ve kömür homojen bir karışımla yatağa beslenerek deneyler yapılmıştır.

Bu bölümde deneylerde de diğer deneylerde olduğu gibi ön ısıtma ile sistem ısıtılmış, peşinden kömür kireçtaşı karışımı yatağa beslenmiştir. Reaktör sıcaklığı belli bir seviyeye (850–900 °C) gelinceye kadar beklenmiş ve sisteme beslenen kireçtaşının kalsinasyonu için gereken süre dikkate alınarak deneyler daha uzun süreli

yapılmıştır. Baca gazı analizleri sürekli olarak yapılmış ve yönetmelik şartlarına göre hesaplanmıştır.

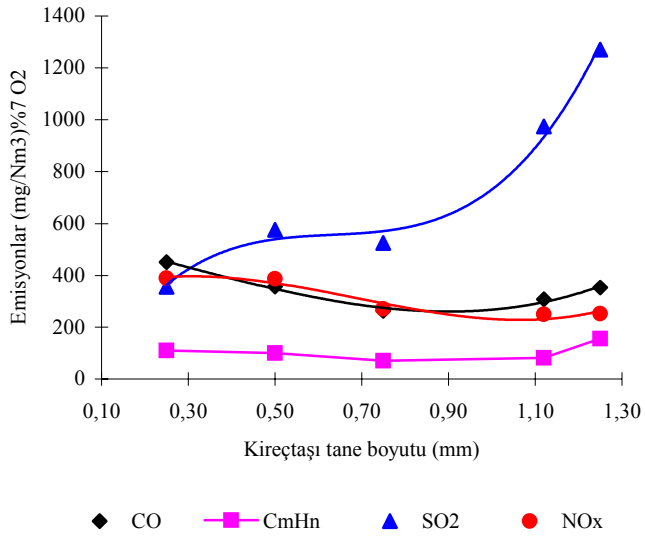
Kullanılan kireçtaşı tane boyutuna karşılık sistemde ölçülen emisyon parametreleri (CO, C_mH_n, SO_2, NO_x) ile yönetmelik şartlarında (% 7 O_2 oranında) hesaplanan emisyon parametreleri Çizelge 4.12.'de verilmiştir. Emisyon parametrelerinin kireçtaşı tane boyutu ile değişimi Şekil 4.10.'da grafik biçiminde verilmiştir.

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.10 incelendiğinde emisyon parametrelerinin kireçtaşı tane boyutu ile değişimleri görülmektedir. Kireçtaşı ortalama tane boyutunun artması ile istenen sülfatlaşma oranı yakalanamamış ve bunun sonucunda da daha yüksek SO_2 emisyonu ile karşılaşılmıştır. SO_2 emisyonu kireçtaşı boyutunun sistem çalışma hızlarına bağlı olarak mümkün olduğu kadar küçük tutulması gerektiğini açıkça göstermektedir. Düşük tane çapı ile çalışıldığı için sistemin işletme gaz hızı (U_{op}), kireçtaşının taşınımını azaltmak amacıyla mümkün olduğu kadar düşük tutulmaya çalışılmıştır. Kireçtaşı gözenek yapısı ve Alan/Hacim oranının mümkün olduğu kadar büyük olması gerektiği deneyler sonucunda görülmüş olup deney sonuçları literatürdeki çalışmalar ile uyum içerisindedir.

Yanma verimi ve yönetmelik şartlarında kirletici sınırları da dikkate alındığında verimli ve düşük SO_2 emisyonlu çalışma bölgesi olarak, 0,5-0,7 mm kireçtaşı boyut aralığı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.12. Farklı kireçtaşı tane boyutunda ölçülen ve hesaplanan emisyon parametreleri

Kireçtaşı Çapı	O_2	n	V_g	M_y	CO	C_mH_n	SO_2	NO_x	CO	C_mH_n	SO_2	NO_x
mm	%		Nm^3/kg	kg/h	%	%	ppm	ppm		mg/Nm^3		
0,25	5,10	1,32	8,19	7,5	0,0410	0,017	141	330	451	110	355	389
0,50	5,30	1,34	8,30	8,0	0,0320	0,015	226	324	357	99	576	387
0,75	5,00	1,31	8,14	7,7	0,0240	0,011	210	230	263	70	525	270
1,12	5,60	1,36	8,46	7,4	0,0270	0,012	375	205	307	81	975	250
1,25	5,60	1,36	8,46	7,6	0,0310	0,024	489	207	352	156	1271	252
Ortalama	5,32	1,34	8,31	7,6	0,0310	0,016	288	259	346	103	740	310



Şekil 4.10. Kireçtaşı tane boyutu ile emisyon parametrelerinin değişimi

Ca/S Oranının SO_2 emisyonuna etkisinin incelenmesi

Bu grup deneylerde kömüre homojen bir biçimde Göynük kireçtaşı, hesaplanan oranlarda karıştırılarak yakılmıştır. Tüm deneylerde 0,50 mm boyutundaki kireçtaşı kullanılmıştır. Kullanılan kömür boyutu 0,70 mm seçilmiş ve yatak malzemesi olarak 0,50 mm ortalama tane boyutundaki silis kumu kullanılmıştır.

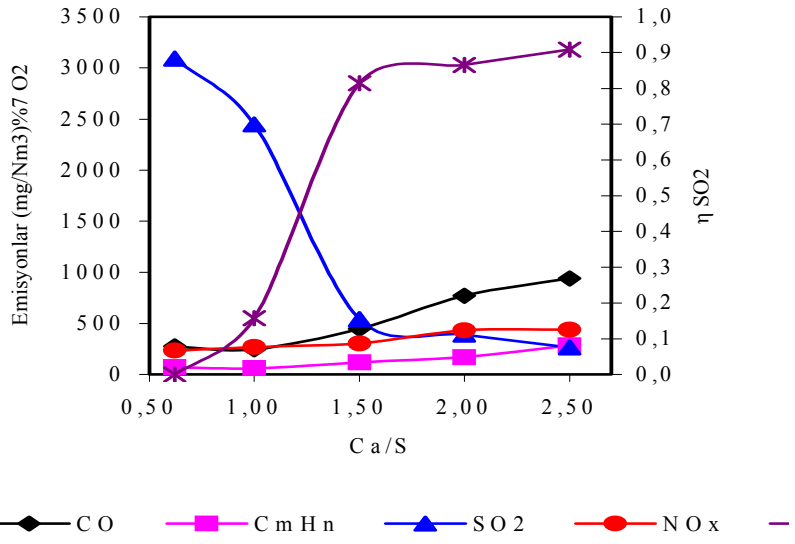
Kömüre kireçtaşı karıştırma oranı Ca/S, 1,0-1,5-2,0-2,5 olarak alınmış ve ilgili hesaplamalar sonucu çıkan miktarlarda kireçtaşı kömüre karıştırılmıştır. Ayrıca

orijinal kömür bünyesinde mevcut bulunan Ca dikkate alındığında Ca/S oranı 0,62 olmaktadır.

Farklı Ca/S oranları ile elde edilen emisyon parametreleri (CO, C_mH_n, SO_2, NO_x) ile yönetmelik şartlarında (% 7 O_2 oranında) hesaplanan emisyon parametreleri ve SO_2 tutma verimleri Çizelge 4.13., 4.14.'de verilmektedir. Emisyon parametrelerinin Ca/S oranı ile değişimi Şekil 4.11., 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı Ca/S oranlarında ölçülen ve hesaplanan emisyonlar (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)

Ca/S	**O_2**	**n**	**V_g**	**M_y**	**CO**	**C_mH_n**	**SO_2**	**NO_x**	**CO**	**C_mH_n**	**SO_2**	**NO_x**	**η_{SO2}**
/	%		Nm^3/kg	kg/h	%	%	ppm	ppm		mg/Nm^3			%
0,62	5,40	1,35	8,35	7,0	0,02	0,011	1205	195	276	71	3092	235	0,000
1,00	6,12	1,41	8,76	7,5	0,02	0,009	910	212	247	61	2448	267	0,157
1,50	6,55	1,45	9,03	7,4	0,03	0,017	195	235	448	118	540	305	0,814
2,00	7,40	1,54	9,61	7,5	0,06	0,023	133	312	772	169	391	430	0,865
2,50	7,13	1,51	9,42	7,5	0,07	0,039	92	323	940	286	265	437	0,909
Ort.	6,52	1,45	9,03	7,38	0,04	0,019	507	255	537	141	1347	335	0,549



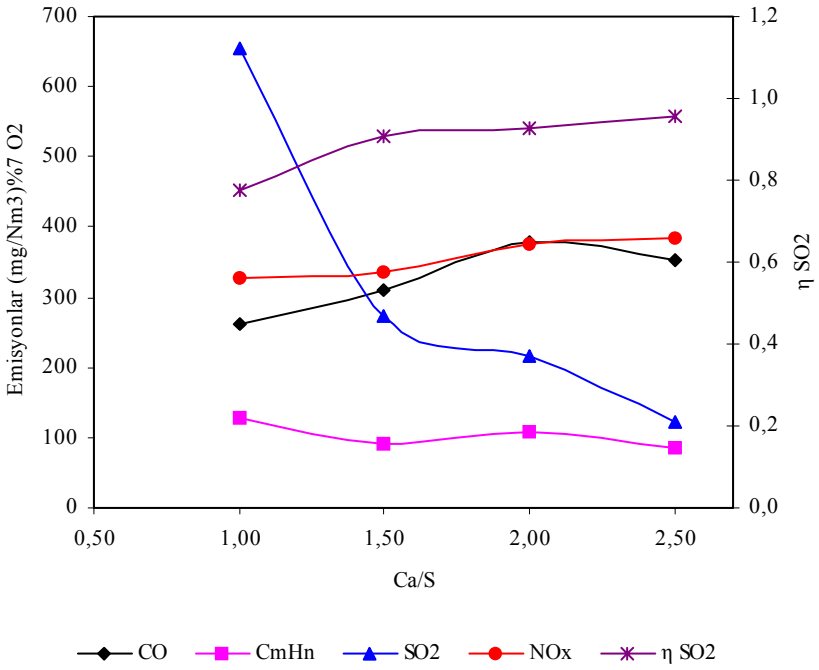
Şekil 4.11. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile emisyonların değişimi (Tunçbilek Linyiti ve Bartın Kireçtaşı)

Kireçtaşı kullanım oranı artışı ile kükürt tutma veriminin arttığı görülmektedir. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde 300 MW'a kadar olan akışkan yataklı yakma sistemlerinin baca gazlarındaki SO_2 emisyonu sınır değeri % 7 O_2 oranında 400 mg/Nm^3 olarak verilmektedir. Burada SO_2 emisyonu Ca/S>1,6 koşullarında yönetmelik sınır değerinin altında tutulabilmiştir.

Burada kireçtaşı ilavesi ile kömür içerisinde bulunan uçucu azotun oksitlenmesinin arttığı görülmektedir. Kireçtaşı kullanım oranı artışı ile bu etki de artmaktadır. Kireçtaşı katalizörlüğünde HCN'ler NO ve N_2 oluşumuna sebep olmaktadır. Ayrıca NO, CO ile reaksiyona girerek N_2 ve CO_2 açığa çıkmaktadır.

Çizelge 4.14. Farklı Ca/S oranlarında ölçülen ve hesaplanan emisyonlar (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)

Ca/S	**O_2**	**n**	**CO**	**CH**	**SO_2**	**NO_x**	**CO**	**C_mH_n**	**SO_2**	**NO_x**	**η_{SO2}**
/	%		%	%	ppm	ppm			mg/Nm^3		%
1.00	6.95	1.49	0.021	0.0180	230	245	262	128	655	327	0.774
1.50	6.90	1.49	0.025	0.0130	96	253	310	92	273	337	0.906
2.00	7.11	1.51	0.030	0.0150	75	278	378	108	216	375	0.926
2.50	7.15	1.52	0.028	0.0120	42	284	354	87	121	385	0.958



Şekil 4.12. Kireçtaşı kullanımında Ca/S oranı ile emisyonların değişimi (Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı)

Yanma odası sıcaklığının SO_2 emisyonuna etkisinin incelenmesi

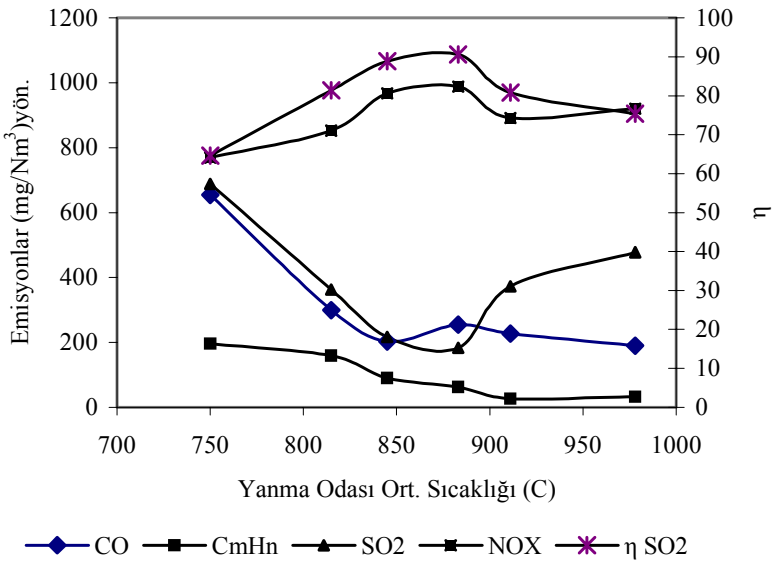
Bu çalışmada Zonguldak Gelik Taşkömürü, Tunçbilek linyiti Göynük-Bartın kireçtaşları karışımı kullanılarak değişik reaktör sıcaklıkları altında sistemdeki SO_2 emisyonu seviyesinin değişimi incelenmiştir.

Yanma odasında üç seviyeden ölçülen sıcaklıkların ortalamaları alınmış ve çizelgelerde yer almıştır. Ortalama sıcaklığın, 750 °C ile 978 °C arasında değiştiği 6 grup deney yapılmıştır. Her grup deney, olabilecek hataları azaltmak amacıyla ikişer kez tekrarlanmış ve tüm deney sonuçlarının ortalamaları alınarak çizelge ve grafikler biçiminde verilmiştir.

Çizelge 4.15'de sıcaklık değişimine bağlı olarak, ölçülen ve hesaplanan emisyonlar (CO, CmHn, SO_2, NOx) ve SO_2 tutma verimleri verilmiştir. Emisyon parametrelerinin ve SO_2 tutma verimlerinin sıcaklıkla değişimleri ise Şekil 4.13.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.15. Reaktör sıcaklık değişimine bağlı olarak ölçülen ve hesaplanan emisyonlar

Ort. Sıc.	O_2	n	V_g	M_y	CO	C_mH_n	SO_2	NO_X	CO	C_mH_n	SO_2	NO_X	η_{SO2}
°C	%		Nm^3/kg	kg/h	%	%	ppm	ppm			mg/Nm^3		
753	6,43	1,47	9,16	6,0	0,024	0,087	253	143	129	195	675	741	64,5
808	6,70	1,50	9,30	6,1	0,110	0,075	270	155	321	183	388	836	81,3
853	7,20	1,52	9,43	6,5	0,095	0,033	245	163	216	99	221	899	88,8
880	7,25	1,52	9,48	7,0	0,070	0,040	257	178	187	112	179	948	90,5
947	7,40	1,52	9,42	7,4	0,027	0,013	261	215	69	38	369	906	92,3



Şekil 4.13. Reaktör sıcaklığı değişimi ile emisyonların ve SO_2 tutma veriminin değişimi

Reaktör sıcaklığı ile SO_2 tutma mekanizması arasında bir ilişki kurulabilir. Bu çalışmada yaklaşık 850 °C-900 °C civarında SO_2 emisyonunun minimum olduğunu altındaki ve üzerindeki ortalama sıcaklıklarda ise SO_2 emisyonunun yüksek olduğu görülmüştür(Şekil 4.13.). Her bir deneyde kullanılan kireçtaşı miktarının sabit tutulduğu dikkate alındığında kalsinasyon işleminin ve tutma özelliğinin öne çıktığı anlaşılmaktadır. Düşük sıcaklıklar kalsinasyon veriminin düşmesine neden olmuştur. SO_2 emisyonunun reaktör sıcaklığının artışı ile azaldığı görülmektedir. Yüksek

sıcaklıklarda yapılan çalışmaların çoğunda kireçtaşı gözeneklerinin sıcaklık artışı ile şişme sonucu tıkandığı anlaşılmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak SO_2 tutma verimi azalmaktadır.

Reaktör sıcaklığı artışına paralel olarak NO_x oluşumu da artmaktadır. Isıl NO_x oluşumu pek çok çalışmacı tarafından kabul edilmektedir. Burada da reaktör sıcaklığı artışı ile ısıl NO_x oluşumu ile karşılaşılmıştır.

4.6. Kireçtaşı Reaktivite İndeksinin Belirlenmesi

Testler Bölüm 4.3.'de verilen test prosedürü çerçevesinde yapılarak, her bir deney grubundan Ca/S oranı yaklaşık 1,5 olan testlere ait işletme parametreleri, baca gazı analizleri, kireçtaşı-kükürt reaktivite indeksi ve kapasite indeksi sonuçları aşağıda Çizelge 4.17.'de verilmektedir. Ca/S oranı, API normuna (American Petroleum Institute) uygundur.

Çanakkale Çan bölgesine ait üç tür (Cemaltepe, Bartın ve Sofular) kireçtaşı ocağından alınan kireçtaşı örnekleri, sırasıyla Gelik taşkömürü Tunçbilek linyiti ve Çan linyiti ile dolaşımlı akışkan yataklı yakma sisteminde, yanma deneylerine tabi tutulmuş ve kireçtaşı örneklerinin reaktivite indeksleri (Rİ) belirlenmiştir. Yakılan Çan linyitinin yanıcı kükürt oranı % 2,48, toplam kükürt oranı ise % 3,75'dir. Yapılan testlerde kireçtaşı/kömür besleme oranı Ca/S=1,50 olacak biçimde sabit tutulmaya çalışılarak karşılaştırılmıştır. Test sonuçları Çizelge 4.16.'da verilmektedir.

Çizelge 4.16. Ortalama test şartları ve sonuçları

TEST SONUÇLARI	Birim	Gelik Taşkömürü Cemaltepe Kireçtaşı	Tunçbilek Linyiti Bartın Kireçtaşı	Çan Linyiti Sofular Kireçtaşı	Yönetmelik ve Teknolojik Sınır Değerler
İŞLETME ŞARTLARI					
İşletme Gaz Hızı	m/s	4,75-6,12	4,20-5,80	4,20-6,0	
Reaktör Ort. Sıc.	°C	840-890	830-870	810-860	
Baca Gazı Ort. Sıc.	°C	360-414	350-390	350-400	
Yatak Dolaşım Oranı	kg/m^2 s	20-36	18-33	18-33	
Yakma Verimi	%	99,20	97,00	98,44	
BACA GAZI ANALİZLERİ					
O_2	%	6,10	6,40	6,13	6,0
CO_2	%	13,39	12,80	12,88	-
CO	mg/Nm^3	146	432	501	200
SO_2	mg/Nm^3	266	493	642	1000
C_mH_n	mg/Nm^3	39	96	107	Sınır yoktur
NO_x	mg/Nm^3	110	315	213	1300
Uçucu Partikül	mg/Nm^3	27	0	0	100
KİREÇTAŞI KULLANIM FAKTÖRÜ					
Reaktivite İndeksi, (Ca/S)	Molar oran	1,53	1,50	1,50	1,50
Kapasite İndeksi, (g-S/kg-$CaCO_3$)	Kütlesel oran	252,0	125,0	112,4	*

* Kireçtaşı ve kömür tane büyüklüğü,
Kireçtaşı porozitesi,
Yakıcı sıcaklığı
Hava fazlalığı,
Yatak yüksekliği,
Akışkanlaşma ivmesi

Çizelge 4.16.'da kapasite indeksinin, kireçtaşı ve kömür tane büyüklüğüne, kireçtaşı porozitesine, yakıcı sıcaklığına, hava fazlalığına, yatak yüksekliğine ve akışkanlaşma ivmesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Testlerde ortalama işletme şartlarında elde edilen yatak altı külü ve uçucu kül numuneleri, analizleri yapılmak üzere akredite bir laboratuvara gönderilmiştir. Uçucu ve yatak altı kül analiz sonuçları Çizelge 4.18.'de ve Ek 5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı kireçtaşlarına ait Reaktivite ve Kapasite İndeksleri

Kireçtaşı (KT)	Kömür Cinsi	Sıcaklık °C	Yanar Kükürt %	$CaCO_3$ %	Reaktivite İndeksi (Rİ) Ca/S	Kapasite İndeksi (Kİ) g-s/kg-$CaCO_3$
Bartın	Tunçbilek Linyiti	830-870	1,81	98,37	1,50	125
Sofular	Çan Linyiti	810-850	2,48	97,42	1,50	112,4
Bozgüç	Çan Linyiti	810-860	2,48	93,71	1,50	98,5
Terzialan	Çan Linyiti	810-860	2,48	91,68	1,50	85,9
Cemaltepe	Gelik Taşkömürü	850-880	0,50	98,50	1,53	252

Testlerde kullanılan taşkömürünün belli oranlarda koklaşabilir nitelikte olduğu yakma testlerinde anlaşılmıştır. İkincil siklondan uçucu kül ile birlikte belli partikül boyutundaki koklaşmış kömür partikülleri de alınmıştır.

Çizelge 4.18. Gelik Taşkömürü ve Cemaltepe Kireçtaşı kullanıldığı durum için yatakaltı ve uçucu kül analizi

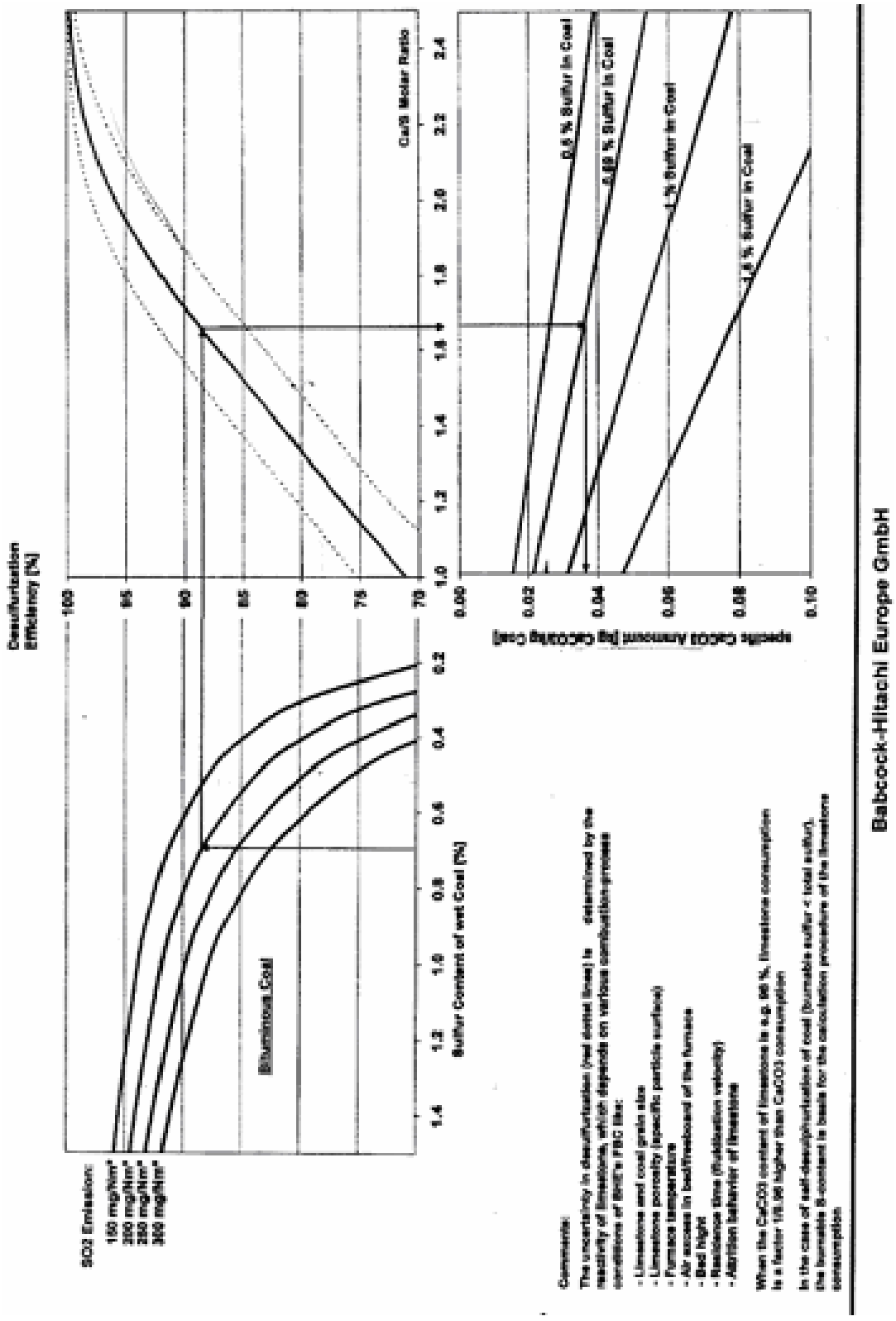
Kül	Uçucu Kül	Yatakaltı Külü
K_2O	2,23	1,25
Na_2O	0,36	0,96
P_3O_5	0,23	0,23
$CaSO_4$	9,73 (SO_3 5,73)	10,67 (SO_3 6,28)
CaO	8,47	17,92
Cr	0,03	0,02
Ni	0,07	0,03
SiO_2	50,97	29,36
Al_2O_3	11,81	7,37
$TıO_2$	0,77	0,28
MgO	1,68	6,10
Fe_2O_3	5,02	2,93

Kazan tasarımcı ve üreticisi Babcock-Hitachi Europe firması tarafından deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen kireçtaşı kullanım abağı Şekil 4.14.'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre Cemaltepe kireçtaşı ile Gelik Taşkömürü'nün kullanım oranı (Ca/S) 1,53 iken kapasite indeksi 252 g-S/kg-$CaCO_3$ bulunmuştur. Bartın kireçtaşı ile Tunçbilek Linyiti'nin kullanım oranı 1,50 iken kapasite indeksi 125 g-S/kg-$CaCO_3$ bulunmuştur. Sofular kireçtaşı ile Çan Linyiti'nin kullanım oranı 1,50 iken kapasite indeksi 112,4 g-S/kg-$CaCO_3$ bulunmuştur.

Aynı deney sonuçları Şekil 4.14.'de yerine konulduğunda Cemaltepe kireçtaşı-Gelik Taşkömürü, Bartın kireçtaşı-Tunçbilek Linyiti, Sofular kireçtaşı- Çan Linyiti için elde edilen değerler sırasıyla 0,024, 0,17, 0,25 bulunmuştur.

Deneysel sonuçlarda verilen ve her bir grup için elde edilen kireçtaşı kullanım faktörleri sırasıyla 0,019, 0,15, 0,22'dir. Görüldüğü gibi abak sonuçları ile deney sonuçları arasında 0,05, 0,02 ve 0,03 gibi farklılıklar mevcuttur. Deneylerdeki

kireçtaşı kullanımımız (Ca/S) yaklaşık 1,50 iken aynı SO_2'yi tutmak için gerekli $CaCO_3$ miktarının fazla olmasının nedenleri; reaksiyona girmeyen kireçtaşının, yatak altı ve uçucu külde bulunması ve kireçtaşı boyut olarak büyük sistemlerde kullanılana denk olmasına rağmen sistem geometrisi küçük olduğundan, yatakta kalma süresi gerçek sistemlere göre kısa olmasıdır. Bu da SO_2 tutma verimini düşürecektir.



Şekil 4.14. Babcock-Hitachi Europe firmasının hazırladığı kireçtaşı kullanım abağı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Dolaşımlı Akışkan Yataklı bir reaktörde kireçtaşı-SO_2 reaktivitesi kireçtaşı boyutunun, Ca/S molar oranının ve reaktör sıcaklığının SO_2 emisyon kontrolünde kireçtaşı kullanım faktörü (Reaktivite İndeksi, Kapasite İndeksi), farklı kireçtaşları (Cemaltepe, Bartın, Sofular, Bozgüç, Terzialan), farklı kükürt içerikli linyit ve taşkömürleri kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, kireçtaşı boyutuna bağlı olarak özellikle K_c kaybının değiştiği görülmektedir. Kireçtaşının çok ince olduğu 0,25 mm boyutunda K_{co} ve K_{ch} kayıplarının da yüksek olduğu görülmüştür.

Kireçtaşı kullanım oranının artışı ile sistemin yanma veriminin azaldığı, SO_2 tutma veriminin ise arttığı görülmüştür. Ca/S oranı artışı ile özellikle külde eksik yanma kaybının arttığı dikkati çekmektedir. Küldeki eksik yanma kaybının temel nedeni yatağa beslenen katı kütlesindeki artış sonucu kül alma miktarının artmasıdır. Bu nedenle kül içerisindeki eksik yanma karbon kaybında da bir miktar artış görülmektedir.

Reaktör sıcaklığı artışı ile her üç eksik yanma kaybının azaldığı ancak yanma veriminde ise büyük bir değişim oluşmadığı anlaşılmıştır. SO_2 emisyonu tutma veriminin reaktör sıcaklığı artışı ile arttığı, yanma veriminin ise kötü yönde etkilenmediği belirlenmiştir.

Kireçtaşı ortalama tane boyutunun artması ile istenen sülfatlaşma oranı yakalanamamış ve bunun sonucunda da daha yüksek SO_2 emisyonu ile karşılaşılmıştır. SO_2 emisyonu kireçtaşı boyutunun sistem çalışma hızlarına bağlı olarak mümkün olduğu kadar küçük tutulması gerektiğini açıkça göstermektedir. Kireçtaşı gözenek yapısı ve Alan/Hacim oranının mümkün olduğu kadar büyük olması gerektiği deneyler sonucunda görülmüş olup deney sonuçları literatürdeki çalışmalar ile uyum içerisindedir.

Kireçtaşı kullanım oranı (Ca/S) artışı ile kükürt tutma veriminin arttığı görülmektedir. "Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"nde 300 MW'a kadar olan akışkan yataklı yakma sistemlerinin baca gazlarındaki SO_2 emisyonu sınır değeri % 7 O_2 oranında 400 mg/Nm^3 olarak verilmektedir. Burada SO_2 emisyonu taşkömürü kireç karışımında Ca/S>1,5 koşullarında yönetmelik sınır değerinin altında tutulabilmiştir. Burada kireçtaşı ilavesi ile kömür içerisinde bulunan uçucu azotun oksitlenmesinin arttığı görülmektedir. Kireçtaşı kullanım oranı artışı ile bu etki de artmaktadır. Kireçtaşı katalizörlüğünde HCN'ler NO ve N_2 oluşumuna sebep olmaktadır. Ayrıca NO, CO ile reaksiyona girerek N_2 ve CO_2 açığa çıkmaktadır.

Reaktör sıcaklığı yaklaşık 850 °C civarında iken SO_2 emisyonunun minimum olduğunu, altındaki ve üzerindeki ortalama sıcaklıklarda ise SO_2 emisyonunun yüksek olduğu görülmüştür(Şekil 4.13). Her bir deneyde kullanılan kireçtaşı miktarının sabit tutulduğu dikkate alındığında kalsinasyon işleminin ve tutma özelliğinin öne çıktığı anlaşılmaktadır. Düşük sıcaklıklar kalsinasyon veriminin düşmesine neden olmuştur. SO_2 emisyonunun reaktör sıcaklığının artışı ile azaldığı görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan çalışmaların çoğunda kireçtaşı gözeneklerinin sıcaklık artışı ile şişme sonucu tıkandığı anlaşılmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak SO_2 tutma verimi azalmaktadır. Reaktör sıcaklığı artışına paralel olarak NO_x oluşumu da artmaktadır. Isıl NO_x oluşumu pek çok çalışmacı tarafından kabul edilmektedir. Burada da reaktör sıcaklığı artışı ile ısıl NO_x oluşumu ile karşılaşılmıştır.

Testlerde kullanılan taşkömürünün belli oranlarda koklaşabilir nitelikte olduğu yakma testlerinde anlaşılmıştır. İkincil siklondan uçucu kül ile birlikte belli partikül boyutundaki koklaşmış kömür partikülleri de alınmıştır. Uçucu kül ve yatak altı kül analiz sonuçlarına göre reaksiyona girememiş olan $CaSO_4$'ın katı formda külde kaldığı anlaşılmaktadır (Çizelge 4.18-Ek 5).

Zonguldak Gelik Taşkömürünün ve Tunçbilek Linyitinin yakıldığı dolaşımlı akışkan yataklı yakıcıda yakma testleri süresince yapılan baca gazı analizlerinden elde edilen

ortalama test sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Testlerde Ca/S molar oranı 1,53 olarak sabit tutulduğunda baca gazında ortalama 266 mg/Nm^3 (% 6,0 O_2 yönetmelik referans değerinde) SO_2 emisyonu belirlenmiştir. Kireçtaşı kullanım oranı aynı test şartları için 252 g-S/kg-$CaCO_3$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen kireçtaşı Reaktivite ve kapasite indeksleri genel anlamda literatür ve teknolojik uygulamalar ile yakın uyum içerisindedir.

Bu çalışma kapsamında kurulumu tamamlanmış olan sentetik baca gazlı farklı sıcaklıklarda çalışabilen model ile daha kolay biçimde adsorbentlere ait Reaktivite İndeksleri belirlenebilir. Düzenek otomatik gaz karıcı ünitesinin tamamlanmasını takiben deneylerde kullanılan kireçtaşları ile reaktivite indeksleri tekrar belirlenebilir ve her iki deney düzeneğinin yakınsaması anlaşılabilir.

Taşkömürü ve linyit yakan Dolaşımlı Akışkan Yataklı tesisler dikkate alınarak "Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" kapsamında test sonuçları değerlendirildiğinde elde edilen emisyonlar açısından benzeşim şartlarının sağlandığı laburatuvar ölçekli sistemde yapılan yakma testlerinin sonuçları kabul edilebilir kirletici seviyelerini içermektedir.

KAYNAKLAR

1. ÇAĞLAYAN, S., "Akışkan yataklarda ısı transfer özelliklerinin deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-7 , (2002)

2. SHRINIWAS, C.S., "High-pressure high-temperature control of hydrogen sulfide, sulfur diokside and selenium from fuel/flue gas using Ca-based sorbents", Doctor of Philosophy Thesis, ***Ohio State University***, Ohio, (1999)

3. THİEDE, T.D., "Analysis of limestone calcination and sülfation using transient gas analysis", Doctor of Philosophy Thesis, ***Iowa State University***, Iowa, (1996)

4. RAZBIN, V.V., "Fluidized bed combustion of high sulphur coal with various limestone particle sizes", Master Thesis, ***Carleton University***, Ontario, (1986)

5. MARQUIS, D.L., "Reactivation of spent circulating fluidized bed limestone by hidration", Master Thesis, ***University of Nem Brunswick***, Kanada, (1992)

6. CHRISTOFIDES, N.J., "Determining char burning and sulfur sorption rates from dynamic analysis of CO_2 and SO_2 profiles" , ***Iowa State University***, Iowa, (1993)

7. ERSOY, L.E., "Effects of secondary air injection on the hydrodynamics of circulating fluidized beds", Doctor of Philosophy Thesis, ***Dalhouse University***, Daltech, (1998)

8. QIU, K., Anthony. E.J., JIA. L., "Oxidation of sulfided limestone under the conditions of pressurized fluidized bed combustion", ***Chalmers University of Technology***, Göteborg, (2001)

9. WESTBY, T.,S., "CARBON COMBUSTION EFFICIENCY AND SULFUR DIOXIDE EMISSION IN FLUIDIZED BED COMBUSTION OF TEXAS LIGNITE (LOW-RANK COAL)", Doctor of Philosophy Thesis, ***The Unıversıty Of Texas At Austın***, Teksas, (1984)

10. COX, F.,W., "SULFUR DIOXIDE RETENTION OF MISSISSIPPI LIGNITE ASH DURING COMBUSTION IN A FLUIDIZED BED", Doctor of Philosophy Thesis, ***The Unıversıty Of Mıssıssıppı***, Misisipi, (1985)

11. COUTURIER, M.,F., "Temperature, gas concentrations and solid mass flux profiles within a large circulating fluidized bed combustor", Proceedings of the International Conference on Fluidized Bed Combustion, 107-114, (1991)

12. CHI, D., "MODELLING FOR COMBUSTION AND SULPHUR RETENTION EFFICIENCIES OF FLUIDIZED BED COMBUSTORS", Doctor of Philosophy Thesis, ***Texas A&M Unıversıty***, Teksas, (1987)

13. SCHOUTEN, J.,C., "Sulfur retention and particle motion during fluidized bed combustion of coal", Doctor of Philosophy Thesis, ***Technısche Unıversıteıt Te Delft***, Hollanda, (1988)

14. WOLFF, E.,H.,P., "Regenerative sulfur capture in fluidized bed combustion of coal: A fixed bed sorption study", ***Technısche Unıversıteıt Te Delft***, Hollanda, (1991)

15. MORE, S.,J., "Modelling of sulfur capture in a circulating fluidized bed of calcined limestone", Master Thesis, ***The Unıversıty Of New Brunswıck***, Kanada, (1993)

16. SHIMIZU, T., SATOH, M., FUJIKAWA, T., SATO, K., TONSHO, M., INAGAKI, M., "Simultaneous reduction of SO_2 and N_2O from a fluidized bed combustor withuot increasing NO_x emission using fine sorbent circulation", ***Nigata University***, Ikarashi, Nigata, Vol.16, No.1, pp. 161-165 (2002)

17. MAO, D., EDWARDS, J.R., KUZNETSOV, A.V., "Modeling of sulfur oxide removal in circulating fluidized bed absorders", ***North Carolina University***, Raleigh, (2001)

18. SUKSANKRAISORN, K., "Co-combustion of municipal solid waste and Thai lignite in a fluidized bed", Energy Conversion and Management, April 2004

19. CHENG, L., CHEN, B., LİU, N., CEN, K., LUO, Z., "The effect on sulphur retention capacity in fluidized beds", Energy Management, 2002

20. İz, Ö., "Seka Atıklarının Ve Orman Ürünlerinin Akışkan Yatakta Yakılması", Uygulama Projesi, ***Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü***, Ankara, 24-25 , (2002)

21. Ar, İ., "Kireçtaşı-SO_2 Reaksiyonunun Kinetiği Çalışmaları Ve Baca Gazındaki SO_2'nin Tutulması Amacıyla Sobalara Uygulanması", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü***, Ankara, (1992)

22. Madencilik Endüstriyel Hammaddeler 1 (Yapı Malzemeleri) Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, Yayın no: DPT: 2615 – Ölk:626, 18-62, (2001)

23. Topal, H., "Dolaşımlı Akışkan Yatağın Hidrodinamik Yanma Ve Emisyon Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü***, Ankara, 255-270, (1999)

EKLER

EK-1

NUMUNELERİN BOYUT ANALİZLERİ

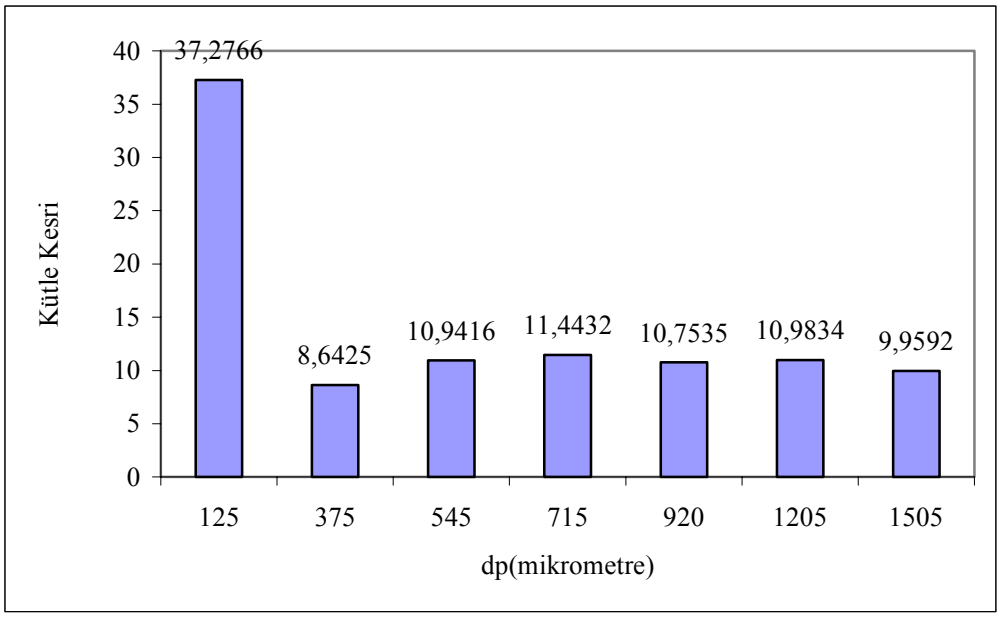
Çizelge Ek 1.1. Bartın kireçtaşı'nın ortalama çap hesabı

Elek No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	3567	250<x<500
2	4394	500<x<590
3	5441	590<x<840
4	6536	840<x<1000
5	7565	1000<x<1410
6	8616	1410<x<1600
7	9569	1600<x

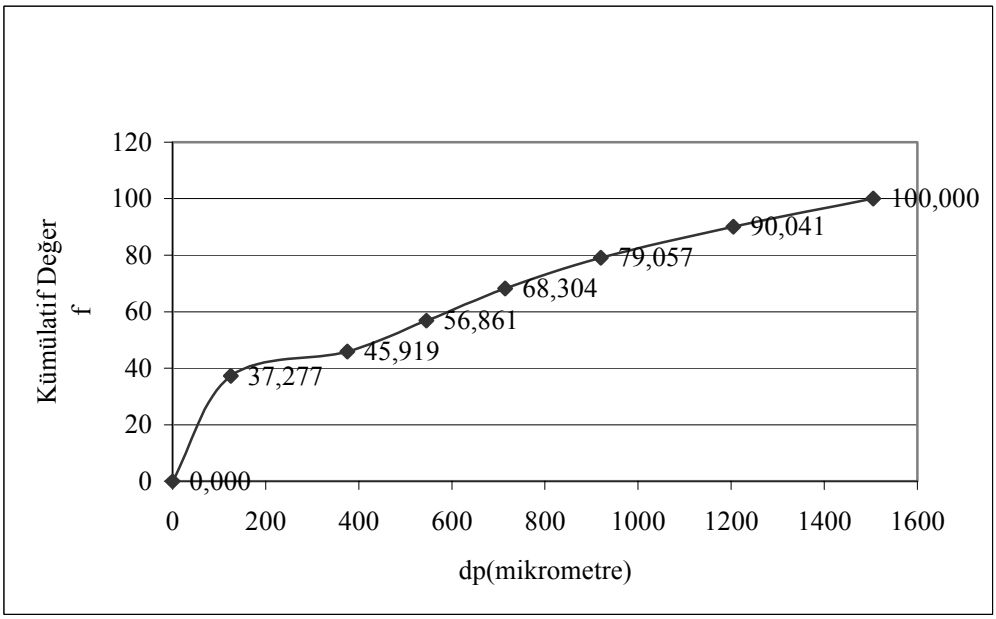
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	37,2766	0,000
1 ve 2	375	8,6425	37,277
2 ve 3	545	10,9416	45,919
3 ve 4	715	11,4432	56,861
4 ve 5	920	10,7535	68,304
5 ve 6	1205	10,9834	79,057
6 ve 7	1505	9,9592	90,041
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0029
	0,0002
	0,0002
	0,0002
	0,0001
	0,0001
	0,0001
Toplam	0,0038

Ortalama Çap= 260 μm



Şekil Ek 1.1. Bartın kireçtaşının boyut dağılımı



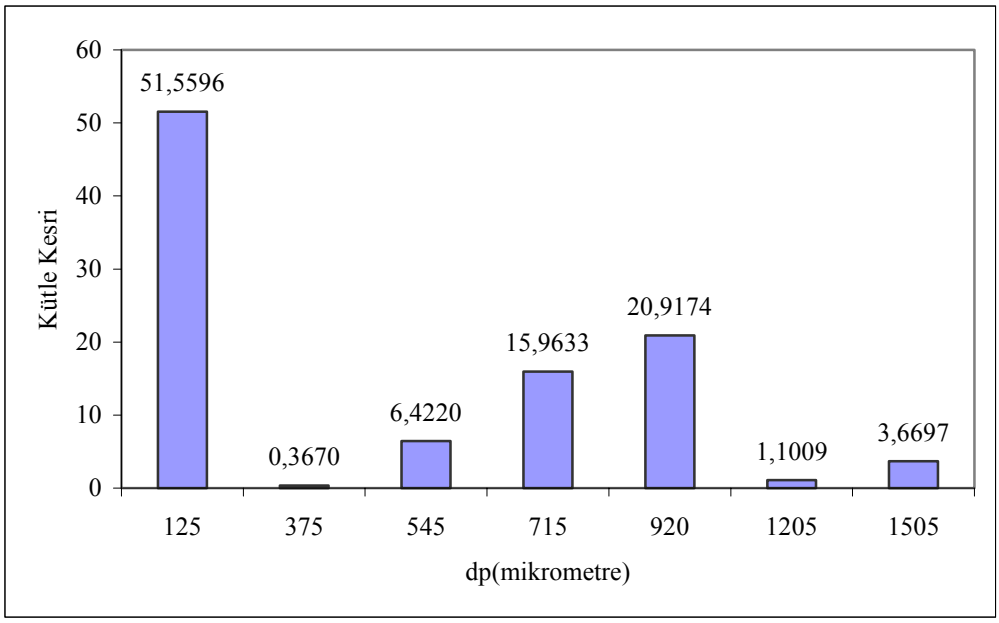
Şekil Ek 1.2. Bartın kireçtaşının kümülatif değerleri

Çizelge Ek 1.2. Bozgüç kireçtaşı'nın ortalama çap hesabı

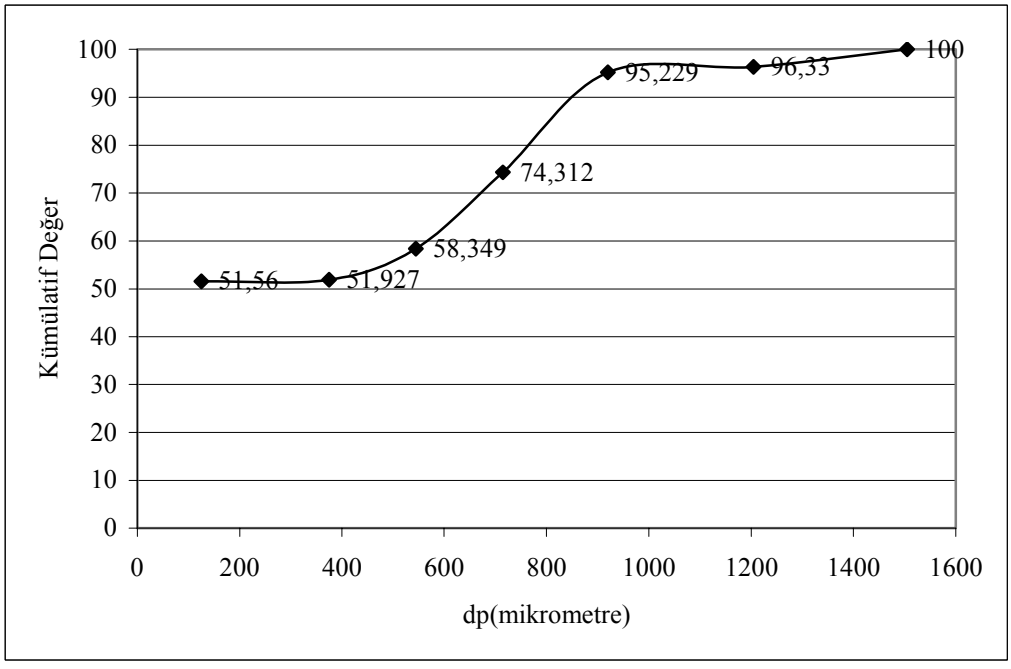
No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	281	250<x<500
2	283	500<x<590
3	318	590<x<840
4	405	840<x<1000
5	519	1000<x<1410
6	525	1410<x<1600
7	545	1600<x

dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %	x / dp
Alt tabla ve 1	125	51,5596	0,000	0,0041
1 ve 2	375	0,3670	51,560	9,78593E-06
2 ve 3	545	6,4220	51,927	0,0001
3 ve 4	715	15,9633	58,349	0,0002
4 ve 5	920	20,9174	74,312	0,0002
5 ve 6	1205	1,1009	95,229	0,0000
6 ve 7	1505	3,6697	96,330	0,0000
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**	**Toplam** 0,0047

Ortalama Çap=	211 μm



Şekil Ek 1.3. Bozgüç kireçtaşının boyut dağılımı



Şekil Ek 1.4. Bozgüç kireçtaşının kümülatif değerleri

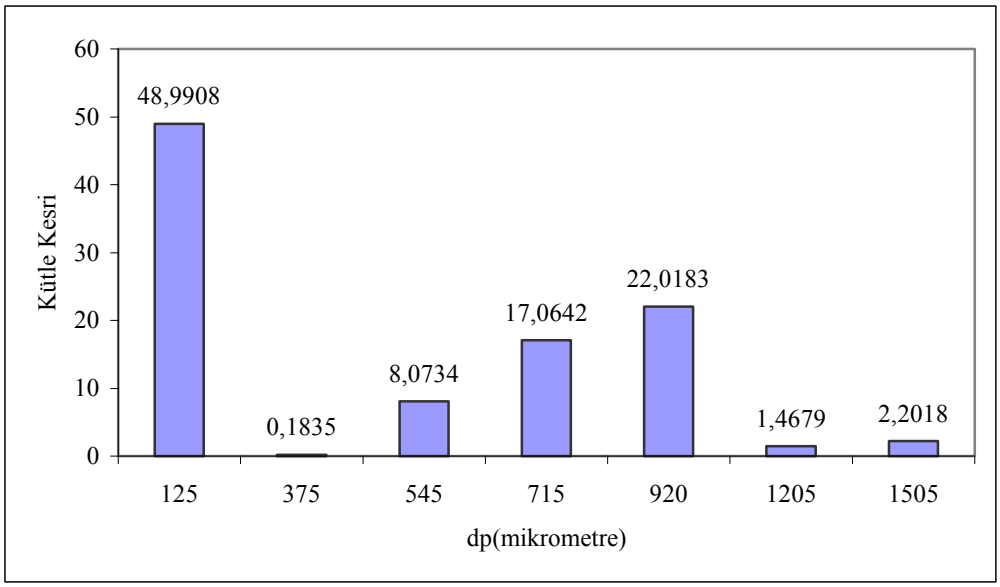
Çizelge Ek 1.3. Cemaltepe kireçtaşı'nın ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	267	250<x<500
2	268	500<x<590
3	312	590<x<840
4	405	840<x<1000
5	525	1000<x<1410
6	533	1410<x<1600
7	545	1600<x

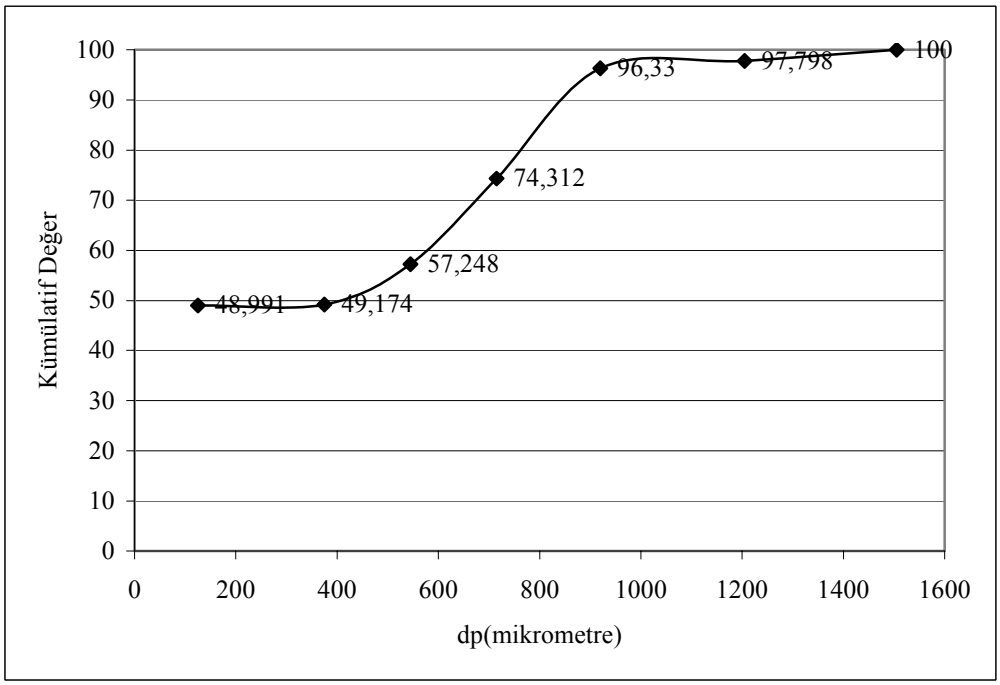
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	48,9908	0,000
1 ve 2	375	0,1835	48,991
2 ve 3	545	8,0734	49,174
3 ve 4	715	17,0642	57,248
4 ve 5	920	22,0183	74,312
5 ve 6	1205	1,4679	96,330
6 ve 7	1505	2,2018	97,798
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0039
	4,89297E-06
	0,0001
	0,0002
	0,0002
	0,0000
	0,0000
Toplam	0,0046

Ortalama Çap=	218 μm



Şekil Ek 1.5. Cemaltepe kireçtaşının boyut dağılımı



Şekil Ek 1.6. Cemaltepe kireçtaşının kümülatif değerleri

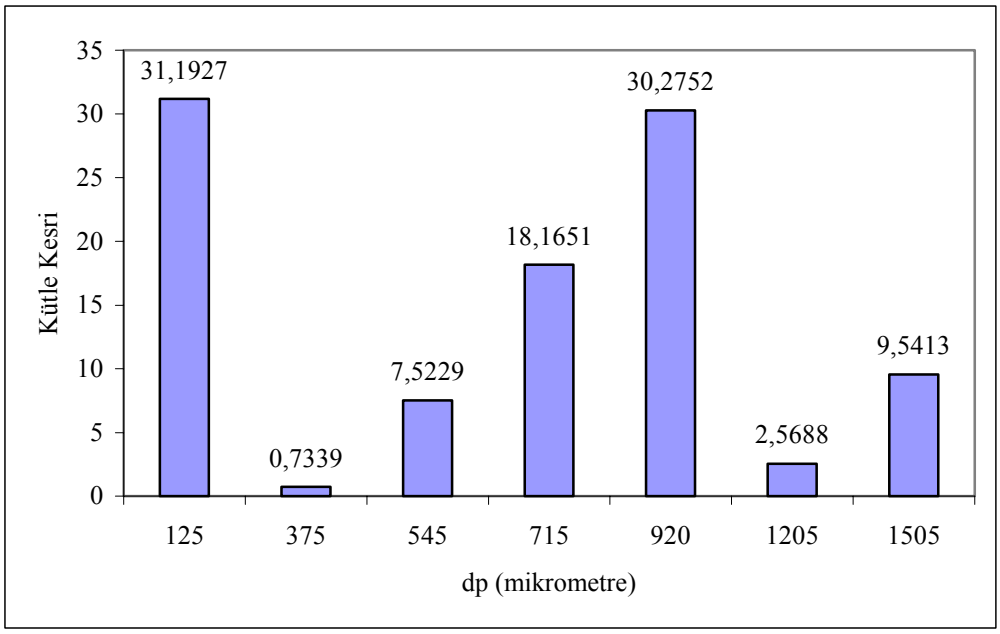
Çizelge Ek 1.4. Zonguldak Gelik Taşkömürü'nün ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	170	250<x<500
2	174	500<x<590
3	215	590<x<840
4	314	840<x<1000
5	479	1000<x<1410
6	493	1410<x<1600
7	545	1600<x

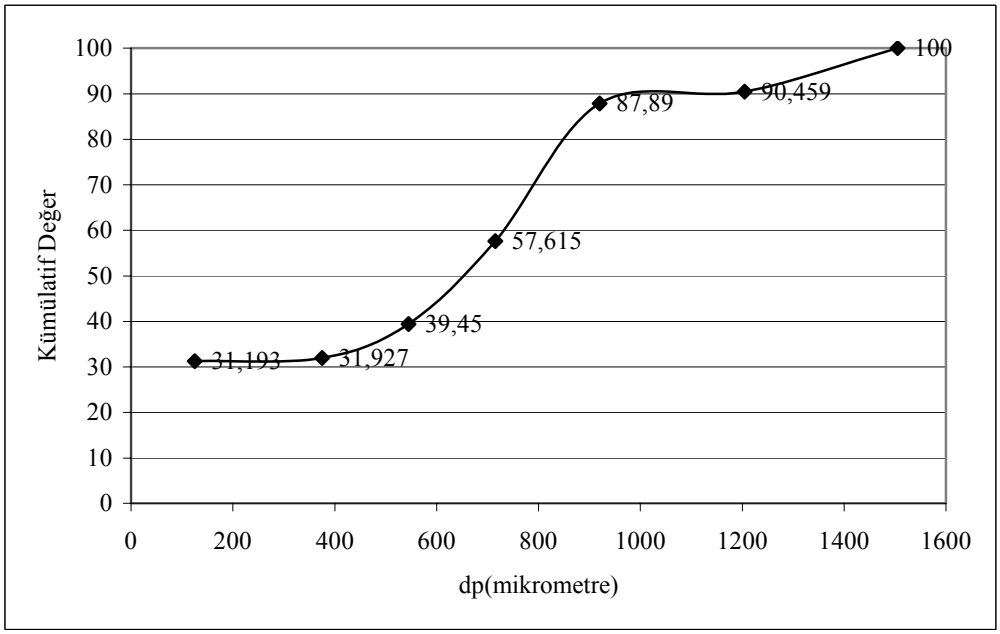
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	31,1927	0,000
1 ve 2	375	0,7339	31,193
2 ve 3	545	7,5229	31,927
3 ve 4	715	18,1651	39,450
4 ve 5	920	30,2752	57,615
5 ve 6	1205	2,5688	87,890
6 ve 7	1505	9,5413	90,459
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0024
	1,95719E-05
	0,0001
	0,0003
	0,0003
	0,0000
	0,0001
Toplam	0,0033

Ortalama Çap=	301 μm



Şekil Ek 1.7. Zonguldak Gelik Taşkömürünün boyut dağılımı



Şekil Ek 1.8. Zonguldak Gelik Taşkömürünün kümülatif değerleri

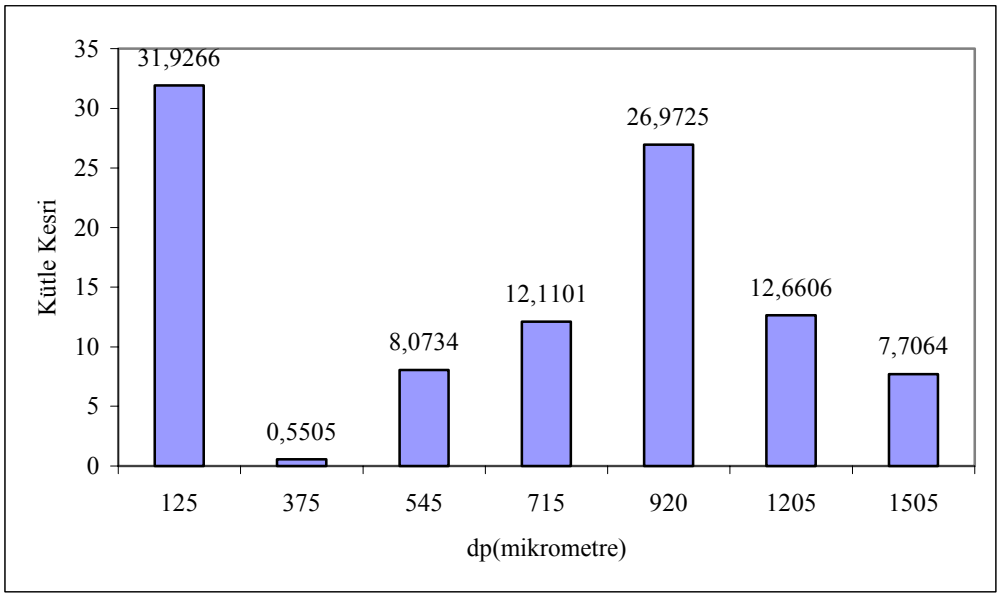
Çizelge Ek 1.5. Sepiyolit'in ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	174	250<x<500
2	177	500<x<590
3	221	590<x<840
4	287	840<x<1000
5	434	1000<x<1410
6	503	1410<x<1600
7	545	1600<x

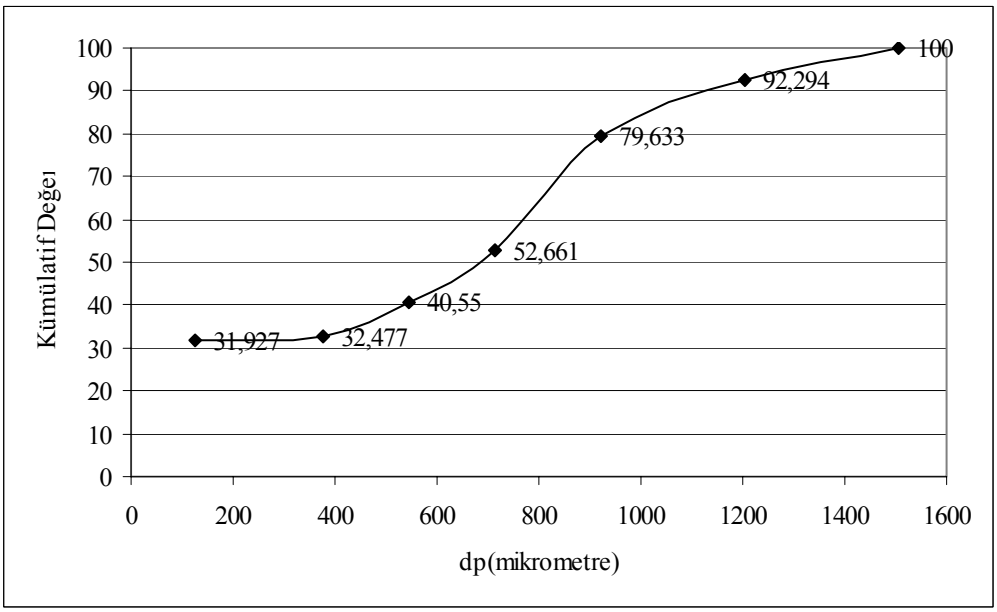
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	31,9266	0,000
1 ve 2	375	0,5505	31,927
2 ve 3	545	8,0734	32,477
3 ve 4	715	12,1101	40,550
4 ve 5	920	26,9725	52,661
5 ve 6	1205	12,6606	79,633
6 ve 7	1505	7,7064	92,294
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0025
	1,46789E-05
	0,0001
	0,0002
	0,0003
	0,0001
	0,0001
Toplam	0,0033

Ortalama Çap=	300 μm



Şekil Ek 1.9. Sepiyolit boyut dağılımı



Şekil Ek 1.10. Sepiyolit kümülatif değerleri

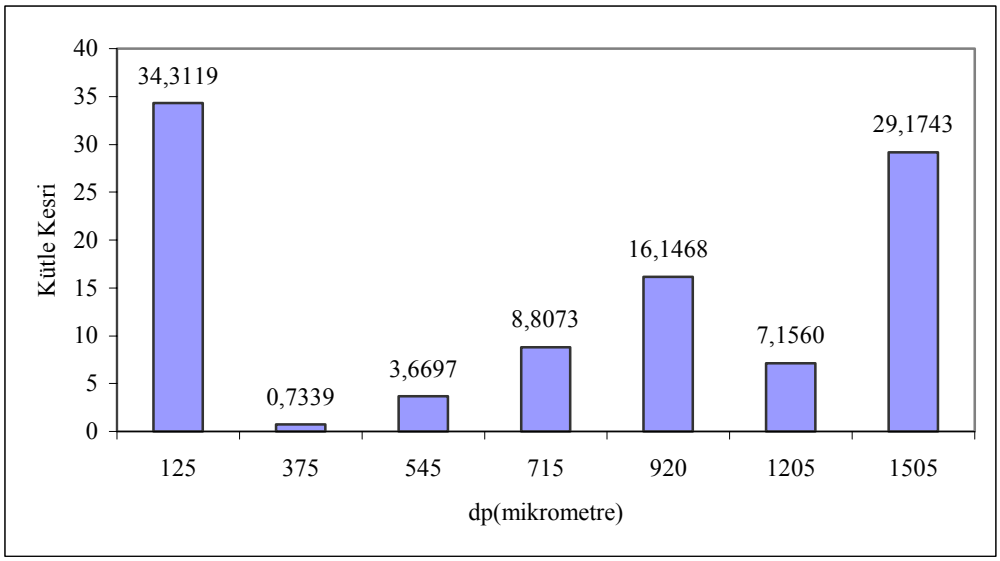
Çizelge Ek 1.6. Sofular kireçtaşı'nın ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	187	250<x<500
2	191	500<x<590
3	211	590<x<840
4	259	840<x<1000
5	347	1000<x<1410
6	386	1410<x<1600
7	545	1600<x

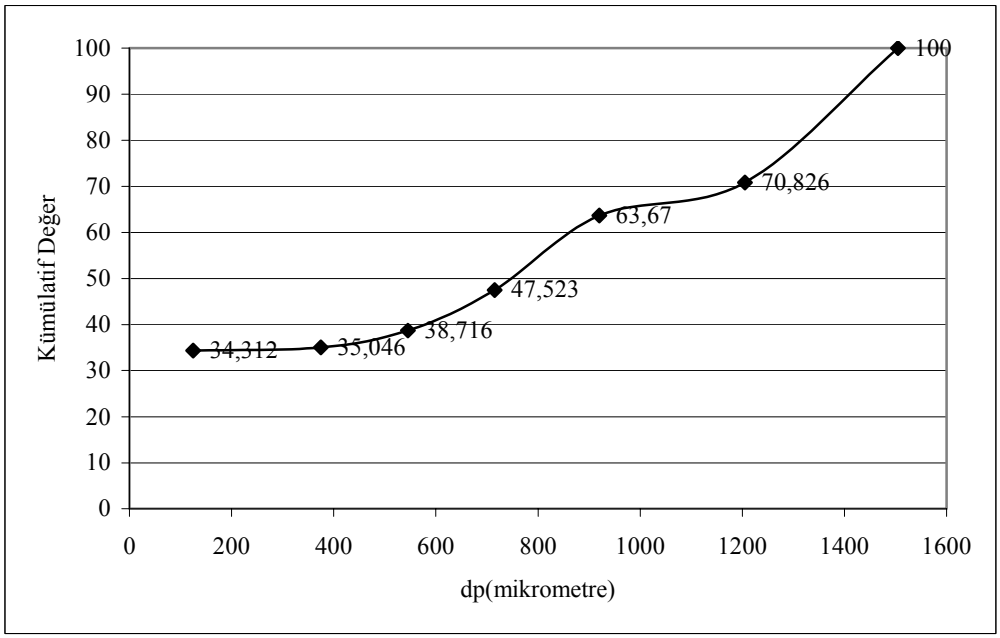
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	34,3119	0,000
1 ve 2	375	0,7339	34,312
2 ve 3	545	3,6697	35,046
3 ve 4	715	8,8073	38,716
4 ve 5	920	16,1468	47,523
5 ve 6	1205	7,1560	63,670
6 ve 7	1505	29,1743	70,826
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0027
	1,95719E-05
	6,73344E-05
	0,0001
	0,0002
	0,0001
	0,0002
Toplam	0,0034

Ortalama Çap=	296 μm



Şekil Ek 1.11. Sofular kireçtaşının boyut dağılımı



Şekil Ek 1.12. Sofular kireçtaşının kümülatif değerleri

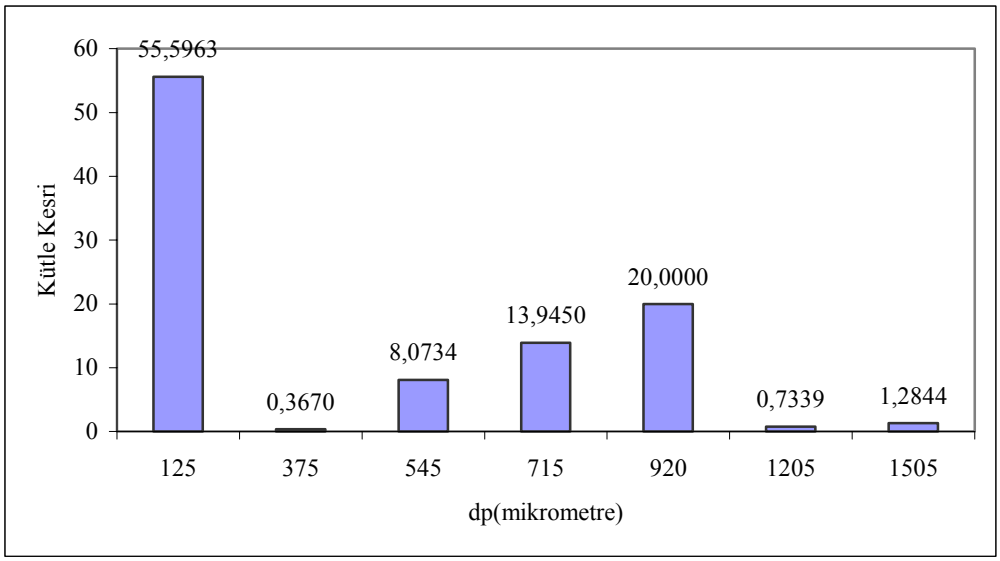
Çizelge Ek 1.7. Terzialan kireçtaşı'nın ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(μm)
Alt tabla	0	0<x<250
1	303	250<x<500
2	305	500<x<590
3	349	590<x<840
4	425	840<x<1000
5	534	1000<x<1410
6	538	1410<x<1600
7	545	1600<x

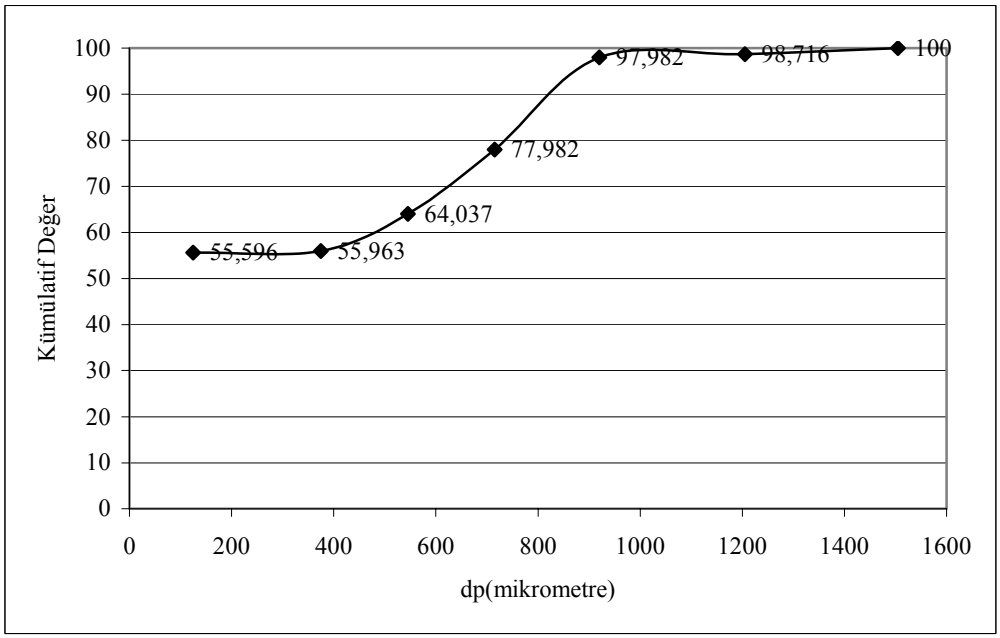
dp aralığı	dp	Kütle Kesri	Kümülatif Yüzde %
Alt tabla ve 1	125	55,5963	0,000
1 ve 2	375	0,3670	55,596
2 ve 3	545	8,0734	55,963
3 ve 4	715	13,9450	64,037
4 ve 5	920	20,0000	77,982
5 ve 6	1205	0,7339	97,982
6 ve 7	1505	1,2844	98,716
	Toplam=	**100,0000**	**100,000**

	x / dp
	0,0044
	9,78593E-06
	0,0001
	0,0002
	0,0002
	0,0000
	0,0000
Toplam	0,0050

Ortalama Çap=	199 μm



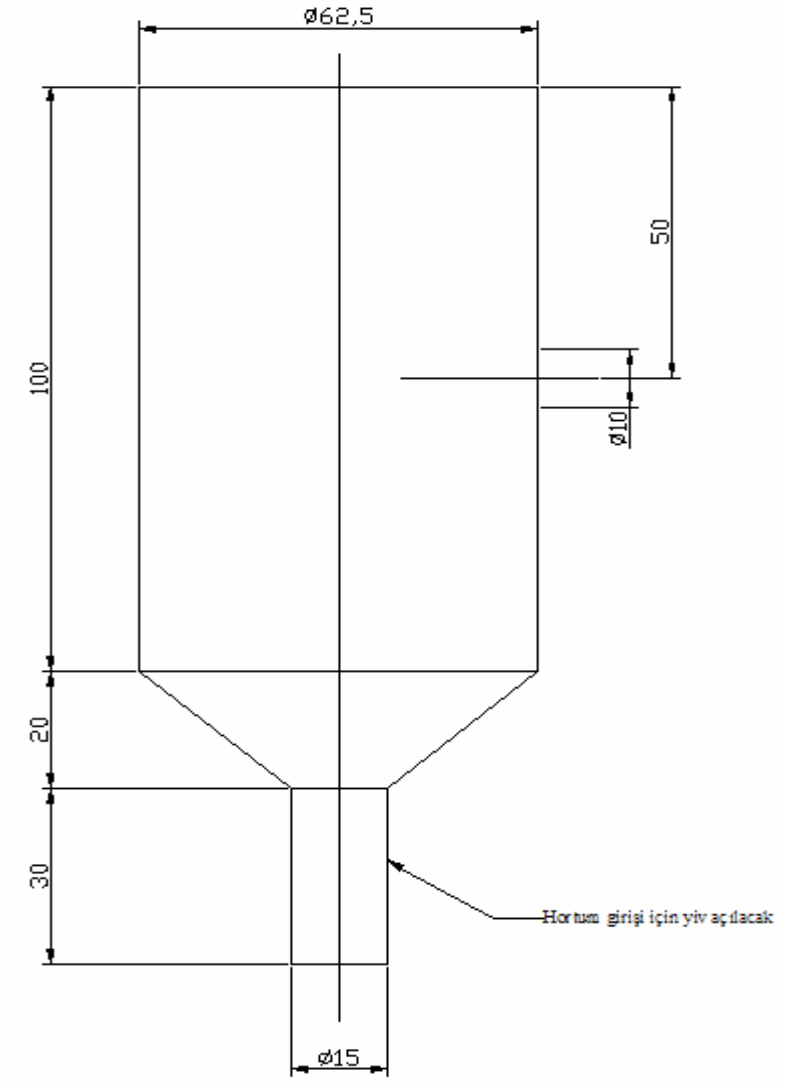
Şekil Ek 1.13. Terzialan kireçtaşının boyut dağılımı



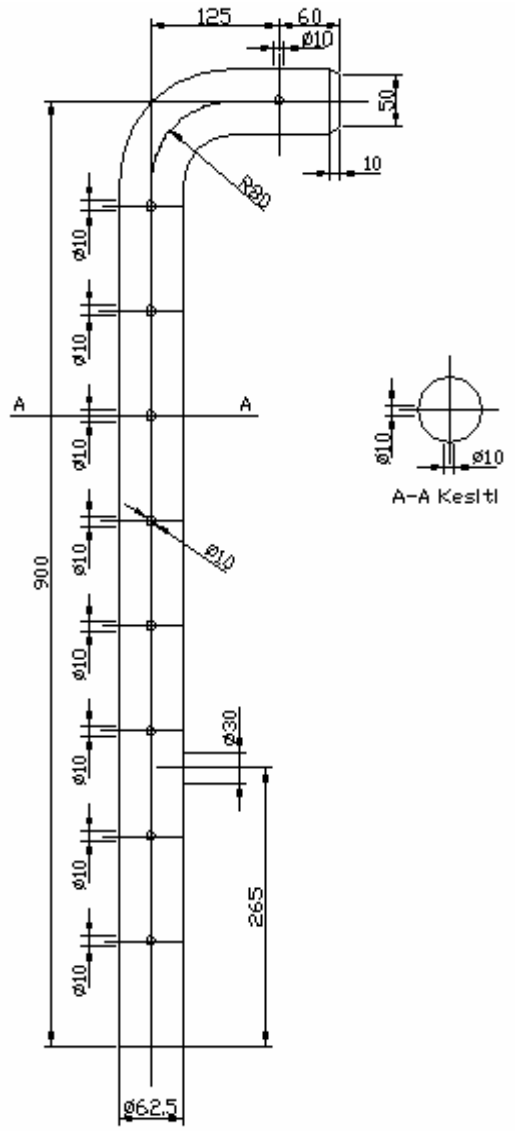
Şekil Ek 1.14. Terzialan kireçtaşının kümülatif değerleri

EK-2

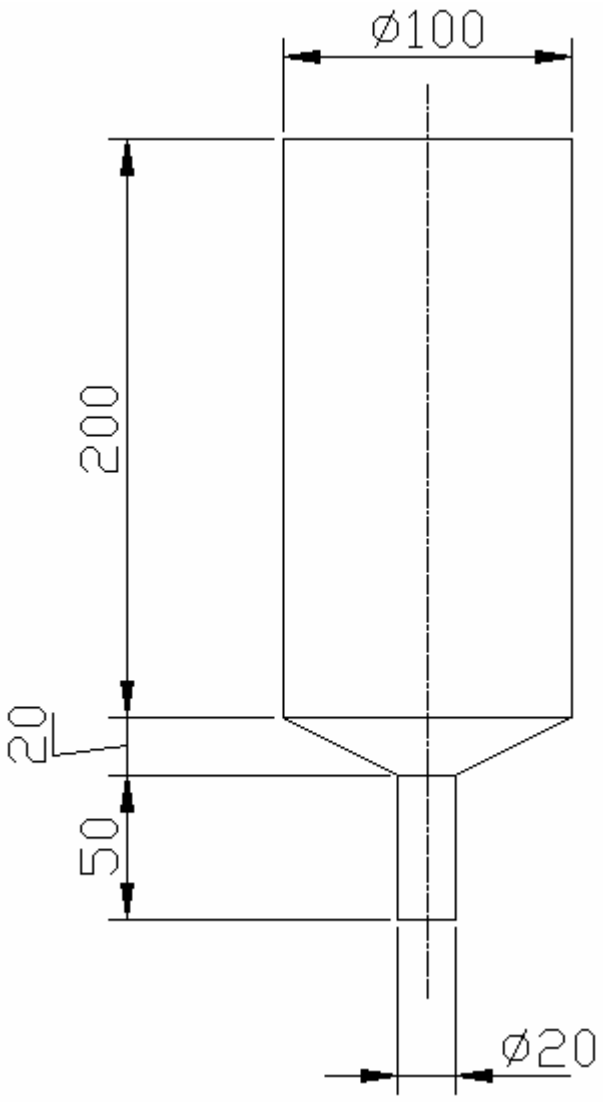
DENEY SİSTEMİNE AİT TEKNİK RESİMLER



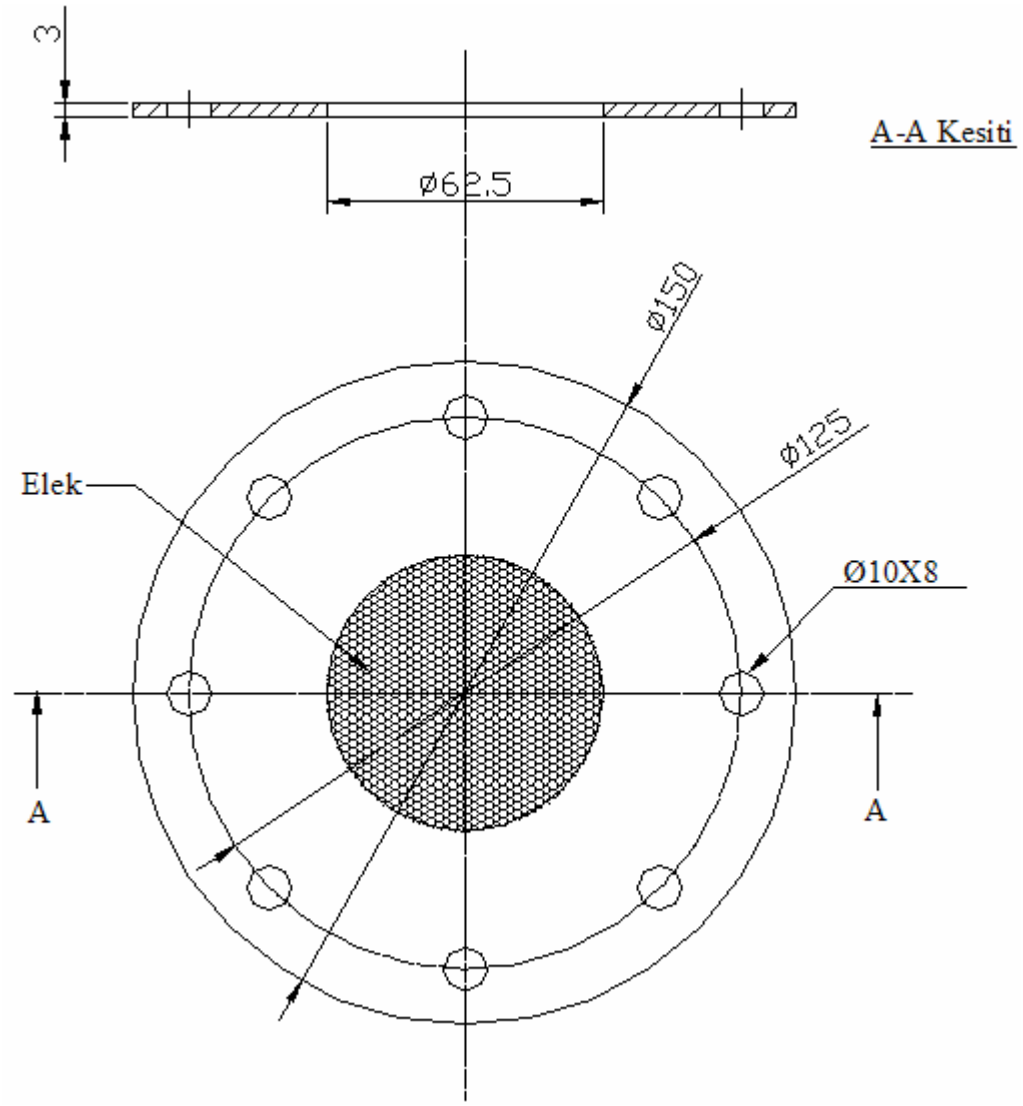
Şekil Ek 2.1. Alt parça



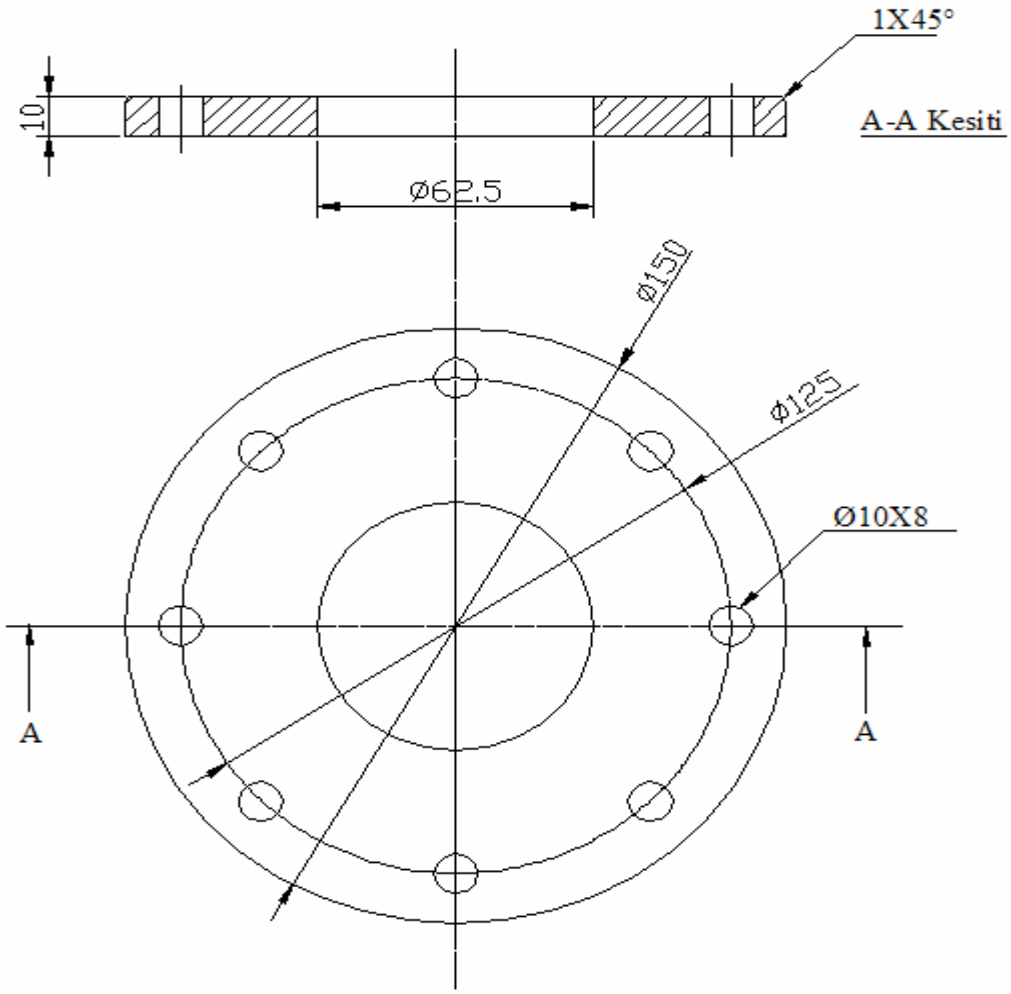
Şekil Ek 2.2. Ana kolon 2



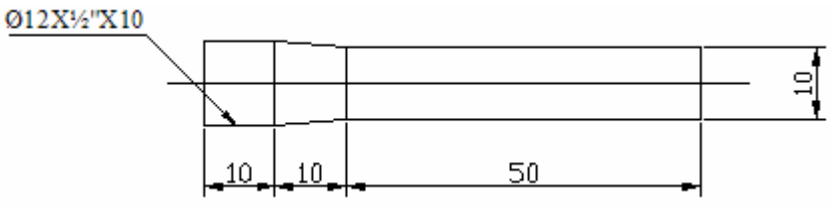
Şekil Ek 2.3. Besleme kabı



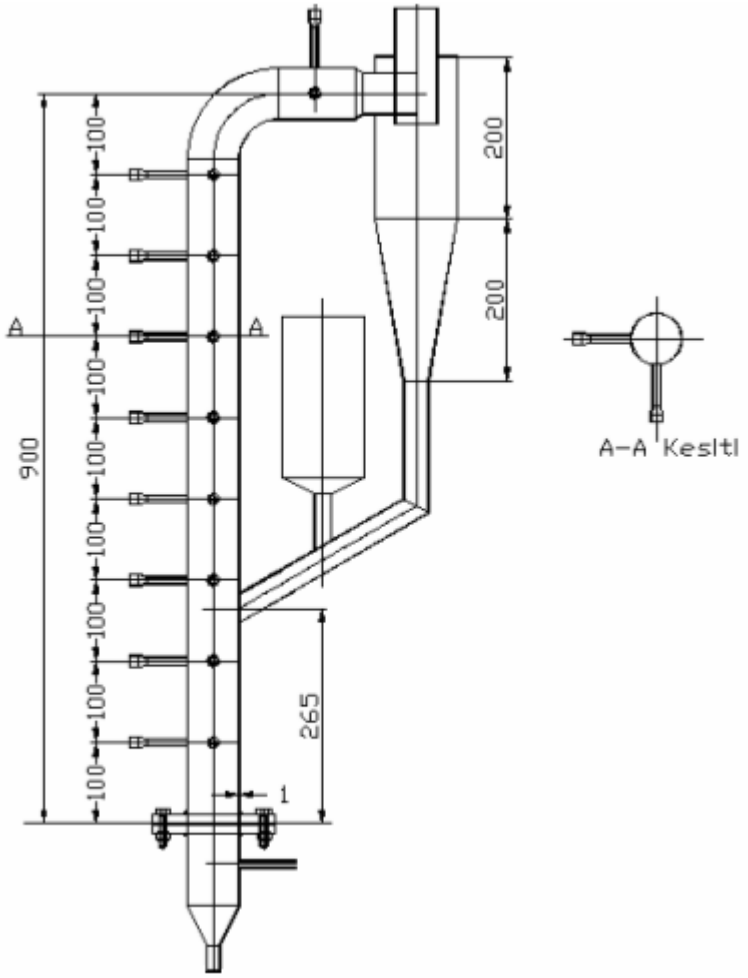
Şekil Ek 2.4. Elek



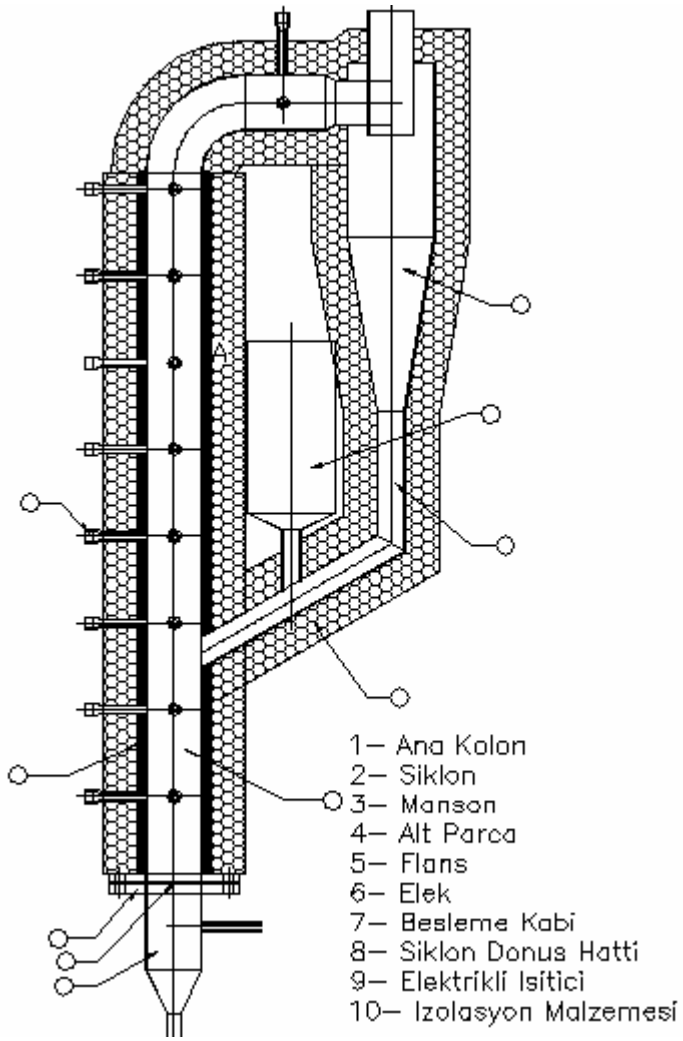
Şekil Ek 2.5. Flanş



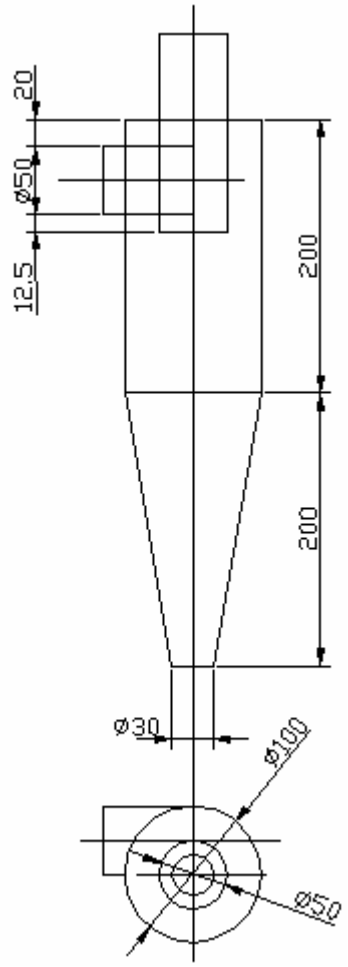
Şekil Ek 2.6. Manşon



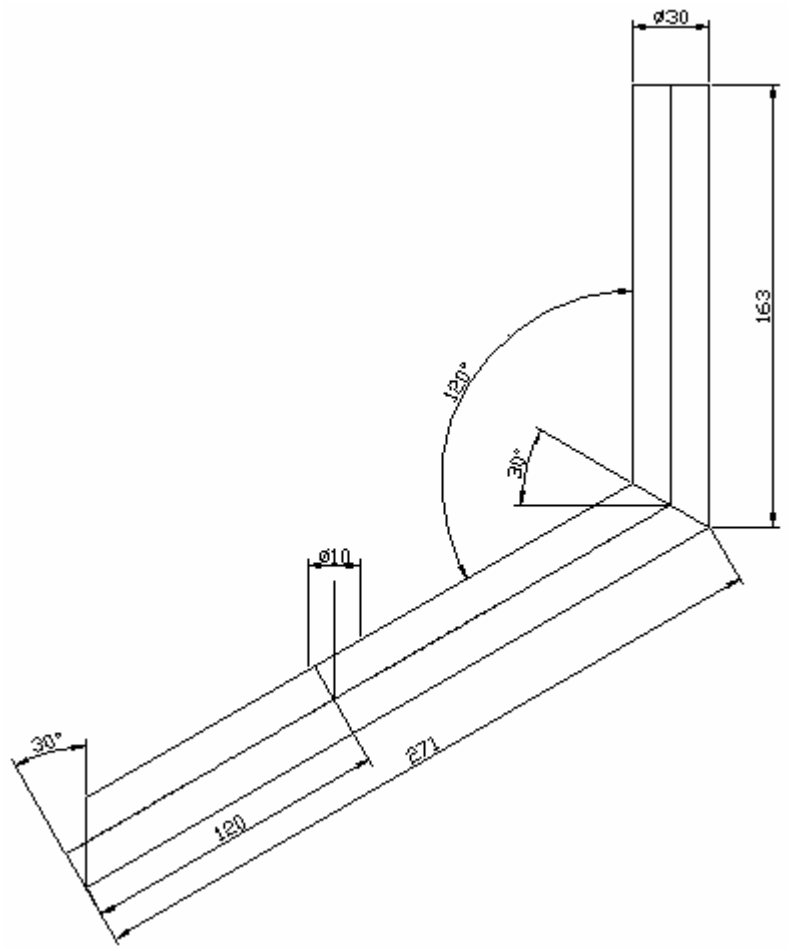
Şekil Ek 2.7. Montaj



Şekil Ek 2.8. Montaj 2



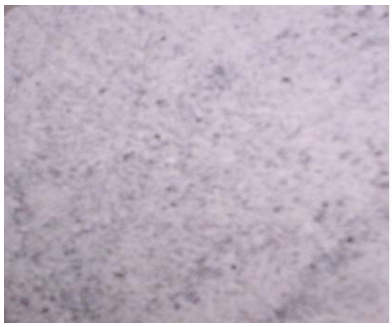
Şekil Ek 2.9. Siklon



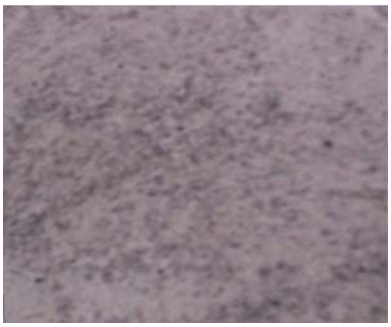
Şekil Ek 2.10. Siklon dönüş borusu

EK-3

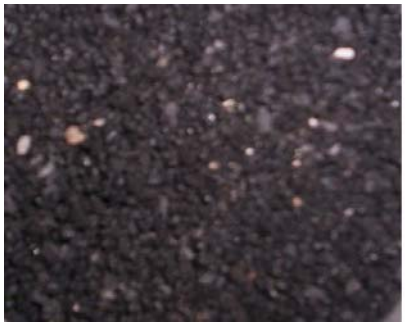
DENEY NUMUNELERİNE AİT FOTOĞRAFLAR



Resim Ek 3.1. Bartın kireçtaşı



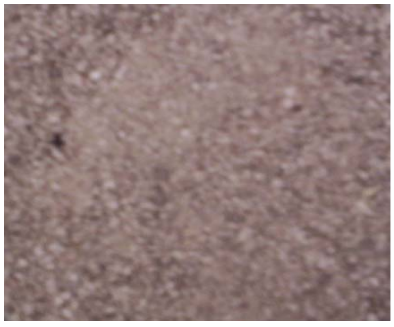
Resim Ek 3.2. Sofular kireçtaşı



Resim Ek 3.3. Yatak külü



Resim Ek 3.4. Yatak külü



Resim Ek 3.5. Cemaltepe kireçtaşı



Resim Ek 3.6. Yatak külü



Resim Ek 3.7. Yatak külü



Resim Ek 3.8. Yatak külü



Resim Ek 3.9. Kireçtaşı, kül karışımı



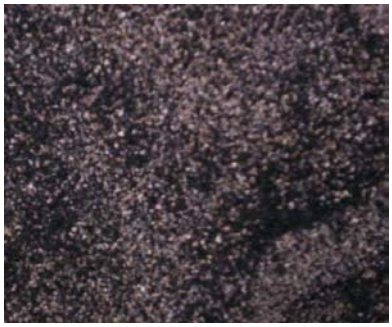
Resim Ek 3.10. Yatak külü



Resim Ek 3.11. Ham haldeki kireçtaşı



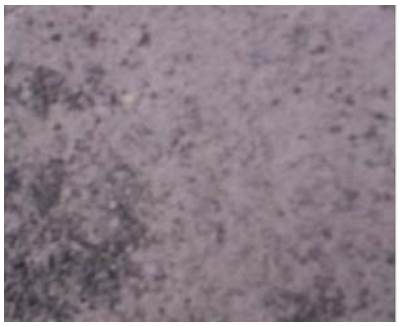
Resim Ek 3.12. Yatak külü



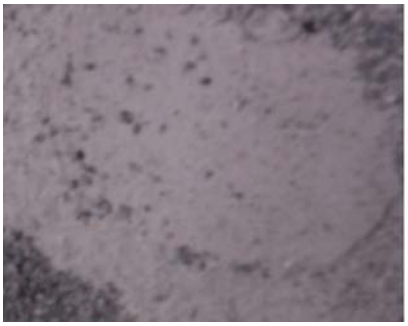
Resim Ek 3.13. Uçucu küldeki karbon kaybı



Resim Ek 3.14. Terzialan kireçtaşı



Resim Ek 3.15. Bozgüç kireçtaşı



Resim Ek 3.16. Bozgüç kireçtaşı



Resim Ek 3.17. Çan Linyiti



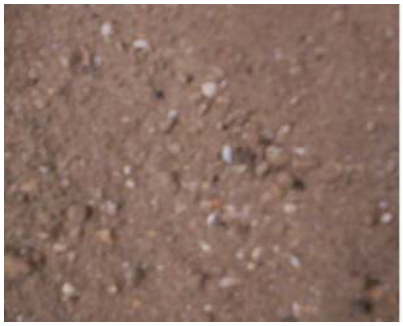
Resim Ek 3.18. Yatak külü



Resim Ek 3.19. Uçucu Kül (Gelik taşkömürü)



Resim Ek 3.20. Tunçbilek Linyiti



Resim Ek 3.21. Uçucu külde CaCO3



Resim Ek 3.22. Sepiyolit

EK-4

BACAGAZI ANALİZİ EXCEL PROGRAMI

Tarih	
Kömür türü	
Kömür part.boyutu	
Kireçtaşı türü	
Kireçtaşı part.boyutu	
Çalışma Sıcaklığı	

Kömür Analizi		
C	0,69	
W	0,03	
KÜL	0,17	
S	0,008	
H	0,03	
O	0,03	
N	0,03	
ÜID	6509,76	
AID	6353,085	
n (HFK)	1,2	

Eğer Kömür İçeriğindeki yanar kükürt bilinmiyor ise					
S (Yanar %100) :					
S (Kömür Bileşeni) :	0	0	0	0	0

Yakıtın Üst Isıl Değeri (ÜID) :	6509,76
Yakıtın Alt Isıl Değeri (AID) :	6353,085
1 kg. yakıtın yanabilmesi için gerekli oksijen miktarı :	2,467392
1 kg. havanın içerdiği oksijen miktarı :	0,233
H/Y (kg-hava/kg-yakıt) :	10,58967
1 kg. yakıt başına oluşan baca gazı miktarı :	11,41967

kg-CO2/kg-Y :	2,52816
kg-H2O/kg-Y :	0,3
kg-SO2/kg-Y :	0,016
kg,O2/kg-Y :	0,411232
kg-N2/kg-Y :	8,152273
kg-baca gazı/kg-Y :	11,40767

BACA ŞARTLARI	
SO2 ppm :	
O2 % :	
CO2 % :	
CO ppm :	
NO ppm :	
CmHn ppm :	

Kireçtaşı Analizi					
CaCO3 :	0,7				
MgCO3 :					
Ca :	0,387	0,387	0,387	0,387	0,387
İnert :					
X (dönüşüm faktörü) :					

RUN #	1	2	3	4	5
Ca miktarı	0,006	0,008	0,01	0,012	0,014
Kireçtaşı Miktarı	0,015504	0672	0,02584	0,031008	0,036176
SO2 kg (baca) :	720	450	300	321	300
R (Reaktivite Index) :	0,75	1	1,25	1,5	1,75
CI (Kapasite Index) :	516	387	309,6	258	221,1429

EK-5

ANALİZ RAPORLARI

TÜBİTAK ATAL

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
ANKARA TEST VE ANALİZ LABORATUVARI

Konya Yolu No:67 0610 0 Beşevler-ANKARA
Telefon: (0312) 212 46 20 ; (0312) 212 62 40 Faks: (0312) 212 37 49
http://www.atal.tubitak.gov.tr

ANALİZ RAPORU
A-3.03-F01/Rev.00

Talep Eden	: Yrd.Doç.Dr. Hüseyin TOPAL	**Rapor No**	: B.02.1.TBT.5.12.00.00/ 597
		Rapor Tarihi	: 16.09.2005
		Proje No	: -
Talep Edenin Adresi	: Gazi Üni.Müh.Mim.Fak. ANKARA	**Numune Geliş Tarihi**	: 15.09.2005
		Numune Geliş Şekli	: (X) Elden ( ) Posta/Kargo
		Numune Sayısı	: 1
Telefon / Faks / e-mail	: 231 74 00 / 24 23	**Analiz Sayısı**	: 1
		Analiz Bitiş Tarihi	: 16.09.2005

Laboratuvar Kayıt No : 811.EA
Dosya Adı : -
Numune Tanımı : Plastik petri kutusu içinde kömür numunesi
Şahit Numune Bilgileri : (x) Müşteriye İade ( ) Şahit Numune Mevcut (x)Şahit Numune Alınmamıştır

RAPOR

Yrd.Doç.Dr. Hüseyin TOPAL tarafından elden ATAL'a getirilen 1 adet numunenin element analizi yapılarak sonuçlar aşağıda verilmiştir. Elementel analiz, **LECO CHNS 932** cihazında yapılmıştır.

Elementler	CRM % (w/w)	CRM Bulunan* %(w/w)	CRM STDEV*(±)
C	Durene (89,49)	89,61	0,08
H	Stearic Acit (12,76)	12,87	0,09
N	Caffeine (28,78)	28,64	0,12
S	Cystine (26,68)	26,80	0,05

- X ± STDEV (n=3 için hesaplanmıştır)

Numune Kodu	%C	%H	%N	%S
ZG001	59,46	4,35	0,9	0,5

Sorumlu İmzalar :
(Ad/Soyad/Ünvan)

Dr. Dilek YALÇIN
Araştırmacı

Faruk ALTUN
ATAL Müdürü (V)

Bu rapor ve sonuçları ATAL'ın yazılı onayı alınmadan ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz.
Sonuçlar testi yapılan ve raporda tanımlanan numunelere aittir.
Test sonuçları bir bütün olarak verildiğinden rapordan bölümler halinde alıntı yapılamaz.
Bu rapor 1 sayfa olup, 1 asıl ve 1 kopya olarak hazırlanmıştır. ATAL haricinde çoğaltılamaz. Sayfa : 1 / 1

Şekil Ek 5.1. Kömür numunesi analiz raporu

T.C.
MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

NUMUNE ANALİZ RAPORU

İstek Sahibi : TC.ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ/ÇEV.MÜH.BÖL. — Ankara ...../...../.....

Lab. No. H39324

Rapor No. 2088

Sipariş No.

İlgi, Proje No, (Kod No) : 04.07.2005 Tarihli yazınız üzere.

Numune-İşareti: Kömür 1 işareti ile gelen numunenin analiz neticesi.

	Analiz Tipleri		Orijinal Numunede	Havada Kuru Numunede	Kuru Numunede	Susuz, Külsüz Numunede
Kısa Analiz	Su	%	1.45		-	
	Kül	%	24.88		25.25	
	Uçucu Madde	%	-		-	
	Sabit Karbon	%	-		-	
	TOPLAM	%	100.00	100.00	100.00	100.00
Kükürtler	Yanar Kükürt	%	0.21		0.21	
	Külde Kükürt	%	0.31		0.32	
	Toplam Kükürt	%	0.52		0.53	
Koklaşma ISO Yöntemiyle	Kok	%	-		-	
	Gaz	%	-		-	
	Koklaşma Özelliği					
Isı Değeri	Aşağı Kalori, Kcal/Kg		-		-	
	Yukarı Kalori, Kcal/Kg		-		-	

Açıklama ve Diğer Analizler :

Klor (Cl) % : 0.022 9/9 (Orjinal numunede)
Kül Yumuşama Derecesi : 1334 C
Kül Ergime Derecesi : 1340 C
Kül Akma Derecesi : 1379 C

22 [illegible] 2005 Saygılarımızla,

Orjinal numunedeki değerler, numunenin laboratuvara geldiği durumdaki değerlerdir.

Form No. N-63/2 (Numuneler numune saklama yönetmeliğine göre saklanır).

Şekil Ek 5.2. Numune analiz raporu

T.C.
MTA Genel Müdürlüğü
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı
Yakıt Laboratuvarları

TC.ORTADOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ÇEV.MÜH.BÖL.

Lab. No. : H-39324
Numune İşareti : Kömür 1 işareti ile gelen numunenin analizi.

ELEMENTER ANALİZ :

Element		Orijinal Numunede	Havada Kuru Numunede	Susuz, Külsüz Numunede
C	%	58.03		78.77
H	%	3.82		5.19
N	%	0.69		0.94
(N+O)	%	-		-
O	%	10.92		14.82
S (yanar)	%	0.21		0.28

DÜŞÜK SICAKLIKTA DESTİLASYON :

.....metodu ile

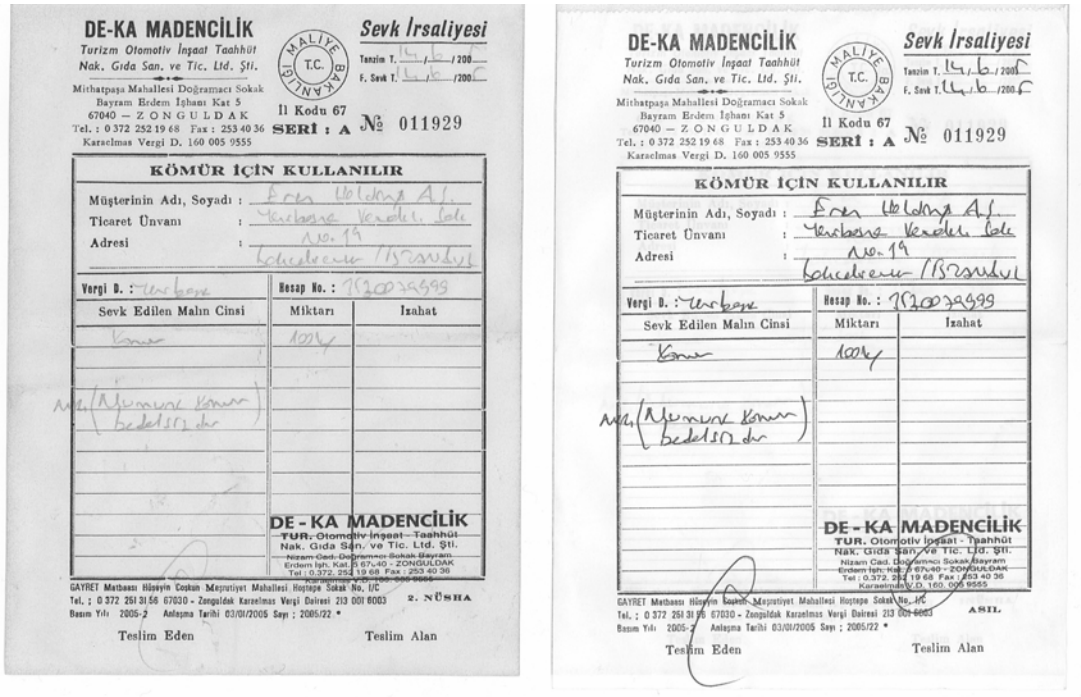
Destilasyon Ürünleri		Orijinal Numunede	Havada Kuru Numunede	Kuru Numunede
Toplam Su (Numune Nemi + Bulma Suyu)	%			
Düşük Sıcaklık Katranı	%			
Düşük Sıcaklık Koku (Kül Dahil)	%			
Bozunma Suyu	%			
Gaz ve Kayıp	%			

AÇIKLAMA : Numune Hazırlama (TS 2390), Nem Analizi (ISO 5068), Ucucu Madde (ISO562), Kül Analizi (ISO158), Kükürt Analizi (ASTM 4239), Kül Ergime Analizi(ASTM-D 1857), Elementer Analiz (ISO 609), Standartlarına göre yapılmıştır.

Form No : E-88/1

26 Temmuz 2005

Şekil Ek 5.3. Numune analiz raporu



DE-KA MADENCİLİK
Turizm Otomotiv İnşaat Taahhüt Nak. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Mithatpaşa Mahallesi Doğramacı Sokak Bayram Erdem İşhanı Kat 5
67040 — Z O N G U L D A K
Tel. : 0 372 252 19 68 Fax : 253 40 36
Karaelmas Vergi D. 160 005 9555

Sevk İrsaliyesi
Tanzim T. 14 / 6 / 2005
F. Sevk T. 14 / 6 / 2005
İl Kodu 67
SERİ : A № 011929

KÖMÜR İÇİN KULLANILIR

Müşterinin Adı, Soyadı : Eren Holding A.Ş.
Ticaret Ünvanı : Yenibosna Karakli Sok
Adresi : No. 19 Bahçelievler / İstanbul

Vergi D. : Yenibosna	Hesap No. : 3520079999	
Sevk Edilen Malın Cinsi	Miktarı	İzahat
Kömür	100 kg	
Num. (Numune Kömür bedelsizdir)		

DE-KA MADENCİLİK
TUR. Otomotiv İnşaat - Taahhüt Nak. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Nizam Cad. Doğramacı Sokak Bayram Erdem Işh. Kat 5 67040 - ZONGULDAK
Tel : 0 372 252 19 68 Fax : 253 40 36
Karaelmas V. D. 160 005 9555

GAYRET Matbaası Hüseyin Coşkun Meşrutiyet Mahallesi Hoştepe Sokak No. 1/C
Tel. : 0 372 251 31 56 67030 - Zonguldak Karaelmas Vergi Dairesi 213 001 6003
Basım Yılı 2005-2 Anlaşma Tarihi 03/01/2005 Sayı : 2005/22 •

2. NÜSHA

Teslim Eden Teslim Alan

DE-KA MADENCİLİK
Turizm Otomotiv İnşaat Taahhüt Nak. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Mithatpaşa Mahallesi Doğramacı Sokak Bayram Erdem İşhanı Kat 5
67040 — Z O N G U L D A K
Tel. : 0 372 252 19 68 Fax : 253 40 36
Karaelmas Vergi D. 160 005 9555

Sevk İrsaliyesi
Tanzim T. 14 / 6 / 2005
F. Sevk T. 14 / 6 / 2005
İl Kodu 67
SERİ : A № 011929

KÖMÜR İÇİN KULLANILIR

Müşterinin Adı, Soyadı : Eren Holding A.Ş.
Ticaret Ünvanı : Yenibosna Karakli Sok
Adresi : No. 19 Bahçelievler / İstanbul

Vergi D. : Yenibosna	Hesap No. : 3520079999	
Sevk Edilen Malın Cinsi	Miktarı	İzahat
Kömür	100 kg	
Num. (Numune Kömür bedelsizdir)		

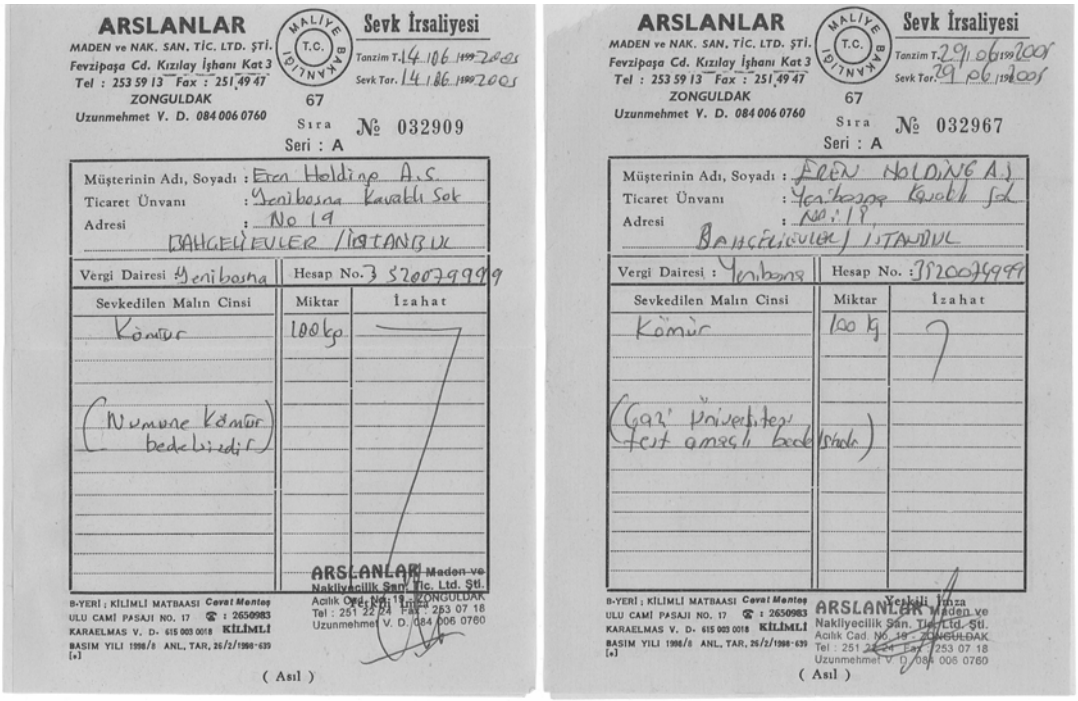
DE-KA MADENCİLİK
TUR. Otomotiv İnşaat - Taahhüt Nak. Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti.
Nizam Cad. Doğramacı Sokak Bayram Erdem Işh. Kat 5 67040 - ZONGULDAK
Tel : 0 372 252 19 68 Fax : 253 40 36
Karaelmas V. D. 160 005 9555

GAYRET Matbaası Hüseyin Coşkun Meşrutiyet Mahallesi Hoştepe Sokak No. 1/C
Tel. : 0 372 251 31 56 67030 - Zonguldak Karaelmas Vergi Dairesi 213 001 6003
Basım Yılı 2005-2 Anlaşma Tarihi 03/01/2005 Sayı : 2005/22 •

ASIL

Teslim Eden Teslim Alan

Şekil Ek 5.4. Numune analiz raporları



ARSLANLAR
MADEN ve NAK. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
Fevzipaşa Cd. Kızılay İşhanı Kat 3
Tel : 253 59 13 Fax : 251 49 47
ZONGULDAK
Uzunmehmet V. D. 084 006 0760

Sevk İrsaliyesi
Tanzim T. 14/06/2005
Sevk Tar. 14/06/2005
67
Sıra № 032909
Seri : A

Müşterinin Adı, Soyadı : Eren Holding A.S.
Ticaret Ünvanı : Yenibosna Karakli Sok
Adresi : No 19 BAHCELIEVLER / ISTANBUL

Vergi Dairesi Yenibosna	Hesap No. 3 520079999	
Sevkedilen Malın Cinsi	Miktar	İzahat
Kömür	100kg	
(Numune Kömür bedelsizdir)		

ARSLANLAR Maden ve Nakliyecilik San. Tic. Ltd. Şti.
Acılık Cad. No: 19 ZONGULDAK
Tel : 251 22 24 Fax : 253 07 18
Uzunmehmet V. D. 084 006 0760

B-YERİ ; KİLİMLİ MATBAASI Cevat Mantaş
ULU CAMİ PASAJI NO. 17 ☎ : 2650983
KARAELMAS V. D- 615 003 0018 KİLİMLİ
BASIM YILI 1998/8 ANL. TAR. 26/2/1998-639
[•]

(Asıl)

ARSLANLAR
MADEN ve NAK. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
Fevzipaşa Cd. Kızılay İşhanı Kat 3
Tel : 253 59 13 Fax : 251 49 47
ZONGULDAK
Uzunmehmet V. D. 084 006 0760

Sevk İrsaliyesi
Tanzim T. 29/06/2005
Sevk Tar. 29/06/2005
67
Sıra № 032967
Seri : A

Müşterinin Adı, Soyadı : EREN HOLDİNG A.Ş.
Ticaret Ünvanı : Yenibosna Karakli Sok
Adresi : No: 19 BAHCELIEVLER / ISTANBUL

Vergi Dairesi : Yenibosna	Hesap No. : 3520079999	
Sevkedilen Malın Cinsi	Miktar	İzahat
Kömür	100 kg	
(Gaz Üniversitesi Test amaçlı bedelsizdir)		

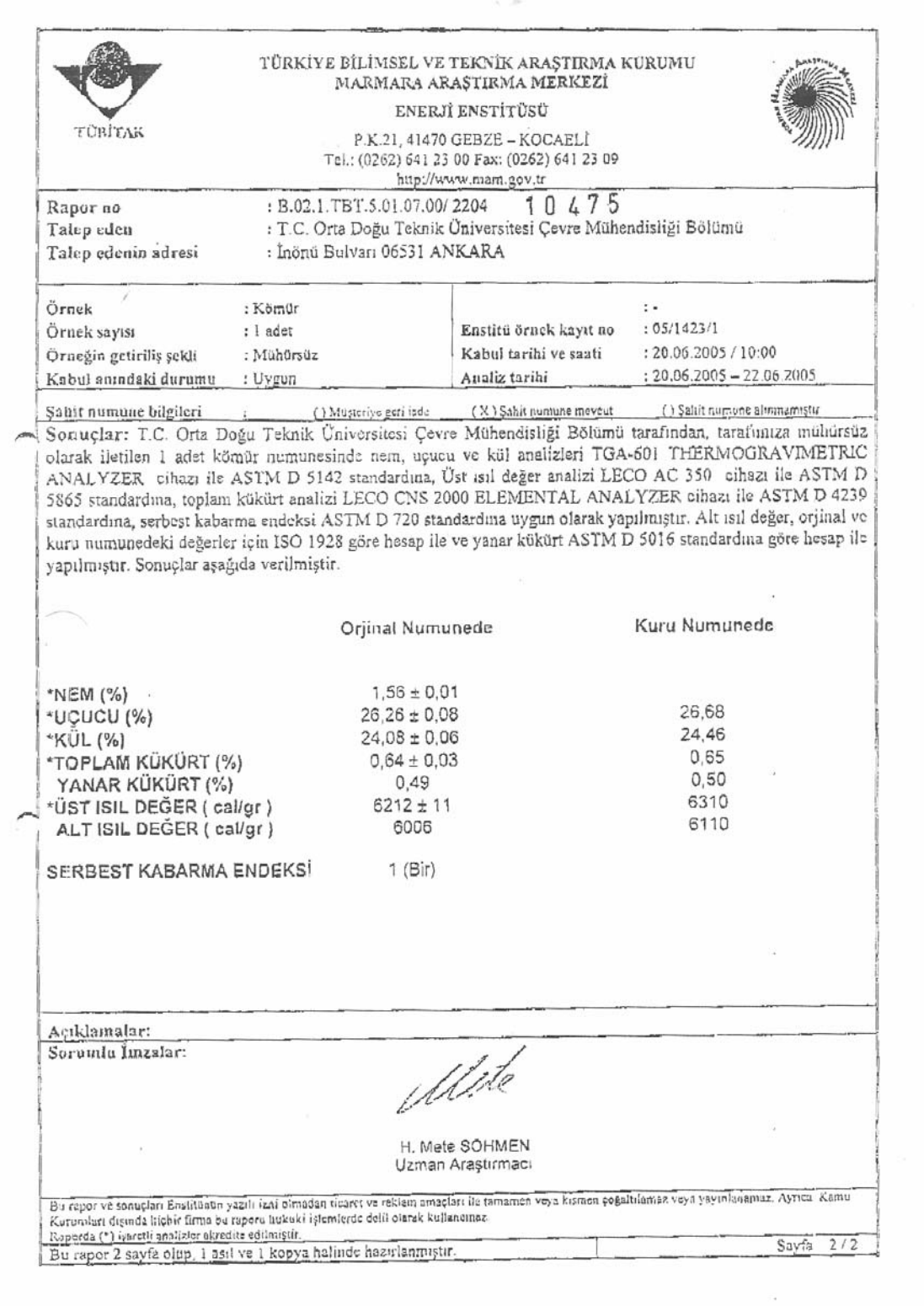
ARSLANLAR Maden ve Nakliyecilik San. Tic. Ltd. Şti.
Acılık Cad. No: 19 ZONGULDAK
Tel : 251 22 24 Fax : 253 07 18
Uzunmehmet V. D. 084 006 0760

B-YERİ ; KİLİMLİ MATBAASI Cevat Mantaş
ULU CAMİ PASAJI NO. 17 ☎ : 2650983
KARAELMAS V. D- 615 003 0018 KİLİMLİ
BASIM YILI 1998/8 ANL. TAR. 26/2/1998-639
[•]

Yetkili İmza

(Asıl)

Şekil Ek 5.5. Numune analiz raporları



TÜRİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
ENERJİ ENSTİTÜSÜ
P.K.21, 41470 GEBZE – KOCAELİ
Tel.: (0262) 641 23 00 Fax: (0262) 641 23 09
http://www.mam.gov.tr

Rapor no : B.02.1.TBT.5.01.07.00/ 2204 10475
Talep eden : T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü
Talep edenin adresi : İnönü Bulvarı 06531 ANKARA

Örnek	: Kömür		: -
Örnek sayısı	: 1 adet	Enstitü örnek kayıt no	: 05/1423/1
Örneğin getiriliş şekli	: Mühürsüz	Kabul tarihi ve saati	: 20.06.2005 / 10:00
Kabul anındaki durumu	: Uygun	Analiz tarihi	: 20.06.2005 – 22.06.2005

Şahit numune bilgileri : ( ) Müşteriye geri iade (X) Şahit numune mevcut ( ) Şahit numune alınmamıştır

Sonuçlar: T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından, tarafımıza mühürsüz olarak iletilen 1 adet kömür numunesinde nem, uçucu ve kül analizleri TGA-601 THERMOGRAVIMETRIC ANALYZER cihazı ile ASTM D 5142 standardına, Üst ısıl değer analizi LECO AC 350 cihazı ile ASTM D 5865 standardına, toplam kükürt analizi LECO CNS 2000 ELEMENTAL ANALYZER cihazı ile ASTM D 4239 standardına, serbest kabarma endeksi ASTM D 720 standardına uygun olarak yapılmıştır. Alt ısıl değer, orjinal ve kuru numunedeki değerler için ISO 1928 göre hesap ile ve yanar kükürt ASTM D 5016 standardına göre hesap ile yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda verilmiştir.

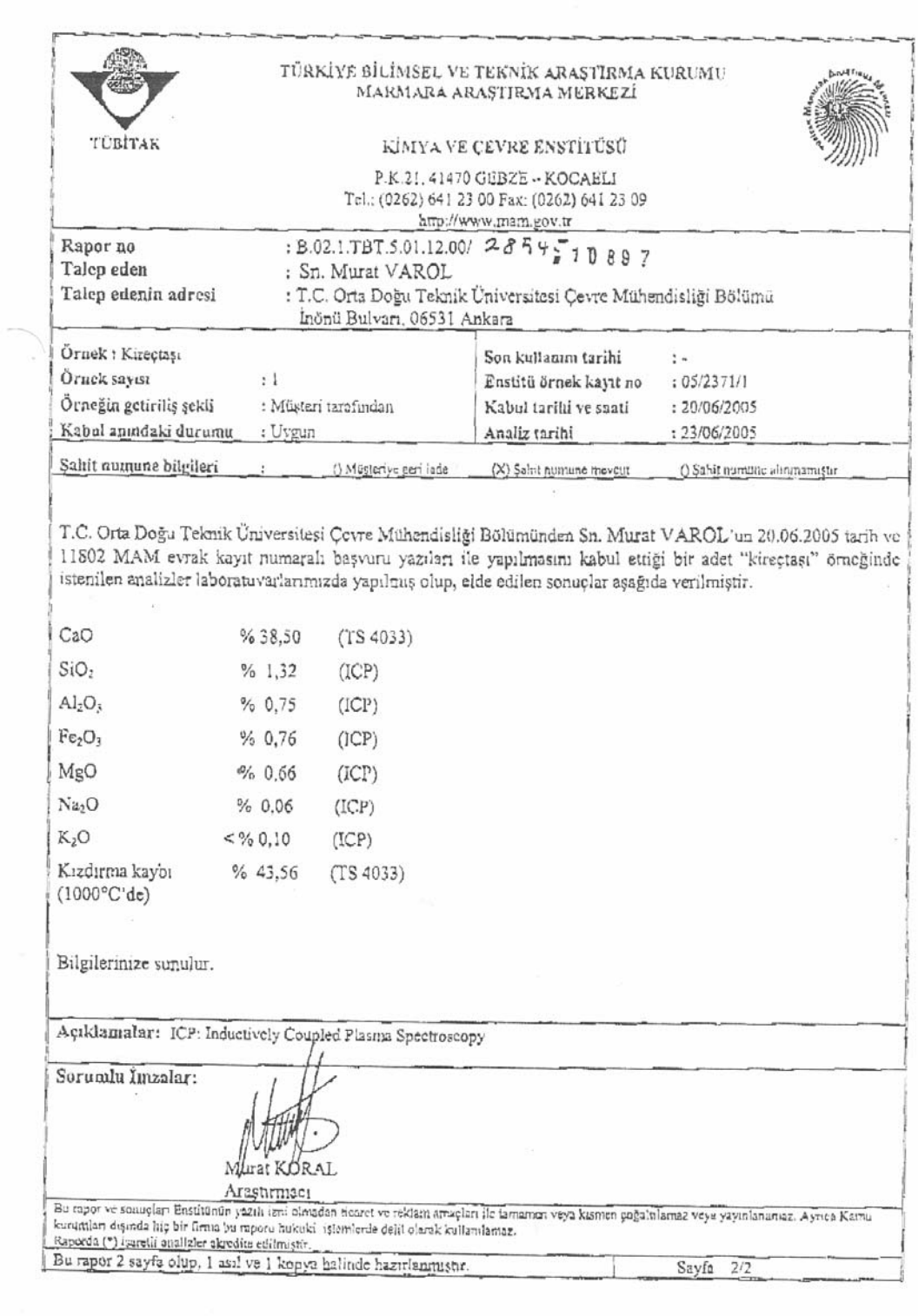
	Orjinal Numunede	Kuru Numunede
*NEM (%)	1,56 ± 0,01	
*UÇUCU (%)	26,26 ± 0,08	26,68
*KÜL (%)	24,08 ± 0,06	24,46
*TOPLAM KÜKÜRT (%)	0,64 ± 0,03	0,65
YANAR KÜKÜRT (%)	0,49	0,50
*ÜST ISIL DEĞER (cal/gr)	6212 ± 11	6310
ALT ISIL DEĞER (cal/gr)	6006	6110
SERBEST KABARMA ENDEKSİ	1 (Bir)	

Açıklamalar:
Sorumlu İmzalar:

H. Mete SÖHMEN
Uzman Araştırmacı

Bu rapor ve sonuçları Enstitünün yazılı izni olmadan ticaret ve reklam amaçları ile tamamen veya kısmen çoğaltılamaz veya yayınlanamaz. Ayrıca Kamu Kurumları dışında hiçbir firma bu raporu hukuki işlemlerde delil olarak kullanamaz.
Raporda (*) işaretli analizler akredite edilmiştir.
Bu rapor 2 sayfa olup, 1 asıl ve 1 kopya halinde hazırlanmıştır. Sayfa 2 / 2

Şekil Ek 5.6. Numune analiz raporu



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

TÜBİTAK

KİMYA VE ÇEVRE ENSTİTÜSÜ

P.K.21, 41470 GEBZE - KOCAELİ
Tel.: (0262) 641 23 00 Fax: (0262) 641 23 09
http://www.mam.gov.tr

Rapor no	: B.02.1.TBT.5.01.12.00/ 2854-10897
Talep eden	: Sn. Murat VAROL
Talep edenin adresi	: T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü İnönü Bulvarı, 06531 Ankara

Örnek : Kireçtaşı		Son kullanım tarihi	: -
Örnek sayısı	: 1	Enstitü örnek kayıt no	: 05/2371/1
Örneğin getiriliş şekli	: Müşteri tarafından	Kabul tarihi ve saati	: 20/06/2005
Kabul anındaki durumu	: Uygun	Analiz tarihi	: 23/06/2005

Şahit numune bilgileri : ( ) Müşteriye geri iade (X) Şahit numune mevcut ( ) Şahit numune alınmamıştır

T.C. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Sn. Murat VAROL'un 20.06.2005 tarih ve 11802 MAM evrak kayıt numaralı başvuru yazıları ile yapılmasını kabul ettiği bir adet "kireçtaşı" örneğinde istenilen analizler laboratuvarlarımızda yapılmış olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

CaO	% 38,50	(TS 4033)
SiO_2	% 1,32	(ICP)
Al_2O_3	% 0,75	(ICP)
Fe_2O_3	% 0,76	(ICP)
MgO	% 0,66	(ICP)
Na_2O	% 0,06	(ICP)
K_2O	< % 0,10	(ICP)
Kızdırma kaybı (1000°C'de)	% 43,56	(TS 4033)

Bilgilerinize sunulur.

Açıklamalar: ICP: Inductively Coupled Plasma Spectroscopy

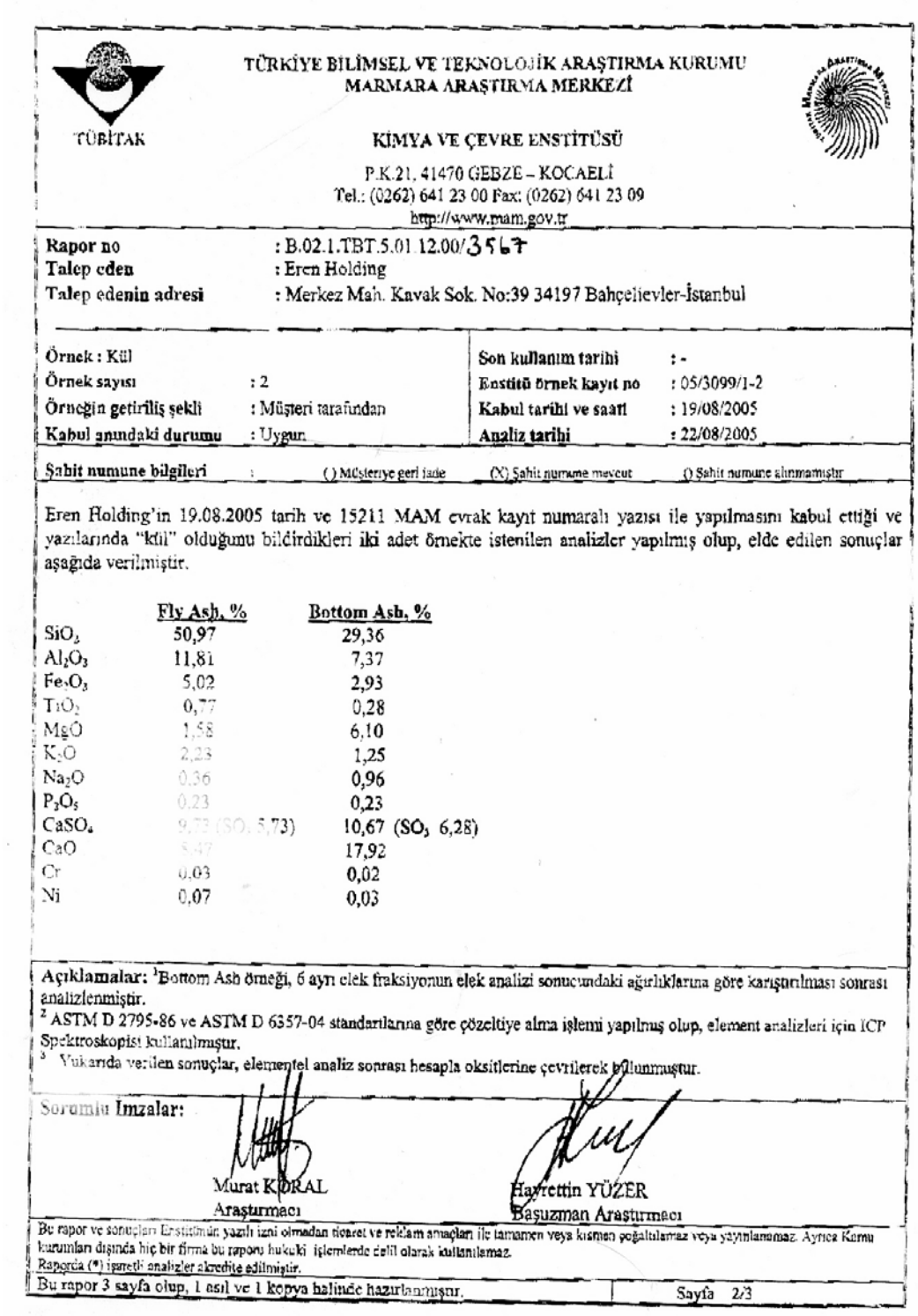
Sorumlu İmzalar:

Murat KORAL
Araştırmacı

Bu rapor ve sonuçları Enstitünün yazılı izni olmadan ticaret ve reklam amaçları ile tamamen veya kısmen çoğaltılamaz veya yayınlanamaz. Ayrıca Kamu kurumları dışında hiç bir firma bu raporu hukuki işlemlerde delil olarak kullanamaz.
Raporda (*) işaretli analizler akredite edilmiştir.

Bu rapor 2 sayfa olup, 1 asıl ve 1 kopya halinde hazırlanmıştır. Sayfa 2/2

Şekil Ek 5.7. Kireçtaşı analiz raporu



TÜBİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ

KİMYA VE ÇEVRE ENSTİTÜSÜ

P.K.21, 41470 GEBZE – KOCAELİ
Tel.: (0262) 641 23 00 Fax: (0262) 641 23 09
http://www.mam.gov.tr

Rapor no : B.02.1.TBT.5.01 12.00/3567
Talep eden : Eren Holding
Talep edenin adresi : Merkez Mah. Kavak Sok. No:39 34197 Bahçelievler-İstanbul

Örnek : Kül		**Son kullanım tarihi**	: -
Örnek sayısı	: 2	**Enstitü örnek kayıt no**	: 05/3099/1-2
Örneğin getiriliş şekli	: Müşteri tarafından	**Kabul tarihi ve saati**	: 19/08/2005
Kabul anındaki durumu	: Uygun	**Analiz tarihi**	: 22/08/2005

Şahit numune bilgileri : ( ) Müşteriye geri iade (X) Şahit numune mevcut ( ) Şahit numune alınmamıştır

Eren Holding'in 19.08.2005 tarih ve 15211 MAM evrak kayıt numaralı yazısı ile yapılmasını kabul ettiği ve yazılarında "kül" olduğunu bildirdikleri iki adet örnekte istenilen analizler yapılmış olup, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

	Fly Ash, %	Bottom Ash, %
SiO_2	50,97	29,36
Al_2O_3	11,81	7,37
Fe_2O_3	5,02	2,93
TiO_2	0,77	0,28
MgO	1,58	6,10
K_2O	2,23	1,25
Na_2O	0,36	0,96
P_2O_5	0,23	0,23
$CaSO_4$	9,73 (SO_3 5,73)	10,67 (SO_3 6,28)
CaO	5,47	17,92
Cr	0,03	0,02
Ni	0,07	0,03

Açıklamalar: [1]Bottom Ash örneği, 6 ayrı elek fraksiyonun elek analizi sonucundaki ağırlıklarına göre karıştırılması sonrası analizlenmiştir.
[2] ASTM D 2795-86 ve ASTM D 6357-04 standartlarına göre çözeltiye alma işlemi yapılmış olup, element analizleri için ICP Spektroskopisi kullanılmıştır.
[3] Yukarıda verilen sonuçlar, elementel analiz sonrası hesapla oksitlerine çevrilerek bulunmuştur.

Sorumlu İmzalar:

Murat KORAL
Araştırmacı

Hayrettin YÜZER
Başuzman Araştırmacı

Bu rapor ve sonuçları Enstitünün yazılı izni olmadan ticaret ve reklam amaçları ile tamamen veya kısmen çoğaltılamaz veya yayınlanamaz. Ayrıca Kamu kurumları dışında hiç bir firma bu raporu hukuki işlemlerde delil olarak kullanılamaz.
Raporda (*) işaretli analizler akredite edilmiştir.

Bu rapor 3 sayfa olup, 1 asıl ve 1 kopya halinde hazırlanmıştır. Sayfa 2/3

Şekil Ek 5.8. Kül örneği analiz raporu

TÜBİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
KİMYA VE ÇEVRE ENSTİTÜSÜ
P.K.21, 41470 GEBZE – KOCAELİ
Tel.: (0262) 641 23 00 Fax. (0262) 641 23 09
http://www.mam.gov.tr

Rapor no : B.02.1.TBT.5.01.12.00/ 3567

	Fly Ash, %	Bottom Ash, %
Cu	0,03	0,01
Mn	0,09	0,07
Ba	0,10	0,05
Sr	0,05	0,07
Zn	0,08	0,04
Cd*	< 0,005	< 0,005
Co*	< 0,005	< 0,005
Pb*	< 0,01	< 0,01
Kızdırma Kaybı (550°C'de)		6,50

Bilgilerinize sunulur.

Açıklamalar: * Sonuçlar, tayinlerde kullanılan ICP Spektroskopisinin hassasiyet sınır değeri üzerinden hesaplanmış olup, bu değerin altındadır.

Sorumlu İmzalar:

Murat KORAL
Araştırmacı

Hayrettin YÜZER
Başuzman Araştırmacı

Bu rapor ve sonuçları Enstitünün yazılı izni olmadan ticaret ve reklam amaçlar. ile tamamen veya kısmen çoğaltılamaz veya yayımlanamaz. Ayrıca Kurtu kurumları dışında hiç bir firma bu raporu hukuki işlemlerde delil olarak kullanılamaz.
Raporde (*) işaretli analizler akredite edilmiştir.

Bu rapor 3 sayfa olup, 1 asıl ve 1 kopya halinde hazırlanmıştır. Sayfa 3/3

Şekil Ek 5.9. Kül örneği analiz raporu

EK-6

HAVA BESLEME SİSTEMİ İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR

DAY yakma sistemine hava üç noktadan verilmektedir. Bunlar; dağıtıcı plaka altından akışkanlaşma ve yanma havası olarak I.hava, ana siklondan geri gelen katı partiküllerin sisteme geri beslenmesi amacıyla II.hava ve yakıt besleme hattında yakıt ve adsorbent maddelerin pnömatik taşımasında kullanılan III.havadır. Yatağa hava besleyen her bir hava besleme hattının üzerinde bulunan birer orifis plakası kullanılarak ilgili hattan geçmekte olan hava debisi ölçülmektedir.

Fandan beslenen oda sıcaklığındaki hava her bir hava besleme hattından orifis plakaları üzerinden geçerken oluşan basınç farkları, birer adet eğik manometre kullanılarak ölçülmüştür. Türbünlü gaz hızı ölçerler kullanılarak orifis plakalarının kalibrasyon eğrileri çıkartılmıştır.

Farklı çalışma koşullarında işletme hızları da farlı olacak biçimde hesaplanarak yatağa beslenmektedir. Her bir orifis plaka ile ölçülen hava hızları aşağıda Çizelge Ek 6.1'de verilmektedir.

I.hava için;
Boru çapı = 101,6 mm ; Alan = $8{,}107 \times 10^{-3}$ m^2
Orifis çapı = 62 mm ; Alan = $3{,}019 \times 10^{-3}$ m^2
Havanın yoğunluğu, $\rho_g = 1{,}16$ kg/m^3

Çizelge Ek 6.1. Değişik akışkanlaşma rejimlerinde I.,II. ve III. hava hızları

I.HAVA			**II.HAVA**			**III.HAVA**		
U_O(m/s)	P(mmSS)	P(mbar)	U_O(m/s)	P(mmSS)	P(mbar)	U_O(m/s)	P(mmSS)	P(mbar)
0,2	0,05	0,005	0,2	0,05	0,005	0,2	0,06	0,006
0,3	0,11	0,011	0,3	0,11	0,011	0,3	0,13	0,013
0,4	0,19	0,019	0,4	0,20	0,020	0,4	0,23	0,023
0,5	0,30	0,030	0,5	0,31	0,031	0,5	0,35	0,035
0,6	0,44	0,044	0,6	0,45	0,045	0,6	0,51	0,051
0,7	0,59	0,059	0,7	0,62	0,062	0,7	0,69	0,069
0,8	0,78	0,078	0,8	0,80	0,080	0,8	0,90	0,090
0,9	0,98	0,098	0,9	1,02	0,102	0,9	1,14	0,114
1,0	1,21	0,121	1,0	1,26	0,126	1,0	1,41	0,141
1,1	1,47	0,147	1,1	1,52	0,152	1,1	1,70	0,170
1,2	1,75	0,175	1,2	1,81	0,181	1,2	2,03	0,203
1,3	2,05	0,205	1,3	2,13	0,213	1,3	2,38	0,238
1,4	2,38	0,238	1,4	2,46	0,246	1,4	2,76	0,276
1,5	2,73	0,273	1,5	2,83	0,283	1,5	3,16	0,316
1,6	3,10	0,310	1,6	3,22	0,322	1,6	3,60	0,360
1,7	3,51	0,351	1,7	3,63	0,363	1,7	4,06	0,406
1,8	3,93	0,393	1,8	4,07	0,407	1,8	4,56	0,456
1,9	4,38	0,438	1,9	4,54	0,454	1,9	5,08	0,508
2,0	4,85	0,485	2,0	5,03	0,503	2,0	5,68	0,563

EK-7

AKIŞKANLAŞMA İLE İLGİLİ TEMEL PARAMETRELER, HİDRODİNAMİK TASARIM VE YANMA KAYBI HESAPLAMALARI

Sıcak ve soğuk modellere ait bazı sistem parametreleri, yatak malzemesi özellikleri ve akışkan ortam özellikleri Çizelge Ek 7.1'de verilmiştir. Deney sistemlerine ait temel hidrodinamik hesaplamalarında çizelgede verilen parametreler ve kabuller referans alınarak kullanılmıştır.

Çizelge Ek 7.1. Sıcak ve soğuk model DAY temel parametreler ve kabuller

	SICAK MODEL (850 °C)	**SOĞUK MODEL (25 °C)**
Yakıt türü	Tunçbilek linyiti	-
Yatak malzemesi	Silis kumu, kireçtaşı, kömür külü	Şist, kireçtaşı, dolamit, silis kumu, demir tozu, demir bilyeler
Partikül çapı (d_p)	0,30-1,38 mm	80 – 600 μm
Şekil faktörü (ϕ)	0,86	0,25-1,0
Ortalama. Partikül yoğ.(ρ_p)	1740-2400 kg/m^3	2400-8250 kg/m^3
İşletme hızı (U_o)	3,0-9,28 m/s	1,5 – 6,0 m/s
Hava yoğunluğu (ρ)	0,315 kg/m^3	1,16 kg/m^3
Hava viskozitesi (μ)	4,39*10^{-5} N.s/m^2	1,83*10^{-5} N.s/m^2

Minimum akışkanlaşma hızı hesabı (U_{mf}):

Akışkan yataklarda minimum akışkanlaşma hızının hesabında, sabit bir dolgulu kolon boyunca basınç düşüşünün bulunduğu Ergun denklemi en temel eşitliktir. Daha sonra araştırmacılar bu eşitliği kullanarak U_{mf} için yeni tanımlamalar getirmişlerdir.

Bir akışkan yatağın hidrodinamiğinin belirlenmesinde U_{mf} en önemli parametredir. U_{mf} deneysel olarak belirlenebileceği gibi, direkt ölçümü mümkün olmadığında fiziksel ve geometrik büyüklüklerden oluşan bir dizi korelasyon vardır. Bu çalışmada U_{mf} çeşitli korelasyonlar ile hesaplanarak bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Korelasyonlardan U_{mf} in hesabı:

Sıcak ve soğuk model DAY deney düzeneklerinde minimum akışkanlaşma hızı hesabında Kunii ve Levenspiel, Wen ve Yu, Saxena ve Vogel, Thonglimp et al. ve Leva, korelasyonları kullanılmıştır.

Hem küresel hem de biçimsiz taneciklerde Re_{mf} için türetilmiş korelasyonlar oldukça zengindir. Bu korelasyonları kullanırken elde edildikleri şartlara dikkat edilmelidir.

d_p= 0,5 mm , ρ_p=2400 kg/m^3

i) Kunii ve Levenspiel

$$\frac{1,75}{\varepsilon_{mf}^{\ 3}\varphi_s}\left(\frac{d_p U_{mf}\rho_g}{\mu_g}\right)^2+\frac{150(1-\varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^{\ 3}\varphi_s^{\ 2}}\left(\frac{d_p U_{mf}\rho_g}{\mu_g}\right)=\frac{d_p^{\ 3}\rho_g(\rho_p-\rho_g)g}{\mu_g^{\ 2}}$$

U_{mf}= 0,185 m/s

ii) Wen ve Yu korelasyonu:

$$U_{mf}=\frac{\mu}{\rho_g d_p}\left[(1135,7+0,0408\mathrm{Ar})^{0,5}-33,7\right]$$

$$\mathrm{Ar}=\rho_g dp^3(\rho_p-\rho_g)g/\mu^2$$

Ar= 10189,11 , U_{mf}=0,179 m/s

iii) Leva Korelasyonu:

$$U_{mf} = \frac{1{,}1 \times 10^{-3} d_p^{1{,}82} \left(\rho_p - \rho_g\right)^{0{,}94} g^{0{,}94}}{\mu^{0{,}88} \rho_g^{0{,}06}} = 0{,}203$$

iv) Thonglimp ve ark. Korelasyonu:

$$Re_{mf} = U_{mf} d_p \rho_g / \mu$$

$$Re_{mf} = \left[31{,}6^2 + 0{,}0425 Ar\right]^{0{,}5} - 31{,}6$$

Re=6,236

U_{mf}=0,198 m/s

Her dört korelasyonun ortalaması alınırsa U_{mf}=0,191 m/s olarak belirlenir.

Terminal hız hesabı (U_t):

DAY tasarım ve işletilmesinde en önemli parametre terminal hızdır. Kabarcıklı akışkan yataklarda işletme hızı U_{mf} ile U_t arasında, dolaşımlı akışkan yataklarda ise işletme hızı terminal hızın üzerinde olmalıdır. DAY'larda terminal hızın belirlenmesinde en iyi sonuç veren Perales korelasyonu kullanılmıştır. Buna göre:

$$U_t = \frac{1{,}45\, \mu\, Ar^{0{,}484}}{\rho_g d_p}$$

<u>Sıcak modelde;</u>

- 700 μm yatak malzemesi için U_t= 3,89 m/s
- 470 μm kireçtaşı(ρ_p= 2200 kg/m^3, ε_{mf}=0,29) partikülleri için

Ar= 366, U_{mf}= 0,07 m/s, U_t= 7,48 m/s

Soğuk modelde;

- 500 μm yatak malzemesi için U_t= 3,61 m/s
- 552 μm şist partikülleri için U_t= 3,88 m/s
- 400 μm kireçtaşı (ρ_p= 2200 kg/m3, ε_{mf}=0,29) partikülleri için

Ar= 5070, U_{mf}= 0,124 m/s, U_t= 3,4 m/s

- 234 μm silis kumu (ρ_p= 2400 kg/m^3) partikülleri için

U_{mf}= 0,04 m/s, U_t= 2,20 m/s

- 154 μm silis kumu(ρ_p= 2400 kg/m^3) partikülleri için

U_{mf}= 0,014 m/s, U_t= 1,92 m/s olarak belirlenmiştir.

Yanma Kayıpları :

$$K_{CO} = \frac{V_g\left[\frac{Nm^3 - G}{kg - Y}\right] * CO\left[\frac{Nm^3 - CO}{Nm^3 - G}\right] * H_{uCO}\left[\frac{kcal}{Nm^3 - CO}\right]}{Hu\left[\frac{kcal}{kg - Y}\right]}$$

$$K_{C_mH_n} = \frac{V_g\left[\frac{Nm^3 - G}{kg - Y}\right] * C_mH_n\left[\frac{Nm^3 - C_mH_n}{Nm^3 - G}\right] * H_{uCmHn}\left[\frac{kcal}{Nm^3 - C_mH_n}\right]}{Hu\left[\frac{kcal}{kg - Y}\right]}$$

$$K_C = \frac{F\left[\frac{kg - Kül}{h}\right] * b\left[\frac{kg - C}{kg - Kül}\right] * H_{uKok}\left[\frac{kcal}{kg - Kok}\right]}{My\left[\frac{kg - Y}{h}\right] * Hu\left[\frac{kcal}{kg - Y}\right]}$$

$$\eta_Y = 1 - (K_{CO} + K_{C_mH_n} + K_C)$$

$$H_{uCmHn} = 8500\left[\frac{kcal}{Nm^3 - C_m H_n}\right] \quad H_{uCO} = 3020\left[\frac{kcal}{Nm^3 - CO}\right] \quad H_{uKok} = 8100\left[\frac{kcal}{kg - Kok}\right]$$

ε_{mf} = Min. Boşluk Kesri (Min. Hıza Göre)

μ_g = Gazın Viskozitesi

ρ_g = Gaz Yoğunluğu

φ_s = Şekil Faktörü

d_p = Ort. Partikül Çapı

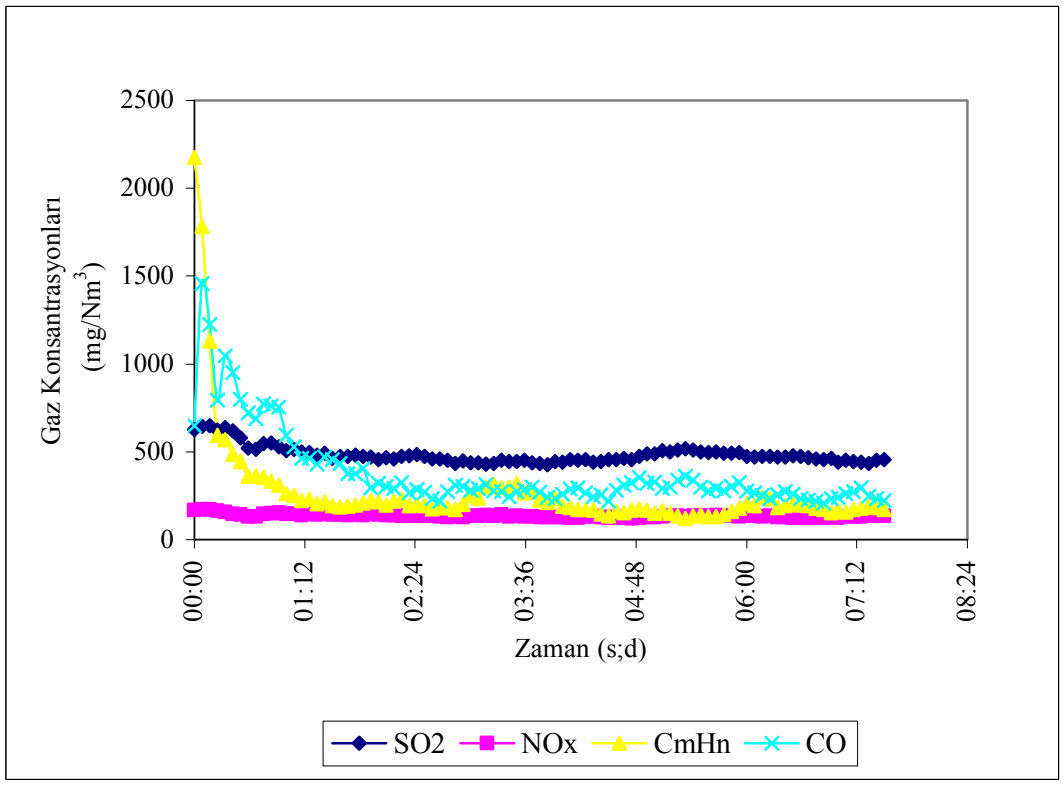
EK-8

DENEY SONUÇLARI

Yakma Testi : 1
Ca/S : 1,5
Kömür
Başlama Saati : 11:36

Zaman s;d	O_2	N	CO_2	CO	C_mH_n	NO_x	SO_2	CO	C_mH_n	NO_x	SO_2
	%			**ppm**				**mg/Nm^3**			
00:00	10,4	1,9811	9,80	70	410	89	155	650	2177	169	627
00:05	10,2	1,9444	10,00	160	342	92	162	1457	1781	171	643
00:10	10,3	1,9626	9,90	133	215	91	162	1223	1131	171	649
00:15	10,0	1,9091	10,20	89	116	90	160	795	592	164	624
00:20	10,1	1,9266	10,00	116	110	84	162	1046	567	155	637
00:25	9,7	1,8584	10,50	110	98	82	163	953	485	146	619
00:30	9,5	1,8261	10,70	94	92	81	155	797	446	142	578
00:35	8,4	1,6667	11,80	96	84	83	153	720	360	132	521
00:40	8,3	1,6535	11,70	93	86	84	152	689	364	133	513
00:45	9,2	1,7797	10,80	94	75	86	150	772	352	146	545
00:50	9,0	1,7500	11,00	95	72	89	154	763	331	149	550
00:55	8,7	1,7073	11,30	97	70	94	152	753	311	154	530
01:00	8,3	1,6535	11,60	80	62	91	150	593	263	144	507
01:05	8,2	1,6406	11,80	72	60	92	153	527	251	144	513
01:10	8,1	1,6279	11,90	64	54	90	150	463	223	140	499
01:15	8,2	1,6406	11,80	63	55	93	148	461	230	146	496
01:20	8,0	1,6154	12,00	60	50	91	146	429	204	141	482
01:25	8,0	1,6154	12,00	66	53	94	149	471	216	145	492
01:30	8,0	1,6154	11,80	64	47	92	140	457	192	142	462
01:35	8,1	1,6279	11,90	60	45	91	142	434	186	142	472
01:40	8,1	1,6279	11,90	52	46	90	143	376	190	140	475
01:45	7,9	1,6031	12,10	53	49	92	147	374	198	141	481
01:50	7,8	1,5909	12,20	58	52	91	146	404	207	139	474
01:55	7,9	1,6031	12,10	42	55	94	144	296	222	144	471
02:00	7,8	1,5909	12,40	46	54	93	140	320	215	142	455
02:05	7,7	1,5789	12,50	44	50	91	145	303	197	138	468
02:10	7,6	1,5672	12,60	43	56	92	143	292	217	138	458
02:15	7,7	1,5789	12,32	47	58	90	147	323	228	136	474
02:20	7,6	1,5672	12,40	39	50	91	149	265	194	137	477
02:25	7,6	1,5672	12,30	42	52	90	152	285	202	135	486
02:30	7,6	1,5672	12,50	40	50	92	148	271	194	138	474
02:35	7,5	1,5556	12,70	35	46	90	145	234	176	134	461
02:40	7,4	1,5441	12,80	33	48	89	146	218	181	132	460
02:45	7,3	1,5328	12,90	42	49	88	144	274	183	129	451
02:50	7,2	1,5217	13,00	48	47	89	140	309	173	130	435
02:55	7,4	1,5441	12,80	46	53	86	142	304	200	127	448
03:00	7,5	1,5556	12,80	42	66	90	138	281	253	134	438

03:05	7,4	1,5441	12,80	44	63	91	139	291	238	134	438
03:10	7,5	1,5556	12,70	47	78	92	135	315	299	137	429
03:15	7,6	1,5672	12,60	41	82	90	136	278	318	135	435
03:20	7,8	1,5909	12,40	39	74	93	139	272	295	142	452
03:25	7,4	1,5441	12,80	37	79	90	141	244	298	133	445
03:30	7,3	1,5328	12,90	42	86	92	142	274	321	135	444
03:35	7,2	1,5217	13,00	44	72	90	145	283	265	131	451
03:40	7,3	1,5328	12,90	46	74	90	140	300	276	132	438
03:45	7,0	1,5000	13,20	43	63	90	142	269	225	129	435
03:50	6,9	1,4894	12,85	39	60	89	140	240	211	127	426
03:55	7,1	1,5108	12,10	37	64	87	144	235	232	126	444
04:00	7,1	1,5108	12,20	41	52	88	143	260	188	127	441
04:05	7,2	1,5217	13,00	45	50	85	147	289	184	124	457
04:10	7,2	1,5217	13,00	46	47	86	145	296	173	125	451
04:15	7,3	1,5328	12,90	41	46	89	146	267	171	131	457
04:20	7,4	1,5441	12,80	37	44	88	140	244	166	130	441
04:25	7,3	1,5328	12,90	39	39	87	142	254	145	128	444
04:30	7,2	1,5217	13,00	34	37	84	147	219	136	122	457
04:35	7,3	1,5328	12,90	43	43	86	146	280	160	126	457
04:40	7,2	1,5217	13,00	48	42	85	149	309	154	124	463
04:45	7,1	1,5108	12,97	51	46	82	148	323	167	119	457
04:50	7,2	1,5217	12,87	55	48	84	152	354	176	122	472
04:55	7,3	1,5328	12,77	49	45	88	156	319	168	129	488
05:00	7,1	1,5108	12,97	52	41	89	158	330	149	129	487
05:05	7,4	1,5441	12,67	44	43	90	161	291	162	133	508
05:10	7,3	1,5328	12,77	46	40	91	159	300	149	134	498
05:15	7,3	1,5328	12,66	52	36	92	163	339	134	135	510
05:20	7,2	1,5217	12,76	56	33	90	166	360	121	131	516
05:25	7,2	1,5217	12,76	53	37	92	164	341	136	134	510
05:30	7,1	1,5108	12,97	47	39	94	162	298	141	136	500
05:35	7,2	1,5217	12,87	43	36	93	160	276	132	135	497
05:40	7,3	1,5328	12,77	45	35	95	159	293	130	139	498
05:45	7,2	1,5217	12,88	43	39	92	158	276	143	134	491
05:50	7,4	1,5441	12,68	46	42	91	156	304	159	134	492
05:55	7,3	1,5328	12,78	50	48	90	158	326	179	132	495
06:00	7,2	1,5217	12,88	43	56	92	152	276	206	134	472
06:05	7,3	1,5328	12,78	41	52	92	150	267	194	135	470
06:10	7,4	1,5441	12,68	38	64	90	150	251	242	133	473
06:15	7,3	1,5328	12,78	36	63	91	151	235	235	134	473
06:20	7,0	1,5000	13,08	41	51	89	154	256	182	128	472
06:25	7,1	1,5108	12,98	43	53	87	152	273	192	126	469
06:30	7,2	1,5217	12,88	40	56	85	154	257	206	124	479
06:35	7,1	1,5108	12,70	37	54	85	153	235	196	123	472
06:40	7,0	1,5000	12,90	36	54	86	152	225	193	123	466
06:45	7,0	1,5000	12,90	35	50	87	150	219	179	125	459
06:50	7,1	1,5108	12,75	33	47	85	148	209	170	123	457
06:55	7,2	1,5217	12,90	36	42	88	149	231	154	128	463
07:00	7,1	1,5108	12,75	38	46	86	143	241	167	124	441
07:05	7,2	1,5217	12,90	41	43	89	145	264	158	130	451
07:10	7,1	1,5108	13,14	43	47	90	144	273	170	130	444
Ortalama	7,7	1,5827	12,39	53	64	89	149	378	268	135	483

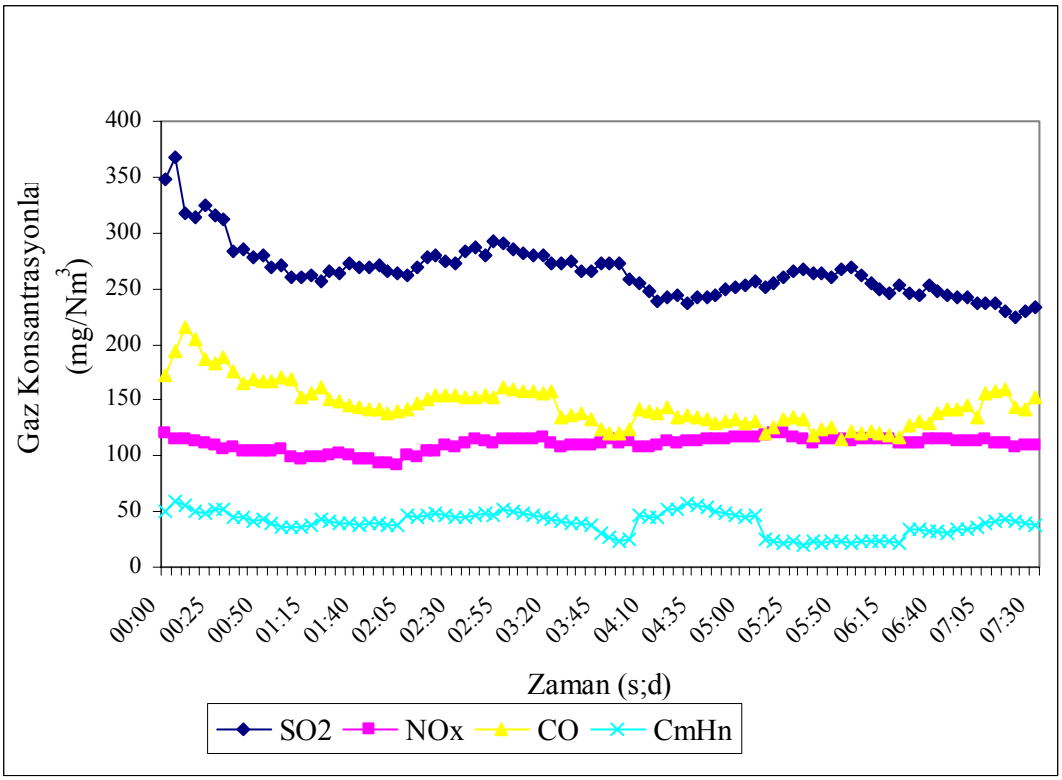


Şekil Ek 8.1. Emisyonların Zamana Göre Değişimi

Yakma Testi : 2
Ca/S : 1,5
Kömür
Başlama Saati : 10:12

Zaman s;d	O_2	N	CO_2	CO	C_mH_n	NO_x	SO_2	CO	C_mH_n	NO_x	SO_2
	%			**ppm**				**mg/Nm^3**			
00:00	7,2	1,5217	12,52	127	65	82	112	173	50	119	348
00:05	7,0	1,5000	13,20	144	78	80	120	193	60	115	368
00:10	6,8	1,4789	13,40	163	73	81	105	215	55	115	317
00:15	6,8	1,4789	13,40	155	66	80	104	205	50	113	314
00:20	6,7	1,4685	13,50	142	64	79	108	186	48	111	324
00:25	6,6	1,4583	13,00	140	69	78	106	182	51	109	316
00:30	6,3	1,4286	13,30	148	72	78	107	189	53	107	312
00:35	6,5	1,4483	13,10	136	60	78	96	176	44	108	284
00:40	6,3	1,4286	13,30	130	62	76	98	166	45	104	286
00:45	6,2	1,4189	13,40	133	56	77	96	168	41	105	278
00:50	6,4	1,4384	13,20	130	59	75	95	167	43	103	279
00:55	6,0	1,4000	13,60	134	54	78	94	168	39	105	269
01:00	6,1	1,4094	13,50	136	50	78	94	171	36	105	271
01:05	5,8	1,3816	13,80	137	51	75	92	169	36	99	260
01:10	5,7	1,3725	13,90	125	52	74	93	153	36	97	261
01:15	5,9	1,3907	13,70	126	54	74	92	156	38	99	261
01:20	6,0	1,4000	13,60	129	59	74	90	161	42	99	257
01:25	6,1	1,4094	13,50	120	58	75	92	151	42	101	265
01:30	6,2	1,4189	13,40	118	54	75	91	149	39	102	264
01:35	6,1	1,4094	13,50	116	55	75	95	146	40	101	273
01:40	6,0	1,4000	13,60	115	52	72	94	144	37	96	269
01:45	5,9	1,3907	13,70	114	55	73	95	142	39	97	270
01:50	5,8	1,3816	13,80	115	56	71	96	142	39	94	271
01:55	5,8	1,3816	13,80	112	54	70	94	138	38	93	265
02:00	5,7	1,3725	13,90	114	55	70	94	140	39	92	263
02:05	5,6	1,3636	13,60	116	67	77	94	141	47	101	262
02:10	5,5	1,3548	13,70	121	66	76	97	146	46	99	268
02:15	5,9	1,3907	13,30	122	65	78	98	151	46	104	278
02:20	5,8	1,3816	13,80	125	68	78	99	154	48	103	279
02:25	6,0	1,4000	13,60	124	66	81	96	155	47	109	274
02:30	6,1	1,4094	13,50	123	62	80	95	155	45	108	273
02:35	6,2	1,4189	13,16	120	63	82	98	152	46	111	284
02:40	6,2	1,4189	13,16	120	65	84	99	152	47	114	287
02:45	6,3	1,4286	13,06	121	66	82	96	154	48	112	280
02:50	6,2	1,4189	13,16	121	64	82	101	153	46	111	293
02:55	6,2	1,4189	13,16	127	72	85	100	161	52	115	290
03:00	6,3	1,4286	13,06	125	69	84	98	159	50	115	286
03:05	6,1	1,4094	13,26	126	67	85	98	159	48	115	282
03:10	6,1	1,4094	13,26	125	66	85	97	157	47	115	279
03:15	6,1	1,4094	13,26	124	63	86	97	156	45	116	279
03:20	6,1	1,4094	13,26	125	59	83	95	157	42	112	273
03:25	6,1	1,4094	13,50	107	58	80	95	135	42	108	273
03:30	6,0	1,4000	13,60	109	54	82	96	136	39	110	274

03:35	6,0	1,4000	13,60	111	56	81	93	139	40	109	266
03:40	6,1	1,4094	13,50	106	53	81	92	133	38	109	265
03:45	6,1	1,4094	13,50	98	43	82	95	123	31	111	273
03:50	6,2	1,4189	13,40	95	38	84	94	120	28	114	272
03:55	6,1	1,4094	13,50	96	33	82	95	121	24	111	273
04:00	5,9	1,3907	13,70	99	36	85	91	123	26	113	258
04:05	5,8	1,3816	13,80	115	66	82	90	142	47	108	254
04:10	5,8	1,3816	13,80	114	63	82	88	141	44	108	248
04:15	5,7	1,3725	13,90	113	65	83	85	138	46	109	238
04:20	5,8	1,3816	13,80	116	74	85	86	143	52	112	243
04:25	5,7	1,3725	13,50	110	75	85	87	135	53	112	244
04:30	5,8	1,3816	13,40	111	81	85	84	137	57	112	237
04:35	5,9	1,3907	13,30	108	79	85	85	134	56	113	241
04:40	5,9	1,3907	13,30	107	77	86	85	133	55	114	241
04:45	5,9	1,3907	13,30	104	72	86	86	129	51	114	244
04:50	6,0	1,4000	13,20	105	67	86	87	131	48	115	249
04:55	6,0	1,4000	13,20	106	64	87	88	133	46	117	252
05:00	6,1	1,4094	13,10	102	63	87	88	128	45	117	253
05:05	6,1	1,4094	13,10	104	65	87	89	131	47	117	256
05:10	6,1	1,4094	13,10	96	35	88	87	121	25	119	250
05:15	6,2	1,4189	13,00	99	32	88	88	125	23	120	255
05:20	6,2	1,4189	13,00	105	30	89	90	133	22	121	261
05:25	6,3	1,4286	12,90	106	32	85	91	135	23	116	265
05:30	6,2	1,4189	13,40	105	28	85	92	133	20	115	267
05:35	6,2	1,4189	13,40	94	33	82	91	119	24	111	264
05:40	6,2	1,4189	13,40	98	30	84	91	124	22	114	264
05:45	6,2	1,4189	13,40	99	31	84	90	125	22	114	261
05:50	6,2	1,4189	13,40	91	32	84	92	115	23	114	267
05:55	6,3	1,4286	13,30	96	30	83	92	122	22	113	268
06:00	6,3	1,4286	13,30	94	31	84	90	120	23	115	263
06:05	6,2	1,4189	13,40	96	32	85	88	122	23	115	255
06:10	6,2	1,4189	13,40	95	31	84	86	120	22	114	249
06:15	6,2	1,4189	13,20	94	33	84	85	119	24	114	246
06:20	6,3	1,4286	13,10	92	29	81	87	117	21	111	254
06:25	6,2	1,4189	13,20	100	48	82	85	127	35	111	246
06:30	6,2	1,4189	13,20	104	46	82	84	132	33	111	243
06:35	6,2	1,4189	13,20	102	44	84	87	129	32	114	252
06:40	6,3	1,4286	13,10	108	45	84	85	138	33	115	248
06:45	6,1	1,4094	13,30	112	42	85	85	141	30	115	245
06:50	6,0	1,4000	13,40	114	47	85	85	143	34	114	243
06:55	6,1	1,4094	13,30	116	48	84	84	146	35	113	242
07:00	6,1	1,4094	13,30	107	49	84	82	135	35	113	236
07:05	6,1	1,4094	13,30	124	56	85	82	156	40	115	236
07:10	6,0	1,4000	13,40	126	57	83	83	158	41	111	237
07:15	6,0	1,4000	13,40	127	59	83	80	159	42	111	229
07:20	5,9	1,3907	13,50	116	57	81	79	144	40	108	224
07:25	5,9	1,3907	13,50	114	55	82	81	142	39	109	230
07:30	5,9	1,3907	13,50	123	52	82	82	153	37	109	233
Ort.	6,1	1,4107	13,39	116	55	81	92	146	39	110	266



Şekil Ek 8.2. Emisyonların Zamana Göre Değişimi

EK-9

ADSORBENT KULLANIMI İLE İLGİLİ BİR ÖRNEK HESAPLAMA

Kükürt'ün %90'ının tutulmasının istendiği bir kömürün analiz sonuçları verilmiştir. Kullanılan kireçtaşında %90 kalsiyum karbonat, %9 magnezyum karbonat, %1 inert madde vardır ve kalsiyumun kükürde molar oranı 2 dir. Uçucu kül, toplam külün %10 u ve nemli yüzey, hem kömürün hem de kireçtaşının %7,1'idir. DAY boyler dizaynı için gerekli stokiyometrik özellikleri hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

1. Kömürün analiz sonuçları şunlardır:

C = %56,59

H = %4,21

N = %0,9

Cl = %0,4

S = %4,99

O = %5,69

KÜL = %20,06

X_m = %1,3

$X_{ml} = M_f$ = %7,1

X_{CaO} = %0,0136

2. E_{sor} = %90 , R = 2 , $X_{CaCO_3} = 0,9$, $X_{MgCO_3} = 0,09$, E_c = %98

3. $Ca/S = \left(\frac{32}{56}\right) * \left(\frac{0,0136}{0,0499}\right) = 0,156$ kJ/kg

$R' = 2 - 0,156 = 1,84$

(Eş. 3.35) kireçtaşı/kömür = 100*0,0499*1,84/(32*0,9) = 0,319 kg/kg

4. ÜID (Eş. 3.46) = 33823*0,5659 + 144249(0,0421-0,0569/8) + 9418*0,0499 = 24657 kJ/kg

5. AID (Eş. 3.47) = 24657 – (22604*0,0421) – (2581*0,0716) = 23520 kJ/kg

6. Teorik kuru hava, M_{kh} (Eş. 3.32)

M_{kh} = 11,53*0,5659 + 34,34(0,0421 – 0,0569) + 4,345*0,0499 + 2,17*0,0499
= 8,051 kJ/kg

7. Toplam kuru hava, (Eş. 3.34) = 8,05*12 = 9,66 kg/kg
Toplam ıslak hava (Eş. 3.34) = 9,66*(1 + 0,013) = 9,78 kg/kg

8. Toplam baca gazı ağırlığı (Eş. 3.45):

N_2 (Eş. 3.41)= 0,7685*8,051*1,2 + 0,009 = 7,43 kg/kg
H_2O (Eş. 3.40)= 9*0,042 + 0,319*0,071 + 0,071 + 0,013*8,051*1,2 = 0,600 kg/kg
CO_2 (Eş. 3.40)= $3,66*0,5659 + 1,375*0,0499*2*\left[1 + (1,19 * 0,009 / 9)\right]$=2,22 kg/kg
SO_2 (Eş. 3.43)= 2*0,05*(1 – 0,9) = 0,01 kg/kg
O_2 (Eş.3.42)= 0,0569 + 0,2315*8,05*(1,2 - 1) + 0,5*0,0499*(1 – 0,9) = 0,432 kg/kg
Uçucu kül (Eş. 3.44) = 0,2*0,1 = 0,02 kg/kg
Uçucu kül için a_c = 0,1 alırsak;

W_c (Eş.3.45) = 9,78 – 0,2315*8,05 + 3,66*0,5659 + 9*0,0421 + 0,071 + 0,343*0,071 + 0,009 + 0,0569 + 2,5*0,0499*(1 – 0,9) + 1,375*0,0499*(1 + 0,009/0,9) + 0,1*0,20 = 10,7 kg/kg

9. Harcanan sorbent miktarı (Eş. 3.36) =

$(0,0499*136*0,9/32)+56\left[(0,319 * 0,9 / 100) – (0,0499 * 0,9 / 32)\right]+$ 0,319*0,09*40/84) + 0,319*0,01 = 0,290 kg/kg

ÖZGEÇMİŞ

05.10.1979 tarihinde Amasya Merzifon`da doğdu. İlkokul öğrenimini Merzifon Kara Mustafa Paşa İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini ise Merzifon Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Üniversite öğrenimini Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Makina Mühendisliği bölümünde ısı ve enerji obsiyonunda bitirdi. Yüksek lisans öğrenimini ise Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında tamamlamıştır.