KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ VE YERLİ LİNYİT KÖMÜRLERİNİN GAZLAŞMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Rahman Ali DURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2010
ANKARA

Rahman Ali DURGUT tarafından hazırlanan "KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ VE YERLİ LİNYİT KÖMÜRLERİNİN GAZLAŞMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL …….…….
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU …….…….
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Nail YAŞYERLİ ….…….
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL ….…….
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 18/06/2010

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU …….…….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Rahman Ali DURGUT

KÖMÜR GAZLAŞTIRMA PROSESİ VE YERLİ LİNYİT KÖMÜRLERİNİN GAZLAŞMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Rahman Ali DURGUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2010

ÖZET

Düşük kaliteli kömür kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, doğrudan yakma teknolojilerinin yerine, kömür türüne ve özelliklerine uygun biçimde tasarlanacak olan termal dönüşüm prosesi ile gaz ürün elde edilmesini sağlayan gazlaştırma yöntemi, verimli ve temiz enerji üretiminde önemli bir yöntem olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, yerli linyit kömürlerinden gazlaştırma yoluyla daha temiz ve daha verimli gaz yakıt elde edilmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ölçekli dolaşımlı akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda, beş çeşit linyit kömürü için yapılan gazlaştırma işleminden elde edilen gaz ürünler verilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Seçilen kömür numuneleri termogravimetrik (TGA) analiz cihazında, azot atmosferi altında ve dört basamaklı bir sıcaklık programı uygulanarak gazlaştırılmıştır. Elde edilen STA eğrilerinden maksimum ağırlık kaybının elde edildiği edildiği sıcaklıklar tespit edilmiş, kurulu bulunan akışkan yataklı bir gazlaştırma düzeneğinde ise sıcaklıklar maksimum deney sıcaklığı olarak kullanılmıştır. Deneyler yine azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar öncesinde kullanılan kömürlerin analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada birinci aşamada kömürlerin STA cihazı kullanılarak termogravimetrik analizleri ve dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırıcı kullanılarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde kömürlerin gazlaşma şartları ve farklı sıcaklık şartları altında davranışları deneysel olarak incelenmiştir. İkinci bölümde ise, dolaşımlı akışkan yatakta biyokütlelerin gazlaştırma işlemi üzerinde çalışılmıştır.

Deneylerde, gazlaştırma prosesinde dolaşımlı akışkan yatakta azot gazı ortamında 250–750ºC sıcaklıklarda gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmış ve elde edilen gaz ürün bileşenleri incelenmiştir. Deneyler sırasında gerekli başlangıç enerjisi, doğalgaz ile sağlanmıştır.

Değişik sıcaklık artışlarında (1,5ºC/dk-10ºC/dk aralığında) denenen gazlaştırma işlemi sonucunda sıcaklık artışına bağlı olarak gaz ürünlerin farklılık gösterdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra yakıt miktarı, yakıt boyutu, yatak malzemesinin miktarına, hava debisine bağlı olarak farklı deneyler yapılmıştır. Sistemin boyutuna ve gönderilen hava debisine göre dolaşımlı akışkan yatağın ana kolonuna yakıt miktarı yüklenmiş ve yakıt miktarı 100-500g aralığında çalışılmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.038
Anahtar Kelimeler : Gazlaştırma, akışkan yatak, kömür.
Sayfa Adedi : 103
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL

COAL GASIFICATION OF LIGNITE COAL
PROCESS AND LOCAL INVESTIGATION OF GAS PROPERTIES RECOVERY
(M.Sc. Thesis)

Rahman Ali DURGUT

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2010

ABSTRACT

Low-quality coal resources-rich potential of our country, direct combustion technologies, instead of coal type and in accordance with specifications designed to be a thermal conversion process and the gas products ensures that gasification method, efficient and clean energy production an important method is considered.

In this study, indigenous lignite gasification of coal more cleanly and efficiently through tried to get gas. Laboratory-scale circulating fluidized-bed gas the five types of coal gasification process for gas products obtained are given and compared with each other.

Sample coals were gasified in atermogravimetric analyzer (TGA) under Nitrojen flow and a four step temperature program was aplied. The temperature intervals at which the maximum weight lossesoccured were the basis of the temperature program used in the fluidised bed gasifcation experiment.

Coal used in the analysis of experimental studies were done before. STA device in the first stage experimental study using thermogravimetric analysis of coal

and circulating fluidized bed was conducted in two stages using therapeutic gases. In the first part of the conditions of coal and gas recovery behavior under different temperature conditions were investigated experimentally. In the second part, the circulating fluidized bed biomass gasification process is studied.

In the experiments, the circulating fluidized bed gasification process in nitrogen atmosphere 250-750 º C temperature gasification process has been trying to achieve and gas products obtained were studied components. During the initial experiments required energy, natural gas has been provided with.

Knowledge through the use of different temperature rise in (1.5 ºC / min - 10 °C / min range), try the gasification process as a result of temperature rise, depending on the gas product of the difference observed. Besides this amount of fuel, fuel size, amount of bedding material, air flow depending on the different experiments were performed. The size of the system and sent to the air flow circulating fluidized bed, according to the amount of fuel loaded into the main column and the amount of fuel was set at 100-500g range.

Science Code : 914.1.038
Key Words : Gasification, fluidized bed, coal.
Page Number: 103
Adviser : Assist. Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımda danışmanlığımı üstlenen, tezimin gerçekleşmesi için gerekli çalışma ortamını sağlayan, anlayış ve yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL'a, çalışmalarım süresince beni yönlendiren, her aşamada yardımını gördüğüm, teorik çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım boyunca, sabrından ve desteğinden dolayı; eşime ve oğullarıma, tüm yaşantım boyunca göstermiş oldukları her türlü maddi ve manevi desteklerinden dolayı; anne, baba ve kardeşlerime en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR……..viii

İÇİNDEKİLER.....ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

RESİMLERİN LİSTESİ……xv

SİMGELER VE KISALTMALAR……...xvi

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 4

3.ENERJİ, LİNYİT, YERLİ LİNYİTİN GAZLAŞTIRILMASI, ENERJİ ÜRETİM SÜREÇLERİ VE AKIŞKAN YATAKLI GAZLAŞTIRICILAR 15

3.1. Enerji 15

3.1.1. Dünyada ve Türkiye'de enerji alanında eğilimler……..15

3.1.2. Dünyada fosil yakıt kullanımı ……...18

3.1.3. Türkiye’de fosil yakıt rezervleri ve kullanımı 20

3.1.4. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevre sorunları 23

3.1.5. Güneş ışıma enerjisinin kısa erimde depolanan biçimini oluşturan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları.....25

3.2. Kömür Nasıl Oluşur? 28

3.2.1. Kömürleşme (Coalification) olayı.....29

3.2.2. Türkiye’nin linyit kömür potansiyeli.....30

3.3. Termokimyasal süreçler 30

3.4. Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklar 36

Sayfa

3.4.1. Akışkanlaşma 36

3.4.2. Tane gruplarının tanımı 40

3.4.3. Akışkan yatak sisteminin sınıflandırılması 42

3.4.4. Akışkan yatakları birbirinden ayıran özellikler 46

3.5. Akışkan Yataklar ile İlgili Temel Kavramlar 48

3.5.1. Akışkan yatakta basınç düşüşü 48

3.5.2. Minimum akışkanlaşma hızı 48

3.5.3. Terminal hız 50

3.5.4. Minimum akışkanlaşma boşluk kesri 52

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 53

4.1. Dolaşımlı Akışkan Yataklı Gazlaştırma Test Sistemi 53

4.2. TGA Deney Sistemi 60

4.3. Ölçme ve Veri Değerlendirme Sistemi 60

4.4. Deneysel Çalışma ve Deney Bulguları 63

4.5. Deney Programı 65

4.6. Yakıt Analizleri 65

4.6.1. Boyut küçültme ve elek analizi 65

4.6.2. Nem tayini 66

4.6.3. Kül miktarı tayini 66

4.6.4. Uçucu madde miktarı tayini 67

4.6.5. Üst ısıl değer tayini 67

4.6.6. Kullanılan yakıtların özellikleri 68

4.6.7. Gaz ürünü ısıl değer hesabı 68

Sayfa

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER 82

KAYNAKLAR.....84

EKLER.....89
EK-1 Tunçbilek linyiti ile yapılan deney sonuçlarının kolon yüzeyi ile değişimi....90
EK-2 Soma linyiti ile yapılan deney sonuçlarının kolon yüzeyi ile değişimi.....91
EK-3 Ağaçlı linyiti ile yapılan deney sonuçlarının kolon yüzeyi ile değişimi 92
EK-4 Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi90.....93
EK-5 Sistem hata analizi.....101

ÖZGEÇMİŞ 104

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Dünya fosil yakıt rezervleri 19

Çizelge 3.2. Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi 21

Çizelge 3.3. Türkiye birincil enerji kaynakları üretiminin yıllara göre değişimi 21

Çizelge 3.4. Türkiye birincil enerji kaynakları tüketiminin yıllara göre değişimi 22

Çizelge 3.5. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli 27

Çizelge 3.6. Termokimyasal dönüşüm ürünleri ve teknolojileri 31

Çizelge 3.7. Gazlaştırma sürecindeki temel tepkimeler.....34

Çizelge 3.8. Değişik rejimlerde çalışan akışkan yatakların özellikleri.....47

Çizelge 4.1. Deney şartları 60

Çizelge 4.2. Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri.....63

Çizelge 4.3. Deney programı.....65

Çizelge 4.4. Tunçbilek, Soma, Değirmisaz, Ağaçlı ve Gölbaşı linyitleri; kaba ve ısıl değer analizleri 69

Çizelge 4.5. Gaz ürünü ısıl değer hesabı.....71

Çizelge 4.6. Sıcaklık profili.....72

Çizelge 4.7. Tunçbilek linyiti örneği boyut analizi 94

Çizelge 4.8. Silis kumu boyut analizi 95

Çizelge 4.9. Tunçbilek linyiti ortalama çap hesabı.....95

Çizelge 4.10. Soma linyiti örneğinin ortalama çap hesabı.....97

Çizelge 4.11. Ağaçlı linyiti örneğinin ortalama çap analizi.....98

Çizelge 4.12. Silis kumunun ortalama çap hesabı……100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı.....16

Şekil 3.2. Enerji kaynaklarının kalan ömürleri.....20

Şekil 3.3. Termokimyasal süreçlerden elde edilen birincil ve ikincil ürünler 30

Şekil 3.4. Akışkanın yukarı akışında, akışkanlaşma kalitesi ve evreleri 37

Şekil 3.5. Yatak basınç düşüşünün gaz hızı ile değişimi, akışkanlaşma rejim bölgeleri 38

Şekil 3.6. Akışkanlaşmış yatağın özellikleri 40

Şekil 3.7. Çevre koşullarındaki hava ile akışkanlaştırılmış partiküllerin sınıflandırılması.....41

Şekil 3.8. Kabarcıklı akışkan yatak sistemi şematik görünümü.....44

Şekil 3.9. Dolaşımlı akışkan yatak sistemi.....45

Şekil 4.1. Dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırma deney düzeneği.....55

Şekil 4.2. Fan hava debisinin (M_H) invertör frekansına (F) bağlı değişimi 58

Şekil 4.3. Ortalama yatak basıncının yatak kütle miktarı (M_Y) ve gaz hızı (U_o) ile değişimi (silis kumu kömür karışımı) 59

Şekil 4.4. Baca gazı ölçme ve veri değerlendirme sistemlerinin şematik görünümü 61

Şekil 4.5. Mobil emisyon test laboratuarı genel akış şeması 62

Şekil 4.6. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler.....73

Şekil 4.7. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler.....74

Şekil 4.8. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları.....74

Şekil 4.9. Soma linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler.....75

Şekil 4.10. Soma linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler.....76

Şekil 4.11. Soma linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları 76

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.12. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler 77

Şekil 4.13. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler 78

Şekil 4.14. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları 78

Şekil 4.15. Değirmisaz linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler 79

Şekil 4.16. Değirmisaz linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler 80

Şekil 4.17. Gölbaşı linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler 81

Şekil 4.18. Gölbaşı linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler 82

Şekil 4.19. Gölbaşı linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları 82

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Dolaşımlı akışkan yatak deney sistemi.....55

Resim 4.2. Akışkanlaşma havasını sağlayan a) fan ve b) inventör 56

Resim 4.3. a) Varyak (10kVA'lık) ve b) kelepçeli elektrikli ısıtıcı 56

Resim 4.4. ASTM Normu a) elek serisi ve b) data logger 57

Resim 4.5. a) Yatak sıcaklığını ve b) duvar sıcaklığını ölçümünde kullanılan ısıl çiftler.....57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
$\mathbf{d_p}$	Partikül çapı (μm)
$\mathbf{\rho_p}$	Partikül yoğunluğu(kg/m^3)
$\mathbf{\rho_g}$	Gaz yoğunluğu(kg/m^3)
$\mathbf{\mu_g}$	Gaz viskozitesi (N.s/m^2)
$\mathbf{C_d}$	Sürüklenme katsayısı
$\mathbf{H_{mf}}$	Yatak Yüksekliği
$\mathbf{U_t}$	Ortalama terminal hız(m/s)
$\mathbf{U_{mf}}$	Ortalama minumum akışkanlaşma hızı (m/s)
U_o	Gaz hızı(m/s)
$\mathbf{\varepsilon_{mf}}$	Minumum boşluk kesri
$\mathbf{A_b}$	Kanal geçiş kesiti
$\mathbf{L_{mf}}$	Minumum yatak yüksekliği
$\mathbf{\Delta P}$	Yatak basınç düşümü (N / m^2)
$\mathbf{G_s}$	Katı dolaşım oranı (g/m^2 s)
$\mathbf{R_e}$	Partikül Reynold sayısı
W	Yatak yüzücü ağırlığı
$\mathbf{H_s}$	Statik yatak yüksekliği
Ar	Argon sayısı
Φ_S	Şekil Faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
DAY	Dolaşımlı Akışkan Yatak
IEA	International Energy Agency
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
TSBY	Taşınım serbest bırakma yüksekliği
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

1. GİRİŞ

Gelişmenin ve gelişmişliğin kaynağı olan enerji, dünyada giderek yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu sebeple; kullanılabilir enerji kaynaklarının en verimli biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Enerji gereksiniminin karşılanmasındaki en büyük payı, fosil yakıtlar almaktadır. Ancak; fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle, yeni enerji kaynakları aranmaya başlanmışdır. Yeni enerji kaynakları ve bunların kullanılabilir enerjiye dönüştürme yollarının araştırılması gayretleri, devlet kuruluşları ve özel sektör olarak dünya devletlerini çok büyük harcamalar yapmaya zorlamaktadır.

Son 15 yılda büyük ölçüde fiyatları artış gösteren fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz vb.), yer altı zenginlikleri olmayan ülkeleri, dışarıdan ithal etmek yerine mevcut kaynaklarıyla daha düşük kalorili yakıtlardan enerji üretmelerini zorunlu kılmıştır.

Enerji üretimine yönelik yeni kaynaklar arayan ve diğer yandan mevcut yakıtlardan en iyi biçimde yararlanmayı amaçlayan ülkeler, bir yandan düşük nitelikli yakıtları, enerji ekonomisi ve hava kirliliğinin denetimi yönünden uygun biçimde yakmaya veya gazlaştırmaya çalışırken, diğer yönden de çeşitli atıkları (evsel, endüstriyel v.b. atıklar) enerji girdisi olarak kullanma yönüne gitmektedir.

Dünyada enerji gereksinimi her yıl yaklaşık % 5 oranında artmaktadır. Buna karşılık bu gereksinimi karşılayan fosil-yakıt rezervi ise, çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. En iyimser öngörüler bile, en geç 2035-2060 yılları arasında petrol ve doğalgaz rezervlerinin büyük ölçüde azalacağı ve hızlı artan gereksinimi karşılayamayacağı duruma gelmesi beklenmektedir. Kömür rezervlerinin ise 200-250 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir.

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların iklim değişikliğine yol açmasının nedeniyse, yanma sırasında ortaya çıkan CO_2 ve metan gibi sera gazlarının bünyelerinde ısı tutma özelliğine sahip olmalarıdır. Güneş, gün doğumundan batımına kadar atmosferin içine ısı ve ışığını verir. Doğal döngünün devamı için, bu

ısının tekrar uzaya aktarımı gerekmektedir. Oysa fosil yakıtların neden olduğu sera gazları, ısının bir kısmının atmosferde tutulmasına yol açar. Böylece dünya, ısınmaya ve iklim değişmeye başlamaktadır.

Fosil ve yenilenebilir enerji kaynakları, güneş kökenlidir. Güneşte oluşan hidrojen; fizyon reaksiyonları ile açığa çıkan ısı enerjisi radyasyon biçiminde uzaya yayılmakta, bunlardan bir bölümü de milyonlarca yıl fotosentez ve metabolizma süreçlerinin yoğun olduğu dünyamıza ulaşmaktadır.

Ülkemizdeki fosil yer altı kaynaklarının sınırlı sayıda ve miktarda olması, mevcut kaynaklardan en iyi şekilde yararlanmayı gerektirmektedir. Ülkemizde yetersiz miktarda olan fosil yer altı kaynaklarını yurt dışından ithal edip, döviz transfer etmek yerine; mevcuttaki yer altı kaynaklarımızı değerlendirmek, çok daha verimli olacaktır. Linyit kömürünün ülkemizdeki ısıl enerji değerinin düşük olmasından dolayı; verimli yanmayı sağlayabilmek, çevre kirliliğini en aza indirebilmek, direk yanma yerine içten yanmalı motorlarda da kullanarak enerji eldesi sağlayabilmek için kömürün gazlaştırılması çok önemlidir.

Kömür; yanabilen sedimanter organik bir kayadır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerinin sonucunda meydana gelmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizdeki sınırlı sayılı yer altı zenginliklerinden en çok miktara sahip olan linyit madeninin gazlaştırılması ile; ülke ekonomisine katacağı artı değer, verimlilik, çevreye olan etkileri ve sosyal yönleri incelenmiştir.

Düşük kaliteli kömür kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, doğrudan yakma teknolojilerinin yerine kömür türüne ve özelliklerine uygun biçimde tasarlanacak olan termal dönüşüm prosesi ile gaz ürün elde edilmesini sağlayan gazlaştırma yöntemi, verimli ve temiz enerji üretiminde önemli bir yöntem olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, yerli linyit kömürlerinden gazlaştırma yoluyla daha temiz ve daha verimli gaz yakıt elde edilmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ölçekli dolaşımlı akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda, beş çeşit linyit kömürü için yapılan gazlaştırma işleminden elde edilen gaz ürünler verilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fosil kökenli enerji kaynaklarının çevre üzerinde yarattığı olumsuz koşullar nedeni ile doğamız kirlenmekte, pek çok bitki türü yok olmakta, ormanlar çöl olmakta ve büyük miktarda sera gazı atmosfere atılmaktadır. Ulusal ve uluslararası enerji problemleri yaşamın parçası haline gelmektedir.

Fosil ve nükleer yakıtlara alternatif doğal enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kavramlarını da gündeme getirmektedir. Bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yakılınca biten ve yenilenmeyen enerji kaynaklarıdır. Oysa yenilenebilir enerji kaynakları, temiz enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Katı artıklar için küçük boyutlarda gazlaştırma sistemi geliştirilerek testler uygulayan Min ve ark., STAR-MEET adını verdikleri yeni bir gazlaştırma sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile yüksek sıcaklıktaki buhar/hava iyileştirilmesi yoluna gidilmiş ve sabit yataklı sıvılaştırıcı ile kombine bir sistem oluşturulmuştur. Deneysel sonuçların kullanımı ile odun parçaları ve kabukları yakıt olarak kullanılmış olup elde edilen sıvılaşmış gaz (CO_2, H_2) içindeki katranın ayrışımı yapılmıştır [1].

Matematiksel modelleme, bir boyutlu akış ele alınarak katı ve gaz akışlarının kütle ve enerji denklemi belirlenmiştir. Tüm akışkan parametreleri, gazlaşma tepkimelerinin kinetiği ve sıcaklıklar hesaplanarak matematiksel modelleme yapılmıştır [2].

Dolaşımlı Akışkan yatak gazlaştırıcı modellemesi üzerine Corella, ve Sanz ve ark. çalışmışlardır. Kütle – ısı denklemi ve hidrodinamik göz önünde bulundurularak model, kinetik denklem üzerine kurulmuş ve yirmi farklı tepkime oluşmuştur. Katran oluşumu ve giderimi üzerine çalışılan model, kuramsal bir yapıya sahiptir. Ancak bazı bölgeler için veri alınamamasından dolayı birkaç varsayımla çalışılmıştır. Sistemdeki hidrodinamik özellikler pilot ve ticari boyutlardaki dolaşımlı akışkan yataklarda incelenmiş ve yatak sıcaklığı 750–980 ºC aralığında çalışılmıştır [3].

Bir diğeri ise Liu ve ark. dolaşımlı akışkan yataktan çıkan NH_3 ve HCN salınımlarının belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmadır. Sistemde kırk kimyasal tepkime belirlenmiş ve bunun yirmi sekiz tepkimesi yakıt-azot tepkimesidir. Uçucu azotun NH_3, HCN ve N_2'den oluştuğu varsayılmıştır. Tepkime oranları literatürden alınarak biyokütlenin gazlaştırılması üzerine çalışılmıştır. Literatürde bu deneye benzer deney sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır [4].

Hızlı akışkanlaşma rejimindeki sistemlerde hız profillerini inceleyen Haris ve ark., izokinetik örnekleme ile serbest bölgede yukarı doğru gaz ve katı hızlarını, duvara yakın bölgede ise aşağı doğru katı hızlarını belirlemiştir. Bu çalışmanın amacı, kolondaki akışı etkileyen deneysel parametreleri belirlemektedir. Birçok araştırmacı kolondaki katı derişimlerinin eş dağılımlı olarak genişlemediğini ve duvar – merkez bölgeleri arasında güçlü bir iç karışım mekanizması olduğunu belirlemiştir [5].

İspanya'da zeytinyağı üretimi dünyanın dörtte birini karşılaması nedeniyle çıkan atığın kullanımı üzerine García – Ibañez ve ark. yaptığı çalışma da, pilot ölçekli $300kW_{th}$ dolaşımlı akışkan yatak kurulmuş, zeytinyağı atığının gazlaştırılması üzerine incelemeler yapılmıştır, İspanya'da yaklaşık 2 milyon ton/yıl zeytinyağı üretilmektedir [6].

Lv ve ark. yaptığı çalışma, yakıtın hava – buhar kullanarak dolaşımlı akışkan yatakta gazlaştırılması işlemidir. Yapılan deneylerde reaktör sıcaklığının etkisi, buhar – yakıt oranı (S/B), denklik oranı (ER), ve biyokütle boyutuna bağlı olarak gaz bileşimleri, gaz ürün, buhar ayrışımı, alt ısıl değeri, karbon dönüşüm verimi incelenmiştir. Yatak malzemesi olarak silis kumu (0,2-0,3 mm) ve yakıt olarak da çam ağaç talaşı (0,6-0,9 − 0,45-0,6 − 0,3-0,45 − 0,2-0,3 mm) kullanılmıştır. Yakıtın 1,43 ile 2,57 Nm^3/kg aralığında ve alt ısıl değerin 6741 – 9143 kJ/Nm^3 aralığında incelemeler yapılmış ve yapay gazda farklılıklar belirlenmiştir. Bunun yanı sıra yakıtı hava veya buhar ile gazlaştırma işlemleri karşılaştırılmıştır [7].

Sistemdeki yığışmayı denetleyebilmek için öncelikle yığışmaya izin verilmiştir. Gerçekte düşük sıcaklık ve iyi karışım nedeniyle akışkan yatak tercih edilmiştir.

Ancak bu sorunun tamamen ortadan kalktığı söylenemez. Aynı zamanda ilgili süreçlerde denklemler kurularak deneysel olarak SEM/EDX analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. TPS ve KTH teknolojilerinde basınç, sıcaklık ve diğer değişkenlerle birlikte iki analiz sonuçları belirlenmiştir. Elde edilen verilerle kül kimyası ortaya koyulmuştur. Diğer verilerle karşılaştırıldığında basınçlı dolaşımlı akışkan yataktan elde edilen kül miktarı daha fazla olduğu belirlenmiştir [8].

Bir önceki yapılan çalışmaya ek olarak yapılan çalışma olup aynı düzenek üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyde, Zevenhoven – Onderwater ve ark. çalışmıştır. Bu çalışmada, 4 farklı biyokütle kullanılmış ve önce yapılan (Part I) deneylerle karşılaştırılmıştır. Analizler için SEM/EDX analizörü kullanılarak incelemeler yapılmıştır [9].

Glicksman ve ark. bir çalışmalarında DAY'lar için boyutsal ilişkileri araştırmışlardır. Mevcut olan sıcak model DAY'ın soğuk ölçekli modeli yapılmıştır. Eksenel boşluk profili ve basınç dalgalanmaları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar iki kolon arasında oldukça iyi dinamik benzerlik göstermekle beraber çıkış bölgesinde bir takım sapmalar olduğunu göstermektedir. Geometrik çıkış etkilerini, gaz hızının etkisini incelemişlerdir [10].

Dowaki ve ark. yaptığı çalışma, biyokütle enerjisinin bıçkıhanede kullanımı üzerinedir. Biyokütle enerji sistemlerinin ortama yayılan CO_2'nin azaltılması ve kaynakların etkili kullanımı açısından bakıldığında geleneksel sistemlere göre daha üstün oldukları düşünülebilir. Bununla birlikte, bu sistemlerin enerji maliyeti, fosil yakıtlı sistemlerine göre daha fazladır. Ayrıca, yakın gelecekte daha çevresel iş modelleri kurulması beklenmektedir. Bu çalışmada bir bıçkıhane içerisindeki biyokütle enerji sisteminin çevresel ıslahı ve ekonomisi, gazlaştırma ile üretim sistemi, yakıt hammaddesi olarak kırıntı odun kullanan doğrudan yakma sistemi ile karşılaştırılarak analiz edilmektedir. Özellikle üretilen elektriğin zarar edilmeksizin satılabileceği en düşük fiyat hesaplanmaktadır (Bu enerjinin alıcısı olduğu varsayımı ile). Bu konuda, enerjinin kullanılabilirliği açısından Japonya'da yürütülmekte olan çalışmalar (Renewable portfolio Standard) bulunmaktadır. Sonuç olarak, biyokütle

enerji sistemleri konusunda yatırımlar yapıldığında gazlaştırma ile üretimden elde edilen elektriğin maliyeti 7,7 – 35,7 yen/kWh olduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, yatırım maliyeti %10 azalırsa bu fiyat 7,4 yen/kWh'a kadar düşürülebilmektedir [11].

Artıkların enerji potansiyeline dengi olan verileri elde etmek için gaz fazın nicelik ve nitelendirme deneyleri gaz kromatografi yardımıyla yapılmış ve elde edilen sonuçlarda artığın cinsine bağlı olarak 3 ve 4,5 MW arasında bir ısıl güç elde edilebileceği belirlenmiştir [12].

Branca ve ark. yaptığı çalışmada, silindirik odunların sabit yataklı ters akışlı gazlaştırıcıda uygun koşullar için kurutma karakteristiği üzerinedir. Çam ağacı silindirlerinin (40 mm çapında) kuruması, sabit yataklı, yukarı çekişli gazlaştırıcının kuruma bölgesi içerisinde tekrarlama koşulları için deneysel olarak araştırılmıştır (nominal hızlar 0,4 – 1,2 m/s ve en yüksek hava sıcaklığı 435 – 600 K). Sıcaklık profilleri, ısınan yüzeylerden içeriye doğru yavaşça yayılan bir kuruma bölgesi göstermektedir. Halbuki küresel kuruma oranları, nemin ince yüzey tabakası boyunca buharlaşması ve örnek ısıtmasına karşılık gelen iki en yüksek değer vermektedir. Tekrarlama eğilimleri kuruma zamanları dış ısıtma koşulları ve başlangıç nem kapsamına bağlı olarak bilinmektedir. Niceliksel bakış açısıyla, % 50 nem miktarı gözlenmesi parçacık ısıtma süresini 3 – 5 kat artırmaktadır. Bu ölçümler sonucunda, gazlaştırıcı davranışının daha karmaşık matematiksel anlatımları içerisinde tek parçacık etkisini araştırmak için kullanılabilecek öngörüler ve ağaç içerisindeki nemin buharlaşmasının basitleştirilmiş modeli elde edilmiştir [13].

Wander ve ark. yaptığı çalışma, odun talaşının gazlaştırma sürecinde üzerine olup en iyi teknik, ekonomik ve çevresel seçenekleri sunabilmek için bıçkıhane artıklarının kullanımı dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir. Hangi teknolojinin daha uygun olduğunun belirlenebilmesi için, bıçkıhanenin enerji gereksinimlerine ek olarak, üretim artıklarının karakterize edilmesi (nicelik, çeşit, kimyasal ve enerjik analiz) önem taşımaktadır. Bu çalışma, odun gazlaştırma teknolojisinin uygun bir şekilde arıtım yapıldığında, içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek bir gaz üretebileceğini

göstermektedir. Odun artıkları gazlaştırma sürecinin performansını değerlendirmek için, küçük, sabit yataklı, aşağı çekişli, tabakalı ve üstü açık bir gazlaştırıcı kurulmuştur. Kapasitesi 12 kg/h olan bu gazlaştırıcı, kendisine has bir özellik olan iç gaz döngüsüne sahiptir. Gazlaştırma tepkime sıcaklığını artırmak için üretilen gazın bir kısmını yakabilmektedir. Deneylerde ölçülen parametreler kullanılarak, gazlaştırıcının kütle ve enerji dengesi araştırılmış, elde edilmiş ve kütle değişim verimleri hesaplanmıştır [14].

Rao ve ark. yaptığı çalışma, şehirden toplanan artıklarından elde edilmiş yakıtın, ters akışlı, sabit yataklı gazlaştırıcı ile hava üflemeli gazlaştırma çalışmaları yapılmış ve gazlaştırıcının diğer biyokütle artıklardan türetilmiş yakıtlarla kullanımı sonucu elde edilen kütle ve enerji performans özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Gazlaştırıcının kütle dönüşüm verimliliği ve soğuk gaz verimliliği gözlenmiş ve sırasıyla % 83 ve % 73 olduğu bulunmuştur (toplanan artıklardan türetilmiş yakıt topakları için). Üretilen gazın katran içeriğinin ~ % 45 olduğu gözlenmiştir (bu değer odun talaşından oluşmuş gazın katran içeriğinden daha azdır). Farklı yakıtların gazlaştırılması sürecini tanımlamak için, deneysel stokiyometrik eşitlikler geliştirilmiştir. Süreç içerisindeki çeşitli verimsizlik ve tersinmezliklerin büyüklüklerini hesaplamak için, termodinamik analiz yapılmıştır. Gazlaştırma süreci içerisinde yer alan çeşitli tersinmezliklere bağlı olarak, artıklardan türetilmiş yakıt için, ekserji veya kullanılabilir enerji girdisinin % 27'sinin sistem içerisinde dağıldığı hesaplanmıştır. Soğuk gaz veriminin artıklardan türetilmiş yakıtlar için en yüksek değerde olduğu (% 56) ve onu soya bitkisi sapı ve odun talaşının izlediği gözlemlenmiştir. Süreç, sonucu açığa çıkan enerjinin % 2-3'ünün kullanılabilir enerji olduğu ve duyulur ısı enerjisi formunda olan ısıl enerjinin toplam enerjinin % 6-7'sini oluşturduğu hesaplanmıştır [15].

$Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör ve akışkanlaştırılmış yatak reaktör kullanarak, biyokütle gazlaştırılmasından yapay gaz üretimi üzerine Tomishige ve ark. araştırma yapmıştır. Bu araştırmada, biyokütlenin geleneksel yöntemlerden (katalizörsüz, dolamitli, piyasa tipi buharı ıslah eden Nikel katalizörlü) daha yüksek enerji verimliliğinde gazlaştırılması için yeni katalizörler geliştirilmiştir. Selülozlu biyokütlenin

$Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizörler ile gazlaştırılmasından elde edilen sonuçlardan, katran oluşumunun ve katı karbon yanmasının ıslah edildiği bulunmuştur. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör aynı zamanda, sedir ağacının hava ile gazlaştırılması ve sıcaklıkla buhar ıslahı için denenmiştir. Sonuç olarak; $Rh/CeO_2/SiO_2$'nin kullanımıyla Nikel katalizöre göre daha fazla yapay gaz oluşmuştur. Bundan başka tek ve çift yataklı reaktörlerin performansı karşılaştırılmıştır. Tek yataklı reaktör sedir ağacının gazlaştırılmasında etkilidir. Ancak pirinç sapı gazlaştırılmasında gözlenen deaktivasyon nedeniyle uygun değildir. Aynı zamanda akışkanlaştırılmış çift yataklı reaktör ve $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanılarak, pirinç sapı, hint keneviri ağacı, şeker kamışı gazlaştırılması araştırılmıştır. Özellikle pirinç sapı gazlaştırılmasında, katalizör stabilitesi akışkanlaştırılmış çift yataklı reaktör kullanımıyla net bir şekilde artmıştır [16].

Heller ve ark. yaptığı çalışma, söğüt ağacı biyokütlesinden elektrik üretiminin çevresel yararları ve yaşam enerji döngüsü üzerinedir. Biyokütle, sıkı emisyon düzenlemeleri ve yenilenebilir Portfolio Standardı ile birlikte ABD'deki elektrik üretiminde önemli bir rol oynaması beklenen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Kuzey Amerika'da artan biyokütle enerjisi ve yakıt kaynağı olarak söğüt ağacı biyokütlesi enerji ürünleri geliştirilmiştir. Söğüt ağacı biyokütlesinin elektrik enerjisine dönüşümü açısından, söğütün bütün ömrü içerisindeki enerji ve çevresel performansının karakterize eden bir hayat döngüsü envanteri sunulmuştur. New York'ta yapılan deneyin tezahürü olan cetvel kullanarak söğüt biyokütlesi üretim modeli geliştirilmiştir. Mevcut kömür yakan üretim tesislerinde odun artıklarının bütünleyici kullanımını içeren birlikte yanma operasyonlarına benzemesi beklenen senaryolar sunulmuştur. Biyokütlenin % 10'luk birlikte yanma oranında, sistemin net enerji oranı (üretilen enerji/tüketilen toplam fosil yakıt ısıl değeri) % 8,9 artar ve net global ısınma potansiyeli % 7-10 arasında azalır. Net SO_2 emisyonları % 9,5 indirgenir ve NO_X emisyonlarında önemli derecede bir indirgenme olması beklenir. Ek olarak, bu çalışmada tahsis edilen biyokütle gazlaştırma ve doğrudan yanmalı üretim tesislerinde söğüt ağacı biyokütlesi kullanılarak sistem performansı hesaplanmış ve önlenen kirliliğin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla (rüzgar vb.) karşılaştırılabilir olduğu gösterilmiştir. Düşük iş üretim yeteneğine sahip

akışkanlaştırılmış yataklı gazlaştırma sisteminde $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizörlerin, buhar ıslah eden katalizörler, dolamit ve iç malzemelerle karşılaştırılmıştır [17].

Asadullah ve ark. yaptığı araştırma, katalizörler ile kombine edilmiş bir çift yataklı gazlaştırıcı sistemde sedir ağacının düşük sıcaklıklardaki (823 – 973 K) katalitik gazlaştırması değerlendirilmiştir. Çift yataklı gazlaştırıcı; biyokütlenin pirolizi, piroliz gazları ve katranın katı ürünlerden ayrılması için birincil yatak kısmı ve ikincil katran yenileyiciden meydana gelmektedir. Katalizör geliştirilmesi, karbonun gaza çevrilmesi ve $CO + H_2 + CH_4$ ürünlerin artması için geliştirilen $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizörü üzerinde çalışılmıştır. Özellikle dakikada maksimum 250 mg biyokütle kullanımı sonucu oluşan katran, sistem içerisinde 3 g katalizör kullanılarak bütünüyle gaza dönüştürülebilmiştir (biyokütle içerisindeki toplam karbon miktarı hata oranı % 25). Bu performans, geleneksel katran yenileyici katalizörlerin performansından daha yüksektir. Ek olarak $Rh/CeO_2/SiO_2$ üzerinde biriken kok miktarı çok daha küçüktür. Mükemmel katalizörlerle birlikte kullanılan çift yataklı sistemlerde, geleneksel metotlarda gerek duyulandan daha düşük sıcaklıklarda ve yüksek enerji verimliliğiyle, hemen hemen bütün katranın sentez gazlara dönüşümü gerçekleştirilmiştir [18].

Baron ve ark. yaptığı çalışmada ise, odun talaşının gazlaştırma sonucunda elde edilen gazların ortalama sıcaklıktaki katı oksit yakıt hücrelerinin performansı üzerine etkileri belirlenmiştir. Çeşitli atmosfer basıncında yapılan testlerde anot malzemesi, madeni seramiktir (%60: 40 (ağırlık) Ni: C60 – 10 ($Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$)). CH_4 ile karşılaştırıldığında CO'in hücre performansını azalttığı bulunmuştur. Karbon birikmesine bağlı olarak düşük güç çıktısıyla sonuçlanan çalışmada (CH_4 yüzdesi: % 5-10), yakıt içerisinde %10 civarında CO_2 bulunması hücre performansını önemli bir derecede etkilemektedir [19].

Asadullah ve ark. yaptığı araştırma, gaz türbiniyle güç üretimi için kullanılmak üzere yüksek kaliteli gaz yakıtların üretimi için, havayla gazlaştırılma işlemi, düşük sıcaklıklarda (823 – 973 K) akışkanlaştırılmış yatak reaktör ve $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma işlemi sedir ağcının yakıt

olarak kullanımı ile laboratuvar ortamında sağlanmıştır. Soğuk gaz verimliliği, katran konsantrasyonu, karbonun gaza dönüşümü ve gaz bileşimleri ölçülerek $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizörlerin performansı, buhar iyileştirilmesi için G-91 katalizör, dolamit ve katalizörsüz sistemlerle karşılaştırılmıştır. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanılarak elde edilen ürün gazlarında katran konsantrasyonu tamamen ihmal edilmiştir. Halbuki bu değer G-91, dolomit ve katalizörsüz gaz üretiminde sırasıyla 30, 113, 139 g/m^3'tür. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizörler kullanıldığında karbonun CO, H_2 ve CH_4 gibi yararlı gazlara dönüşümü daha yüksektir (873K'de). Bu durumda soğuk gaz verimi yanma hali için üretilen gazın hidrojen içeriği (> % 24 hacim) belirlenmiş değerden (> % 10 hacim) çok daha büyüktür. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanıldığında diğer katalizörlere göre kok ve kömür oluşumu daha düşüktür. Aynı katalizörün en az 20 deneyin için de kullanılmasından sonra katalizör yüzey alanının az bir miktarda azalmasına rağmen ciddi bir deaktivasyon problemi gözlenmemiştir [20].

Çay kurutması için aşağı çekişli bir odun gazlaştırıcının simülasyonu üzerine Jayah ve ark. bir araştırma yapmıştır. Çay endüstrisi için Srilanka'da bir gazlaştırıcı imal edilmiştir. Ancak belirli çalışma parametreleri ve tasarım özelliklerinin bu gazlaştırıcı üzerindeki etkileri konusunda bir eksiklik bulunmaktadır. Çeşitli durumlar için deneysel tasarım testleri yapılarak elde edilen bilgiler, bu parametre ve özelliklerin çevrim verimliliği üzerine etkilerini araştırmak için geliştirilmiş olan bir bilgisayar programını kalibre etmek için kullanılmıştır. Program piroliz ve gazlaştırma bölgeleri için iki adet alt modelden meydana gelmektedir. Piroliz alt modeli, maksimum sıcaklığı ve gazlaştırma bölgesine giren gazın bileşimlerini belirlemek için kullanılmıştır. Gazlaştırma bölgesi alt modeli, deneylerde elde edilen veriler kullanılarak kalibre edilmiştir. Bu gazlaştırıcı da 3-5cm büyüklüğünde ve nem içeriği % 15'den daha az olan odun talaşının kullanılması gerektiği bulunmuştur [21].

Sabit karbon içeriği % 30'dan büyük ve nem içeriği % 15'ten daha az olan besleme malzemesinden sakınılmalıdır. Yukarıdaki parametreler için gazlaştırma bölgesi, kabul edilebilir bir çevrim verimine ulaşabilmek için 33cm uzunluğunda olmalıdır [21].

Altafini ve ark. çalışması, Gibbs serbest enerjisinin minimizasyonuna dayandırılan bir denge modeli kullanılarak bir odun artığı gazlaştırıcısının simülasyonuna değinilmiştir. Gazlaştırıcı, geniş ölçüde Güney Brezilya'da yetiştirilen Pinus Elliotis talaşı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan biyokütle yaklaşık % 10'luk neme sahiptir. Ürün gazın ortalama bileşimi (katransız) kullanılan denge modeli ile karşılaştırılmıştır. Bıçkı artıklarının nem içeriğinin yakıt gaz bileşimine ve onun ısıtma değerine etkisini göstermek için duyarlılık çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaların daha iyi bir kesinlikle yenilenmesi için daha kompleks modeller hazırlanmıştır. Denge modellerinin nispi olarak daha yüksek sıcaklıklarda (800 ºC) meydana gelen tepkimeleri çok iyi temsil etmemesine rağmen bu modeller, bir gazlaştırıcının çalışma parametreleri varyasyonları hakkındaki bazı eğilimlerini gösterme konusunda yararlı olabilir [22].

Jong ve ark. araştırması, 1,5 MWth'lık (max.) basınçlı akışkanlaştırılmış yataklı gazlaştırıcı tesisatı kullanılarak biyokütle (odun ve Miscantus ağaç kırıntıları) ve Ren bölgesinden çıkarılan linyitin gazlaştırılması çalışması yapılmıştır. Yakıt çeşidi, basınç, sıcaklık ve hava faktörü gibi çeşitli süreç parametreleri kullanılarak NO_X ve katran emisyonu hesabı çalışmaları yapılmıştır. Karbon çevriminin % 80'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Yakıt – azotun HCN'ye çevrimi önemli derecede düşüktür. Sonuçlar, dipten beslemeli sistemler üzerinde yapılan çalışma sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Miscantus ağacın gazlaştırılması, temel tepkime kimyasına dayandırılan değişmez durumda azot türlerinin emisyonuyla ilişkili heterojen gaz – kor tepkimeleri ile karşılaştırılmıştır. Başlangıç ürünlerini hesaplamak için piroliz modeli (FG–DVC biyokütle versiyonu) uygulanmıştır. Ölçümler ve model simülasyon sonuçlarının birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür [23].

Zainal ve ark. odun veya odun talaşı kullanılarak aşağı çekişli bir biyokütle gazlaştırıcının oluşturulan bir deney düzeneğinde araştırma yapmıştır. Gaz bileşimi üzerine denklik oranı etkisi, kalorifik değer ve gaz üretim oranı belirlenmiştir. Ürün gazın kalorifik değeri başlangıçta denklik oranıyla birlikte artar, bir zirve noktasına ulaştıktan sonra denklik oranı artarken azalmaya başlar. Birim yakıt ağırlığı başına gaz akışı, denklik oranıyla lineer olarak artar. Aynı zamanda optimum denklik oranı

için bile karbonun gaz yakıta çevriminin tam olarak gerçekleşmediği görülmüştür [24].

Odun yakan biyokütle sistemlerinin dikkate alınan ısı ve güç üretim için enerji verimliliği ve ekonomisini Dornburg ve ark. incelemiştir. Endüstrileşmiş ülkelerde üretilen enerjiye biyokütlenin yardımını artırmak için oldukça istekli politikalar yürütülmektedir. Ancak biyokütle kaynakları oldukça sınırlı ve bir çok yerde pahalıdır. Bu nedenle kaynaklardan optimum yararlanma (minimum maliyetle maksimum enerjinin üretilmesi) arzu edilir. Farklı performans karakteristiklerine sahip, geniş çeşitlilikle biyokütle çevrim metodu mevcuttur. Ekonomik performansı, aynı zamanda lojistik etkisi, ısıdan yararlanabilirlilik gibi pek çok sebebe bağlıdır. Bu sebeple optimum sistemi belirlemek için sistem tanımlanmasına gerek duyulur. Bu çalışmada biyokütle enerjisinin ne kadarının kazanıldığıyla (birincil enerji tutma) ilişkili olarak ve enerjik – ekonomik performanslar dikkate alınarak farklı biyokütle enerji sistemleri araştırılmıştır. Çalışılan sistemler artık ağaç biyokütlesi, lojistik, ısı ve güç veya kombine ısı ve güç üreten yanma ve gazlaştırma üniteleri ile ısı dağıtımını kapsamaktadır. Sistemin performansı, ölçüsünün fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Bu ise sistem verimliliğini ve spesifik yatırım maliyetini anlatmak için türe ait fonksiyonlar kullanılarak lojistiğin enerji kullanımı ile ısı dağıtımını birim çevrim kapasitesinin fonksiyonu olarak ifade ederek yapılmıştır. Biyokütle enerji sistemleri içerisinde ölçü etkisi önemlidir. Dikkate alınan 0 – 300 $MW_{th\text{-}input}$ ölçü aralığında yukarı ölçümlendirme ile sistemlerin birincil enerji tutma birim maliyetleri azalır veya ortalama ölçülerde optimum değerini alır. Birincil enerji tutma değeri 0,53 – 1,13 $GJ_{FOSİL}$ arasında yer alır. Ekonomik ve enerji üretim açısından uygun olan BIG – CC sistemleridir [25].

Yakıt ve kimyasallar için biyokütle çevrim süreçlerini ve biyokütle kaynak imkanlarını araştıran Demirbaş ve ark. biyokütle kaynakları olarak odun, odun artıkları, zirai ürünler ve onların üretim artıkları, şehir artıkları, yemek artıkları ve suda yaşayan bitkiler ile yosunları içerir. Biyokütle, elektrik üretimi, ev ısıtması, taşıt yakıtı olarak kullanımı ve endüstriyel faaliyetlerde proses ısısı sağlama gibi çeşitli aralıktaki enerji gereksinimlerini karşılamakta kullanılır. Biyokütlelerden

yararlanmak için kullanılan çevrim teknolojileri, direkt yanma süreci, termokimyasal süreçler, biyokimyasal süreçler ve agrokimyasal süreçler olmak üzere 4 temel kategoriye ayrılabilir. Termokimyasal çevrim süreçleri; gazlaştırma, piroliz, süperkritik sıvı çıkarma ve sıvılaştırmadan meydana gelir. Piroliz; biyokütlenin sıvı, odun kömürü, gazlar, asetik asit, aseton ve metanole havasız ortamda ve 750 K'e kadar ısıtmayla dönüşüm sürecidir. Eğer amaç biyokütle pirolizinden meydana gelen sıvı üretim ürünlerini maksimize etmekse düşük sıcaklığa, yüksek ısıtma oranına ve kısa rezidans zamanına gerek duyulacaktır [26].

Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği bünyesinde yürütülen "Orman ürünleri atıkları ve SEKA kağıt fabrikası atık çamurlarının gazlaştırma davranışının akışkan yatakta deneysel incelenmesi ve enerji potansiyeli" adlı araştırma fonu projesi ile odun ve atık çamur gazlaştıran biyokütle sistemlerinin dikkate alınan ısı ve güç üretim için enerji verimliliği ve ekonomisini incelemiştir [27].

3.ENERJİ, LİNYİT, YERLİ LİNYİTİN GAZLAŞTIRILMASI, ENERJİ ÜRETİM SÜREÇLERİ VE AKIŞKAN YATAKLI GAZLAŞTIRICILAR

3.1. Enerji

Günümüz gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli gereksinimi enerjidir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, üretip tükettikleri enerjiye büyük ölçüde bağımlıdır. Dünya nüfusunun artışı ile beraber enerjiye olan istek de günden güne artmakta olup bu gereksinim dünya başlangıcında biyokütlenin milyonlarca yıl süren yer altı gazlaşma süreci ile oluşan kömür, petrol, doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının sürekli azalması ve ayrıca enerji üretimi için kullanımı sırasında yarattıkları çevre sorunları enerji sorununu sürekli olarak gündemde tutmaktadır. Milyonlarca yıl süren doğal yer altı biyokütle gazlaşma sürecinin, kısa süreli teknik biyokütle gazlaşma süreçleri ile yapay birincil enerjiler (gaz, sıvı, katı) elde edilmektedir[28].

Bu bölümde birincil enerji kaynakları ve yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları iki bölümde halinde incelenecektir.

3.1.1. Dünyada ve Türkiye'de enerji alanında eğilimler

Uluslararası Enerji Ajansının (UEA/IEA) öngörülerine göre, Dünya'da enerji sektöründe hakim olan eğilimlerin sürmesi durumunda, geleceğe ilişkin olarak aşağıdaki öngörüler yapılmaktadır:

- Dünyada 2030 yılına yönelik öngörülerde, enerji gereksiniminin önemli ölçüde fosil yakıtlarla karşılanmasının sürdürülmesi beklenmektedir.

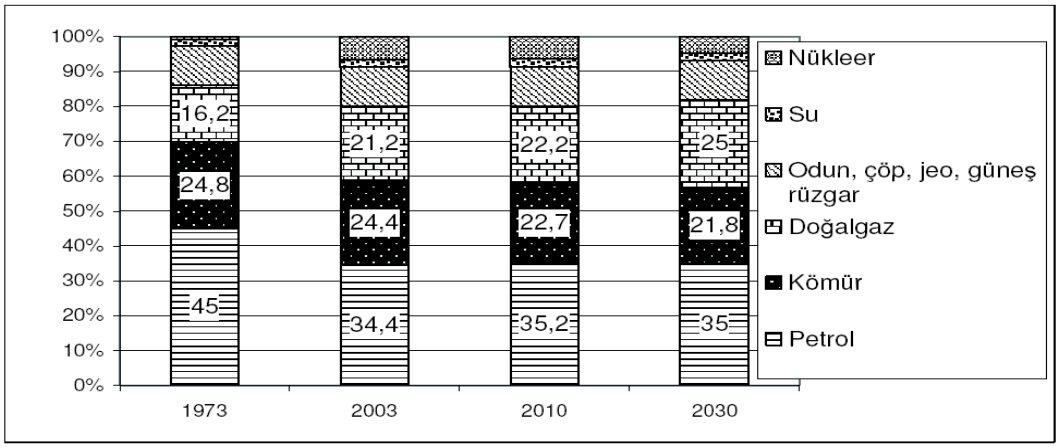
Varolan politikaların sürmesi durumunda, 2030 yılındaki enerji gereksiniminin bugünkünün %50'sinden daha fazla artış göstermesi, fosil yakıtların enerji gereksiniminin karşılanmasında etkin durumunu sürdürmesi, buna karşılık

yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nükleer enerjinin payının sınırlı kalması beklenmektedir.

Dünya toplam birincil enerji arzı, 2003 yılında 10.579 milyon ton petrol eşdeğeri olmuştur. Söz konusu arzın kaynaklara dağılımında %34,4 ile petrol ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra, %24,4 ile kömür ve %21,2 ile doğalgaz sıralanmaktadır.

1973 yılından 2003 yılına kadar geçen 30 yıllık dönemde, dünya birincil enerji arzında petrolün payı %10,6 düşerken doğalgazın payı %5 ve nükleer enerjinin payı ise %5,6 artmıştır. Kömürün payında ise kayda değer bir farklılık bulunmamaktadır. Toplam arz içerisinde 1973 yılında %24,8 olan kömürün payı 2003 yılında %24,4 olmuştur.

İleriye yönelik yapılan öngörülerde, dünya birincil enerji arzının 2030 yılında 16.500 milyon ton petrol eşdeğeri (MTEP) olacağı ve bu miktarın kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı öngörülmektedir. Buna göre, 2030 yılında en büyük pay %35 ile yine petrolün olacaktır. Petrolü %25 ile doğalgaz, %21,8 ile kömür, %11,3 ile odun, çöp, jeotermal, güneş, rüzgar vb. kaynakların, %4,6 ile nükleerin ve %2,2 ile hidrolik kaynakların izleyeceği tahmin edilmektedir. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Dünya birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımı [28]

- Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan karbondioksit ve sera etkisi yaratan diğer kirleticiler varolan enerji sisteminin sürdürülebilirliğini riske sokmaktadır.

Varolan politikaların sürmesi durumunda enerjiden kaynaklanan karbondioksit emisyonları hızlı biçimde artacaktır. UEA'nın "World Energy Outlook 2004" adlı yayınına göre 2030 yılına kadar CO_2 emisyonunun 2004 yılı değerinin % 60'ından daha fazla olması beklenmektedir. Beklenen emisyon artışının üçte ikisinden fazlasının, genellikle karbon yoğunluğu en yüksek yakıt olan kömürü tüketen gelişmekte olan ülkelerden kaynaklanacağı öngörülmektedir. Emisyonların temel kaynakları termik santraller ve taşıtlar olacaktır.

Varolan eğilimler sürdüğünde atmosferik karbondioksit derişiminin bu yüzyılda sanayi öncesi dönemlerin iki katına çıkacağı öngörülmektedir. Bu durumun küresel sıcaklığın 2-5 derece yükselmesi anlamına geldiği, iklim düzeninde öngörülemez değişikliklere neden olacağı, doğanın taşıyabilme sınırlarının sonuna gelindiği yönünde görüşler vardır.

- Sürdürülebilir bir enerji sistemi oluşturabilmek için enerjinin üretimi ve kullanımında teknolojik değişimin gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Seçenek Senaryo'da CO_2 emisyonlarının artış hızının düşürülmesi öngörülmekle birlikte, bunun varolan teknolojilerin kullanımıyla önemli ölçüde sağlanamayacağı açıktır. Karbon tutma ve depolama teknolojilerinde gelişmeler olduğunda bu durumun fosil yakıtların kullanımını etkileyeceği düşünülmektedir. Diğer yandan ileri nükleer reaktörler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabileceği beklenmekte, ancak UEA'ya göre inceleme döneminde bu gelişmelerin gerçekleşme olasılığı zayıf görünmektedir. Bununla birlikte küresel enerji sisteminin ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir olmasında, teknolojik gelişmelerin ve bu gelişmelerin uygulamaya koyulmasında anahtar rol oynayacağı kabul edilmektedir [28].

UEA varolan enerji politikalarının sürdürülebilirliği konusunda da kaygılıdır. Yapılan çalışmalarda petrol piyasalarındaki yatırım eksikliğine dikkat çekilmekte, gelecekteki küresel enerji isteğinin karşılanmasında Orta Doğu ve Kuzey Afrika (ODKA) bölgelerinin önemli bir rol oynayacağı belirtilmektedir.

UEA ülkelerinin ve özellikle Çin ve Hindistan gibi büyük ithalatçıların Orta Doğu ve Kuzey Afrika'dan (ODKA) petrol ve doğalgaz ithalatının artacağı vurgulanmaktadır. Enerji kaynaklı karbondioksit emisyonlarının da yükseleceği göz önünde tutulduğunda UEA, enerji arz güvenliği ve çevre açısından varolan politikalarının sürdürülebilir olmadığını belirtmektedir. 2030 yılına kadar bölgenin dünya petrol üretimindeki payının % 35'ten % 44'e çıkması beklenmektedir. Bölgenin 2030 yılına kadar petrol üretimi % 75, doğalgaz üretimi ise yaklaşık üç kat artacaktır. Ancak bunun için bölgedeki ülkelerin enerji altyapısı için yılda yaklaşık 53 milyar dolar yatırım yapmaları gerekmektedir.

ETKB'nin rakamlarına göre Türkiye'de 2004 yılında birincil enerji kaynakları üretimi 24,33 milyon tep, tüketimi ise 87,81 milyon tep olmuştur. Bu rakamlara göre enerji tüketiminin %72'si ithalatla karşılanmaktadır. Birincil enerji kaynakları tüketiminin % 36'sı petrole dayalıdır. Tüketilen petrolün yaklaşık % 7'si yerli üretimle karşılanmaktadır [28].

3.1.2. Dünyada fosil yakıt kullanımı

Dünya enerji tüketimi nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak baş döndürücü bir hızla artmaktadır. Toplam enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin (jeotermal, güneş, rüzgar, odun vb.) payı, eğer ticari ve ticari olmayan tüm enerji kaynakları birlikte değerlendirilirse, yaklaşık %10 olarak tahmin edilmektedir. Petrol ve doğalgaz dünya enerji tüketiminin %60'ını, petrol, doğalgaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklar ise %85'ini karşılamaktadır. Son 30 yıldaki tüketim eğilimi incelendiğinde, tüketimi en hızlı artan enerji kaynağının doğalgaz olduğu görülmektedir. Bu eğilimin süreceği ve doğal gazın toplam enerji tüketiminde %23

olan payının 2025-2030 yılları civarında %25'e çıkacağı düşünülmektedir [29]. Dünya fosil yakıt rezervleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Dünya fosil yakıt rezervleri [29]

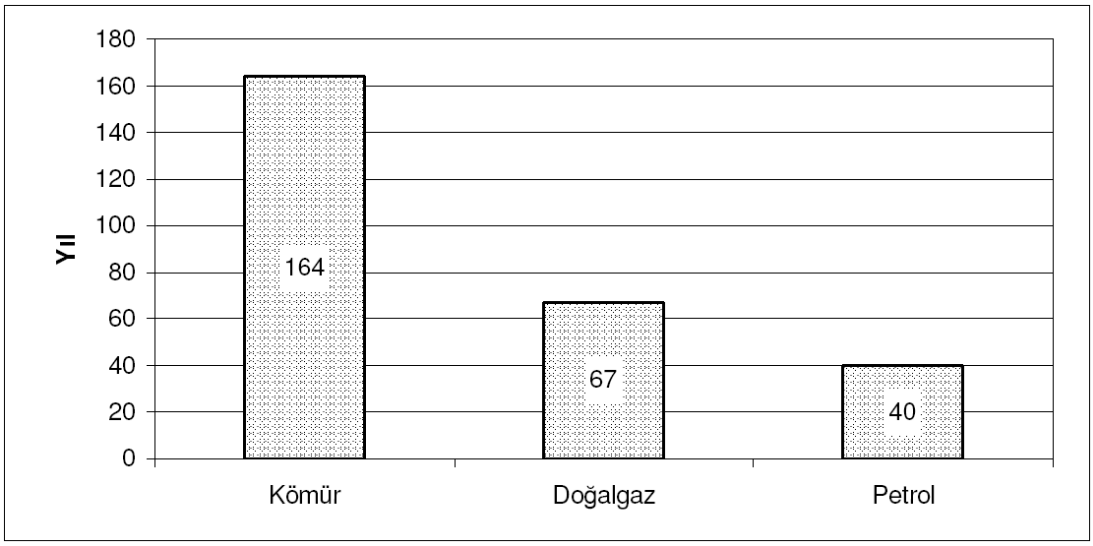
Bölge	Petrol Milyar Ton	D. Gaz Trilyon m^3	Kömür (Milyar Ton)	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	11,5	8,4	116,7	139,8
Orta ve Güney Amerika	13,0	6,2	7,8	13,7
Avrupa	2,7	5,2	41,7	80,4
Eski SSCB Ülkeleri	9,1	56,7	97,5	132,7
Ortadoğu	91,2	49,5	0,2	-
Afrika	10,1	10,2	61,2	0,2
Asya ve Okyanusya	5,8	10,2	184,4	107,9
TOPLAM DÜNYA	143,4	146,4	509,5	474,7

Dünya petrol rezervleri 1998 yılında çok az bir artışla 143,4 milyar tona yükselmiştir. Bölgeler itibariyle dünya petrol rezervlerinde %64 ile Ortadoğu ülkeleri en büyük payı, ikinci sırayı ise %9 pay ile Orta ve Güney Amerika almaktadır. Ülke bazında bakıldığında ise Suudi Arabistan %25 ile birinci sırada yer almakta olup, bunu Irak (%11), Birleşik Arap Emirlikleri (%9), Kuveyt (%9), İran (%9) ve Venezuella (%7) izlemektedirler [30].

Dünya doğalgaz rezervlerinde Rusya Federasyonu %33'lük pay ile birinci sıradaki yerini korumaktadır. Rusya Federasyonunun toplam gaz rezervi; 48,14 trilyon m^3 olup bunu, 22,94 trilyon m^3 ve %16 pay ile İran izlemektedir. Dünya doğalgaz rezervlerinin kullanılabilme süresi 63,4 yıl olarak belirlenmiştir [30].

Ülkemizin önemli enerji kaynaklarından biri olan kömürün dünya toplam enerji arzı içerisindeki payı 2030 yılına kadar önemli bir değişim göstermeyecektir. Bu öngörüde, kömür rezervlerinin petrol ve doğalgaz gibi diğer enerji kaynaklarına göre dünya üzerinde daha geniş bir yayılım gösteriyor olması rol oynamaktadır. Söz konusu enerji kaynaklarının kalan ömürleri dikkate alındığında, kömürün, özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacağı anlaşılmaktadır. 2004 yılı

sonu itibariyle dünya toplam kanıtlanmış kömür rezervi 909 milyar ton olup, dünya kömür üretim büyüklüğü dikkate alındığında kömür rezervlerinin 164 yıl ömrü bulunmaktadır [31]. Bu süre, yeni rezervlerin bulunması halinde petrol için yaklaşık 40 yıl ve doğalgaz için ise 67 yıl olarak öngörülmektedir.



Şekil 3.2. Dünyadaki enerji kaynaklarının kalan ömürleri [28]

Gelecekte yıllarda da enerji, insan gereksinimlerinin karşılanması ve ekonomik gelişmenin sağlanması amaçları ile artan miktarlarda kullanılmaya devam edecektir. Varolan ve planlanan piyasa durumlarına göre gerek duyulacak bu enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanacaktır.

Pek çok kuruluşun yaptığı öngörülere göre 21. yüzyılın büyük bir bölümünde petrol, doğalgaz ve kömür global enerji gereksinimlerinin karşılanmasında ağırlıklı olarak kullanılmaya devam edecektir.

3.1.3. Türkiye'de fosil yakıt rezervleri ve kullanımı

Türkiye enerji kaynakları açısından zengin ülkeler grubuna girmemektedir. Ülkemizde alışılagelmiş enerji kaynaklarının çeşidinin zengin olmasına karşın bu kaynaklar nitelik ve nicelik yönünden belli başlı dünya rezervleri ile

karşılaştırıldığında oldukça fakir bir görünümdedir. Özellikle petrol ve doğalgaz rezervlerimizin kalorifik değerleri göz önüne alındığında enerji değerinin pek yüksek olmadığı literatür çalışmaları göstermiştir. Çizelge 3.2'de ülkemizin birinci enerji kaynakları rezervi görülmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye birincil enerji kaynakları rezervi [32]

Kaynaklar	**Toplam**
Taş Kömürü (MTon)	1.126
Linyit (MTon)	8.075
Asfaltit (MTon)	82
Bitümlüler(MTon)	1.641
Ham Petrol (MTon)	41,8
Doğal Gaz (Milyar m^3)	8,7

Rezervlerimizin dünya rezervleri içerisindeki yeri incelendiğinde, kömür rezervi ile jeotermal ve hidrolik enerji rezervi dünya kaynak varlığının %1'i civarındadır. Petrol ve doğalgaz rezervi ise son derece kısıtlıdır. Çizelge 3.3'de ülkemizin birinci enerji kaynakları üretiminin yıllara göre değişimi verilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye birincil enerji kaynakları üretiminin yıllara göre değişimi [33]

Yıllar	Taş Kömürü	Linyit	Asfaltit	Petrol	Doğal gaz	Hidrolik	Jeotermal		Güneş	Odun	Hay. Ve Bit.Art.	Toplam
							Elektrik	Isı				
1985	2199	8212	225	2216	62	1036	5	-	-	5210	2539	21703
1990	2080	9524	119	3903	193	1991	69	16	21	5361	1847	25123
1991	1827	9117	60	4674	185	1951	70	16	27	5391	1821	25138
1992	1727	10299	92	4495	180	2285	60	30	32	5421	1788	26408
1993	1722	9790	37	4087	182	2920	67	30	38	5451	1697	26021
1994	1636	10471	-	3871	182	2630	68	47	45	5482	1627	26059
1995	1319	10735	29	3692	166	3057	74	64	52	5512	1556	26255
1996	1382	10876	15	3675	187	3481	72	90	80	5512	1533	26887
1997	1347	11759	12	3630	230	3424	71	108	80	5512	1512	27687
1998	1143	12792	10	3385	514	3632	73	153	100	5512	1550	28863

Birincil enerji üretimi 1998 yılına göre %4,3 artışla 28,9 Mtep'e ulaşmıştır. Petrol ve doğal gaz üretim miktarları oldukça düşük olup ülkemizin ana enerji kaynağı başta linyit olmak üzere kömürdür.

Kömür birincil enerji kaynak üretiminin %48,3'ünü, petrol ise %13,5'ini oluşturmuştur [30].

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de enerji gereksiniminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan kömür, petrol, linyit vs.'den sağlanmakta ve bunun sonucu olarak da fosil yakıt kaynakları giderek tükenmektedir. Bu durumu göz önünde bulundurarak ileride doğabilecek bir enerji krizini önlemek için şimdiden seçenek enerji kaynaklarını bulma, kullanımını yaygınlaştırma ve gerekli teknolojilerin kurulması yoluna gidilmelidir. Ülkemizde birinci enerji kaynakları tüketiminin yıllara göre değişimi Çizelge 3.4'de görülmektedir.

Çizelge 3.4. Türkiye birincil enerji kaynakları tüketiminin yıllara göre değişimi [33]

Yıllar	Taş Kömürü	Linyit	Asfaltit	Petrol	Doğal gaz	Hidrolik	Jeotermal		Güneş	Odun	Hay. Ve Bit.Art.	Toplam
							Elektrik	Isı				
1985	3775	7933	225	18134	62	5	5	-	-	5210	2539	39167
1990	6150	9765	123	23901	3110	69	69	16	21	5361	1847	52632
1991	6501	10572	60	23315	3827	70	70	16	27	5391	1821	53915
1992	6243	10746	85	24865	4197	60	60	30	32	5421	1788	56298
1993	5834	9918	44	28412	4630	67	67	30	38	5451	1697	59845
1994	5512	10331	0	27142	4921	68	68	47	45	5482	1627	58675
1995	5905	10570	28	29324	6313	74	74	64	52	5512	1556	63180
1996	5560	12351	15	30939	7186	72	72	90	64	5512	1533	68035
1997	8452	12317	13	30515	9165	71	71	108	80	5512	1512	73257
1998	8921	12631	10	30349	9690	73	73	153	100	5512	1550	74248

Genel enerji tüketimi içerisinde petrol %40,9 ile en büyük paya sahiptir. Bunu %17 ile linyit ve %13,1 ile doğalgaz takip etmektedir [30].

Enerji üretiminin yavaş, isteğin ise hızlı artması sonucunda Türkiye'de enerji ithalatı hızla artmıştır. Bugünkü öngörülere göre gelecekte de enerji ithalatında hızlı bir artış

beklenmektedir. Türkiye toplam enerji arzının 1990 yılında %54 ve 1998 yılında %61 net ithalatla karşılanırken bu değer 2020 yılında %76'ya ulaşacaktır. Toplam enerji ithalatında petrol %62 ile en fazla paya sahip olup bunu %9 ile doğalgaz ve %15 ile taş kömürü izler. Bu oranların 2020 yılında sırası ile %29, %33, %38 olması beklenmektedir [30].

Uzun dönem enerji üretim gelişimi çalışmalarının sonuçlarından elde edilen en önemli konulardan biri üretimin giderek ithal kaynaklara dayalı olacağı gerçeğidir. Ayrıca enerji isteminin verimli ve ekonomik bir şekilde karşılanabilmesi için çeşitli enerji kaynakları kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Buna göre fosil yakıt kaynaklarının verimli kullanımı temel sorunu oluşturmaktadır.

3.1.4. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan çevre sorunları

Enerji insanoğlunun günlük yaşamını sürdürmesi için gerekmektedir. Nüfusun artışına paralel olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Kişi başına düşen enerji tüketimi refah düzeyinin bir göstergesi olmaktadır. Ancak enerjinin günümüzde sayılamayacak kadar çok yararının yanı sıra, enerjinin üretimi, taşınımı sırasında doğal çevre bozulmakta ve kirlenmektedir.

Günümüzde dünya enerji gereksiniminin %80'i kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlarca karşılanmaktadır [30]. Enerji gereksinimini karşılamak için çok uzun zamandan beri kullanılan fosil yakıtlar sınırlı rezervleri ve çevreye verdiği önemli zararlar sonucunda dünyamızda her geçen gün yeni bir sorun gündeme getirmektedir.

Fosil yakıtlardan enerji üretilmesi sırasında oluşan salınımlar su buharı (H_2O), karbondioksit (CO_2), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitler (NO_X) içermektedir. Az miktarda bulunan diğer gazlar ise HCl, NO_2, CO ve SO_3 olmaktadır.

Yaklaşık olarak fosil yakıtlar yılda 25 milyar ton CO_2, CO, SO_2, NO_X, O_2, is ve kül çıkarmaktadır.

Dünyadaki sera gazlarının (CO_2, CH_4, N_2O, O_3, su buharı) yaklaşık olarak %57'si enerji kaynaklıdır. Atmosferde normal olarak bulunan sera gazları güneş enerjisinin tutulmasını sağlar. Bu durum atmosferin ortalama sıcaklığını dengede tutar. Kömür, petrol, doğalgaz gibi karbonlu yakıtların yanması sonucu açığa çıkan aşırı CO_2 atmosferde sera etkisine ve küresel ısınmaya, bu da iklim değişikliği, buzul erimesi, kıyı ovalarının su altında kalması, yağış rejimlerinin değişmesi, kurak ve yarı kurak alanların oluşması, orman ve bitki çeşitliliğinin azalması gibi sorunlara neden olmaktadır.

Bugün için dünyanın en önemli çevre sorunu sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmadır. GJ başına CO_2 emisyonu kömürde 85,5 kg, petrolde 69,4 kg ve doğalgazda 52 kg düzeylerindedir. Başlangıçta kömür, daha sonra petrol ve doğalgaza dayalı fosil kökenli enerji kullanımı atmosferdeki CO_2 derişimini son 150 yıl içinde %116 artırarak dünyayı küresel ısınma süreci ile karşı karşıya bırakmıştır.

Kömür ve petrol yakıldığında açığa çıkan kükürt, kükürt dioksit (SO_2) şeklinde yayılır. Atmosferde birikip, SO_3 şeklinde oksitlenir, yağmur suyuyla birleşip sülfürik asidi (H_2SO_4) oluşturur [34].

Enerji merkezleri, karayolları, fabrikalar, karayolu ulaşım araçları teknolojik etkinliklerin çıkardıkları kirlilik unsurları ile oluşan asit yağmurları değişik etkilerle oluşum kaynağından uzaklara yayılmaktadır. Su geçirmez granitler üzerinde bulunan göller ve tatlı su kaynakları ile etkileşen asit yağmurları, nitelikli suyun pH'ını düşürür. Sudaki canlılık etkinliği kaybolur ve su içilebilirlik özelliğini kaybeder. Asit yağmurları toprağa karıştığı zaman normalde çözülemeyen bileşikler oluşturmaktadır. Çözünen tuzlar, özellikle alüminyum tuzları ağaçların taze kökleri için zehirlidir. Bunun dışında asit yağmurları modern bina ve yapılara olduğu kadar tarihi binalara da zarar vermektedir [34].

Karbonlu yakıtların yanmasıyla oluşan NO_X, kirli hava solunduğunda akciğerlerde aside dönüşerek tahriş yapar, bronş tüplerini doldurur, akciğer havadan oksijen alma

yeteneğini yitirir ve kana daha az oksijen geçer. Hasta kronik nefes darlığı ve emfizema gibi hastalıklara yakalanır ve sonuç genellikle ölüm olur.

Geleneksel enerjilerinin üretiminde ve iletiminde arazi, su, hava kısacası çevre kirlenmekte ve iklim dengesi de bozulabilmektedir. Üretim sahasına yakın çevrede bulunan insanlar da dolaylı veya dolaysız olarak etkilenmektedir.

Kömür üretimi ve taşınması sırasında, ayrıca kullanıldığı yerlerde çevreyi kirletici özelliğe sahiptir. Kuyulardan çıkarılan ham petrole, hava kirletici ve aşındırıcı özelliklerini azaltmak amacıyla kükürt bileşiklerini uzaklaştırarak damıtma ve arıtma işlemleri uygulanır. Arıtma sırasında, çevrede su ve hava kirlenmesi ortaya çıkmaktadır. Petrolün yol açtığı kirlenmelerden bir diğeri de taşınması sırasında oluşmaktadır. Tankerler taşınırken deniz suyuyla yıkanan tanklardan çıkan yağlı suyun denize verilmesi ya da deniz kazaları sonucunda petrol denize dökülmektedir. Bu durum yalnız denizde yaşayan canlıları etkilemekle kalmayıp önemli bir yanma tehlikesi oluşturmaktadır.

3.1.5. Güneş ışıma enerjisinin kısa erimde depolanan biçimini oluşturan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çevreyi giderek kirletmesi nedeniyle önemini arttıran yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlileri su (hidrolik), biyokütle, rüzgar, güneş ve jeotermal kaynaklardır.

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının geliştirilmek istenmesinin bir nedeni de dünyada sınırlı olan fosil yakıt rezervlerini tükenmekten olabildiğince korumaktır. Kanıtlanmış üretilebilir petrol ve doğalgaz rezervlerine insan ömrüne sığacak kadar ömür biçilmesi insanlığın geleceği açısından düşündürücüdür.

Sürdürülebilir ekonomik büyüme için ekonomik sınırlar kapsamında uygun teknolojilerle yeni ve yenilenebilir enerji açığının açılması gerekmektedir [30].

Araştırmacıların yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgisini en önemli nedenlerinden birisi de bunların çevre kirliliği yaratmamasıdır. Çevreyi kirletmeyen yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji ve biyokütle enerjisidir.

Güneş enerjisi; bilinen en eski enerji kaynaklarından olup kütlenin enerjiye çevrildiği, dünyamıza ve diğer gezegenlere sonsuz enerji kaynağı veren yenilenebilir ve çevre kirliliği yaratmayan enerji kaynağıdır. Her yıl dünya atmosferinden yaklaşık $7x10^{14}$ MWh'lık güneş enerjisi bulunmaktadır. Güneş enerjisinin çok az bölümü dünyaya ulaşır ve bu değer dünyanın yıllık enerji üretiminin 2000 katından fazla olmasına karşılık kullanım alanı kısıtlıdır.

Rüzgar enerjisi; enerji tüketimini karşılamak amacıyla kullanılabilecek seçenek enerji kaynaklarındandır. Rüzgar, serbestçe kullanılabilmesi, sınırsız olması ve diğer ülkelere bağımlılık yaratmaması itibariyle gözardı edilmemesi gereken bir kaynaktır. Çevresel etkileri göz önüne alındığında ise bacagazı emisyonları, kül, asit yağmurları, küresel ısınma ve tehlikeli atık gibi sorunların bulunmadığı görünmektedir.

Dünya oldukça büyük bir rüzgar enerjisine sahiptir. Avrupa rüzgar enerjisi endüstrisi halen büyük bir gelişme içerisindedir. 1992'de 860 MW'lık kurulu kapasite ile 1995 sonunda 2500 MW artmıştır. Avrupa Topluluğu'nun 2030 yılına kadar elektrik enerji gereksiniminin en az %10'unun rüzgardan karşılanabileceği bulunmuştur [35].

Jeotermal enerji; yer kabuğunun derinliklerinden kaynaklanan yenilenebilir ve temiz bir ısı enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji günümüzde ekonomik olarak enerji-dönüşüm teknolojileri ile elektrik üretiminde veya doğrudan ısıtmacılıkta, kağıt, dokuma, kerestecilik ve ağaç kaplama endüstrilerinde kullanılır.

Hidrolik enerji; su gücünden elde edilen bir enerji kaynağı olup, dünya enerji üretiminde yaklaşık %21 karşılamaktadır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde yer alan ve ticari anlamda en az maliyetle değerlendirme olanağına sahip olan

hidrolik enerji için dünya genelinde 14.000TWh'lik hidrolik kapasitesi olduğu Avrupa ve Kuzey Amerika'da bu kapasitenin %60 civarında bir bölümünü kullanmaktadır[36].

Bir de yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyokütle enerjisi vardır.

Biyokütle kaynakları arasında yer alan odun, hayvan ve bitki artıkları uzun yıllardan beri ülkemizde ısıtma, yemek pişirme alanlarında etkin bir şekilde tüketilmektedir.

Sonuç olarak ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça şanslı ülkeler arasındadır. Çizelge 3.5'de Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 3.5. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (MTEP)

Kaynak	Öngörülen Potansiyeli (MTEP)	Teorik olarak teknik-ekonomik açıdan mümkün olan miktar (MTEP)	Kullanılan miktar (MTEP)	Toplam enerji kullanımı içindeki payı(%)
Biyokütle	135	65	7,9	13
Güneş	1300	260	0,038	0,06
Rüzgar	200	20	--	--
Hidroelektrik	40	11	2,92	5
Jeotermal	26	6	0,037	0,06
Deniz Dalga	21	--	--	--
Enerji Tasarrufu	30	18	--	--
TOPLAM	1752	380	10,89	18,12

3.2. Kömür Nasıl Oluşur?

Kömür, nebatların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğraması neticesi meydana gelmiştir. Bu tabakalar üzerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve arz'ın hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür. Gömülmüş olan bu nebatlar; artan ısı ve basınca maruz kaldıklarında bünyelerinde fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğrayarak kömüre dönüşürler. Bu proses milyonlarca yıl içinde gerçekleşerek kömürler organik olgunluklarına göre Linyit, Altbitümlü, Kömür, Bitümlü kömür ve Antrasit tiplerine ayrılırlar[37]. Linyit ve kısmen AltBitümlü kömürler genellikle yumuşak, kırılgan ve mat görünüştedirler. Bu tip kömürlerin ana özelliği göreceli olarak yüksek nem içerirler ve karbon içerikleri düşüktür. Antrasit ve Bi-tümlü kömürler ise genellikle seert ve parlak görünüştedirler. Göreceli olarak nem içerikleri düşük olup, karbon oranları yüksektir. Jeolojik olarak kömürlerin yaşları 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler daha kalitelidir.

Kömür; homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içersinde çoğunlukla C, az miktarda H - O - S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, elementleri gibi) maddelerinde olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda) da kullanılırlar[38]. Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun (nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun Ph şartlarının 4-5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökelmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin, fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler.

3.2.1. Kömürleşme (Coalification) olayı

Çoğunlukla bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökelir ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Yerin altında, bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonrada ortamın ısısal şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen bu organik maddeler zamanla daha koyu renklere sahip olur ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO_2), oksijen (O_2) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H_2) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Tabii ki bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içersinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir. Yer ısısı her 30 metrede 10ºC artmaktadır. Şüphesiz sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerlidir. Bu şartların dışında (volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı arttıkça önceleri "turba" olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce "linyit" daha sonra "alt bitümlü kömür", sonra "taşkömürü", "antrasit" ve en sonunda şartlar uygun olursa "grafit" e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine "Kömürleşme" (Coalification) denmekte, her seviyeye de kömürleşme derecesi "Rank" denmektedir.

Kömürler şüphesiz içlerinde kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik (mineral) madde bulundururlar. Kömürlerin içersinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini direkt olarak negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar içerebilir. Örneğin; kok imalinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler en iyi kömürlerdir[39].Yakıt hammaddesi olarak kömürün koklaşması bir anlam ifade etmez, en aranan özellik fazla ısısal niteliğe sahip olmasıdır. Kömürü sıvılaştırma işlemine tabi tuttuğumuzda ise en aranan özelliği uçucu maddesinin fazla olası vs. gelmektedir. Ama tümünde inorganik madde istenen bir bileşen değildir.

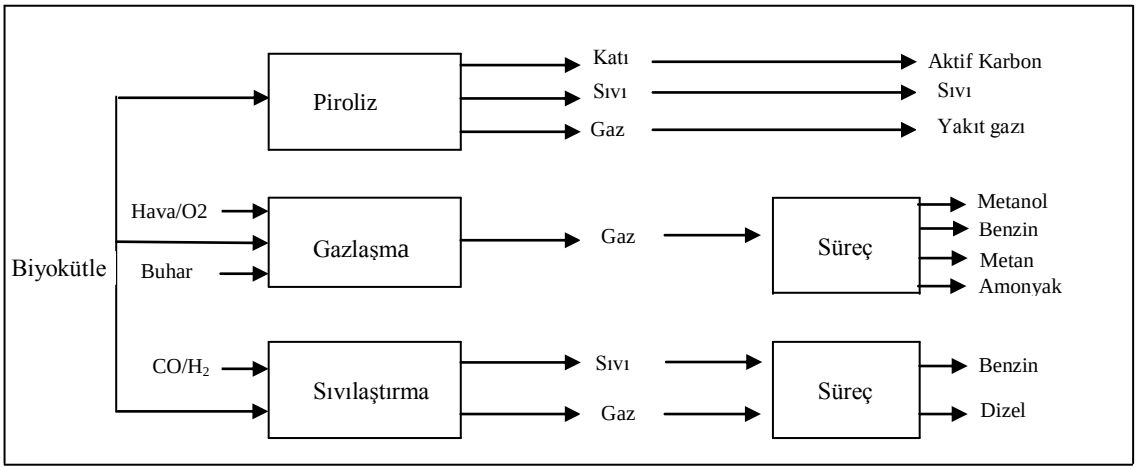
Enerji kaynağı olarak kullanılan linyit kömürünün, ülkemizde bol miktarda bulunabilmesi, gazlaştırılması sayesinde çevre kirliliğine neden olmaması, elde edilen enerjinin verimli kullanılabilmesi açısından son yıllarda önem taşımaktadır.

3.2.2. Türkiye'nin linyit kömür potansiyeli

Ülkemizin halen 858 TWh/yıl (77,31 MTEP/yıl) civarında olan temiz enerji gereksinimi ile 2000 yılında 91,030 MTEP (4,01 EJ) ve 2010 yılında 175,074 MTEP (7,38 EJ) olacağı öngörülen enerji isteğinin, yenilenebilir enerji potansiyelinden küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda, yeterli gelişmeler yapılsa ve tesisler kurulsaydı, isteğin tümünün yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması söz konusu olabilecektir. Türkiye'nin linyit kömür potansiyeli Çizelge 3.2'da verilmiştir [36].

3.3. Termokimyasal Süreçler

Termokimyasal süreçler; doğrudan yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve pirolizdir. Isıl süreçlerin hepsinde değişik reaktörler kullanılmakta, değişik koşullarda çalışılmakta ve değişik ürünler elde edilmektedir. Bu ürünlerin ve elde ediliş yolları, Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Termokimyasal süreçlerden elde edilen birincil ve ikincil ürünler

Termokimyasal dönüşüm sonucunda oluşan ürünler doğrudan kullanılabileceği gibi, daha kimyasal bileşiklere ya da yakıtlara çevrilerek de kullanılmaktadır[40]. Çizelge 3.6'da termokimyasal dönüşüm ürünleri ve teknolojileri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Termokimyasal dönüşüm ürünleri ve teknolojileri

Ürün	Oluşum	Bileşenler	Dönüşüm Yöntemi
Yakıt Gazı	DID gazlar OID gazlar	CO, H_2, CO_2, CH_4, N_2 CO, H_2, CO_2, CH_4, Yüksek Hidrokarbonlar	Piroliz, Hava Gazlaştırma Piroliz, O_2 Gazlaştırma
Sıvı	Yapay sıvı yakıt Katı sıvı bulamaç Katı-su bulamaç	Suda çözünmeyen Yüksek kaynama Noktalı O_2'li bileşikler Aktif karbon ve sıvı ürün Aktif karbon, su ve Dengeleyici (Stabilizer)	Piroliz, Sıvılaştırma Piroliz Piroliz
Sulu Çözelti	Atık su	Suda çözünebilen düşük Kaynama noktalı O_2'li Bileşikler	Piroliz, Sıvılaştıma, Gazlaştırma
Katı	Aktif Karbon		Piroliz
Isı	Sıcak Su		Yanma

Sıvı ürün, elementer bileşimi biyokütleye benzeyen ve oksijenli hidrokarbonların çok karmaşık bir karışımdan oluşmaktadır. Sıvı ürün genellikle oil ya da bio-oil, daha yaygın olarak da "tar" olarak isimlendirilmiştir.

Piroliz sürecinden elde edilen katı ürün, gelişmiş ülkelerde metalurji endüstrisinde uygulamaları sınırlı olan char'dır.

Gaz, işletme içinde veya dışında güç üretimi için kullanılan orta ısıl değerli yakıt gazlarıdır. Bu gaz CO, CO_2, H_2, CH_4 ve doymuş miktarlarını içerir. Gaz, metanol ve benzin gibi daha yüksek değerli ürünlere fiziksel ve kimyasal olarak yükseltgenebilir.

Su besleme olarak kullanılan kömürdeki nemden ve aynı zamanda piroliz sırasında bir tepkime ürünü olarak oluşmaktadır.

Yanma

Doğrudan yanma, linyit kömürü kendisi yakıt olarak kullanıldığından, tam bir dönüşüm süreci değildir. Kömürden yanma ile elde edilen, enerjinin geleneksel şeklidir ve dünya nüfusunun yarısından fazlasına enerji kaynağı sağlamaktadır[41].

Yanma, kömürün partikül boyutuna, şekline, yoğunluğuna, nem içeriğine ve kalorifik değerine bağlıdır. Yanma için hammadde kuru olmalıdır. Nemli maddelerde enerjinin bir kısmı kömürdeki nemi buharlaştırmak için kullanılacağından yanma verimi düşer[41].

Gazlaştırma

Termokimyasal olarak gazlaştırma, biyokütle ve kömür gibi karbonlu maddelerin yüksek sıcaklıkta kısmi oksidasyon ile gaz ürünlere dönüştürülmesidir. Gazlaşma genellikle yoğunlaşmayan gazların (CO, CO_2, H_2, CH_4 ve çok az C_2H_6) üretiminde kullanılır[42].

Gazlaşma işlemi bir reaktörde ve hava, oksijen, kısmi oksidasyon, buhar veya bunların karışımlarının kullanıldığı reaktif atmosferinde gerçekleştirilir. Sürecin temel basamakları yine bu reaktörde gerçekleşir. Gazlaştırıcılar her ne kadar atmosfer basıncı altında çalıştırılırsa da süreç verimliliğini arttırmak için yüksek basınç uygulamaları da vardır. Gazlaşma sıcaklığı 1000 ºC'den daha da yüksek olabilir. Gaz ürünler, yoğunlaşmış tarların atıksı fraksiyonlarını, aerosolları ve partikülleşmiş külleri içerir[42].

Gazlaştırmadaki gazların bileşimleri, besleme stoğunun nem içeriğine, besleme gazların özelliklerine, tepkime sıcaklığına ve piroliz ürünlerinin yükseltgenme özelliklerine bağlı olarak değişir. Gazlaştırma kullanılan ortama göre, havada gazlaştırma, oksijenli ortamda gazlaştırma, buhar ortamında gazlaştırma ve karbondioksit ortamında gazlaştırma olarak sınıflandırılmaktadır[42].

Hava ortamında gazlaştırma, çok basit ve iyi bilinen bir süreç türüdür. Ürünler yüksek oranlarda azot içerirler. Ürün gazlar seyreltik haldedir ve enerji olarak düşük değere sahiptirler (4-600 kJ/Nm^3). Bu süreçte elde edilen ürünlerin mol olarak yüzdesi; %15-30 CO, %11-20 H_2, %4-15 CO_2, %0,5'ten az CH_4 ve %45-60 N_2'tur [43].

Oksijen ortamında gazlaştırmada ise ürünler daha yüksek enerjili (12000 kJ/Nm^3) ve CO ve H_2 gibi daha değerli gazlardan oluşurlar. Fakat kullanılan oksijen ünitesinin maliyeti oldukça yüksektir [43].

Oksijen veya havanın farklı miktarlarda karışımı olan buhar ortamında gazlaştırmada H_2/CO oranı daha yüksektir ve metan, metanol, hidrojen gazı, nafta, basit aromatik bileşikler (C_1-C_5) gibi çok değerli ürünler yüksek oranda elde edilirler [43].

Linyit kömürünün buhar ortamında gazlaştırılmasının gaz fazı reaksiyonları şu şekilde verilmiştir.

(315 – 485 ºC ve 200 – 2000 kPa)

Değişme Reaksiyonu: $CO + H_2O \overset{T_R}{\longleftrightarrow} CO_2 + H_2$

(230 – 450 ºC ve 100 – 30000 kPa)

Metanasyon: $CO + 3H_2 \overset{T_R}{\longleftrightarrow} CH_4 + H_2O$

(550 – 1000 ºC ve 100 – 4000 kPa)

Hidrokarbon dönüşümü: $C_nH_m + nH_2O \overset{T_R}{\longleftrightarrow} nCO + (n+m/2)H_2$

Karbondioksit ortamında gazlaştırılmasında ise süreç yavaştır ve karbon – karbondi-oksit reaksiyonu endotermiktir [44].

Çizelge 3.7. Gazlaştırma sürecindeki temel tepkimeler

	Tepkime Sıcaklığı	Basıncın Etkisi	ΔH (kJ)
Heterojen gaz/katı tepkimesi			
1. Su Gazı Tepkimesi: $C + H_2O \xrightarrow{T_R} CO + H_2$	Yüksek	$-(CO+H_2)$	+119
2. Boudouard Tepkimesi: $C + CO_2 \xrightarrow{T_R} 2\,CO$	Yüksek	-CO	+162
3. Hidrojenle Gazlaştırma: $C + 2H_2 \xrightarrow{T_R} CH_4$	Yüksek/Orta	$+CH_4$	-87
4. Kısmi Yanma: $C + 1/2O_2 \xrightarrow{T_R} CO$	Yüksek	+CO	-123
Tam Yanma: $C + O_2 \xrightarrow{T_R} CO_2$	Yüksek	$+CO_2$	-406
Homojen gaz/gaz tepkimesi			
6.Su Gazı Tepkimesi: $CO + H_2O \xrightarrow{T_R} H_2 + CO_2$	Yüksek/Orta	0	-42
7.Metanlaştırma: $CO + 3H_2 \xrightarrow{T_R} CH_4 + H_20$	Orta/Düşük	$+CH_4$	-206

Gazlaştırmada CO_2, H_2O ve O_2 kullanılarak biyokütleden temiz CO ve H_2 üretimi basit bir yöntem olarak bilinir. Piroliz sonucu oluşan katı atık veya yarı kokların gazlaştırılmasında ise oluşan kimyasal değişimler şu şekilde verilmiştir[45];

Char Gazlaştırma

$$C + CO_2 \xrightarrow{T_R} 2CO$$

$$C + H_2O \xrightarrow{T_R} CO + H_2$$

$$2C + 3/2O_2 \xrightarrow{T_R} CO + CO_2$$

Gazlaştırma sonucu elde edilen gazlar toplama veya dağıtma şebekelerindeki koşullara bağlı olarak endüstriyel ısı süreçleri, kurutma, pişirme ve kentsel ısıtma işlemlerinde kullanılabilir. Biyokütle gazlaştırma ürünlerinin potansiyel kullanım alanlarından biri de elektrik jeneratörleridir. Ayrıca hidrojen ve sentez gazı (H_2+CO) hazırlanmasında da önemli ölçüde kullanılmakta olup son yıllarda sentetik sıvı yakıtta üretilmektedir.

Dolaşımlı akışkan yatakta biyokütle gazlaştırma işleminde elde edilen gaz ürünler incelendiğinde gaz üründen katranın tamamen ayrıldığı, farklı partikül boyutlarında çalışıldığı, ilk yatırım maliyetinin düşük olduğu ve proseste kullanılan cihazların oldukça basit olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir[46].

Sıvılaştırma

Sıvılaştırma, düşük sıcaklıkta, yüksek basınçta ve katalizör varlığında gerçekleştirilen bir ısıl süreç olup maksimum miktarda sıvı ürün verir. Sıvılaştırma da hammaddenin kurutulmasına gerek yoktur. Elde edilen ürün, fiziksel ve kimyasal olarak piroliz sıvı ürününden daha kararlıdır ve hidrokarbon üretimi için saflaştırma işlemlerine gerek yoktur. Yöntemin olumlu yönü kullanılan katalizörlerin hidrojenerasyonu artırıcı rol oynamasıdır. Sıvılaştırma yüksek basınç altında hidrojen ortamında yapıldığından yüksek basınç maliyeti artırmaktadır. Yöntemin olumsuz yönlerinden birisi de kullanılan çözücü ve katı ürünün sıvı üründen ayrılmasının zorluğudur [47].

Piroliz

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, sıvı ve katı ürünlere bozundurulmasıdır. Bu bozundurma işlemi, katı yakıt açısından değerlendirildiğinde karbonizasyon, sıvı ve gaz açısından değerlendirildiğinde ise piroliz olarak adlandırılır.

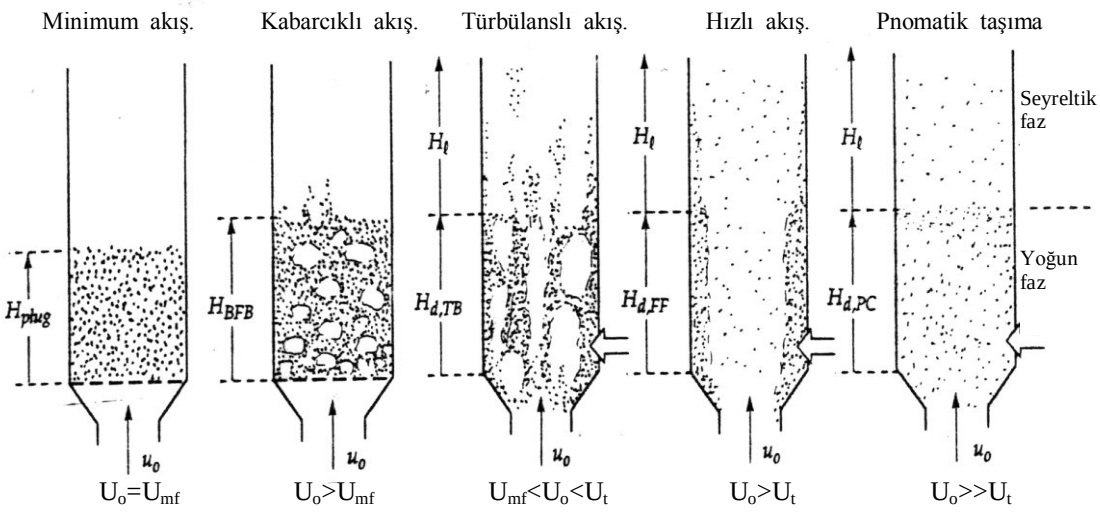
Karbonizasyon işleminde ulaşılan son sıcaklık ürünün yapısını etkilemektedir. Piroliz genelde düşük sıcaklıkta 500–800ºC'de gerçekleşir. Sıvı ürün çıkışı 300 ºC dolaylarında başlamakta ve 550–600ºC'ye kadar devam etmektedir. Gaz ürün çıkışı ise 900–1000 ºC'ye kadar devam etmektedir [48].

3.4. Akışkanlaşma ve Akışkan Yataklar

3.4.1. Akışkanlaşma

Akışkanlaşma, gaz veya sıvının etkileşim halinde bulunduğu küçük katı parçacıkların akışkan özelliğine kavuşturulduğu bir süreç olarak tanımlanabilir. Akışkanlaşma durumunda, parçacıklar üzerindeki yerçekimi kuvveti, atalet kuvvetleri ile dengelenir. Parçacıklar, akım içinde, yer çekiminden etkilenmeden yarı asılı durumda kalır. Akışkan yatak, parçacıklarla doldurulmuş bulunan dik bir kaba, alttan dağıtıcı plaka vasıtasıyla gaz beslenmesi ile oluşturulabilir [49].

Üst üste yığılı bulunan partiküllerin oluşturduğu yatağın altından gaz beslenirse, gaz partiküller arası boşlukları izleyerek yatağı terk eder. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi bir kabın (kesiti daire ya da dörtgen v.b. olabilir) tabanına üzerinde delikler bulunan bir levha koyulsun ve levhanın üzerine küçük katı partiküller serbest olarak dökülerek yığılsın. Kabın içinden bir akışkan, örneğin hava geçirilsin. Düşük akış hızlarında hava, katı parçacıkların arasındaki boşluklardan geçer. Bu davranıştaki yatağa sabit yatak denilir. Havanın geçişi sırasında, basınç düşüşü olmaktadır.

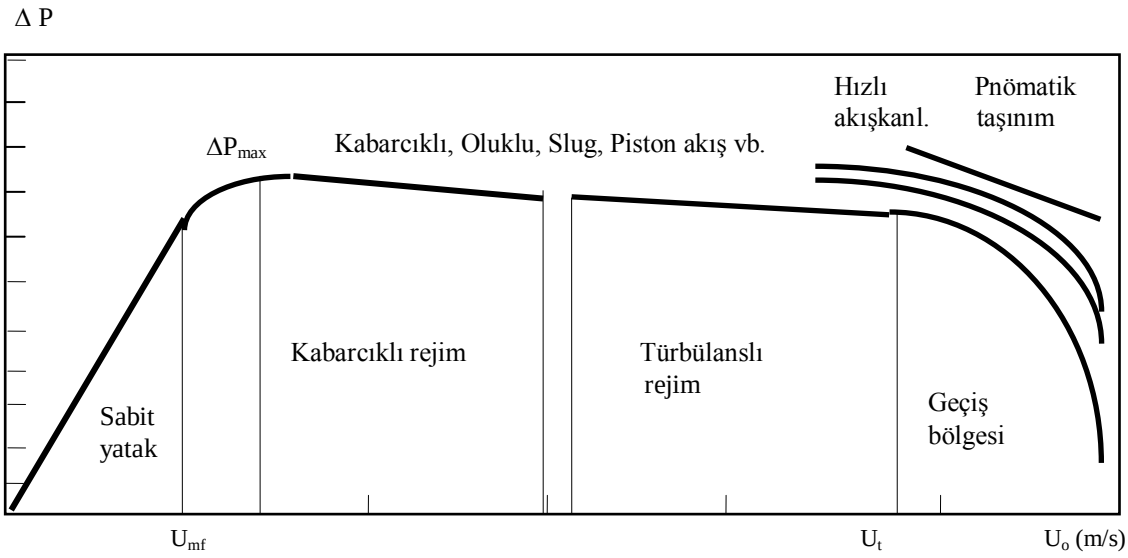


Burada U_o boşkolon gaz hızını, U_{mf} minimum akışkanlaşma hızını ve U_t ise taşınım hızını göstermektedir

Şekil 3.4. Akışkanın yukarı akışında, akışkanlaşma kalitesi ve evreleri

Hava debisi arttıkça yatak boyunca olacak basınç düşüşü de Şekil 3.6'de görüldüğü üzere doğrusal artış göstermektedir. Basınç düşümü, gaz (hava) akışkanının, partiküllerle oluşturduğu sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Gaz akışı biraz arttırılırsa, partiküller birbirinden ayrılmaya bazıları titreşmeye başlayacaktır. Bu tip yatağa genleşmiş yatak adı verilir[50].

Akışkan ile katı partiküller arasındaki sürtünme kuvveti, parçacıkların ağırlığına eşitlenmekte ve yatağın herhangi bir noktasındaki basınç düşümü, yaklaşık olarak o bölümdeki katı partiküller ile akışkanın ağırlığına denk olmalıdır. Bir başka deyişle, alttaki partiküller üsttekilerin ağırlığını hissetmemektedir. Bu nokta, akışkanlaşmanın başlangıç noktasıdır. Böylece, yataktaki partiküller gaz akışı ile kaldırılmakta ve sistem akışkan özelliği kazanmaktadır. Bu noktadan itibaren yatak basınç düşümü sabit kalmaktadır. Böylece, yatak basınç düşümü, kaldırma kuvveti yatak ağırlığına eşit olmalıdır. Bu noktaya, minimum akışkanlaşma noktası, hava hızına minimum akışkanlaşma hızı denilmektedir. Yatak minimum akışkanlaşma durumundadır.
Akışkan yataklı sistemlerin en önemli tasarım ve işletme parametresi minimum akışkanlaşmadır. Minimum akışkanlaşma hızı noktasından itibaren yatak basınç



Şekil 3.5. Yatak basınç düşüşünün gaz hızı ile değişimi, akışkanlaşma rejim bölgeleri

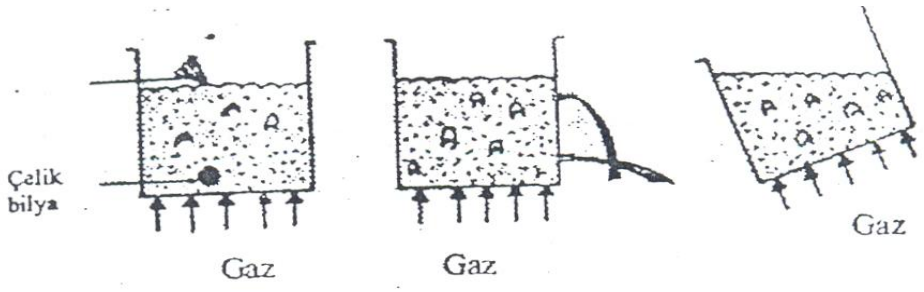
düşümü sabit değere ulaşmaktadır. Akışkan yatak uygulama tipine göre gaz hızına bağlı olarak, basınç düşümü eğrisi Şekil 3.6'daki gibi değişim gösterir [51].

Minimum akışkanlaşma hızının üzerindeki hızlarda yatak düzgün olarak genleşmekte ve kabarcıklar ya da kararsızlık görülmez, yatakta düzgün akışkanlaşma sağlanmaktadır. Yatak basınç düşümü akışkan hızı artsa da sabit kalmaktadır. Şekil 3.6'da akışkan hızının artması ile birlikte kabarcık oluşumu başlamakta, yatak yüksekliği fazla değişmemektedir. Bu tip yataklara kabarcıklı akışkan yataklar ya da 'heterojen akışkanlaşmış yatak' denilmektedir.

Kabarcık oluşumu genellikle, partikül ve akışkanın yoğunlukları arasındaki fark yükseldikçe görülür. Ayrıca, düşük viskoziteli akışkanlarda, yüksek gözenekli, büyük partiküllerle çalışıldığında kabarcıklaşma olasılığı büyüktür. Partiküller arası kuvvetler arttıkça kabarcıklaşma azalır. Dolayısıyla bu karmaşık dinamik sistemin davranışını teorik olarak belirlemek çok zordur. Yatak yüksekliğinin yatak çapına göre büyük olduğu durumlarda Şekil 3.5'de 'yığışma' (slugging) denilen olay meydana gelmektedir. Dağıtıcı elekte, akışkanın deliklerden geçmesi ile oluşan kabarcıklar yatak yüzeyine erişmeden birleşirler ve üzerilerinde kalan malzemenin alt taraftaki malzemeden ayrılmasına neden olmaktadır. Bu istenmeyen bir

durumdur, verimin ve ısı transferinin kötüleşmesine sebebiyet vermektedir. Akışkan hızı daha da artarsa bazı küçük partiküller terminal hızlarına erişmekte ve sistemi terk etmektedir. Bu duruma da 'taşınım evresi' denilmektedir. Malzeme miktarı azalmakta ve yerine yenisinin konulması gerekmektedir. Yatak malzemesi azaldığı için de basınç düşümü, yeni malzeme eklenmez ise düşmeye başlamaktadır (Şekil 3.6). Akışkanlaşma tekniği genellikle, 10μm ve 3mm arasındaki partiküllere uygulanmaktadır. Toz halindeki materyaller, ultra küçük (0,1 – 1,0 μm), süper küçük (1,0 – 10 μm) veya parçacıklı (10 – 100 μm) olmak üzere 100μm'ye kadar alt sınıflara bölünmektedir. Parçacıklı katılar 100 μm'den 300 μm'ye kadar materyalleri, kırılmış katılar ise 3 mm'den büyük şekilsiz partikülleri içermektedir [52].

Akışkanlaşmanın düzgün veya kabarcıklı olması, katı parçacıklarının ve akışkanın özelliklerine bağlıdır. Yatak geometrisi, gaz akışkan hızı, dağıtıcı elek, yatak içi bölme, engel ve ısı değiştiriciler, parçacıkların karışma hızına, kabarcıkların büyüklüğüne ve heterojenliğin derecesine etki ederler. Akışkanlaşmış bir yatak kaynayan bir sıvının özelliklerini gösterir. Yatak içine atılan bir cisim, yoğunluğuna göre ya yüzecek ya da batacaktır. Yatak bir yana eğildiği zaman yatağın üst yüzeyi yatayda kalmaktadır. İki yatak birleştirildiği zaman serbest yüzeyleri eşitlenmektedir. Akışkan yatağı içeren kabın bir noktasında bir delik açılırsa, katı taneler Şekil 3.7'de görüldüğü üzere akışkanla birlikte o noktadaki statik basınçla orantılı olarak şiddetle fışkırır. Kısacası bir akışkan yatak newtonion olmayan bir akışkanın özeliklerini göstermektedir [52].



Şekil 3.6. Akışkanlaşmış yatağın özellikleri

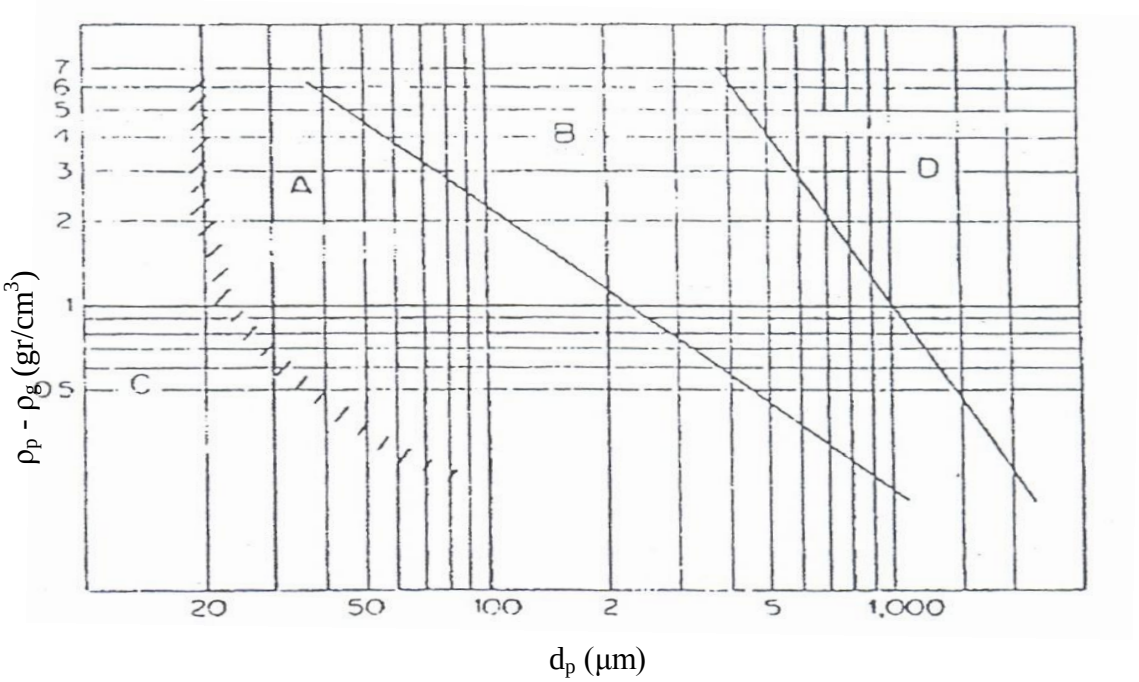
Yerçekiminden etkilenmeyen, akışkanlaşmış yatak, sıvı özelliklerine benzer nitelikte özellikler göstermektedir. Yani, herhangi bir seviyede, statik basınç "0" bulunulan seviyenin daha üzerindeki parçacıkların ağırlığına yaklaşık eşit alınmaktadır. Yatak yüzeyi düzdür, içindeki kabın şeklini almaktadır. Kabın etrafında herhangi bir yerde delik açılırsa, partiküller üzerindeki basınca bağlı olarak fışkırır. Yatağın yoğunluğundan daha yoğun bir cisim ya batacaktır, ya da hafif ise yüzecektir. Parçacıklar yatak içerisinde çok iyi karıştırıldığı takdirde, yatak ısındığı zaman homojen bir sıcaklık dağılımı gösterecektir. Gaz hızındaki artış, yatak türbülans enerjisindeki artış, dolayısıyla yatak hidrodinamik davranışında bir çok değişmelere sebebiyet verebilecektir. Örneğin gaz hızındaki artış, yatağın bir akışkanlaşma rejiminden diğerine geçmesine neden olmaktadır.

Minimum akışkanlaşma noktasında, Şekil 3.6'da bir kambur görülmektedir. Basınç düşümü eğrisi geriden gelerek, yani hız yavaş yavaş azaltılarak izlenirse bu kambur görülmemektedir. İlk akışkanlaşma sırasında parçacıklar arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yenilmesi gerekliliğidir. Akışkan hızı yavaş yavaş azaltıldığında yatak oturana kadar sürtünme kuvvetleri olmadığı için kambur meydana gelmeyecektir. İyi bir akışkanlaşma için şu özellik aranmaktadır: düşük partikül yoğunluğu, küçük partikül büyüklüğü, homojen partikül büyüklüğü dağılımı, küreye yakın partiküller, büyük akışkan yoğunluğu.

3.4.2. Tane gruplarının tanımı

Akışkan yataklarda partiküllerin boyutlarına göre sınıflandırılması, akışkanlaşma karakteristiklerine bağlı olarak Şekil 3.8'de görüldüğü üzere dört genel tipe ayrılarak yapılabilir.

Grup A; düşük yoğunluklu (< 1400 kg/m^3) ve ortalama çapı 20 ile 100 μm arasındaki partiküller, bu gruba girer. Bu gruba giren partikülleri içeren yataklarda kabarcıklaşmanın başlayacağı U_{mb} hızı ve akışkanlaşmanın başladığı U_{mf} hızları arasında genleşme çok önemlidir. Yanmamış kömür parçacıkları ve grafit gibi partiküller bu gruba dahil edilebilecek örneklerdir [52].



Şekil 3.7. Çevre koşullarındaki hava ile akışkanlaştırılmış partiküllerin sınıflandırılması[52].

Grup B; yoğunluğu 1400 ile 4000 kg/m^3 ve ortalama çapı 40 ile 500 μm arasındaki partiküller, bu gruba girer. Bu gruba giren partiküllerin kullanıldığı yatağın genişlemesi küçüktür ve hava beslemesinin aniden kesilmesi durumunda, yatak çok hızlı şekilde çöker. Partiküller arası kuvvetler grup A'ya nazaran daha az olacağı için ihmal edilebilir. Minimum akışkanlaşma hızında veya biraz üzerinde kabarcıklaşma başlar. Bu grubun tipik partikülleri arasında silis kumu, tuz sayılabilir [52].

Grup C; çapı 30 μm'den daha küçük olan partiküller bu gruba girer. Bu gruba giren tanelerin akışkanlaşması son derece zordur. Çünkü partiküller arası bağ kuvvetleri, akışkanın partiküllere uygulayacağından daha büyüktür. Kabarcıklaşma görülmez, daha çok kanallaşma görülür. Kanallaşma yüksektir. Partikül karışmasının zorluğu nedeniyle yatak ve yüzeyler arasındaki ısı transferi, A veya B grubuna nazaran daha fakirdir. Bu grubun tipik partikülleri arasında un, çimento sayılabilir.

Grup D; çapı 600 μm'den büyük ve/veya yoğun partiküller bu gruba girer. Minimum akışkanlaşma hızının kabarcık yükseliş hızına eşitlenmesiyle, D grubu partikül için aşağıdaki kriter geçerlidir.

$$(\rho_p - \rho_g)d_p^2 > 10^3 \qquad (3.7)$$

Partiküllerin çoğunda $(\rho_p - \rho_g)$, 10^3 kg/m^3'ten büyüktür. Yukarıdaki kriter çapı 1mm'den büyük çaptaki partiküller için geçerlidir. D grubuna giren partiküllerin fazlar arası gaz akışı hızı, kabarcık yükseliş hızından büyüktür ve akış türbülanslıdır, yatak genişlemesi çok düşüktür. Bu grubun tipik partikülleri arasında ezilmiş kireç taşı, kahve çekirdeği sayılabilir.

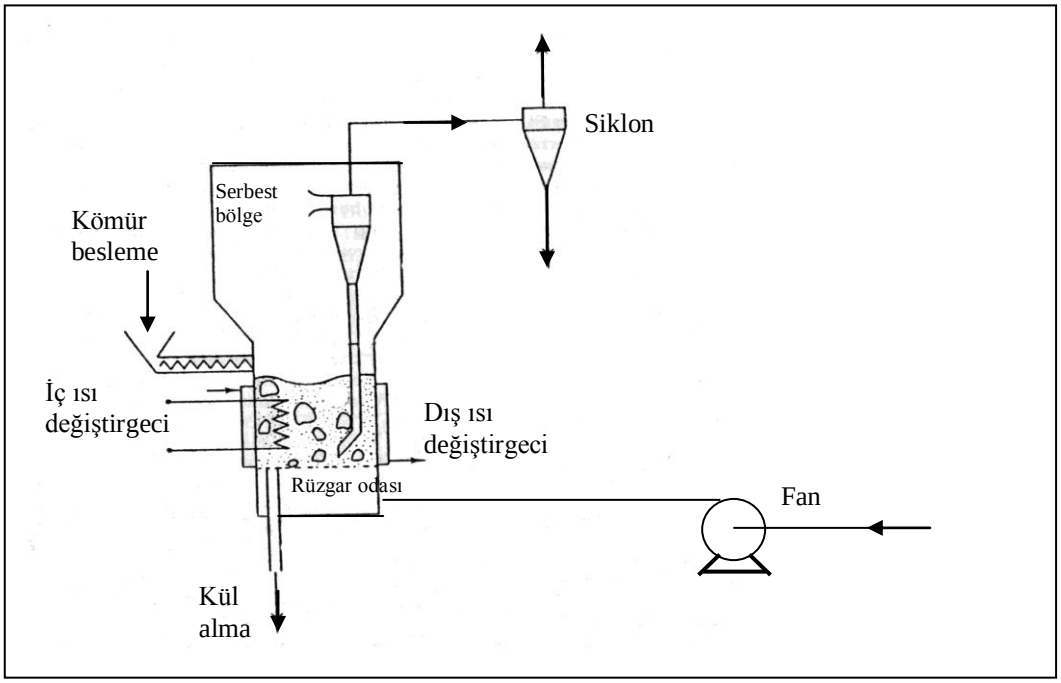
3.4.3. Akışkan yatak sisteminin sınıflandırılması

Günümüzde gelişmenin kaynağı olan ısı ve elektrik enerjisinin yetersiz kalmaya başlaması ve çevre bilincinin önem kazanmasıyla akışkan yatak teknolojisinin önemi artmıştır. Minimum akışkanlaşma koşullarından başlayarak gaz hızının arttırılmasıyla farklı rejimlere geçirilir ve her rejime karşılık gelen akışkan yatak, benzer isimlerle adlandırılır. Akışkan yatakların en genel sınıflandırılması buna dayanarak yapılır. Bu bölümde belli başlı akışkan yatak sistemleri üzerinde durulacaktır.

Kabarcıklı akışkan yatak sistemleri

Akışkan yatak teknolojisi son yıllarda kazan endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk başlangıçta kabarcıklı ve türbülanslı tipte olan akışkan yataklar, biyokütleleri verimli ve temiz enerji elde edilebilmesinden dolayı giderek artan bir ilgi görmektedir. Kazan endüstrisinde kullanılan sistemlere kıyasla çok daha iyi bir gaz-katı karışım ve temasının bulunmasından dolayı geleceğin kazan teknolojisi olarak görülmektedir. Düşük hız rejiminde çalışan klasik akışkan yataklar başlangıçta daha çok Batı Avrupa ülkeleri ve Amerika'da endüstriyel enerji ve elektrik santralarında yaygın olarak kullanılmıştır. Minimum akışkanlaşma

koşullarını sağlayan gaz debisinin arttırılmasıyla yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya başlar. Kabarcıkların en önemli özelliği yatak içerisinde dolaşımı sağlamasıdır. Böylece katı parçacıkların yatak içerisinde karışması mümkün olur. Kabarcıklı akışkan yataklı sistemlerde boş kolon gaz hızı minimum akışkanlaşma gaz hızının 3-6 katıdır. Kabarcıklı akışkan sistemi genel olarak gazlaştırma havasını sağlayan fan, bu havayı uniform olarak dağıtan dağıtıcı elek, biyokütle besleme ve kül boşaltma sistemleri, yatak ön ısıtma sistemi, ısı transferi boruları, bacagazı aspiratörü ve sistemden kaçacak tozları tutacak siklon ve filtrelerden oluşur. Akışkan yataklarda ısı çekme hem aktif bölgeden hem de serbest bölgeden yapılabilir. Aktif yatak ve serbest bölgeden ısı çekme oranları yatak tasarımını ve kullanılan biyokütle cinsine bağlı olarak değişir. Şekil 3.9'da kabarcıklı akışkan yatak sistemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.8. Kabarcıklı akışkan yatak sistemi şematik görünümü

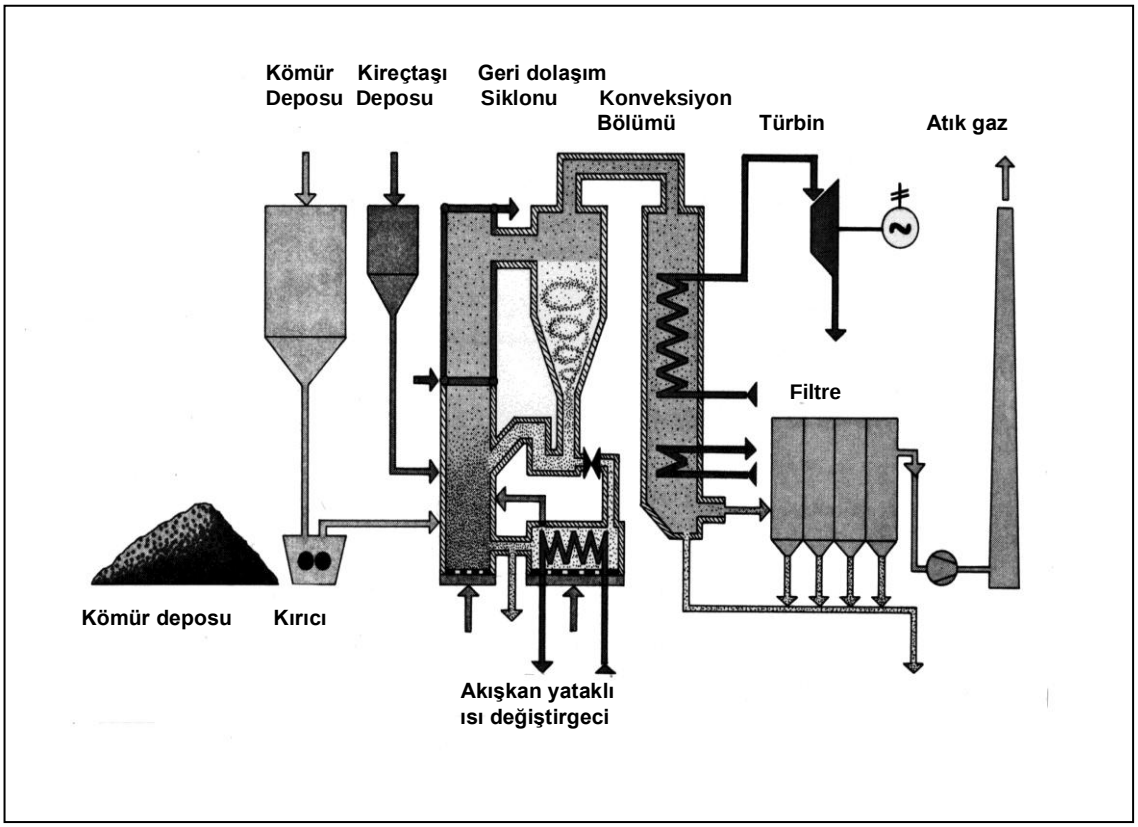
Kabarcıklı akışkan yataklar endüstriyel boyutta yaygın olarak kullanılmaktadır. Yatay, düşey ve kompozit olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır. Yatay tip akışkan yataklar, mevcut kazanların kullanılabilmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Düşey tip akışkan yataklar, akışkan yatak operasyonuna çok uygundur, yük kontrolü ve yatağın

devreye alınması daha kolaydır. Kompozit akışkan yatak, düşey akışkan yatak çıkışına duman borulu bir sistem eklenmiştir. Kullanılan yakıtın uçucu madde içeriği çok artsa bile, uçucu madde ve taşınan parçacıklar gazlaşması ya da yanmasını duman borulu kazanda da sürdürmektedir. Duman borulu sistem aynı zamanda siklon görevini görmektedir [52].

Dolaşımlı akışkan yatak sistemleri

Düşük hız rejimli akışkan yatak 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 beslenmektedir. Partiküller, sistem içinde taşınmaktadırlar. Bu nedenle, yatak içinde, aktif ve serbest bölge ayrımı yapılamamaktadır. Yatak içinde parçacıkların çok yoğun ve çok seyrek olduğu bölgeleri birbirinden ayıran belirgin bir yüzey yoktur. Kolon gaz hızı, parçacıkları rahatlıkla sürükleyebilmektedir. Yani işletme hızı, terminal hızdan yüksektir. Yatak içi parçacık yoğunluğunun sıfıra düşmemesi için sürekli yüksek kapasiteli bir siklonla geri besleme yapılması gerekmektedir. Gaz hızı çok yüksek olduğu için yatay geçişle ısı aktarım boruları kullanılmamaktadır.

Ancak, gaz ve partikül hızları arasındaki farkın fazla oluşu ısı aktarım katsayısını pozitif yönde etkilemektedir. Şekil 3.10'da dolaşımlı akışkan yatak tasarımı görülmektedir. Dolaşımlı kavramı çeşitli firmalar tarafından, akışkan yataklara değişik şekillerde uygulanmaktadır. Bu konudaki ilk uygulama 1980'li yıllarda Almanya'da Lurgi Firması tarafından yapılmıştır. Özellikle çok büyük kapasiteli tesislerde enerji üretiminde, emisyon kontrolünde büyük üstünlükleri olan bu teknoloji uygulanması son 20 yıldır dünyada da yaygın olarak kullanılmaktadır [52] .



Şekil 3.9. Dolaşımlı akışkan yatak sistemi [52]

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, dolaşımlı bir sistemde ana kolon, siklon, siklon altında kabarcıklı akışkan yatak, siklonu takiben konvektif geçiş kolonu mevcuttur.

Kabarcıklı akışkan yatak, hem ısı değişimini gerçekleştirmekte, hem de geri dolaşım miktarını ayarlamaktadır. Isı geçiş yüzeyleri konvektif kolonla, siklon ve ana kolonun üst bölgesinde yer almaktadır. Yüksek hız nedeniyle ana kolon boyutları küçülmesine rağmen, sistem büyüklüğü, kabarcıklı akışkan yatak sistemine nazaran çok az fark edecektir.

Ancak, dolaşımlı akışkan yatakta kullanılan kireç taşı partiküllerinin küçük olması, bir başka deyişle birim ağırlık başına kireç taşı yüzey alanının çok artması, kükürtdioksit - kireç taşı 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 sistemdir [53].

3.4.4. Akışkan yatakları birbirinden ayıran özellikler

Değişik rejimlerde çalışan akışkan yatakların özellikleri Çizelge 3.8.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. Değişik rejimlerde çalışan akışkan yatakların özellikleri

ÖZELLİKLER	DÜŞÜK HIZLI AY	DAY	YOĞUN OLMAYAN FAZLI TAŞIMALI AY
Parçacık	Parçacık uzun süre yatakta kalır	Sirkülasyonlu sistem boyunca yatakta dolaşır	Bir seferde yatağı terk eder
Hidrodinamik Rejim	Kabarcıklı, slugging, türbülant akışkanlaşma	Yatağın alt kısmı türbülant veya kabarcıklı akışkanlaşma üstte Hızlı akışkanlaşma görülür	Yoğun olmayan taşınma şartları
Boş Kolon Hızı U_0(m/s)	$U_0 < 2$	$3 < U_0 < 16$	$15 < U_0 < 20$
Parçacık Çapı D_P (mm)	$0,03 < d_p < 1$	$0,05 < d_p < 0,5$	$0,02 < d_p < 0,08$
Katıların net sirkülasyon akısı G_S (kg/m^2-s)	$0,1 < G_S < 5$	$15 < G_S < 1000$	Kolonun yukarısına doğru $G_S \sim 20$ pnömatik taşıma
Boşluk Kesri, ε	$0,6 < \varepsilon < 0,80$	$0,8 < \varepsilon < 0,98$	$> 0,99$
Gaz Karışımı	Yeterli dikey yönde dağılım 2 fazlı davranış gösterir	Bir miktar gaz duvar boyunca aşağıya akar	Çok az dikey yönde dağılım

3.5. Akışkan Yataklar ile İlgili Temel Kavramlar

3.5.1. Akışkan yatakta basınç düşüşü

Yukarıda açıklandığı üzere katı partiküle etki eden kuvvetlerden yola çıkarak akışkan yataklardaki basınç düşüşünü şu şekilde ifade edebiliriz:

Akışkan tarafından partikül yüzeyine uygulanan sürüklenme kuvveti	=	Katı partiküle uygulanan yerçekimi kuvveti	-	Akışkan tarafından partiküle uygulanan kaldırma kuvveti

$$(\Delta P)_{AY}\, S_C = S_C\, L_{mf}\, (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_g)\, g \qquad (3.8)$$

$$(\Delta P)_{AY} = L_{mf}\, (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_g)\, g \qquad (3.9)$$

Bu denklem yardımıyla akışkan yataktaki basınç düşüşü bulunabilir. Belirtilen şartların geçerli olduğu akışkan yatağın normal çalışma alanı Şekil 3.11'de gösterilmiştir [54].

3.5.2. Minimum akışkanlaşma hızı

Dolgulu kolonlardaki basınç düşüşü ifadesini, viskoz kayıplar ile kinetik kayıpların toplamı şeklinde veren Ergun denkleminden yola çıkarak, akışkan yataklardaki minimum akışkanlaşma hızı hesaplanabilir [54].

Akışkanlaşmanın başlangıcı için yukarı doğru akan akışkanın katı partiküllere uyguladığı toplam kuvvetin, yatağın birim kesitindeki katıların ağırlığına eşitlenmesiyle elde edilen eşitlikle (Eş. 3.10) Ergun eşitliği birleştirilerek minimum yatak boşlu kesri (ε_{mf}) ve şekil faktörü (Φ_S) değerlerinin bilindiği durumda aşağıdaki Kunii ve Levenspiel (Eş. 3.8) tarafından verilen eşitlik ile minimum akışkanlaşma hızı hesaplanabilir.

$$\frac{1{,}75}{\Phi_s \varepsilon^3_{mf}} \left(\frac{d_p u_m \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})}{\Phi_s \varepsilon^3_{mf}} \left(\frac{d_p u_m \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d^3{}_p \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \qquad (3.10)$$

Yukarıda yer alan ε_{mf} ve Φ_S değerleri bilinmediğinden aralarındaki ilişki için Eş. 3.9'da verilen eşitliklerde aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\frac{1}{\Phi_s \varepsilon^3_{mf}} = 14 \qquad \text{ve} \qquad \frac{(1-\varepsilon_{mf})}{\Phi_s \varepsilon^3_{mf}} = 11 \qquad (3.11)$$

Bu eşitliklerin yardımıyla akışkanlaşma hızı hesaplanabilir.

$$U_{mf} = \frac{(\Phi_s d_p)^2}{150} \frac{\rho_s - \rho_g}{\mu} g \left(\frac{\varepsilon^3_{mf}}{1-\varepsilon_{mf}} \right) \qquad \text{Re} < 20 \qquad (3.12)$$

$$U^2_{mf} = \frac{\Phi_s d_p}{1.75} \frac{\rho_s - \rho_g}{\rho_g} g \, \varepsilon^3_{mf} \qquad \text{Re} > 1000 \qquad (3.13)$$

Bir başka araştırmacı tarafından verilen eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$U_{mf} = 1{,}1 \times 10^{-3} \left(\frac{(d_p)^{1,82} (\rho_p - \rho_g)^{0,94} (g)^{0.94}}{(\mu)^{0,88} (\rho g)^{0,06}} \right) \qquad (3.14)$$

Daha sonra bu ifadenin büyük partiküller için yeteri derecede minimum akışkanlaşma hızını tanımlamada başarılı olmadığı gerekçesiyle yeni eşitlik türetilmiştir [54].

$$U_{mf} = 8{,}1 \times 10^{-4} \frac{g d_p{}^2 (\rho_p - \rho_g)}{\mu} \qquad (3.15)$$

Bu ifade de çok basit olmasına rağmen yapılan uygulamaları tam anlamıyla temsil etmediği gerekçesiyle bir denklem daha geliştirilmiştir. Bu denklem 100 μm'den büyük partiküller için daha doğru sonuçlar vermektedir ve son yıllarda yapılan çalışmalarda bu denklem tercih edilmektedir [54].

$$U_{mf} = \frac{\mu}{\rho_g \overline{d_p}} \left[\left(1135{,}7 + 0{,}0408 \underbrace{\left(\frac{\rho_g (\rho_p - \rho_g) g \overline{d_p^{\,3}}}{\mu^2} \right)}_{Ar} \right)^{1/2} - 33{,}7 \right] \tag{3.16}$$

Ayrıca bu eşitliklere ek olarak dp<100 μm olduğu durumlar için geliştirilen modifiye edilmiş şekli aşağıdaki denklem de kullanılabilir.

$$U_{mf} = \left(\frac{(d_p)^{1,8} (\rho_p - \rho_g)^{0,934} (g)^{0,934}}{1111 (\mu)^{0,87} (\rho_g)^{0,066}} \right) \tag{3.17}$$

3.5.3. Terminal hız

Bir akışkan yatakta, akışkan hızı arttırılarak katı partiküllerin tamamının taşınmaya başladığı andaki hız veya Şekil 3.11'de görüldüğü gibi basınç düşüşünün sıfıra yaklaştığı andaki akışkanlaşma hızı terminal hız olarak adlandırılır. Daha önce de belirtildiği gibi Şekil 3.11'deki her bir bölge değişik hidrodinamik şartlara ve dolayısıyla da farklı akış rejimlerine karşılık gelmektedir. Her bir akış rejimi farklı akışkan yatak tiplerinde kullanılmaktadır. Bu yüzden minimum akışkanlaşma hızı gibi terminal hız hesabının da önemi büyüktür. Bugüne kadar en çok kullanım alanı bulmuş olan, kabarcıklı akışkan yataklardaki akışkan hızı minimum akışkanlaşma hızı ile terminal hız arasında tutulmalıdır. Belli bir büyüklükteki katı partiküllerin sistem içinde sirküle ettirilmesi esasına dayanan dolaşımlı akışkan yataklarda ise akışkanlaşma hızının en küçük değeri ortalama partikül boyu için hesaplanmış olan terminal hızdan daha yüksek olmadır [54].

Tek bir katı partikül etrafında yapılan kuvvet denkliği ile katı partiküllerin terminal hızı için aşağıda verilen eşitlikler geliştirilmiştir.

$$U_t = \left[\frac{4gd_p(\rho_p - \rho_g)}{3\rho_g C_d} \right]^{1/2} \quad (3.18)$$

Denklemde verilen sürüklenme katsayısı C_d için bir çok korelasyonlar vardır. Terminal hız hesabının diğer bir yolu ise Re değerinin aldığı duruma göre, bulunulan çalışma aralığı için verilen eşitliklerden yararlanmaktadır. Buna göre;

1. Küçük Re değeri için (Stoke rejimi)
   Re < 0,4 ve $C_d = 24 / Re$ ise;

$$U_t = \frac{g(\rho_p - \rho_g)d^2{}_p}{18\mu} \quad (3.19)$$

2. Ara rejim

0,4 < Re < 500 ve $C_d = 10 / (Re)^{1/2}$ ise;

$$U_t = \left[\frac{4}{225} \frac{(\rho_p - \rho_s)^2 g^2}{\rho_g \mu} \right]^{1/3} d_p \quad (3.20)$$

3. Yüksek miktardaki akış (Newton rejimi)

500 < Re < 200000 ve $C_d = 0,44$ ise;

$$U_t = \left[\frac{3,1g(\rho_p - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{1/2} \quad (3.21)$$

3.5.4. Minimum akışkanlaşma boşluk kesri

Bir akışkan yatağın temel özelliklerinden biri de yatak içindeki taneciklerin hareket halinde olmasıdır. Tanecik hareketinden önce akışkanlaştırma akışı tarafından temin edilmek üzere genişlemiş olması gereken yatakta, karakteristik bir boşluk vardır. Pratik olarak, fan ile havayı sisteme verince, parçacıklar harekete geçmeden önce bir hava artışı ile yatak genişler ve boşluk oluşur. Bu boşluk, akışkanlaşmanın başlangıcı ya da minimum akışkanlaşma için gerekli olan "minimum akışkan boşluğu" olarak ifade edilmiştir [54].

Minimum akışkan boşluğu ε_{mf} ile gösterilmektedir. ε_{mf}'nın akışkanlaşma öncesinde bilinmesi gerekir.

Taneli bir katının minimum akışkan boşluğu, henüz başlayan parçacık hareketi ile uyuşan H_{mf} yatak yüksekliği ve yükselen gaz akımına maruz kalan yatak tarafından kolaylıkla tayin edilmektedir. Katılar ve akışkan yoğunlukları, kanal geçiş kesiti A_b ve yatak yüzücü ağırlığı W bilinmek üzere, minimum akışkan boşluğu şu ifadeden hesaplanabilir [54].

$$\varepsilon_{mf} = 1 - \frac{W}{H_{mf} A_b (\rho_p - \rho_g) g} \tag{3.22}$$

Burada H_{mf}'nin katıların harekete başladığı noktadaki yatak yüksekliği önemli bir noktadır. Yatağın ağırlığı ise;

$$W = \Delta P_B A_b \tag{3.23}$$

olarak tanımlanmaktadır. Minimum akışkan boşluğu gözlemleri katı – gaz sistemlerde en iyi şekilde yapılabilir. ε_{mf} literatürde 0,40 – 0,94 civarında verilmektedir [55].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yerli linyit kömürlerinden tipik özelliklere sahip beş adet numune üzerinde gazlaşma özellikleri üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirirlmiştir. Bu kömür türleri sırasıyla Tunçbilek linyiti, Soma linyiti, Değirmisaz linyiti, Ağaçlı linyiti ve Gölbaşı linyitleridir. Seçilen kömür türlerine ait özellikler aşağıda ilgili bölümlerde verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda öncelikle kömürlerin gazlaşma-piroliz özelliklerinin belirlenmesi amacıyla STA (termogravimetrik analiz) analizleri yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalardan elde edilen bazı veriler ışığında karakterize edilen yakıtlar ile bir deneysel akışkan yataklı gazlaştırma ünitesinde farklı sıcaklık şartlarında gazlaşma özellikleri azot atmosferinde deneysel olarak incelenmiştir. Deney sistemi ve yapılan deneysel çalışmalar sistematik biçimde sunulmuştur.

Gazlaştırma işleminde elde edilen sentez gazın analizinde; Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Isıl Güç laboratuvarında bulunan, Baca Gazı Emisyon Test Sistemi ile ölçme ve veri değerlendirme de kullanılmıştır [55].

Gazlaştırma işlemi için son günlerde yaygınca kullanılan Dolaşımlı Akışkan yatak deney düzeneğinde kullanılarak farklı sıcaklıklardaki sistem verimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Gazi Üniversitesinin Isıl Güç laboratuvarında yapılan gazlaştırma deney düzeneği, mobil test sistemi ve örnek özelliklerinin saptanması ile ilgili çalışmalar aşağıda sırasıyla verilmiştir [55].

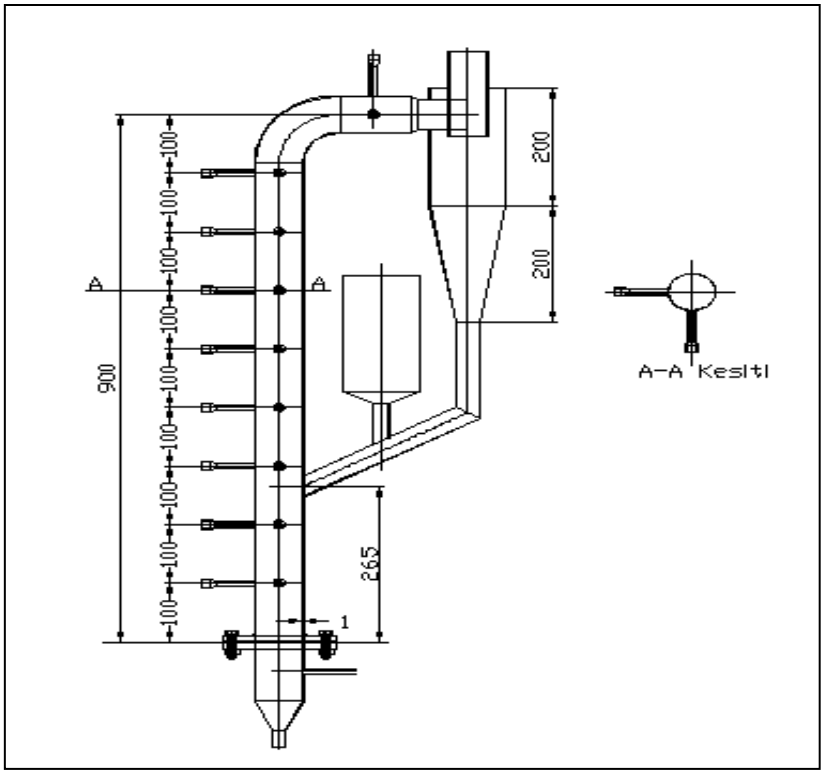
4.1. Dolaşımlı Akışkan Yataklı Gazlaştırma Test Sistemi

Kolon malzemesi olarak paslanmaz çelik kullanılan, dağıtıcı elekten itibaren 0,9 m yüksekliğinde, 10 cm çapında ana kolona sahip deney sistemi ile, orman ürünlerinin

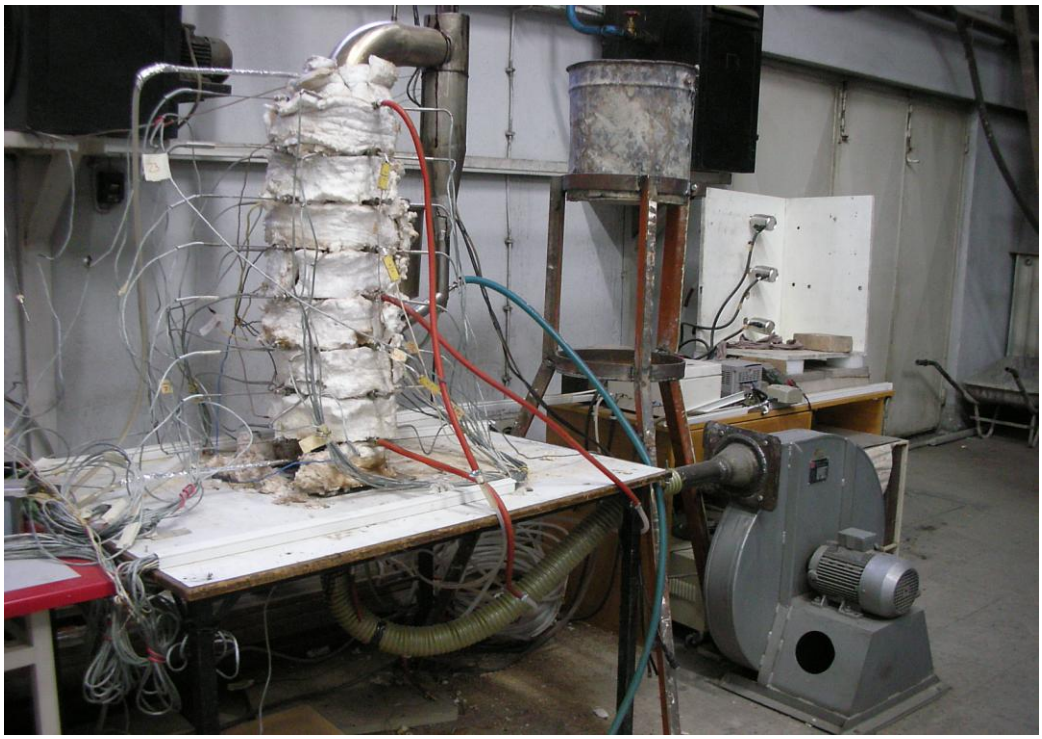
gazlaştırması gerçekleştirilmekte ve elde edilen sentetik gaz analiz edilmektedir (Şekil 4.1) [56].

Deney düzeneği bir platform üzerine monte edilmiş, yatak hücresi altında (silindirik formda, ısıya dayanıklı camdan üretilmiş), silindir altlığı, dağıtıcı elek, dağıtıcı hücresi, hava giriş bağlantısı, fazla basınç boşaltma sistemi bağlantısı, (üstünde) hava filtresi, (içinde) ısıtıcı eleman, ısıtıcı elemanın içinde gömülü olarak ısıtıcı sıcaklığını ölçen prob, yatak sıcaklığını ölçen prob, yatak hücresi basıncını ölçen prob, panel üzerine monte edilmiş halde bulunan hava akış ölçer (rotometre), akış kontrol vanası ve hava giriş bağlantısı üzerinde filtre basınç regülatörü, değişken transformatör (ısıtıcı kontrolü), basınç transmitteri (3 adet), yatak hücresindeki farklı yüksekliklerde basınç değerini ölçmek için kullanılmakta, sıcaklık indikatörü (ısıtıcı eleman, yatağa hava giriş sıcaklığını gösterir), on/off anahtarı, sigorta, voltmetre, ampermetre, yüksek sıcaklık kontrol devresi, elektriği ve mekanik bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Düşey silindirik hücrenin içinde, seçilecek yatak malzemesinin dağıtıcı eleğin üzerine yerleştirilmesiyle yatak oluşturulur. Dağıtıcı elek, yatak malzemesinin, yatak hücresinin dışına akmasına engel olur, yatağa homojen gaz akışını, aşırı basınç düşümüne neden olmadan sağlar. Yatak hücresi, dağıtıcı elek, filtre, panel üzerine monte edilmiş dirsek ile panele asılı durumdadır (Şekil 4.1).

Ana kolon boyunca, hava dağıtıcısından itibaren her 10 cm'de bir, 90° açı ile bir sıcaklık ölçmek için, bir de basınç ölçmek için ½ ″ çapında sekizer adet örnek alma (manşon) yeri mevcuttur. Egzos çıkışı ve dönüş kolonunda da yine sıcaklık-basınç ölçümleri için birer adet ölçüm noktası bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırma deney düzeneği



Resim 4.1. Dolaşımlı akışkan yatak deney sistemi

Yatak malzemesini akışkanlaştırmak amacı ile Resim 4.2'de gösterilen fan (700 m^3/h, 350mmSS) ile sağlanan hava dağıtıcı elekten geçerek akışkan yatağın ana kolonuna ulaşır. Fan devri ve frekans kontrolü için Hyundai İnventör (3,5kW) kullanılmıştır. Siklondaki partiküllerin ana kolona geri dönüşümünü yapmak için kompresör yardımıyla sisteme az miktarda ikincil bir hava beslenmektedir [56].



(a) (b)

Resim 4.2. Akışkanlaşma havasını sağlayan a) fan, b) invertör

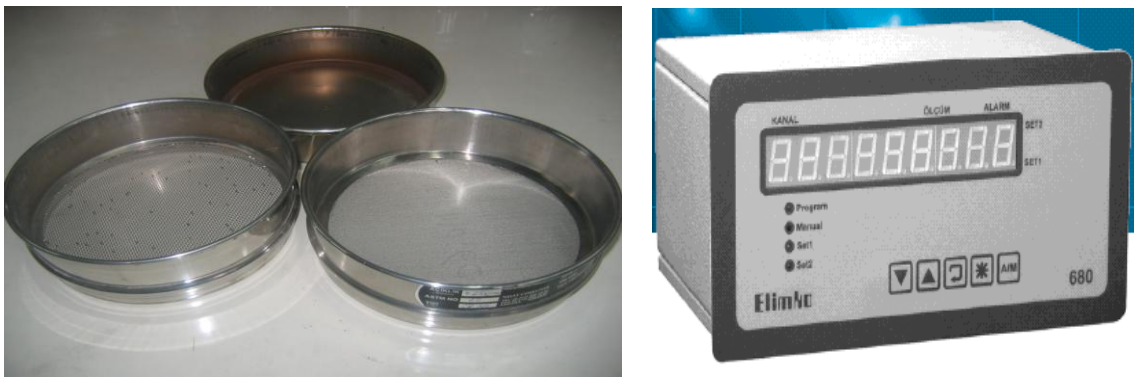
Sistemde gazlaşmayı sağlamak için üzerinde kelepçeli elektrikli ısıtıcı (7x740 + 2000W) kullanılarak çevresine seramik yünü ile kapatılmıştır. Isıtıcı gücünü değişken bir transformatör (varyak 10kVA'lık) ile ayarlanabilmektedir (Resim 4.3). Ayrıca çekilen voltaj değeri voltmetre ile okunabilmektedir.



(a) (b)

Resim 4.3. a) Varyak (10kVA'lık), b) kelepçeli elektrikli ısıtıcı

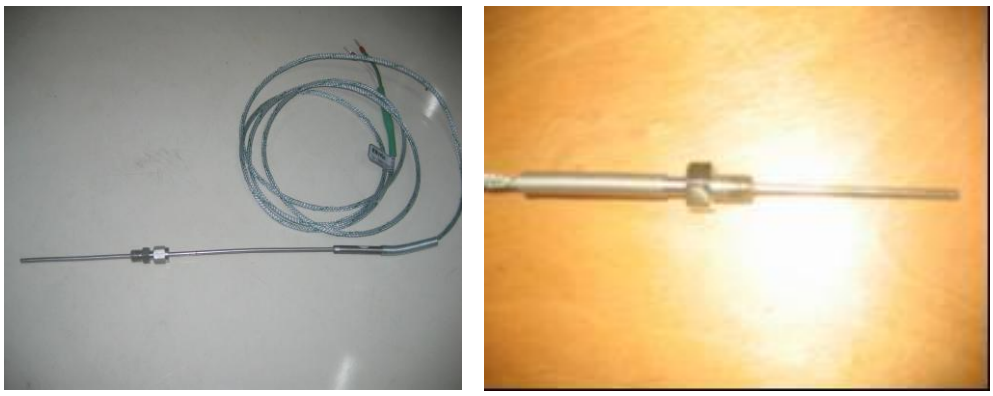
Yatak ve duvar sıcaklığını ve basınç değerlerini okumak için Resim 4.3 (b)'deki 64 kanallı data logger kullanılmış, yakıt ve yatak malzemesinin ortalama çap değerini belirleme de kullandığımız ASTM Normu (8inç) elek serisi de Resim 4.3 (a)'da görülmektedir.



(a) (b)

Resim 4.4. ASTM Normu a) Elek serisi b) Data logger

Sistemde kolon ve yatak sıcaklığını ölçmede kullanılan NiCr-Ni-K tipi, 25 cm uzunluğundaki ısıl çiftler ve duvar sıcaklığını ölçmede kullanılan 10 cm uzunluğunda NiCr-Ni-K tipi ısıl çift Resim 4.5 (a), (b)'de gösterilmiştir [56].



(a) (b)

Resim 4.5. Isıl çiftler; a)Yatak sıcaklığı, b) Duvar sıcaklığı ölçümünde kullanılan

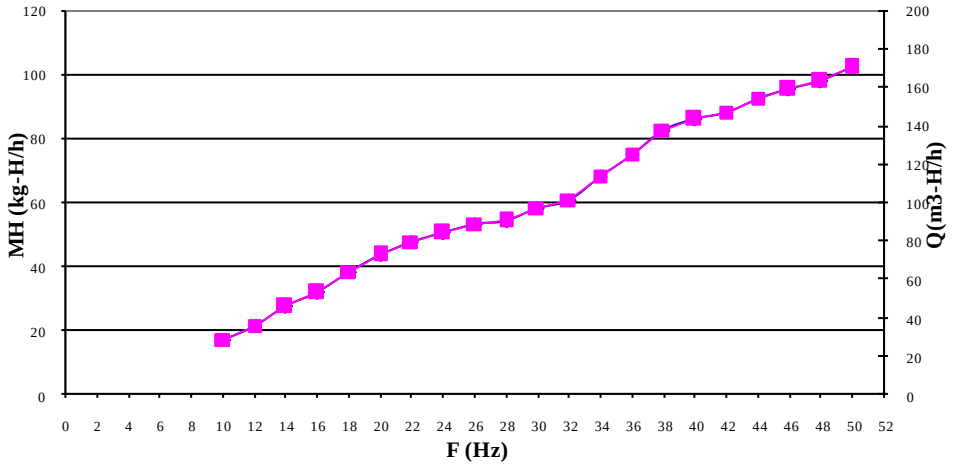
Deney sistemi hidrodinamik çalışmaları

Deneysel çalışmada kullanılacak olan fan, akışkan yatak kolonu gibi akış ile ilgili birimlerin akış analizleri deneyler öncesinde yapılarak sonuçları Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Ön deneyler boyunca, yatak sıcaklığının max. 600ºC'ye çıkılabildiği görülmüş, daha yüksek sıcaklıklarda ise deney düzeneğinde kullanılan kelepçe tip elektrikli ısıtıcıların yanacağı belirlenmiştir. Bu sebepten deney düzeneğindeki kısıtlamalardan dolayı sistem max. sıcaklığa kadar deney programı uygulanmıştır.

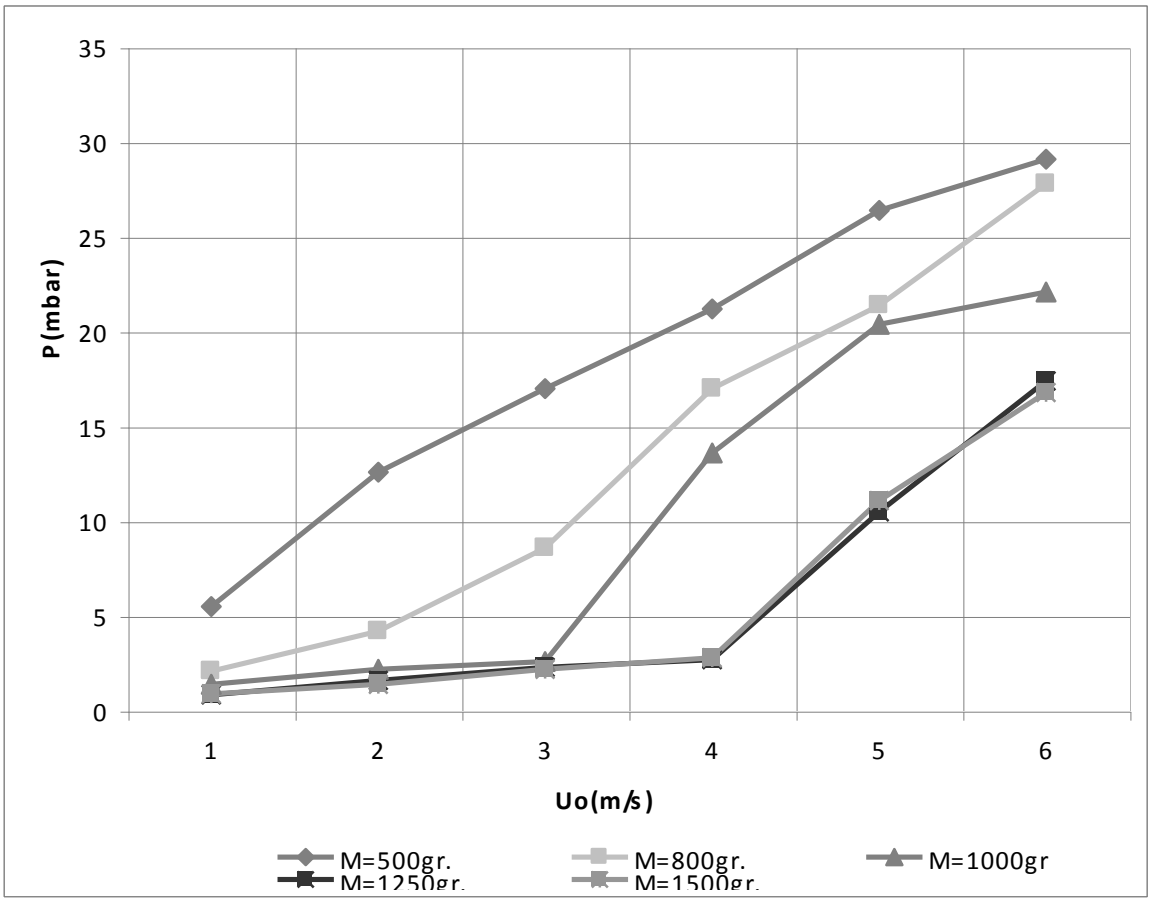
Sistemdeki hava sirkülasyonu boyunca yüksek hava debisi sebebiyle yakıt ve yatak malzemesi karışımının sistemi terk etmesinin önlemesi için baca çıkışına filtre takılmıştır. Ayrıca siklondaki partiküllerin ana kolona dönüşünü sağlamak için kompresör yardımıyla az miktarda bir ek hava beslemesi yapılmaktadır.

Aşağıda deney düzeneğinde kullanılan fan ile beslenen hava debisinin (M_H) invertör frekansına (F) bağlı değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Fan hava debisinin (M_H) invertör frekansına (F) bağlı olarak değişimi [56]

Yakıt ve yatak malzemesi karışım miktarı ile yatak davranışının belirlenmesi amacıyla 500, 800, 1000, 1250 ve 1500g kütleler için ön deneyler yapılmış ve yatağın davranışı incelenmiştir (Şekil 4.3). Yatak malzemesi her deney için 500g olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 4.3.Ortalama yatak basıncının yatak malzemesi (M_Y) ve gaz hızı (U_o) ile değişimi (silis kumu-kömür karışımı)

Tunçbilek linyiti ve silis kumu karışımı ile yapılan deneyde değişen gaz hızına karşılık, basınç değeri önce yaklaşık olarak sabit kalmış ve daha sonra yatak birden genleşerek akışkanlaşmaya başlamıştır (Şekil 4.3). Buna bağlı olarak yakıt ve yatak malzemesi karışım miktarını 1000g dan fazla olmamasına karar verilmiştir.

4.2. TGA Deney Sistemi

Gazlaştırma deneyleri N1000 model bir Scinco Markalı bir termogravimetrik analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney düzeneğinde Pt-Rh alaşım termik çift sıcaklık ölçümlerinde kullanılmıştır. Deneylerde kömür numuneleri Pt bir silindirik hücreye yerleştirilerek çalışılmıştır. Deneylerin tümü aşağıda Çizelge 4.1 de verilen benzer şartlar altında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney Şartları

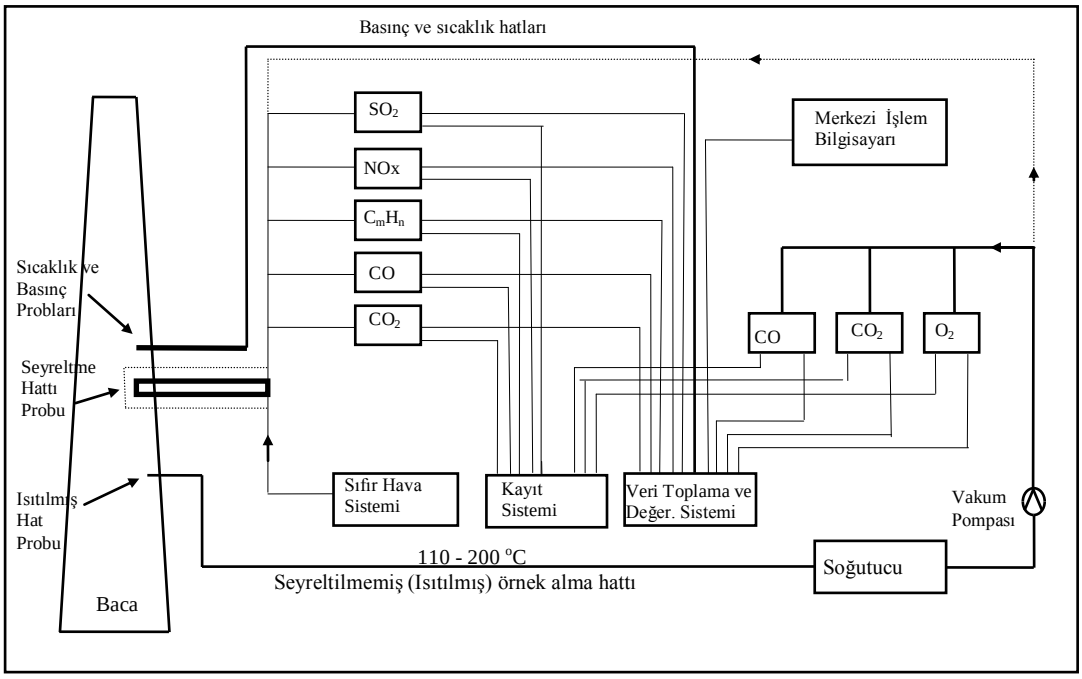
	Kömür numuneleri
Taşıyıcı gaz	
Taşıyıcı gaz akışı	50 ml/dk
Isıtme Oranı	25 K/dk
Kayıt hızı	2,5 mm/dk
Masksimum sıcaklık	950
İlk örnek miktarı	12-20 mg

4.3. Ölçme ve Veri Değerlendirme Sistemi

Ölçme ve veri değerlendirme için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isıl Güç laboratuvarında bulunan Gazı Emisyon Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, NATO-TU Air Pollut projesi kapsamında alınan cihazlar ile DPT kaynaklı ölçüm sistemleri ve Gazi Üniversitesi Rektörlüğü tarafından desteklenen çeşitli Araştırma Fonu Projeleri kapsamında oluşturulan ölçme sistemleri kullanılmıştır [52].

Gaz derişiminin doğru olarak analizinde izokinetik koşullarda yani örnekleme gaz hızının baca gazına eşit olması gerekmektedir. Aksi takdirde gerçek gaz derişiminin üstünde değer elde edilir ki bu da hatalı bir ölçüm olmaktadır. Aşağıda Mobil Emisyon Test Laboratuvarı (METL) ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

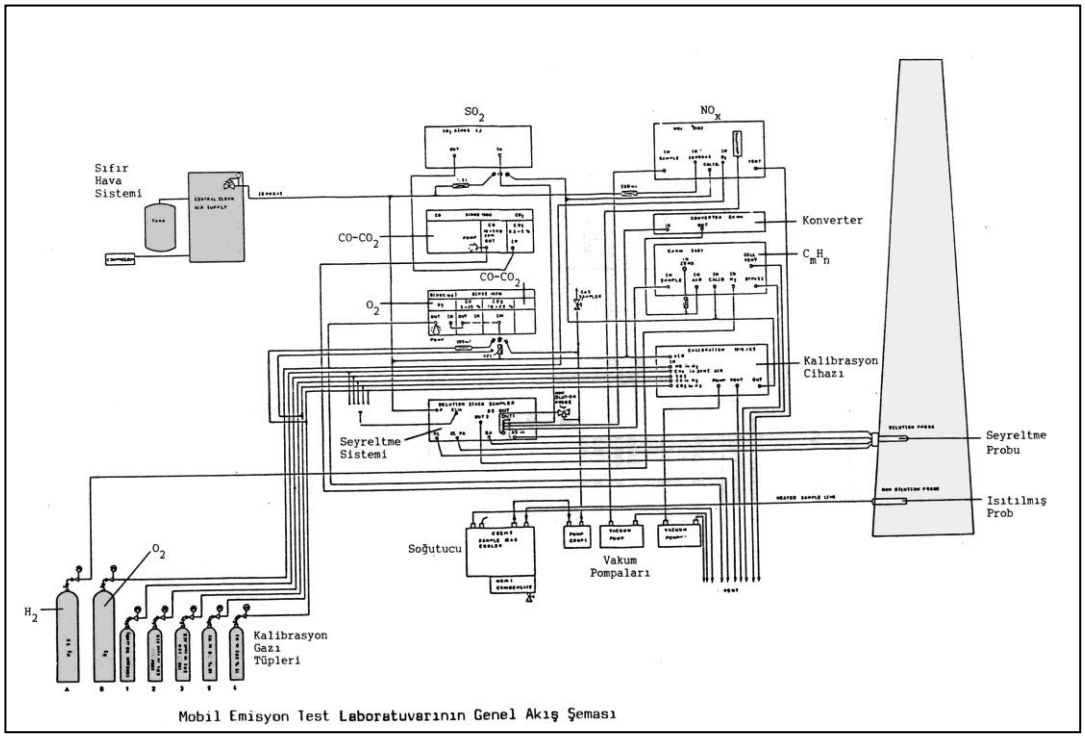
METL sistem yapısı ve bağlantı biçimi aşağıdaki Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir. METL örnek gaz alma ve hazırlama sistemi, ölçüm cihazları, veri toplama ve değerlendirme sistemi, merkezi işlem bilgisayarı ve diğer yardımcı teçhizattan oluşmaktadır. METL'de analiz edilecek örnek gazın seyreltilerek ve seyreltilmeden alınabilme imkanı bulunmaktadır [52].



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

*Örnek Alma Sistemi :*Gaz emisyon ölçümlerinde seyreltilmiş ve seyreltilmemiş olarak iki örnekleme hattı kullanılmaktadır. Gaz analizleri yapılacak olan örnek sürekli olarak aynı anda iki hat ile beraber alınabilmektedir. Örnekleme yapılan gaz derişimleri 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 170–200ºC aralığında ayarlanabilmektedir. METL'na kadar yoğuşmadan getirilen gaz örneğinin nemi bir yoğuşturucuda alındıktan sonra kuru olarak gaz analiz sistemlerine verilmektedir.



Şekil 4.5. Mobil Emisyon Test Laboratuvarı genel akış şeması

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

Çizelge 4.2. Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri [52]

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 – 0-10000 ppm Flame Ionization Detector)	0 – 10000 ppm	+/- % 2

[1] Seyreltilmiş Hat [2] Direk Hat

4.4. Deneysel Çalışma ve Deney Bulguları

STA deney prosedürü

a) Analiz yapılacak olan malzeme 0-50µm boyuta getirilir. Uygun boyuta getirilen malzeme, saklama kabı içerisinde muhafaza edilir.

b) Analiz yapılacak numuneye uygun proje seçilir. (Aluminyum, Platin, Seramik vb.)

c) Su ve gaz bağlantıları kontrol edilir.

d) Bilgisayar programı açılır, deney verileri girilir.

e) STA cihazı iki noktadan açılır.

f) Deney numunesi, hassas terazide tartılarak numune ağırlığı bilgisayar programına girilir.

g) Gaz akışı iki akış ölçerde 40-50ml olacak şekilde ayarlanır.

h) Asansörde boş kroze sağa, dolu kroze sola gelecek şekilde ve hassas bir biçimde terazi kefelerine yerleştirilir. Plaka fırının üzerini örtecek şekilde konur.

i) Terazi kefeleri dengeli ve yerinde ise plaka alınır ve asansör indirilir. Asansör her iki biçimde işlem tamamlandığında düğmesi orta konuma getirilir.

Gazlaştırma deney prosedürü

Yapılan deneysel çalışmadaki her bir deney öncesi ve sonrası yapılan işlemler aşağıda sırasıyla verilmiştir:

Deneyin Başlatılması

1) Fan ve bilgisayar elektrik besleme bağlantısının kontrol edilmesi ve açılması,
2) Sistem üzerinde olabilecek elektrik kaçaklarının kontrol edilmesi,
3) Bilgisayarı veri toplama programının açılması,
4) Data logger ekranından ölçüm doğruluğunun kontrolü,
5) Sistem yatak basıncını ölçen transmitterlere ait bağlantı hortumlarının kontrol edilmesi ve kompresör yardımıyla temizlenmesi,
6) Sistem üzerinde gaz ve partikül çıkışı olabilecek noktaların kontrol edilmesi,
7) İkincil havayı sağlayan kompresörün açılması,
8) Deney sistem yapısına uygun olarak hazırlanan yakıt ve silis kumu karışımını besleme haznesine dökülmesi,
9) Kompresör vasıtasıyla dönüş kolonunun tıkanmayacak şekilde karışımın ana kolona gönderilmesi,
10) Fan frekans değişimini sağlayan inventörün açılması,
11) Gerekli hava debisini uygun frekansın (Hz) yavaş yavaş artırarak istenen değere getirilmesi,
12) Sistem için gerekli ısıtıcı gücünün varyak ile ayarlanması,
13) Sigorta kutusundan ısıtıcılara gerekli elektrik beslemesinin kontrolü,
14) Sistem kararlı hal koşullarında (T_{yatak}=sbt) çalışmasını sağlayan termostatın açılması,
15) İstenilen sabit yatak sıcaklığına göre dijital termostat ayarının yapılması.

Deneyin Sonlandırılması

1) Sisteme elektrik besleyen transformatörün kapatılması,

2) Sistemde ısıtılmış yüzeylerin (duvarların) soğutulması için kompresör hava debisi ve fan frekansının artırılması,
3) Sistem yatak sıcaklığının 100ºC'ye düşürüldüğünde kompresör ve fandan sağlanan hava beslemesi durdurulması,
4) Sistemin ana kolon alt bölgesinde bulunan boşaltma ağzından ilgili yatak malzemesinin alınması,
5) İlgili yatak malzemesinden gerekli miktarda petri kabına numune alınması,
6) Bilgisayar, sigorta vb. ilgili elektrik bağlantılarının kapatılması.

4.5. Deney Programı

Çizelge 4.3.Deney programı

YAKITLAR	PARTİKÜL BOYUTU	SICAKLIK
Yakıt olarak, ülkemizde sıkça kullanılan Tunçbilek, Soma, Değirmisaz, Ağaçlı ve Gölbaşı linyit kömürleri kullanılmıştır.	Sistem tasarımına göre belirlenen elek aralığına göre partikül boyutunun 0,25 - 1,6 mm aralığında çalışılması gerekmektedir.	Laboratuvar ölçekli dolaşımlı akışkan ısıtıcı gücüne bağlı olarak 250-350ºC sıcaklığı aralığında çalışılmıştır.

4.6. Yakıt Analizleri

Deneysel çalışmalarda örneğin çalışma koşullarına uygun olması gerekmektedir. Bu koşullara uygun hale getirilmesi, yakıt olarak kullanılan örneğin boyut analizi, nem, kül miktarı, üst ısıl değer ve uçucu madde tayini yapılarak sağlanır.

4.6.1. Boyut küçültme ve elek analizi

Kullanılan 3 numune, ASTM elek setinde parçacık boyutu 0.250 < Dp<0,500 mm; 0,500<Dp<0,590 mm; 0,590<Dp<0,840 mm; 0,840<Dp<1,00 mm; 1,00<Dp<1,41 mm; 1,41<Dp<1,60 mm olacak şekilde elenmiştir. Ek 4 ve 5'de yakıt ve yatak malzemesinin boyut ve ortalama çap analizi sonuçları yer almaktadır.

4.6.2. Nem tayini

Analiz için hazırlanan örneklerden %0,2 duyarlıkta bir miktar alınarak 103±2ºC'ye ayarlanmış etüvde bekletilir. İki tartım arasındaki fark eşitleninceye kadar 2 saat daha bu sıcaklıkta tutulup işlem tekrarlanır. Nem miktarı, örneklerin ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (ASTM D 2016-74).

$$\text{Nem (\%)} = [(A-B) / A] * 100 \qquad (4.1)$$

Burada,

A: Örneğin başlangıç ağırlığı, (g)

B: Örneğin fırında kurutulduktan sonraki ağırlığı, (g)

ile temsil etmektedir.

4.6.3. Kül miktarı tayini

Boş bir porselen kroze ve kapağı 600ºC'deki fırına konulur. Fırından çıkarıldıktan sonra desikatörde soğutulur ve iki tartım arasındaki fark 0,1 mg oluncaya kadar bu işlem tekrarlanır. Daha önceden hazırlanan hammaddelerden ~2 g tartılır ve sabit tartıma getirilmiş krozeye koyulur, üzeri örtülerek tartılır. Daha sonraki örnek, sıcaklığı 100-105ºC'ye ayarlanmış bir etüvde kurutulur. Bir saat sonra etüvden çıkarılan krozenin kapağı kapatılarak, desikatörde soğutulur ve tartılır. Bu işlem iki tartı arasındaki fark 0,1 mg oluncaya kadar devam edilir. Soğutma ve tartım işlemi sırasında, krozenin ve hammaddenin, havanın nemini absorplamamasına dikkat edilmelidir. Kroze ve kapağı ile hammaddelerin beraber tartımdan çıkarılırsa etüvdeki kuru örnek ağırlığı bulunur.

Kroze içindeki hammadde, krozenin kapağı açık olarak tüm karbon giderilinceye kadar fırında yakılır. Isıtma işlemi yavaş olmalı ve yakılan örneğin alev almaması, çıkarılan krozenin kapağı kapatıldıktan sonra desikatörde soğuması sağlanır. Bu işlem, yarım saat ara ile iki tartım arasındaki fark 0,2 mg oluncaya kadar tekrarlanır. Kül ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki gibi hesaplanır (ASTM D 1102-84).

KÜL (%) = (A/B)* 100 (4.2)

Bu eşitlikte,

A: Kül ağırlığı, (g)

B: Fırındaki kuru örneğin ağırlığı, (g)

ile temsil etmektedir.

4.6.4. Uçucu madde miktarı tayini

Sabit tartıma getirilmiş kroze içine, havada kurutulmuş her bir örnekten ayrı ayrı 0,1 mg duyarlıkta ~ 1g tartılır. Kroze kapağı örtülerek 950ºC ± 20 ºC'deki fırına konulur. Örneğin yanmamasına dikkat edilmelidir. Kroze fırında tam olarak 7 dk bekletildikten sonra, fırından çıkarılarak desikatörde soğutulur ve tartılır. Örneğin uçucu madde miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır (ASTM D 1762X-84) [52].

Uçucu madde miktarı (%) = [(A-B)/ A) * 100] –M (4.3)

Burada;

A: Kullanılan örneğin ağırlığı, (g)

B: Örneğin ısıtmadan sonraki ağırlığı, (g)

M: Kullanılan örneğin nem (%)

ile temsil etmektedir.

4.6.5. Üst ısıl değer tayini

Üst ısıl değerleri (ÜID) ASTM D2015 standart metoduna göre kalorimetre bombası kullanılarak, daha önce yapılan çalışmalarda verildiği üzere tayin edilmiştir. ÜID'yi hesaplamak için aşağıdaki denklem yardımıyla bulunmuştur.

ÜID = 0,3181(C) + 0,1423 (H) + 0,1540 (O) (4.4)

ÜID = 0,196 (FC) + 13,585 (4.5)

4.6.6. Kullanılan yakıtların özellikleri

Kullanılan; Tunçbilek, Soma, Değirmisaz, Ağaçlı ve Gölbaşı linyitlerinin analizi, aşağıdaki Çizelge 4.4'de verilmiştir. Kullanılan linyitler laboratuvar ortamına gelmeden ve deneylerde kullanılmadan önce kaba neminin büyük bölümünü bırakmıştır.

Çizelge 4.4. Tunçbilek, Soma, Değirmisaz, Ağaçlı ve Gölbaşı linyitleri kaba ve ısıl değer analizleri

Bileşenler	**Tunçbilek**	**Soma**	**Değirmisaz**	**Ağaçlı**	**Gölbaşı**
Kaba Analiz					
Nem	16,5	18,3	17,4	22,3	25,2
Uçucu Madde	39,05	33,7	26,4	48,6	28,65
Kül	13,6	20,4	29,3	12,1	25,60
C_{fix}	30,85	27,6	26,9	17,0	20,55
Üst Isıl Değeri kJ/kg, (kcal/kg)	21402 (5120)	18915 (4525)	15926 (3810)	17619 (4215)	9907 (2370)
Alt Isıl Değeri kJ/kg, (kcal/kg)	20933 (5008)	17389 (4160)	15215 (3640)	15951 (3816)	8945 (2140)

4.6.7. Gaz ürünü ısıl değer hesabı

Alt ve üst kalorifik değer olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki tür kalorifik değer vardır. Laboratuvarda birim yakıtın yakılarak açığa çıkan ısının belirlenmesi için yapılan testlerde cihazlar genelIikle 20°C ortam sıcaklığı için ayarlanır. Birçok yakıt, yanma sırasında su buharı haline dönüşen hidrojen ihtiva eder. Eğer yanma gazı 20 °C'ye soğutulursa, su buharı sıvı hale geçer ve bu esnada buharlaşma gizli ısısı açığa çıkar. Bu şekilde yapılan bir laboratuvar testi üst kalorifik değeri verir. Uygulamada ise yanma gazları yüksek sıcaklıktadır. Bu durumda gazın gizli ısısı açığa çıkmaz. Bu şekildeki bir yanmada elde edilen ısı, alt kalorifik değerini ifade eder. Alt ve üst kalorifik değer arasındaki fark yakıt içinde bulunan hidrojen miktarının bir fonksiyonudur.

Gaz ürün kalorifik değerini hesaplamak için toplam gaz debisi, ölçülen hacimsel oran ve CO, CH_4'ün alt ısıl değerleri kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde çam, gürgen ağaç talaşları ve gürgen ağaç kabuğunun sırasıyla kütle debileri 6,28kg/h, 6,73 kg/h, 5,99 kg/h ile verilen enerji değerleri elde edilmiştir.

$$M(\frac{kg-linyit}{h})xV_G(\frac{Nm^3-G}{kg-linyit})xH_{ut}(\frac{kcal}{Nm^3-G}) = \text{Q}\ (\frac{kcal}{h})$$

Denklemdeki H_{ut} değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{H}_{ut} = \sum_{i=1}^{3}(H_u(\frac{kcal}{Nm^3})X_{G_i}(\frac{Nm^3-(CO/CH4)}{Nm^3-G})) \text{ (kcal/Nm}^3\text{)}$$

$H_{ut} = H_{CO}.X_{CO} + H_{CH4}.X_{CH4}$ (kcal/Nm^3) olarak elde edilir.

VG değeri ise,

VG= VGth + (n-1) VHth

Teorik olarak özgül hava gereksinimi:

V_{Hth}= (1/0,21) O_{2min} $\qquad$ O_{2min} = 1,87C+5,6(H – O/8) + 0,7S $(\frac{Nm^3-O_2}{kg-linyit})$

Hava fazlalık katsayısı:

$$\text{n} = \frac{21}{21-O_2}$$

Teorik olarak özgül yanma gazı miktarı:

$V_{Gth} = V_{CO2} + V_{SO2} + V_N + V_{NH}$ $(\frac{Nm^3-G}{kg-linyit})$

V_{CO2}=1,87C, V_{SO2} = 0,7S, V_N= 0,8N, V_{NH}=3,76O_{2min}

Linyit kömürünün alt ısıl değerleri (ısıtma ısısı), linyit kömürünün net kullanılabilen ısısını verir. Linyit kömürünün tersinir biçimde gazlaştığı varsayılırsa, oluşan max. (teorik) yanıcı gaz miktarının yakılması sonucu oluşan net ısı da linyit kömürünün ısıl değerine eşit varsayılabilir. Bu nedenle, gazlaşma verimi aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır.

$$\eta_{gazlaşma} = \frac{\text{Yanıcı gaz gazlaşma potansiyeli x Gazın ısıl değeri}}{\text{Linyit kömürü alt ısıl değeri}} \text{x100}$$

$$\eta_{gazlaşma} = \frac{q_G(\frac{kcal-G}{kg})}{H_{u-linyit}(\frac{kcal-linyit}{kg})} \text{x100 (\%)}$$

$$\eta_{gazlaşma} = \frac{\sum_{1}^{2}(V_G H_u)_i}{H_{u-linyit}} \text{x100} = \frac{V_{CO}H_{CO} + V_{CH_4}H_{CH_4}}{H_{u-linyit}} \text{x100 (\%)}$$

Çizelge 4.5. Gaz ürünü ısıl değer hesabı

	Tunçbilek	Soma	Ağaçlı
$V_{Gth}(\frac{Nm^3-G}{kg-linyit})$	4,491272	5,4198	5,1399
$V_{Hth}(\frac{Nm^3-H}{kg-linyit})$	4,506905	5,6043	5,14505
n (-)	2,625	2,1	2,756
$V_{CO}(\frac{Nm^3-CO}{kg-linyit})$	0,4135	0,3939	0,156
$V_{CH4}(\frac{Nm^3-CH4}{kg-linyit})$	0,0237	0,0348	0,0128
$V_G(\frac{Nm^3-G}{kg-linyit})$	11,815	11,5845	14,175

Çizelge 4.5. (Devam) Gaz ürünü ısıl değer hesabı

q_G (kcal/kg)	1373,032	1407,076	548,92
η_G (%)	26,1	26,8	9,9
H_{ut} (kcal/Nm^3)	116,211	121,462	38,724
M(kg-linyit kömür/h)	6,28	6,73	5,99
Q (kcal/h)	8622,647	9469,625	3288,031
Q (kW)	10,026	11,011	3,823

Numuneler üzerinde TGA Analizleri

Kömür numuneleri ile STA (Eşzamanlı termal analiz cihazı) kullanılarak yapılan analizler aynı sıcaklık profili şartları için yapılmış ve aşağıda Şekil 4.4 – Şekil 4.12 arasında verilmiştir.

Hazırlıkları yapılarak 10-50 mikron aralığına öğütülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Deneysel çalışma öncesi STA deneysel çalışma prosedürü kurallarına uyularak deneyler gerçekleştirilmiştir.

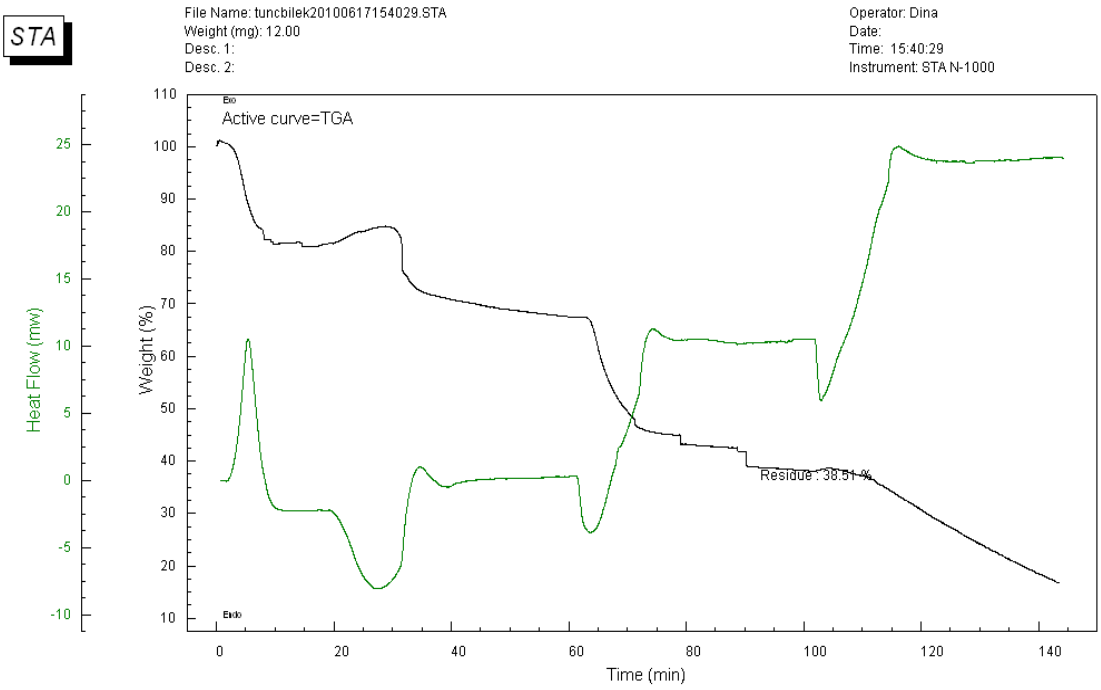
Sırasıyla; Şekil 4.6 - Şekil 4.7'de Tunçbilek linyitinin zaman ve sıcaklık ile değişimleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde azot ortamında yaşanan gazlaşma ürünlerinin oluşumu sıcaklık artışına paralel olarak 400ºC'ye kadar hızla gerçekleşmiştir. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi özellikle 400-600ºC sıcaklık aralığında gazlaşma veriminin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Sıcaklık profili olarak seçilmiş olan sıcaklık değerleri aşağıda Çizelge 4.6'da verilmiştir.

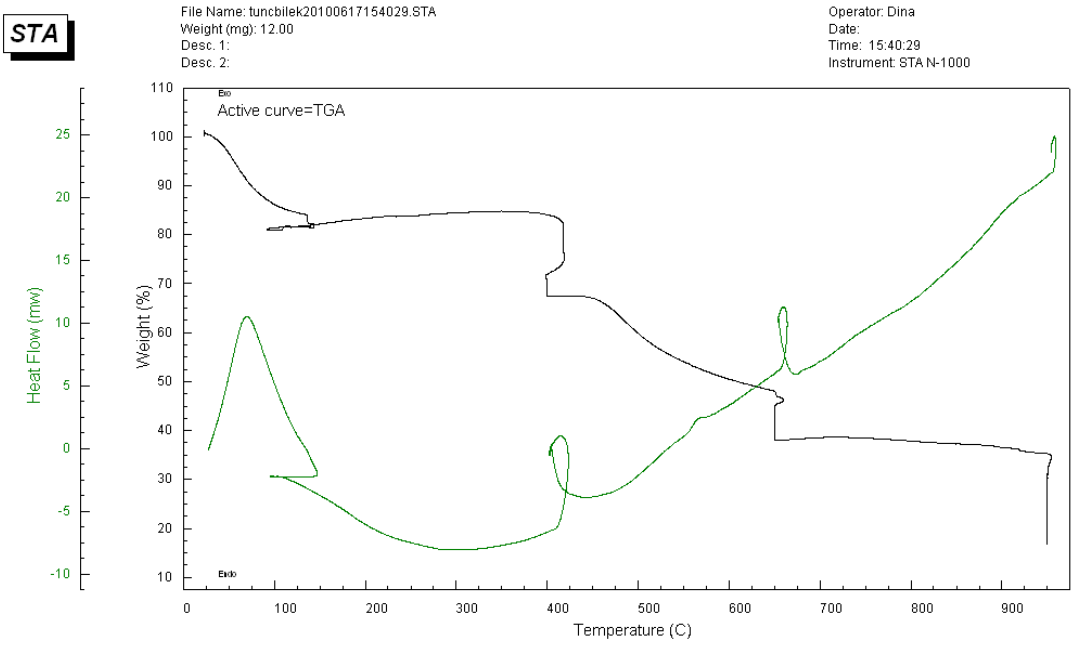
Çizelge 4.6. STA deneylerinde kullanılan sıcaklık profili

Başlangıç Sıcaklığı	Son Sıcaklık	Isıtma Oranı	Bekleme süresi
°C	°C	°C/dk	dk
25	105	25	30
105	400	25	30
400	650	25	30
650	950	25	30

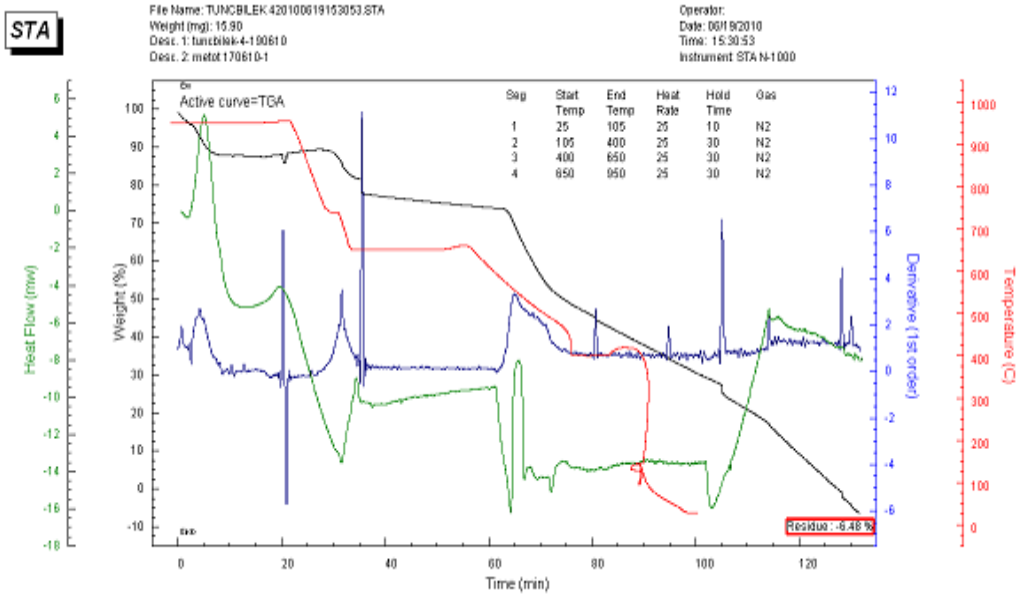
Tunçbilek linyiti için optimum gazlaşma verimi yaklaşık 500ºC civarında elde edilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak kütle değişimleri incelendiğinde 650ºC üzerinde kütle değişiminin yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür. Gazlaşma veriminin en uygun olduğu sıcaklık bölgesi olarak 650ºC belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler

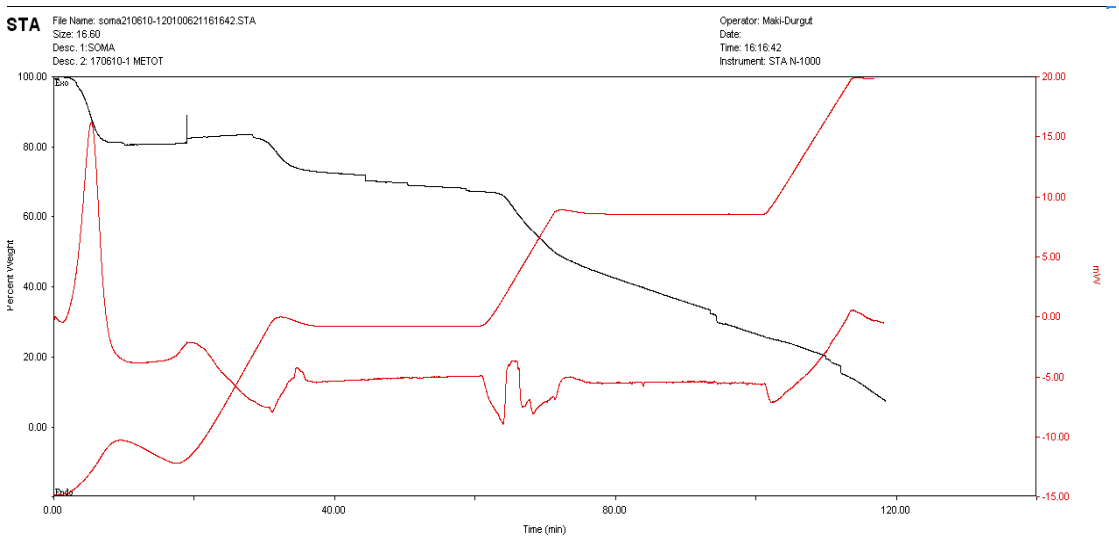


Şekil 4.7. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler

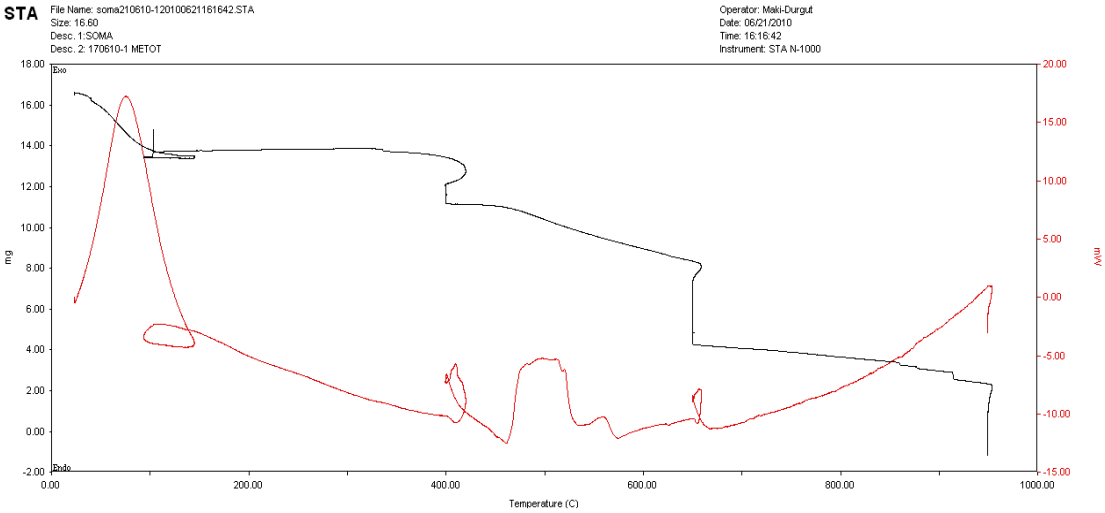


Şekil 4.8. Tunçbilek linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları

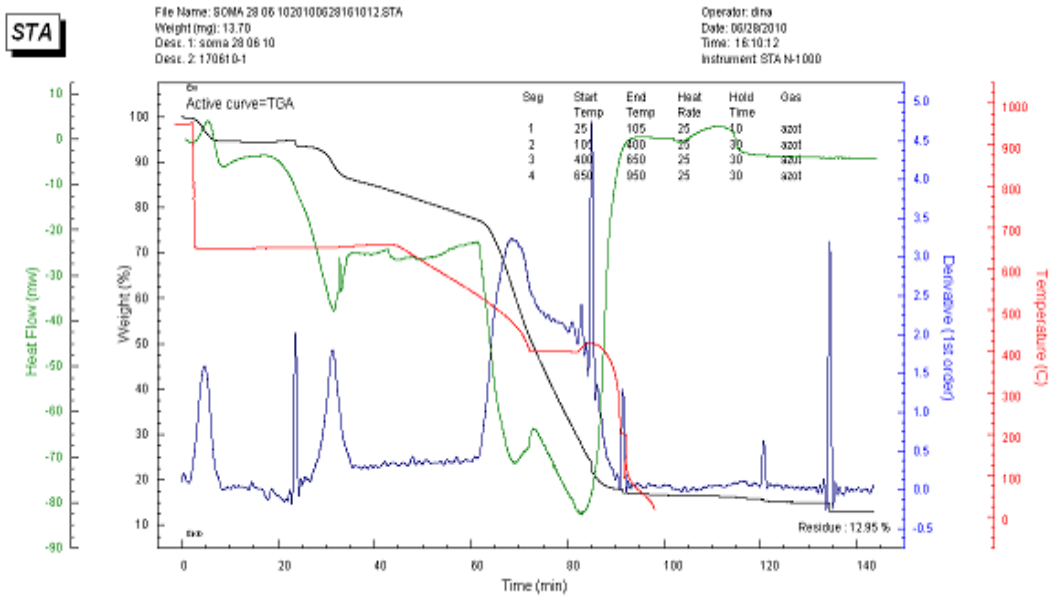
Sırasıyla; Şekil 4.9 - Şekil 4.10'da, Soma linyitinin zaman ve sıcaklık ile değişimleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde azot ortamında yaşanan gazlaşma ürünlerinin oluşumu sıcaklık artışına paralel olarak 400ºC öncesinde büyük bir gazlaşma olmadığı, özellikle 400ºC sonrasında belli bir miktar ancak en büyük gaz salınımının 650ºC civarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi özellikle 650ºC sıcaklık bölgesi ve üzerinde gazlaşma veriminin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Deneyin ileri aşamasında 650-950ºC aralığında sıcaklık ile yavaş bir kütle kaybı izlenirken artık 950ºC'de sabit kalındığında aşırı kütle kaybı gözlenmiştir.



Şekil 4.9. Soma linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler

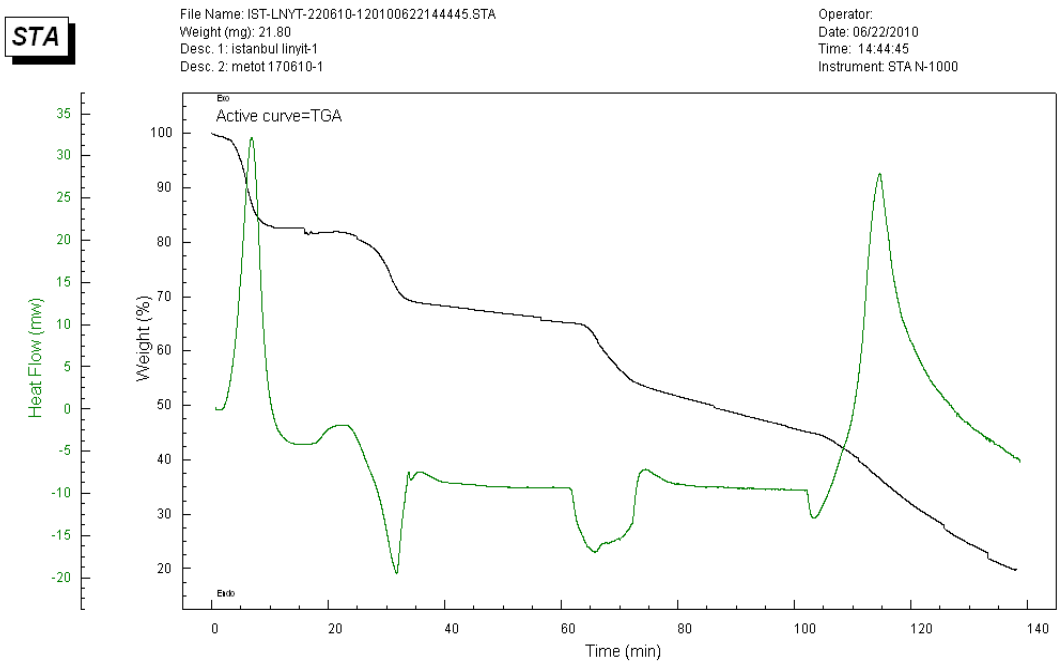


Şekil 4.10. Soma linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler

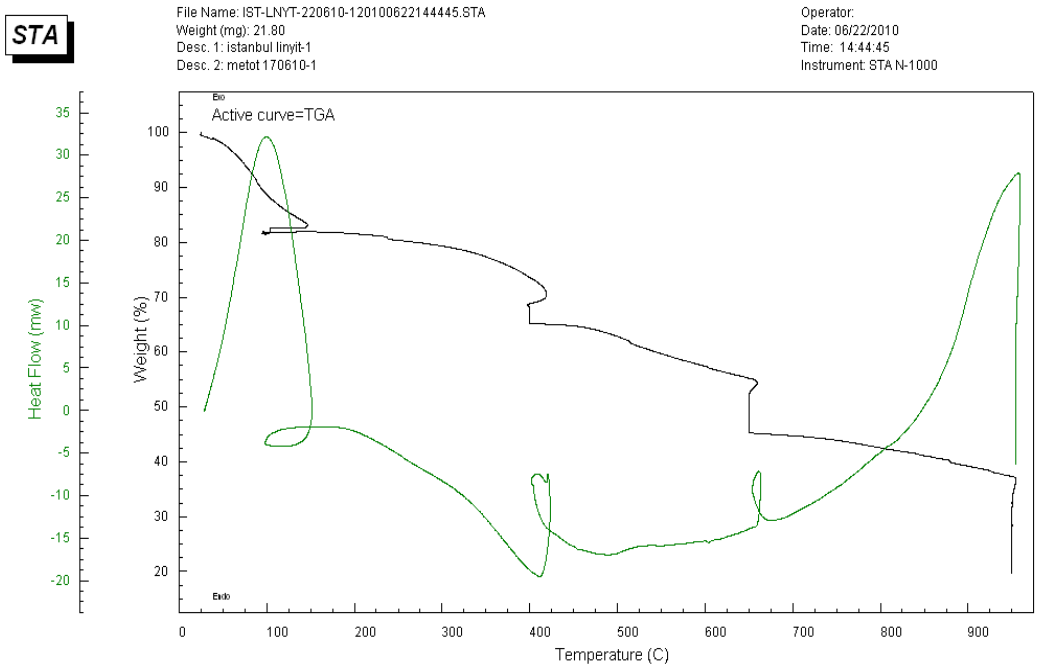


Şekil 4.11. Soma linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları

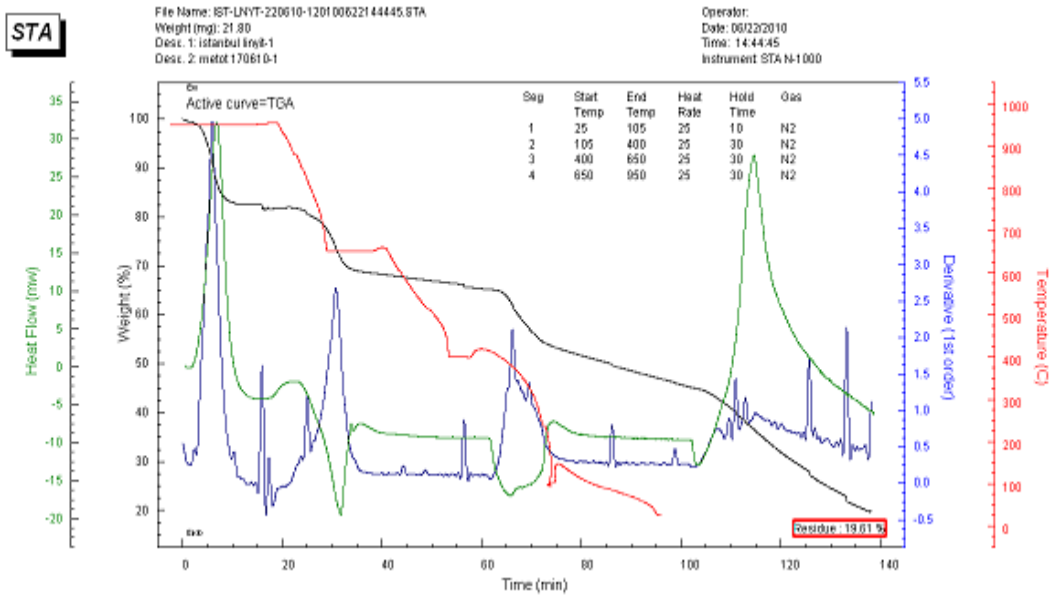
Şekil 4.12 - Şekil 4.13'de; Ağaçlı linyitinin zaman ve sıcaklık ile değişimleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, azot ortamında yaşanan gazlaşma ürünlerinin oluşumu sıcaklık artışına paralel olarak sıcaklık artışı ile orantılı bir gaz ürün oluştuğunu göstermektedir (Şekil 4.13). Oda sıcaklığından itibaren 105ºC'deki yaklaşık kütlesel % 20 oranındaki nem salınımını takiben 400ºC de % 5 ve 650ºC de ise % 10'luk bir kütle kaybı oluşmuş, sıcaklık artışı kademelerinde ise yaklaşık aynı eğim ile gazlaşma gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler

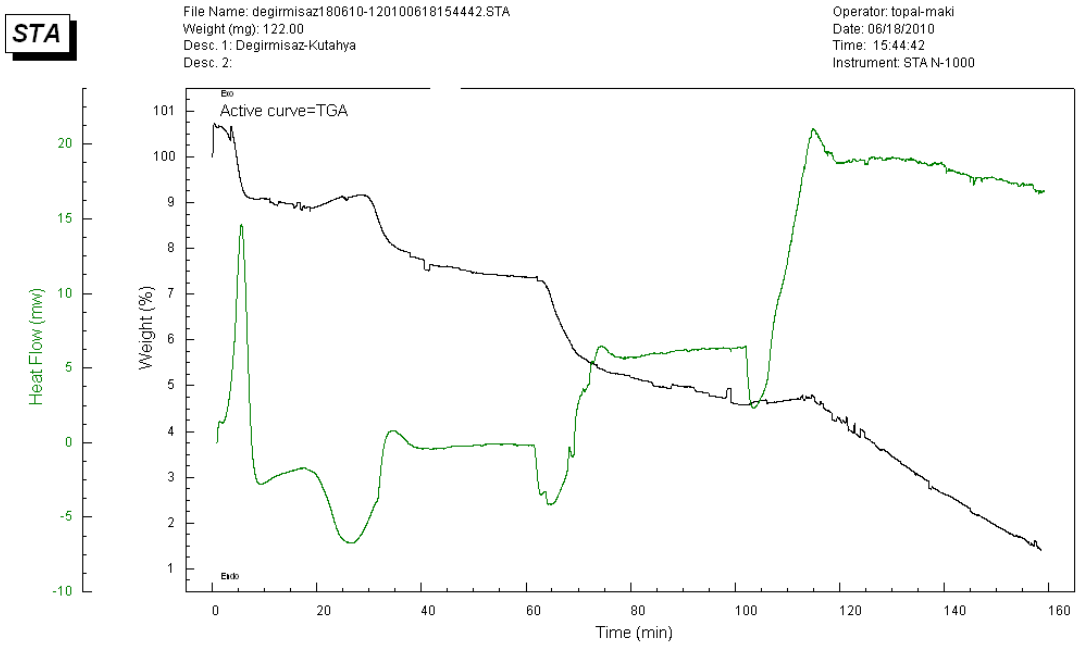


Şekil 4.13. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler

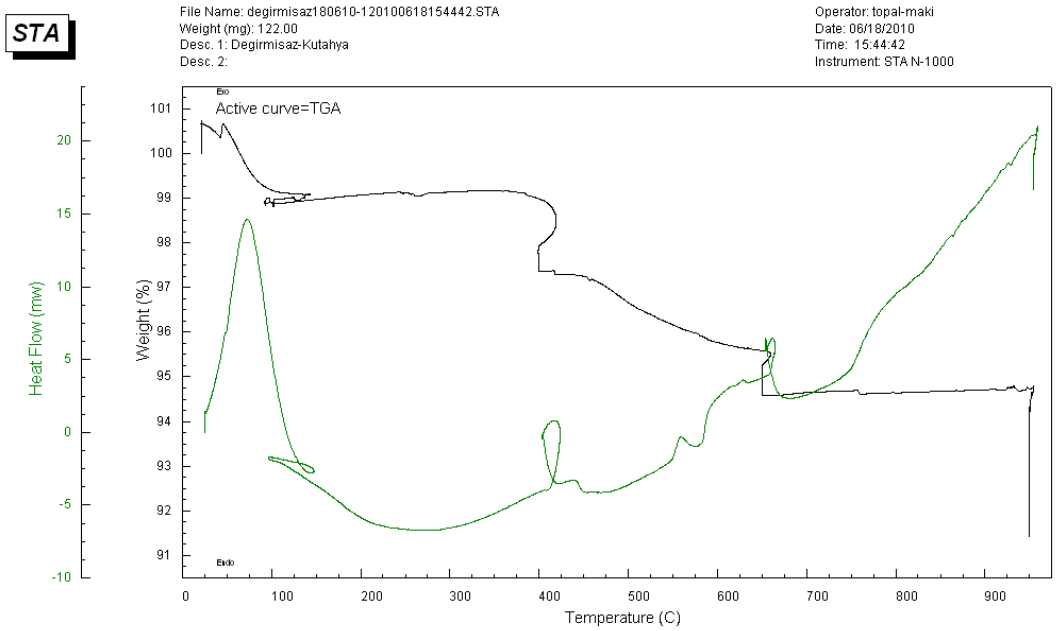


Şekil 4.14. Ağaçlı linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları

Sırasıyla; Şekil 4.15 - Şekil 4.16'da, Değirmisaz linyitinin zaman ve sıcaklık ile değişimleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde nem salınımını takiben 400ºC'ye kadar herhangi bir gazlaşmaya rastlanmamıştır. Genel olarak düşük bir gazlaşma verimi ile 650ºC ve 900ºC'lere kadar bir kütle kaybı yaşanmış ancak gazlaşamayan ve katı formda kalan büyük bir kütle ile karşılaşılmıştır.

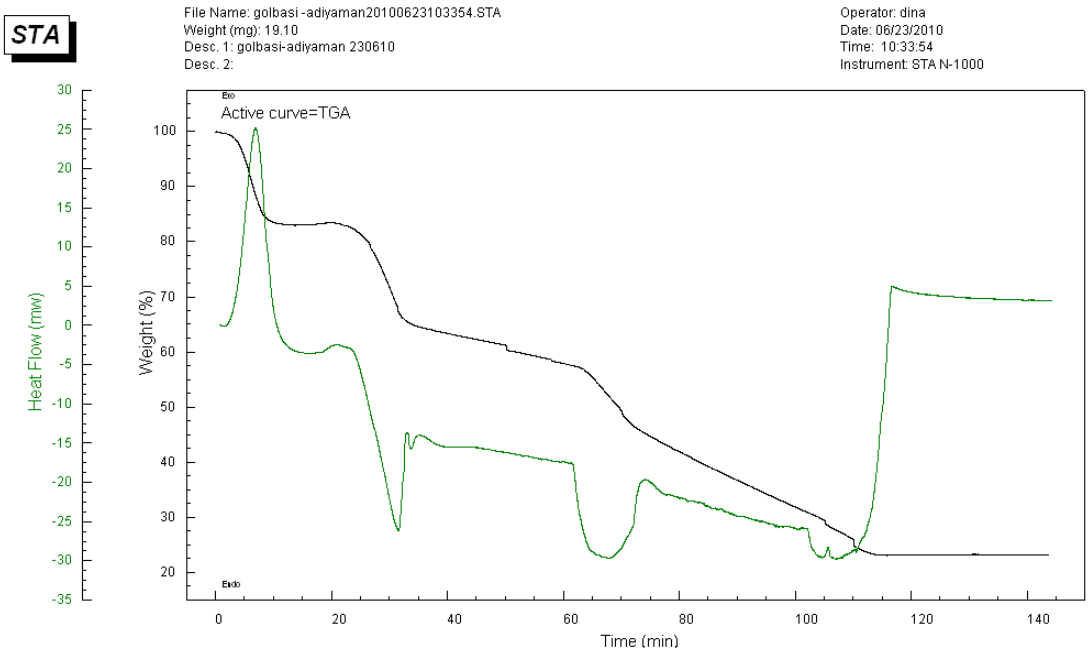


Şekil 4.15. Değirmisaz linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler

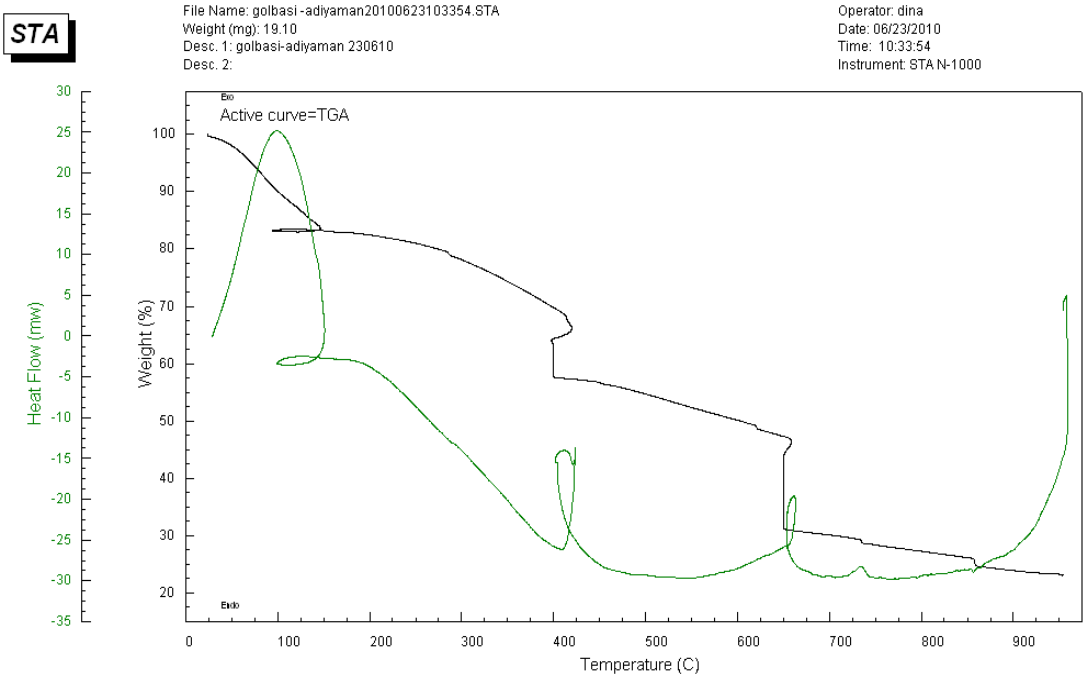


Şekil 4.16. Değirmisaz linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler

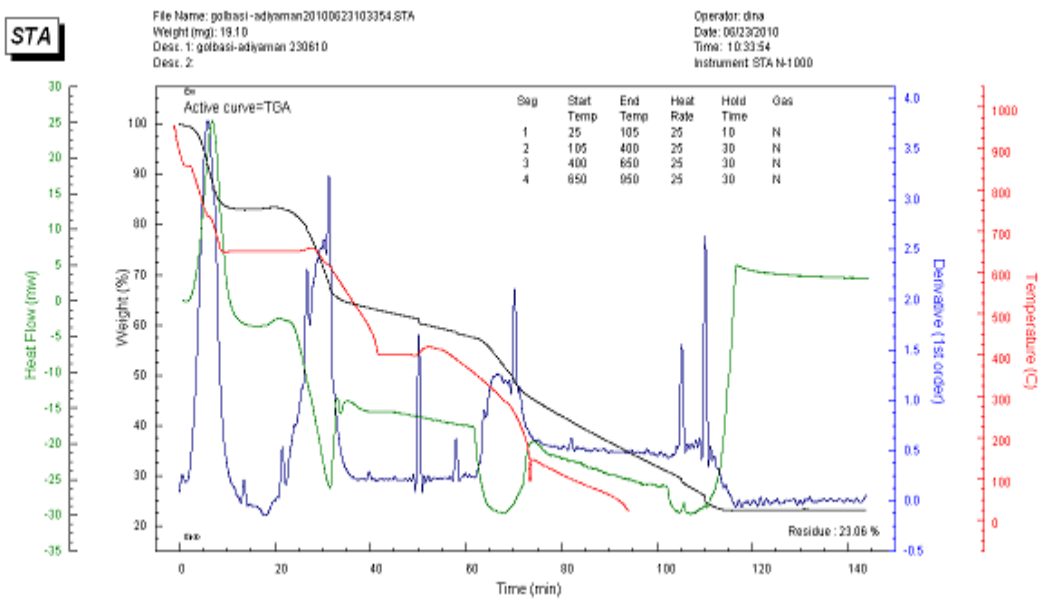
Sırasıyla; Şekil 4.17 - Şekil 4.18'de ise, Gölbaşı linyitinin zaman ve sıcaklık ile değişimleri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde gazlaşma ürünlerinin oluşumu sıcaklık artışına paralel olarak 400ºC öncesinde büyük bir gazlaşma olmadığı, özellikle 400ºC sonrasında belli bir miktar ancak en büyük gaz salınımının 650ºC civarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi özellikle 650ºC sıcaklık bölgesi ve üzerinde gazlaşma veriminin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Deneyin ileri aşamasında 650-950ºC aralığında sıcaklık ile yavaş bir kütle kaybı izlenirken artık 950ºC'de sabit kalındığında aşırı kütle kaybı gözlenmiştir.



Şekil 4.17. Gölbaşı-Adıyaman linyiti STA analiz sonuçları: zamana bağlı değişimler



Şekil 4.18.Gölbaşı-Adıyaman linyiti STA analiz sonuçları: sıcaklığa bağlı değişimler



Şekil 4.19. Gölbaşı-Adıyaman linyiti STA analiz sonuçları: kütle salınım oranları

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Düşük kaliteli kömür kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, doğrudan yakma teknolojilerinin yerine kömür türüne ve özelliklerine uygun biçimde tasarlanacak olan termal dönüşüm prosesi ile gaz ürün elde edilmesini sağlayan gazlaştırma yöntemi, verimli ve temiz enerji üretiminde önemli bir yöntem olarak görülmektedir.

Bu çalışmada, yerli linyit kömürlerinden gazlaştırma yoluyla daha temiz ve daha verimli gaz yakıt elde edilmeye çalışılmıştır. Laboratuvar ölçekli dolaşımlı akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda beş çeşit linyit kömürü için yapılan gazlaştırma işleminden elde edilen gaz ürünler verilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar öncesinde kullanılan kömürlerin analizleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada birinci aşamada kömürlerin STA cihazı kullanılarak termogravimetrik analizleri ve dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırıcı kullanılarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde kömürlerin gazlaşma şartları ve farklı sıcaklık şartları altında davranışları deneysel olarak incelenmiştir. İkinci bölümde ise, dolaşımlı akışkan yatakta gazlaştırma işlemi üzerinde çalışılmıştır.

Yapılan termogravimetrik analiz sonuçları, deneylerde numune olarak kullanılan ülkemizde farklı bölgelerden temin edilmiş ve farklı içeriklere sahip kömürlerin gazlaşma özelliklerini ortaya koymuştur. Bu özellikler ile herbir kömür grubunun çalışılabileceği gazlaştırma reaktörlerinin işletme değerleri belirlenmiştir.

Deneylerde gazlaştırma prosesinde dolaşımlı akışkan yatakta azot gazı ortamında 250–750ºC sıcaklıklarda gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmış ve elde edilen gaz ürün bileşenleri incelenmiştir. Deneyler sırasında gerekli sıcaklık şartlarını sağlamak için başlangıç enerjisi olarak doğalgaz kullanılmıştır.

Gazlaştırma deneylerinde dolaşımlı akışkan yatağın ekseninde farklı noktalarda 8 adet ölçüm alma yeri kullnılarak gaz konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu gaz

konsantrasyonları O_2, CO, CO_2, CH_4 ve C_mH_n(non-CH_4) dir. Farklı hava fazlalık katsayısı şartlarında elde edilen gazlaşma ürünleri azot+oksijen atmosferinde kömür numunelerinden elde edilen gaz ürünleri göstermektedir. Azot+hava atmosferi sağlanarak düşük hava fazlalık katsayılarına inilmesi amaçlanmış olup elde edilen gaz ürünlerde yanma oranının azaldığı ve gaz ürün miktarının arttığı anlaşılmaktadır.

İleriki çalışmalarda, azot atmosferi sadece denenebileceği gibi buhar besleme sistemi kullanılarak gazlaşma prosesinde subuharının etkisi incelenmelidir. Literatürdeki çalışmalarda su buharının gazlaşma verimine ve gaz ürün oranlarına olumlu etkisi bilinmelidir. Ancak özellikle yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı bir buhar jeneratörü kullanılarak, gaz ürün verimi deneysel olarak belirlenebilir.

Farklı linyit kömürlerinin; TGA analizleri yapılarak gazlaştırma sıcaklık şartları deneysel olarak belirlenmiştir.

Kaba analizleri yapılan kömürlerden gazlaşma özelliği yüksek olan Tunçbilek, Soma ve Ağaçlı linyit kömürleri ile dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırma deney düzeneğinde gazlaşma özellikleri incelenmiştir.

Gazlaştırma deneyleri; Ağaçlı, Tunçbilek ve Soma linyit kömürlerinin çalışılan deney sıcaklık aralığında en yüksek verimleri sırasıyla sağladığı görülmüştür.

Daha sonraki çalışmalarda, akışkan yataklı gazlaştırıcı ünitesinde; su buharı uygulaması yapılmasında, oluşan gaz ürünlerin kalitesinin artması için yarar vardır.

Farklı hava fazlalık değerlerinde, gazlaştırma deneylerinin tekrar edilmesi yararlı olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Min, T. J., Yoshikawa, K., Murakami, K., "Distributed Gasification and Power Generation From Solid Wastes", ***Energy,*** 30: 2219-2228 (2005).

2. Jennen, T., Hiller, R., Köneke, D., Weinspach, P. M., "Modeling of gasification of wood in a circulating fluidized bed", ***Chem. Eng. Technol.,*** 22: 10 (1999).

3. Corella, J., Sanz, A., "Modeling circulating fluidized bed biomass gasifiers. A pseudo – rigorous model for stationary state", ***Fuel Processing Technology,*** 86: 1021-1053 (2005).

4. Liu, H., Gibbs, B., M., "Modeling NH3 and HCN emissions from biomass circulating fluidized bed gasifiers.", ***Fuel,*** 82: 1591–1604 (2003).

5. Haris, B.J., Davidson, J.F., "Velocity Profiles, Gas and Solids, in Fast Fluidized Beds", Fluidization VII, ***Proc.of the Int. Conf. On Fluidization***: 219-226. (1992).

6. García – Ibañez, P., Cabanillas, A., Sánchez, J. M., "Gasification of leached orujillo in a pilot plant circulating fluidised bed reactor. Preliminary results." ***Applied Energy***,183–194 (2004).

7. Lv, P.M., Xiong, Z. H., Chang, J., Wu, C.Z., Chen, Y , Zhu, J. X., "An experimental study on biomass air – steam gasification in a fluidised bed", ***Bioresource Technology,*** 95: 95–101 (2004).

8. Zevenhoven – Onderwater, Maria, Backman, Rainer, Skrifvars, Bengt – Johan, Hupa, Mikko,"The ash chemistry in fluidised bed gasification biomass fuels. Part I: Predicting the chemistry of melting ashes and ash – bed material interaction", ***Fuel,*** 80: 1489–1502 (2001).

9. Zevenhoven – Onderwater, M., Backman, R., Skrifvars, B. – J., Hupa, M., Liliendahl, T., Rosen, C., Sjöström, K., Engvall, K., Hallgren, A., "The ash chemistry in fluidised bed gasification biomass fuels. Part II: Ash behaviour prediction versus bench scale agglomeration tests." ***Fuel,*** 80: 1503–1512 (2001).

10. Glicksman L.R., Westphalen D., Brereton C., Grace J., "Verification of the Scaling Laws for Circulating Fluidized Beds" ***Circulating Fluidized Bed Technology III Proc.of the Third Int.Conf.on CFB Nagoya***, Japan, 119–124 (1990).

11. Dowaki, K., Mori, S., "Biomass Energy Used in a Sawmill", ***Applied Energy,*** 80: 327-339 (2005).

12. Ganan, J., Al-Kassir Abdulla, A., Miranda, A.B., Turegano, J., Carreia, J., Cuerda, E.M., "Energy Production By Means of Gasification Process of Residuals Sourced in Extramadura (Spain)", ***Renewable Energy,*** 30: 1759-1769 (2005).

13. Zaporowski, B., "Analysis of energy-conversion processes in gas–steam power-plants integrated with coal gasification", ***Applied Energy,*** 297-304 (2003).

14. Molina, A., Mondragón, F., "Reactivity of coal gasification with steam and CO_2" ***Fuel***, 1831-1839 (1998).

15. Sha, X.Z., Chen, Y., Yang, M., Ren, Q., "Effects of operating pressure on coal gasification" 656-659***,*** (1990).

16. Douchanov, D., Angelova, G., "Effect of catalysis and inlet gas on coal gasification" ***Catalysis Today,*** 89***:*** 231-233 (1983).

17. Heler, M.C., Keoleian, G.A., Mann, M.K., Volk, T.A., "Life Cycle Energy and Environmental Benefits of Generating Electricity From Willow Biomass" ***Renewable Energy,*** 29: 1023-1042 (2004).

18. Asadullah, M., Miyazawa, T., Ito, S., Kunimori, K., Yamada, M., Tomishige, K., "Catalyst Development for the Gasification of Biomass in the Dual-Bed Gasifier" ***Applied Catalysis A***: ***General,*** 255: 169-180 (2004).

19. Baron, S., Brandon, N., Atkinson, A., Steele, B., Tudkin, T., "The Impact of Wood-Derived Gasification Gases on Ni-C60 Anodes in Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells", ***Journal of Power Sources,*** 12*:* 58-66 (2004).

20. Hoppesteyn, J., Andries, J., Hein, R., Jong, W., "Coal gasification and combustion of LCV gas" ***Bioresource Technology,***26***:*** 105-115 (1998).

21. Brown, T., D., "Coal gasification—combined cycles for electricity production" ***Progress in Energy and Combustion Science,*** 8: 277-301 (1982).

22. Altafini, C.R., Wander, P.R., Barreto, R.M., "Prediction of the Working Parameters of a Wood Waste Gasifier Through an Equilibrium Model" ***Energy Conversion and Management,*** 44: 763-2777 (2003).

23. Jong, W., Ünal, Ö., Andries, J., Hein, K.R.G., "Thermochemical Conversion of Brown Coal and Biomass in A Pressurised Fluidized Bed Gasifier With Hot Gas Filtration Using Ceramic Channel Filters: Measurements and Gasifier Modelling" ***Applied Energy,***74: 425-437 (2003).

24. Xander, J., Iranmanesh, M., McNiel, D., White, K., "Coal gasification: An economic evaluation", ***Technological Forecasting and Social Change***, 23: 309-327 (1984).

25. Gren, M., Sage, P., "Carbon emission reduction with high pressure underground coal gasification" ***Greenhouse Gas Control Technologies,*** 21: 2431-2435 (2005).

26. Demirbaş, A., "Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals" ***Energy Conversion and Management,*** 42*:* 1357-1378 (2001).

27. Topal, H., "Orman ürünleri atıkları ve SEKA kağıt fabrikası atık çamurlarının gazlaştırma davranışının akışkan yatakta deneysel incelenmesi ve enerji potansiyeli", ***Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi,*** MMF 06/2002-47, Ankara (2004)

28. Türk Mühendisleri ve Mimar Odaları Birliği, "TMMOB Enerji Raporu, 2006", Ankara, 17-19 (2006).

29. İnternet : İstanbul Teknik Üniversitesi "Türkiye'de Enerji ve Geleceği, İTÜ Görüşü" http://www.energy.itu.edu.tr/iTUOnerileri.pdf (2007)

30. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, "1998 Enerji Raporu", ***Ankara***, 1-49 (2000).

31. British Petroleum (BP), "Statistical Review of World Energy 2005", London, 1-41 (2005).

32. İnternet : Pamir, A. Necdet " Dünya'da ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_73100.pdf (2003)

33. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, "1998 Enerji İstatistikleri", WEC, ***Türkiye 8. Enerji Kongresi***, Ankara, 273-284 (2000).

34. Noyan, Ö.F., "Türkiye'de Enerji-Çevre Sorunun ve Nükleer Alternatifin Enerji Ekonomisindeki Yeri", ***Türkiye 8. Enerji Kongresi***, Cilt II, 197-207, Ankara (2000).

35. Özbay, N., " Pamuk Çiğidi Pres Küspesinin Pirolizi ve Sıvı Ürünlerinin Karakterizasyonu", Doktora tezi, ***Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, 25-29 (1998).

36. Acaroğlu, M., Ültanır, M. Ö., "Türkiye'de biyokütle enerji potansiyeli ve değerlendirilmesi", ***Türkiye'de 8. Enerji Kongresi***, Ankara, 161-172, (2000).

37. Türe, S., Özdoğan, S., Saygın, Ö., "Biyokütlenin Enerji Üretimi", ***Türkiye 6. Enerji Kongresi,*** Teknik Oturum Tebligleri(1); İzmir, 486-493 (1994).

38. Sharma, R. K., Bakhshi, N. N., "Catalytic Upgranding of Biomass Derived Oils to Transportation Fuels and Chemicals", ***The Canadian Journal of Chemical Engineering***, 69: 1071-1081 (1991).

39. Klass, D.L.,"Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals", ***Biomass as an Energy***, 29-50(1998).

40. Boyacı, B., "Dolaşımlı akışkan yatakta düşük sıcaklıklarda orman ürünlerinden oluşan gaz ürünlerinin deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 10-84 (2007).

41. Crnomarkovic, N., Branislav, R., Mladenovic, R., "Experimental investigation of role of steam in entrained flow coal gasification", ***Fuel,*** 194-202 (2007).

42. Can, M., "Orman Biyokütlesinin Pirolizi ve Ürünlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, 2-25 (2001).

43. Diebold, J.P., Bridgwater, A.W., "Overview of Fast Pyrolysis of Biomass for the Production of Liquid Fuels", ***In Development in Thermochemical Biomass Conversion***, London, 5-25 (1997).

44. Backman, R., Frederick, W.J., Hupa, M., "Basic Studies on Black Liquor Pyrolsis and Char Gasification", ***Biosource Technology***, 46:153-158 (1993).

45. Bridgwater, A.W., "The Technical and Thermochemical Conversion of Biomass : Gasification by Flash Pyrolysis Study", ***Solar Energy,*** *29*, 6 (1982).

46. Devi, G.T., Kannan, M.P., "Calcium Catalysis Air Gasification of Cellulosic Chars", ***Fuels,*** 77: 1825-1830 (1998).

47. Wang, Y., Kinoshita, C.M., Experimental Analysis of Biomass Gasification With Steam and Oxygen", ***Solar Energy,*** 49: 3-4 (1992).

48. Demirbaş, A., Çağlar, A., "Catalytic Steam Reforming of Biomass and Heavy Oil Residues to Hydrogen", ***Energy, Education Science and Technology***, 11: 45-52 (1998).

49. Kannan, M.P., Richards, G.N., "Gasification of Biomass Chars in Carbondioxide: Dependence of Gasification Rate on the İndigenous Metal Content", ***Fuels,*** 69*:* 747 – 753 (1990).

50. Canel, Muammer, "Kömürlerin Gazlaştırılması" ***Madencilik***, 25(2): 35 (1986).

51. Suda, S.," Metal Hydrides", ***Int. J. Hydrogen Energy,*** 12*:* 323 – 331(1998).

52. Topal H., "Dolaşımlı Akışkan Yatağın Hidrodinamik, Yanma ve Emisyon Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara,45-71(1999).

53. Bucak, O., "Sirkülasyonlu Akışkan Yataklı Kazan", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-18 (1996).

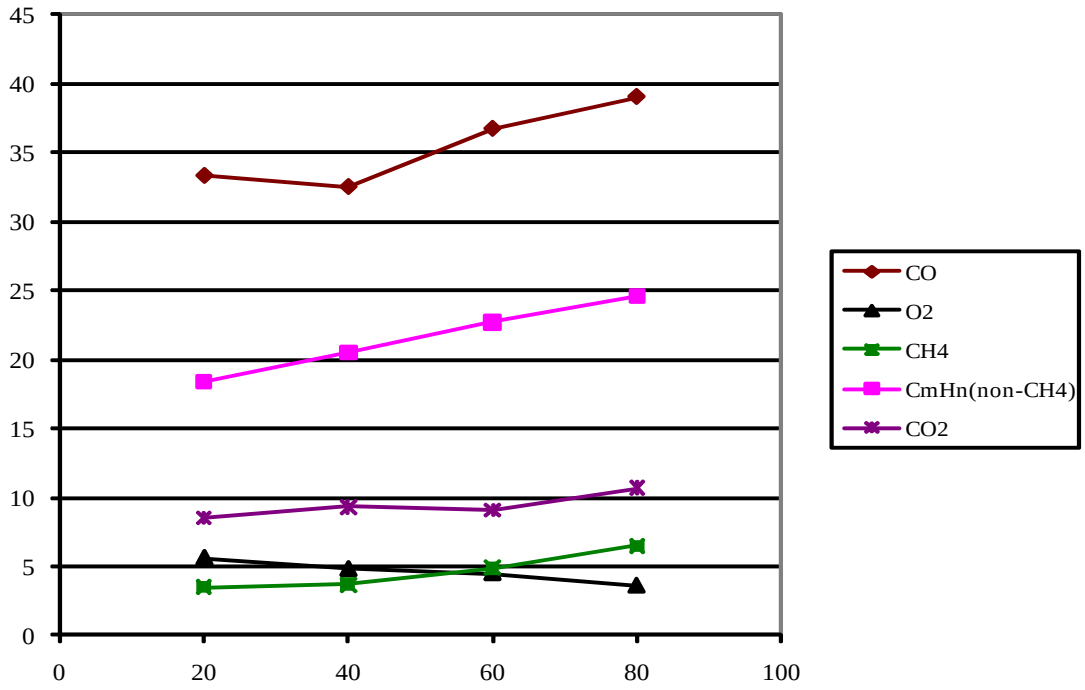
54. Kunii D., Levenspiel O., "Fluidization Engineering", ***Wiley***, New York 30-94 (1983).

55. Topal H., "Izgaralı kazanlarda yanma odasındaki yapısal değişikliklerin kazan ısıl performans ve emisyon davranışına etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 75 (1992).

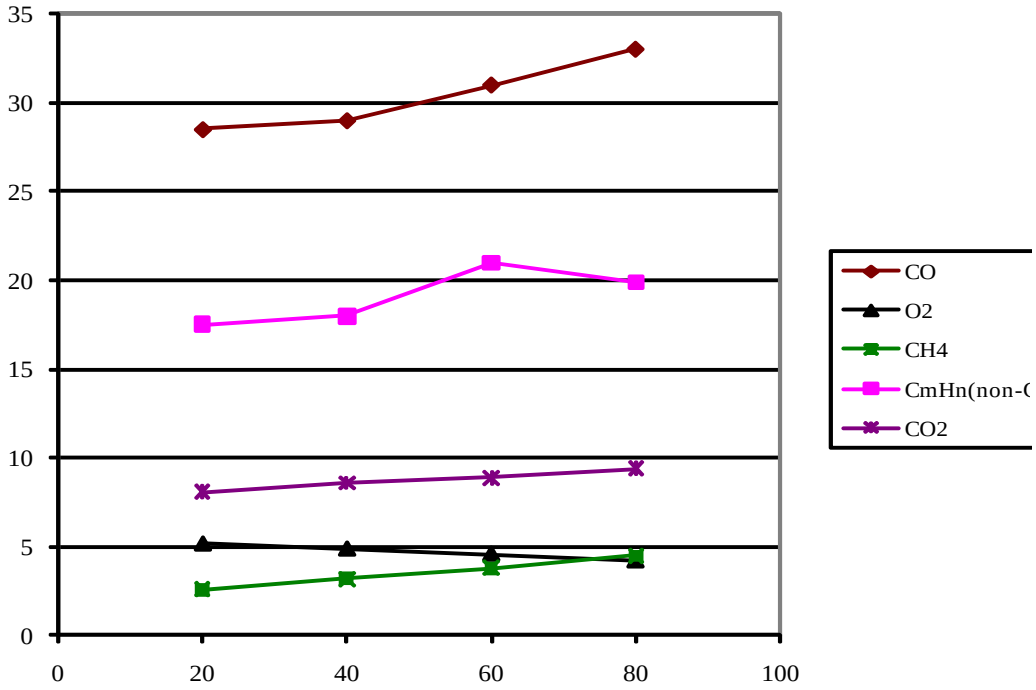
56. Erbaş, O., "Dolaşımlı akışkan yatakta ısı transferi mekanizması ve bu mekanizmanın kuramsal ve deneysel analizi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 40-44 (2007).

EKLER

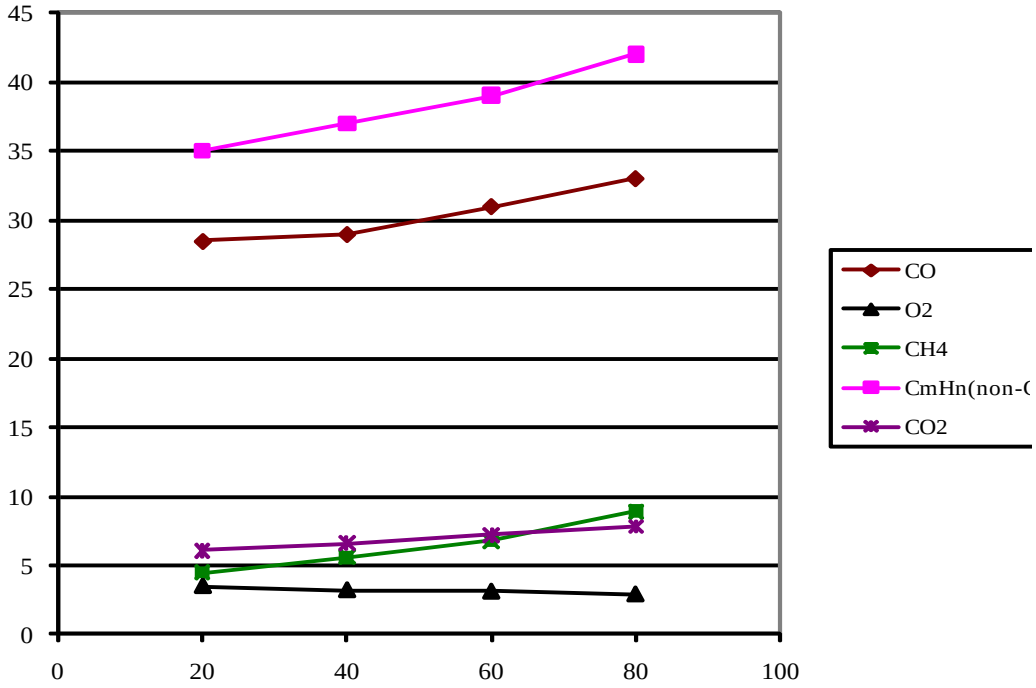
EK-1 Tunçbilek Linyiti ile yapılan gazlaştırma deney sonuçlarının gazlaştırıcı kolon yüzeyi ile değişimi



EK-2 Soma Linyiti ile yapılan gazlaştırma deney sonuçlarının gazlaştırıcı kolon yüzeyi ile değişimi



EK-3 Ağaçlı linyiti ile yapılan gazlaştırma deney sonuçlarının gazlaştırıcı kolon yüzeyi ile değişimi



EK-4 Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

NUMUNE HAZIRLAMA VE BOYUT ANALİZİ

Yapılan çalışma boyunca, örnek olarak alınan beş tür linyit kömürü ve yatak malzemesi olarak silis kumu kullanılmış, deneysel sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu işlemden önce numunelerin dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırıcı da kullanılabilecek duruma getirilmesi için ilk önce boyutlarının uygun hale getirilmesi şarttır. Ayrıca; gazlaştırma prosesi, tanecik boyutuna göre farklılık göstereceğinden dolayı boyut analizi yapmayı zorunlu hale getirir.

Deneysel incelemelerde, çok küçük tanecikler reaksiyon hızını artırarak, iri tanecikler beslenen hava ile reaksiyona giren yakıt yüzey alanı küçük taneciklere göre az olması sebebiyle reaksiyon sonucunda CO yerine CO_2 üretimi artacaktır.

Boyut analizi işleminde laboratuarımızda mevcut olan ASTM elek seti kullanılarak 1,6, 1,41, 1,0, 0,84, 0,59, 0,50 ve 0,25 mm delik aralığına sahip eleklerle elenerek boyut analizi formülasyonu kullanılarak numunelerin ortalama çapları belirlenmiştir. Örnek olarak Tunçbilek linyitine ait boyut dağılımı aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tunçbilek linyiti örneği boyut analizi

Kullanılan elek çapları (mm)	Elek ağırlıkları (gr)	Eleme sonrası ağırlıklar	Kaplarda kalan numune miktarı	*Kümülatif toplam*
1,6	476	481	5	*100*
1,41	524	533	9	*95*
1	507	517	10	*86*
0,84	531	555	24	*76*
0,59	509	531	22	*52*
0,5	410	425	15	*30*
0,25	536	545	9	*15*
0	*455*	*461*	*6*	*0*

EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

Çizelge 4.2. Silis kumu boyut analizi

Kullanılan elek çapları (mm)	Elek ağırlıkları (gr)	Eleme sonrası ağırlıklar	Kaplarda kalan numune miktarı	*Kümülatif toplam*
1,41	524	694	170	*650*
1	507	737	230	*480*
0,84	531	606	75	*250*
0,59	509	534	25	*175*
0,5	410	560	150	*150*
0,25	*536*	*536*	*0*	*0*

Bu dört numunenin boyut analizinden elde edilen kümülatif toplam ile partikülün ortalama çapı oluşturulan formülasyonla aşağıda verilmiştir:

Tunçbilek linyiti Ortalama Çap Analizi

Çizelge 4.3. Tunçbilek linyitinin ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(µm)
1	0	0
2	15	250
3	30	500
4	52	590
5	76	840
6	86	1000
7	95	1410
8	100	1600

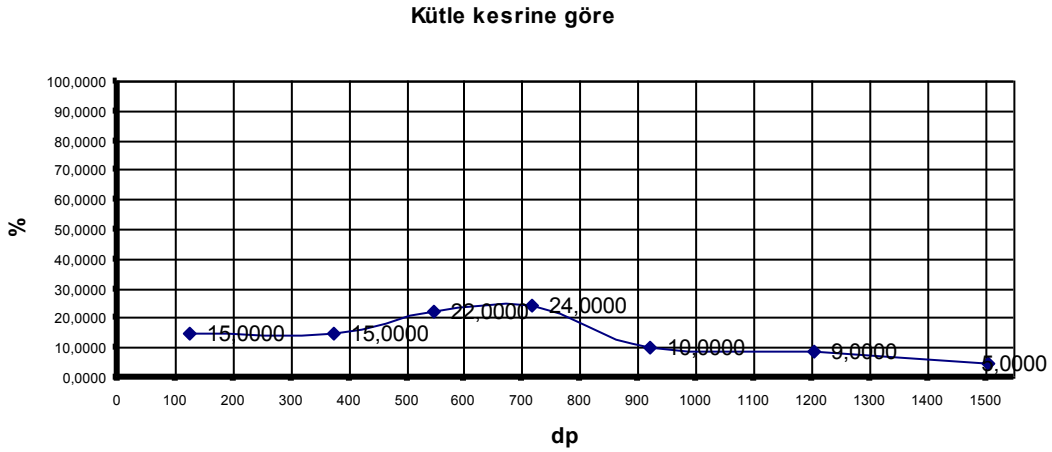
HESAPLANAN DEĞERLER

dp aralığı	dp	Kütle Kesri(x) %		Kümülatif Yüzde %
1 ve 2	125	15,0000		0,000
2 ve 3	375	15,0000		15,000
3 ve 4	545	22,0000		30,000
4 ve 5	715	24,0000		52,000
5 ve 6	920	10,0000		76,000
6 ve 7	1205	9,0000		86,000
7 ve 8	1505	5,0000		95,000
	TOPLAM=	100,0000		100,000

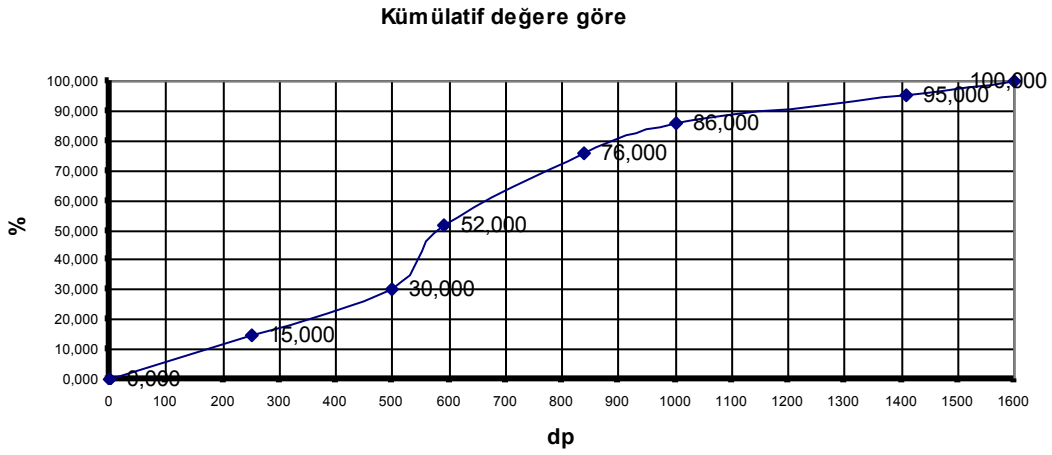
EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

	x / dp
	0,0012
	0,0004
	0,0004
	0,0003
	0,0001
	0,0001
TOPLAM	0,0026

ORTALAMA ÇAP= 391 (µm)



Şekil 4.1. Tunçbilek linyiti örneğinin kütle kesrine göre dağılımı



Şekil 4.2. Tunçbilek linyiti örneğinin kümülatif değere göre dağılımı

EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

Soma linyiti örneğinin ortalama çap analizi

Çizelge 4.4. Soma linyiti örneğinin ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(µm)
1	0	0
2	10	250
3	22	500
4	37	590
5	55	840
6	79	1000
7	92	1410
8	100	1600

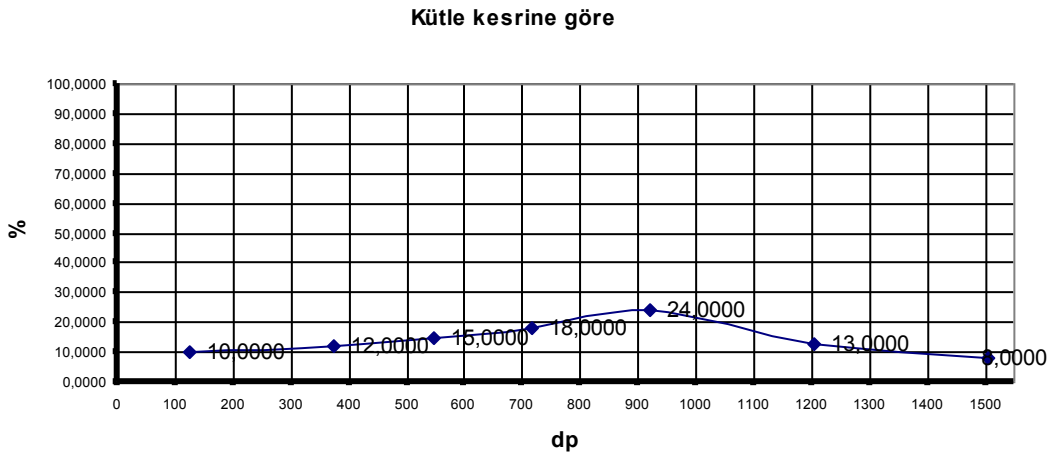
Çizelge 4.5. Soma linyiti örneğinin ortalama çap hesabı

HESAPLANAN DEĞERLER				
dp aralığı	dp	Kütle Kesri(x) %		Kümülatif Yüzde %
1 ve 2	125	10,0000		0,000
2 ve 3	375	12,0000		10,000
3 ve 4	545	15,0000		22,000
4 ve 5	715	18,0000		37,000
5 ve 6	920	24,0000		55,000
6 ve 7	1205	13,0000		79,000
7 ve 8	1505	8,0000		92,000
	TOPLAM=	100,0000		100,000

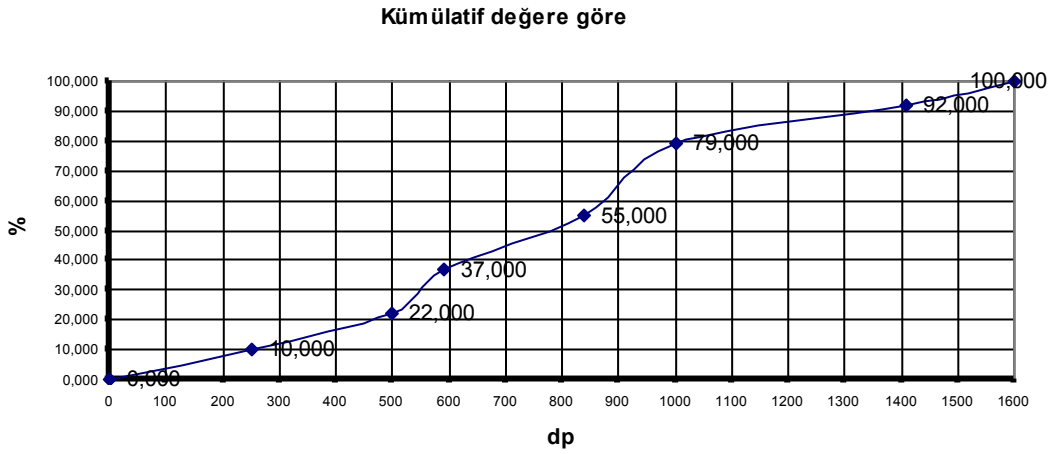
	X / dp
	0,0008
	0,0003
	0,0003
	0,0003
	0,0003
	0,0001
	0,0001
TOPLAM	0,0021

ORTALAMA ÇAP= 483 (µm)

EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi



Şekil 4.3. Soma linyiti örneğinin kütle kesrine göre dağılımı



Şekil 4.4. Soma linyiti örneğinin kümülatif değere göre dağılımı

Soma linyiti örneğinin ortalama çap analizi

Çizelge 4.6. Ağaçlı linyiti örneğinin ortalama çap hesabı

No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(mikron metre)
1	0	0
2	9	250
3	18	500
4	30	590
5	48	840
6	70	1000
7	89	1410

EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

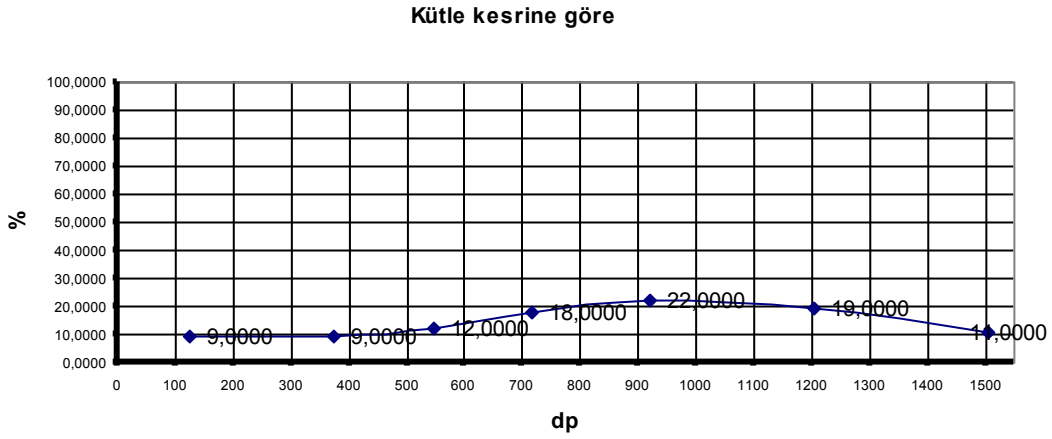
Çizelge 4.6. (Devam) Ağaçlı linyiti örneğinin ortalama çap hesabı

8	100	1600		
HESAPLANAN DEĞERLER				
dp aralığı	Dp	Kütle Kesri(x) %		Kümülatif Yüzde %
1 ve 2	125	9,0000		0,000
2 ve 3	375	9,0000		9,000
3 ve 4	545	12,0000		18,000
4 ve 5	715	18,0000		30,000
5 ve 6	920	22,0000		48,000
6 ve 7	1205	19,0000		70,000
7 ve 8	1505	11,0000		89,000
	TOPLAM=	100,0000		100,000

Çizelge 4.7. Ağaçlı linyiti örneğinin ortalama çap hesabı

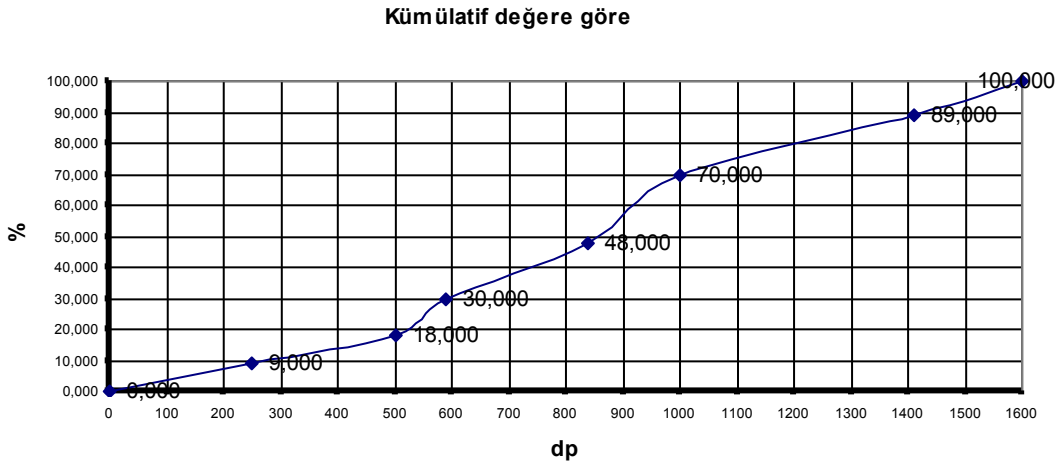
	x / dp
	0,0007
	0,0002
	0,0002
	0,0003
	0,0002
	0,0002
	0,0001
TOPLAM	0,0019

ORTALAMA ÇAP= 526 (µm)



Şekil 4.5. Soma linyiti örneğinin kütle kesrine göre dağılımı

EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi



Şekil 4.6. Soma linyiti örneğinin kümülatif değere göre dağılımı

Silis Kumunun Ortalama Çap Analizi

Çizelge 4.8. Silis kumunun ortalama çap hesabı

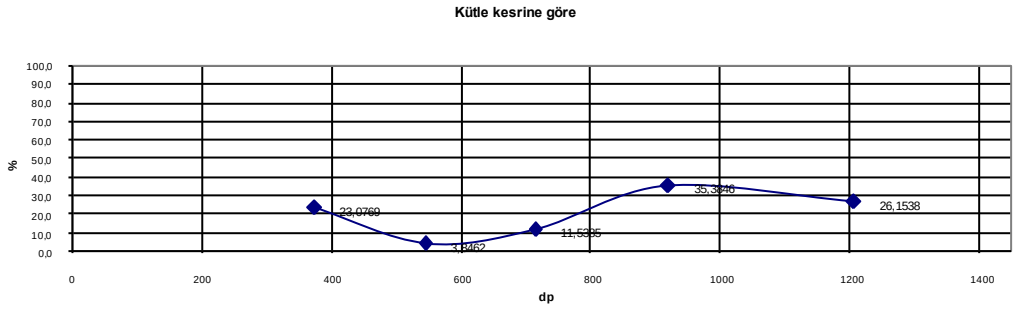
No	Kümülatif Ağırlık(gr)	Boyut(mikron metre)
1	0	250
2	150	500
3	175	590
4	250	840
5	480	1000
6	650	1410

HESAPLANAN DEĞERLER				
dp aralığı	dp	Kütle Kesri(x) %		Kümülatif Yüzde %
1 ve 2	375	23.0769		0.000
2 ve 3	545	3.8462		23.077
3 ve 4	715	11.5385		26.923
4 ve 5	920	35.3846		38.462
5 ve 6	1205	26.1538		73.846
	TOPLAM=	100.0000		100.000

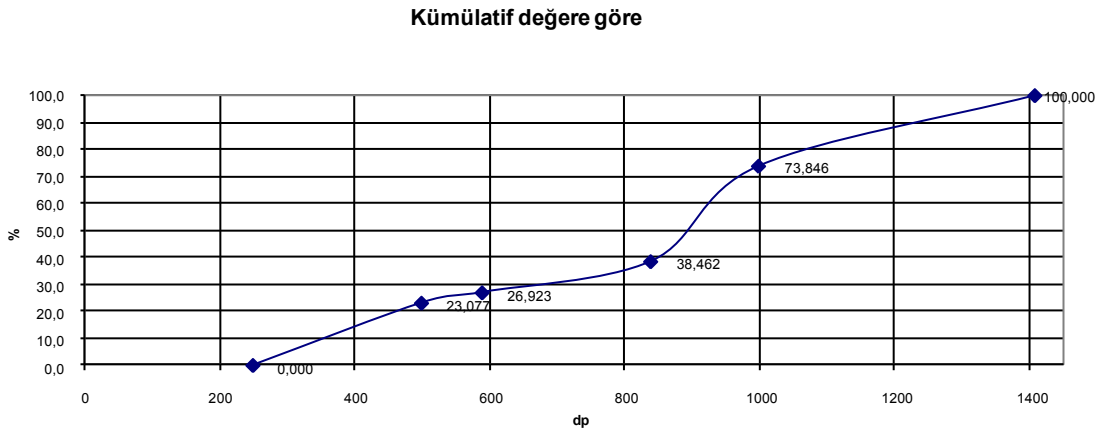
EK-4 (Devam) Yakıtların ve yatak malzemelerinin boyut analizi

	x / dp
	0.0006
	0.0001
	0.0002
	0.0004
	0.0002
TOPLAM	0.0014

ORTALAMA ÇAP= 690 (µm)



Şekil 4.7. Silis kumunun kütle kesrine göre dağılımı



Şekil 4.8. Silis kumunun kümülatif değere göre dağılımı

EK-5 Sistem hata analizi

Deneysel bulguların hata analizi için Kline-McClintock'un denklemleri ile belirsizlik analizi (uncertainty analysis) yapılmıştır.

Bu yönteme göre, sistemde ölçülmesi gereken büyüklük (R) ve bu büyüklüğe etki eden (i) adet bağımsız değişkenler ise x_1, x_2,.....,x_n ise,

R = R (x_1, x_2,.....,x_n) yazılabilir.

Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları w_1, w_2, w_3,.....,w_n ve R büyüklüğünün hata oranı w_R ise,

$$w_R = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial R}{\partial x_i} w_i\right)^2}$$

$$w_R = [[(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1)^2 + (\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2)^2 + ... + (\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n)^2]]^{1/2}$$ şeklinde yazılabilir.

<u>Gaz Ölçüm Bileşenleri</u>

Parametre	Sembol	Hassasiyeti(%)	Sınır Değerler
Gaz Bileşenleri	CO	±1	0-25 (%)
	O_2	±1' den az	0 -100 (%)
	CH_4	±2	0 – 10000 ppm
	CO_2	±1	0 – 25(%)

Gaz ölçümünde, belirsizliği tanımlayabilmek için gazın kalorifik değerine bakılarak gaz ürünlerin hata analizi belirlenmiştir.

Gaz ürün kalorifik değerini hesaplamak için toplam gaz debisi, ölçülen hacimsel oran ve CO, CH_4'ün alt ısıl değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Gazın ısıl değeri = Gazın hacimsel yüzdesi x Bacagazı debisi x Alt ısıl değeri
(kcal/h) (%) (m^3/h) (kcal/m^3)

EK-5 (Devam) Sistem hata analizi

H_G(kcal/h) = λ (%) x V (m^3/h) x H_u(kcal/m^3)

$$\lambda\,(\%) = \frac{H_G(kcal/h)}{V(m^3/h)\,x\,H_u(kcal/m^3)}$$

$$w_R = [[(\frac{\partial R}{\partial V} w_V)^2 + (\frac{\partial R}{\partial H_U} w_{H_U})^2 + (\frac{\partial R}{\partial H_G} w_{H_G})^2]]^{1/2}$$

CO Gaz bileşeninin hata analizi:

T_R = 210 °C iken λ = %3,5 V = 79,3 m^3/h H_u = 2857 kcal/m^3 H_{CO}=7929,6 kcal/h
w_V=%1 w_{Hu}=%2, w_{HCO}= %1

$$w_\lambda = [[(\frac{\partial \lambda}{\partial V} w_V)^2 + (\frac{\partial \lambda}{\partial H_U} w_{H_U})^2 + (\frac{\partial \lambda}{\partial H_{CO}} w_{H_{CO}})^2]]^{1/2}$$

$$\frac{w_\lambda}{\lambda} = [[(\frac{w_V}{\partial V})^2 + (\frac{w_{H_U}}{\partial H_U})^2 + (\frac{w_{H_{CO}}}{\partial H_{CO}})^2]]^{1/2}$$

$$\frac{w_\lambda}{\lambda} = \left[\left(\frac{0,793}{79,3}\right)^2 + \left(\frac{57,14}{2857}\right)^2 + \left(\frac{79,2960}{7929,60}\right)^2\right]^{1/2}$$

$\frac{w_\lambda}{3,5}$ = 0,0245 w_λ = 0,086 =%8,6

CH_4 Gaz bileşeninin hata analizi:

T_R = 210 °C iken CH_4 = %0,2 V = 79,3 m^3/h H_u = 8108 kcal/m^3 H_{CH4}=1285,9 kcal/h
w_V=%1 w_{Hu}=%2, w_{HCO}= %1

$$w_\lambda = [[(\frac{\partial \lambda}{\partial V} w_V)^2 + (\frac{\partial \lambda}{\partial H_U} w_{H_U})^2 + (\frac{\partial \lambda}{\partial H_{CH_4}} w_{H_{CH_4}})^2]]^{1/2}$$

$$\frac{w\lambda}{\lambda} = [[(\frac{w_V}{\partial V})^2 + (\frac{w_{H_U}}{\partial H_U})^2 + (\frac{w_{H_{CH_4}}}{\partial H_{CH_4}})^2]]^{1/2}$$

$$\frac{w_\lambda}{0,2} = \left[\left(\frac{0,793}{79,3}\right)^2 + \left(\frac{162,16}{8108}\right)^2 + \left(\frac{12,8593}{1285,93}\right)^2\right]^{1/2} \qquad w_\lambda = 0,0049 = \%0,5$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	: DURGUT, Rahman Ali
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 03.11.1977 Almanya
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (312) 439 04 27
e-mail	: ali.durgut@mmo.org.tr

Eğitim Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Selçuk Üniversitesi/Makine Müh.	2004
Lise	Tavşanlı Atatürk Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2003-2004	Klisom A.Ş.	Makina Mühendisi
2005-Devam	UKAZ Makine Ltd.Şti.	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

Almanca