DÖNER TİP BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRICI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

Dina Y. MAKİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKİM 2010
ANKARA

Dina Y. MAKİ tarafından hazırlanan "DÖNER TİP BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRICI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI " adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

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

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

Prof.Dr.Mecit Sivrioğlu …….
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Yrd.Doç.Dr.Hüseyin TOPAL …….
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü

Doç.Dr.Cemil YAMALI …….
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Tarih : 15/10/2010

Bu tez ile G.Ü. 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 bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Dina Y. MAKİ

DÖNER TİP BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRICI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

(Yüksek Lisans Tezi)

Dina.Y MAKİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2010

ÖZET

Kyoto Protokolü küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçeve. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içinde imzalanmıştır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, karbon dioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmaktadır. 1997'de imzalanan protokol, 2005'te yürürlüğe girebilmiştir. Çünkü protokolün yürürlüğe girebilmesi için, onaylayan ülkelerin 1990'daki emisyonlarının (atmosfere saldıkları karbon miktarının) yeryüzündeki toplam emisyonun %55'ini bulması gerekmekteydi ve bu orana ancak 8 yılın sonunda Rusya'nın katılımıyla ulaşılabilmiştir. 2004 yılında BMİDÇS'ye taraf olan ancak uzun süre Kyoto Protokolü'nü imzalamayan Türkiye 30 Mayıs 2008'de Protokolü imzalayacağını resmen açıklamıştır. Başlangıçta tüm OECD ülkeleri gibi hem Ek 1 hem de Ek 2'de yer alan Türkiye, kendi başvurusu üzerine 2001'de Fas'ta yapılan toplantı da geçiş ülkesi sayılarak Ek 2'den çıkarılmıştır.

Mevcut enerji üretim sistemlerinin kullanılarak fosil yakıtlar yerine çevreci enerji kaynaklarından olan biyokütlenin konulması prosesine biyokütleden gaz yakıt elde edilmesi adı verilebilir. Böylece mevcut gaz türbinleri veya içten

yanmalı motorlar doğalgaz ve LPG gibi yakıtlar yerine gazlaşma süreciyle üretilen sentetik gaz kullanılabilir.

Biyokütle yüksek sıcaklıkta gazlaştırma ile CO, CO_2 ve H_2 gibi sentez gazlarına dönüştürülebilir. Anaerobik bakteri sentez gazlarını etanola dönüştürmek için kullanılır. Gazlaştırma teknolojisi son zamanlarda yoğun bir ilerleme altındadır. Gazlaştırma işleminin uygulanmasında teknik açıdan bir problem olmayıp, ekonomik açıdan maliyeti oldukça yüksektir.

Bilim Kodu : **914.1.038**
Anahtar Kelimeler :**Yenilenebilir enerji, Biyokütle, Gazlaştırma, gazlaştırıcılar**
Sayfa Adedi : **93**
Tez Yöneticisi : **Yrd.Doç.Dr. Hüseyin TOPAL**

DESIGN AND PRODUCTION A PROTOTYPE OF A ROTARY TYPE BIOMASS GASIFIER

(M.Sc. Thesis)

Dina Y.MAKİ

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October 2010

ABSTRACT

Kyoto protocol provides the framework for the international single in order to combat global warming and climate change united nation framework convention on climate change was signed in this protocol countries which signed this protocol, carbon dioxide and other five greenhouse gases which cause to reduce the oscillations, do not promise to increase oscillations also those countries wave rights through trade.

In 1990, this protocol is necessary to reduce the amount of carbon in the atmosphere. As a result, it is signed in 1997 and in 2005 it entered into the force. By entering into the force, amount of carbon out of the atmosphere makes those countries to find the rate of carbons 55% total emission on the earth. However, that rate is only found when Russia participation that protocol after 8 years.

In 2004 BMIDG dose not signed the Kyoto protocol, but 30 may 2008 Turkey signed that protocol and this phenomenon is explained formally. At the beginning, all the OECD countries including Turkey and in Annex 1 and in Annex 2which explained the meeting held in morocco in 2001 their applications were counted. Existing energy production systems can be given by using fossil fuels such as biomass and energy sources rather putting environmentalists in the process. Thus, synthetic gas production can be used instead of gas turbines

or internal combustion engines such as natural gas and LPG. High temperature gases such as CO_2 and H_2 can reconverted to biomass and CO. Another alternative is using anaerobic bacteria in order to convert those gases to ethanol in fact, gas in the recent technology-intensive activities are under the progress. The integration processes in the implementation of those gasses are not very high economic cost.

Science Code : 914.1.038
Key Words : Renewable energy, biomass, gasification, gasifyers
Page Number : 93
Adviser : Asst.Prof.Dr.Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde ve tezin tasarım ve deneysel çalışma bölümlerinde büyük yardımlarını gördüğüm, ayrıca tezin yazımında ve tamamlanmasında benden yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn Yrd.Doç.Dr.Hüseyin TOPAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Tezin tasarım ve imalat aşamalarında yardımcı olan Gazi Çevre Laboratuarı Atık Bertaraf İşleri ve Mühendislik Danışmanlık San. Ltd. Şirketi personeline değerli yardımları için teşekkür ederim.

Bütün eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1.GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 3

3. ENERJİ ÜRETİMİNDE TERMAL PROSESLER 9

3.1. Dünyada Fosil Yakıt Kullanımı ve Rezervleri 10

3.2.Türkiye'de Fosil Yakıt Rezervleri ve Kullanımı 13

3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 15

3.4. Türkiye 'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları 16

3.5. Biyokütle 18

3.5.1. Türkiye' de biyokütle enerjisi 19

3.5.2. Dünyada'da biyokütle potansiyeli ve kullanılabilirliği 20

4. GAZLAŞTIRICILAR VE GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJILERİ 23

4.1. Gazlaştırmanın Taricesi 24

4.2. Gazlaştırma Kimyası 25

4.2.1. Kurutma 25

Sayfa

4.2.2. Piroliz 26

4.2.3. Oksidasyon 26

4.2.4. İndirgeme(Gazlaştırma) 26

4.3. Gazlaştırma Yöntemi 27

4.3.1. Su-Gaz tepkimesi 28

4.3.2. Boudouard tepkimesi 28

4.3.3. Değişim dönüşümü 28

4.3.4. Metanlaşma 28

4.4. Biyokütle Gazlaştırılması 29

4.5. Gazlaştırmanın Avantajları 30

4.6. Gazlaştırmanın Dezavantajları 31

4.7. Gazlaştırmanın İşletme Parametreleri 32

4.7.1 Yakıt özeliği 32

4.7.2. Sıcaklık 33

4.7.3. Tanecik boyutu 33

4.7.4. Basınç işlemi 34

4.7.5. Gazlaştırma maddeleri 34

4.8. Gazlaştırıcılar 34

4.8.1. Sabit yataklı gazlaştırıcılar 35

4.8.2. Sabit yataklı gazlaştırıcıların avantaj ve dezavantajları 41

4.8.3. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar 42

5. DENEYSEL VE TASARIM ÇALIŞMALARI 48

Sayfa

5.1. STA Deney Yöntemi ve Biyokütle Analizleri 48

5.1.1. Fıstık kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri 51

5.1.2. Prina numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri..... 533

5.1.3. Küspe numunesi ile yapılan tga analizleri 555

5.1.4. Artma Çamuru ile yapılan TGA analizleri..... 567

5.1.5. Talaş numunesi üzerinde yapılan tga analizleri 59

5.1.6. Ayçiçeği kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri..... 61

5.1.7. Ceviz kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri 62

5.2. Gazlaştırıcı Tasarımı 65

5.3. Ön Deneyler ve Deney Sonuçları..... 67

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 69

KAYNAKLAR 70

EKLER..... 73
EK-1 Tasarım resimleri..... 74
EK-2 Ölçme ve veri değerlendirme sistemi 84

ÖZGEÇMİŞ 933

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Dünya fosil yakıt rezervleri 12

Çizelge 3.2. Dünya toplam birincil enerji tüketiminde yakıt payları 12

Çizelge 3.3. Türkiye birincil enerji değesi 2006(mtep) 14

Çizelge 3.4. 2006'da fosil yakıt üretimi ve ithalat rakamları..... 14

Çizelge 3.5.Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibarıyla gelişimi (1985-1999 yılları arası) 17

Çizelge 3.6. Türkiye yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton Eşdeğeri Petrol) 17

Çizelge 3.7. Dünya biyokütle potansiyeli ..... .21

Çizelge 3.8. Dünyada biyokütle enerjisi kullanımı 22

Çizelge 4.1. Gazlaştırma sürecindeki temel tepkimeleri 29

Çizelge 4.2. Çeşitli gazlaştırıcıların avantaj ve dezavantajları..... 42

Çizelge 4.3. Akışkan yataklı gazlaştırıcı ile sabit yatak gazlaştırıcı Karşılaştırılması 46

Çizelge 4.4. Genişletilmiş gazlaştırıcı karşılaştırması..... 46

Çizelge 4.5. Kömür ve biyokütle açısından gazlaştırıcı karşılaştırması..... 47

Çizelge 4.6. Gazlaştırıcı kapasite karşılaştırması 47

Çizelge 5.1. Prine'nin kaba ve elementer analizleri..... 65

Çizelge 5.2. Tasarım kriterleri 65

Çizelge 5.3. Döner reaktörlü sistemde deney sonuçları..... 67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Enerji Tüketimi AB de 2005 yılın analizine göre 3

Şekil 3.1. Birincil enerji tüketiminde kaynakların payı 13

Şekil 3.2. Nihai tüketimin sektörel dağılımı 15

Sekil 3.3.Güneş ısıma enerjisinin fotosentez süreci üzerinden biyokütle olarak depolanması ve dünya karbon/oksijen döngüsü 19

Şekil 4.1. Gazlaştırma süreçleri 27

Şekil 4.2. Gazlaştırıcı sistemler..... 35

Şekil 4.3. Sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri 36

Şekil 4.4. Yukarı akışlı gazlaştırıcı 38

Şekil 4.5. Aşağı akışlı gazlaştırıcı..... 40

Şekil 4.6. Karışıt akışlı gazlaştırıcı 41

Şekil 4.7. Akışkan yataklı gazlaştırıcı..... 43

Şekil 4.8. Kabarcıklı akışkan yatak sistemi 44

Şekil 4.9. Dolaşımlı akışkan yatak sistemi ..... .45

Şekil 5.1. STA Cihazı çalışma prensibi ve sistem elemanları..... 49

Şekil 5.2. STA Deney düzeneği ve çalışmaya bir örnek..... 50

Şekil 5.3. Fıstık kabuğu kullanılarak yapılan STA analiz sonucu 52

Şekil 5.4. Prina kullanılarak yapılan STA analiz sonucu..... 54

Şekil 5.5. Küspe kullanılarak yapılan STA analiz sonucu ..... .56

Şekil 5.6. Arıtma Çamuru kullanılarak yapılan STA analiz sonucu 58

Şekil 5.7. Talaş kullanılarak yapılan STA analiz sonucu..... 60

Şekil 5.8. Ayçiçeği kullanılarak yapılan STA analiz sonucu..... 62

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.9. Ceviz kabuğu kullanılarak yapılan STA analiz sonucu 64

Şekil 5.10. Tasarımı yapılan döner tipte gazlaştırıcı üniteye ait montaj resmi 66

Şekil 5.11. Ön deneylerde elde edilen baca gazı konsantrasyonları 68

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
T	Sıcaklık
H_2	Hidrojen
O_2	Oksijen
CH_4	Metan
C_mH_n	Hidrokarbonlar
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
N_2	Azot
ER	Denklik Oranı
Ni	Nikel

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AY	Akışkan Yatak
KAY	Kabarcıklı akışkan yatak sistemi
DAY	Dolaşımlı akışkan yatak sistemi
CHP	Kombine Isı ve Güç Çevrimi
IC	İçten yanmalı motor

1. GİRİŞ

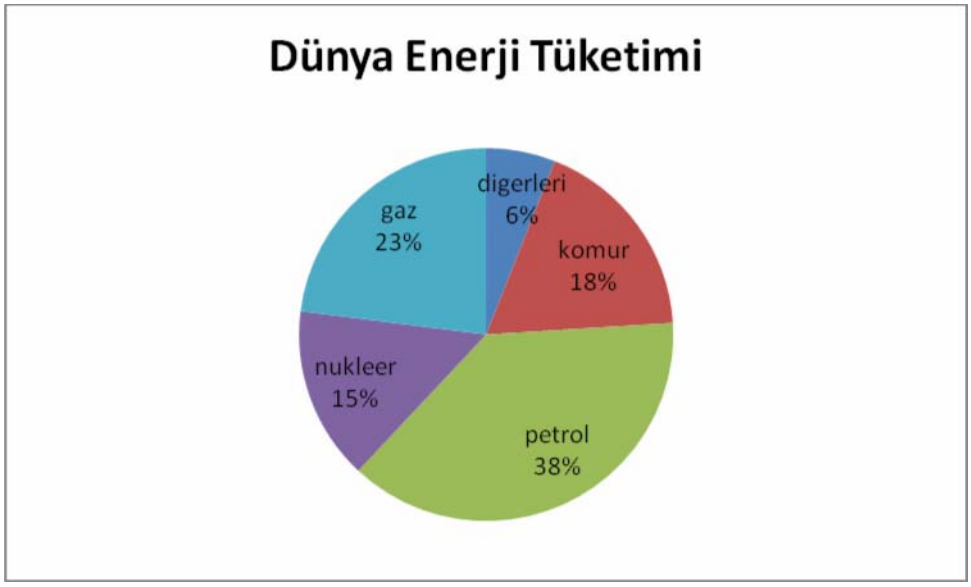
Günümüz uygarlığında enerjinin çok önemli bir yeri vardır. Isıtma, aydınlanma, evlerde pişirme ve neredeyse tüm endüstriyel, ticari ve nakliye faaliyetleri gibi günlük hayatın hemen her yerinde ihtiyaç duyulur. Victo Hugo, "Les Miserable" adlı başyapıtında belediyeye ait atıkları ekonomik açıdan değerli kaynaklar olarak değerlendirir. O, bunları enerji kaynağı olarak göz önüne almaz ama bugün öyle düşünülmesi gerekir. Hugo'nun zamanındaki bol enerji kaynakları gittikçe seyrekleşmektedir. Enerji tüketimi 1990'dan 2000'e kadar tüm dünya kapsamında %2 oranında devamlı bir şekilde artmıştı ve bu tüm enerji tüketiminin %79'una denk geliyor. Fosil yakıtların başlıca iki dezavantajı var; birincisi, yakıldıklarında iklim değişikliklerine neden olan içerisinde sera etkisi yaratan pis gazlar yayarlar, ikincisi, yeterli fosil yakıt rezervleri olmayan ülkeler enerji miktarlarının teminatında artan risklerle yüzleşiyor [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları dünya çapındaki tüm enerji tüketiminin %19 unu karşılıyor, sadece Birleşmiş milletler bunun %11lik kısmına sahip. Avrupa Birliği 2010'da brüt enerji tüketiminin yenilenebilir enerjiler kısmında %6'dan %12'lik,brüt elektrik tüketiminin (green electricty) kısmında %16'dan %21' lik bir artış hedefliyor. Şekil 1.1'de verilen 2005 yılına ait Avrupa Birliği'ndeki enerji tüketiminin çöküşü biokütlenin yenilenebilirler arasında en fazla paya (%65) sahip olduğunu gösteriyor. Biokütleden gelen enerji zaten Avrupa Birliği'nin total enerji kaynağını %4ünü açıklıyor. Biokütle nakliyatı için büyük miktarlarda fiyatları rekabet halinde olan yakıtları üretebilen günümüz teknolojisinin yenilenebilen tek mevcut enerji kaynağıdır. Yaygın fosil yakıtlarla aynı niteliklere sahip olan biokütle ürünleri kullanılan son teknolojinin adaptasyonunu azaltır ve zaten var olan yapının kullanılmasını mümkün kılar [1].

Sürdürülebilir üretim ve yakıt olarak biokütle kullanımı, biyokütlenin yeni gelişimiyle yayılan CO_2'nin emilimi sayesinde olumlu çevresel bir etki yaratır. Aslında biokütlenin yakıt olarak kullanımından kaynaklanan net CO_2 yayılımı sıfır olur.

Biokütle genellikle kömüre göre daha düşük sülfür oranına sahiptir, bu yüzden yandığı zaman az bir miktar SO_x yayılır [3].

2. LİTERATÜR TARAMASI

Fosil kaynaklı enerji üretimi ve kullanımı insan ve çevre saplığı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu olumsuz etkiler başta hava kirliliği olmak üzere çeşitli çevre sorunlarının meydana gelmez ve bunun sonucunda halk sağlığının tehdit edilmesi olarak tanımlanabilir. Mesela kömür yakıldığında yakılan her gram kömür başına 4 gram CO_2 açığa çıkmaktadır. Gerekli tedbirlerin alınmadığı yanma olaylarında yakılan kömürün dört misli ağırlığında CO_2 atmosfere verilerek sera etkisine sebep olunmaktadır. Tüm bu olumsuz etkiler çevrenin yaşanmaz hale gelmesi ve insan ölümlerine neden olması gibi canlı yaşamın tehdit eden büyük sonuçlar doğurabilecek düzeydedir.



Şekil 2.1. Enerji Tüketimi AB de 2005 yılın analizine göre 2005 [1]

Biyokütle gazlaştırması temiz yakıtların üretimi için alternatif bir yol sunar; fakat bugün biokütleden elde edilen enerjinin %98'i doğrudan yanmanın sonucudur. 15-70 MWth arasında değişen geniş ölçüdeki gazlaştırma bitkileri doğrudan yanıp syngaza dönüşen biokütleye kesin bir yönelim olduğunu gösteriyor. Gazlaştırma aşamalarını ekonomik olarak uygulanabilir yapmak için, gazlaştırıcı 750°C'den daha düşük derecelere ayarlanmalıdır ki bu enerji maliyetini düşürecek, aynı zamanda düşük

işleme ısısı sonucu katran oluşumu önlenmek zorunda kalınacaktır. Katalizör gazlaştırma ısısının 600°C'ye kadar düşmesi durumunda gazlaştırma aşaması 750°C civarında ısıya ihtiyaç duyar, ileride katalizör gazlaştırma aşamalarında başrol olarak yer aldıkları anlatılır [1,2].

Gelinen notlarda, fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanımından kaynaklanan çevresel olumsuzluklar fosil kaynakların kısıtlılığı gibi konular göz önünde bulundurulduğunda çevresel olumsuzlukları az olan ve kaynak kısıtlılığı göstermeyen yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarına yönelmek açıkça görülmekte. Ayrıca yenilebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu çevresel olumlu etkiler, bu kaynaklar fosil yakıtlara kıyasla çevresel açıdan tercih edilmesinin kolay ve yaygınlaşmasının hızlı olmasını sağlayacaktır.

Lv ve ark. yaptığı çalışma, biyokütlenin hava - buhar kullanarak dolaşımlı akışkan yatakta gazlaştırılması işlemidir. Yapılan deneylerde reaktör sıcaklığının etkisi, buhar - biokütle 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. Biyokütlenin 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 biyokütleyi hava veya buhar ile gazlaştırma işlemleri karsılaştırılmıştır [4].

Biyokütlenin gazlaştırma tipine bağlı olarak ürün içeriğinin incelenmesinin atmosferik ve kabarcıklı akışkan yatakta çalışmalar yapılmıştır. Javier Gil ve ark. Gaz özelliğini ve ürün dağılımını dikkate alarak deneyler yapmışlardır. Biyokütle, odun (çam ağacı) parçacıklarının küçültülmesi ile oluşturulmuştur. Hava, saf buhar ve buhar-O_2 karışımını gazlaştırma parametreleri olarak belirlenmiş ve bu parametreleri dikkate alarak incelemeler yapılmıştır. Gazlaştırma parametrelenin tipine ve miktarına bağlı

olarak gaz ürün içerisindeki H_2, CO, katran vb. Içerikleri belirlenmiştir. Önceden yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [5].

Biyokütlenin akışkan yatakta gazlaştırma işlemi ile elde edilen külün kimyasının incelenmesi üzerine çalışılan bu raporda kül - yatak etkileşimi ve ergimiş kül kimyası öngörüleri yapılmıştır. Maria Zevenhoven - Onderwater ve ark. Yaptıgı çalışma ile 4 çeşit biyokütle kullanılarak külün kimyası modellenmeye çalışılmış, bunun için basınçlı akışkan yatak gazlaştırıcı kullanılmıştır. Yakıt olarak, okaliptus, İskandinavya'daki odun artıkları, kamış gibi biyokütleler belirlenmiştir. 600 - 900 ºC sıcaklık aralığında ve 10 bar basınçta çalışılmış, termodinamikten yararlanılarak çok fazlı ve çok bileşenli denklik hesaplamaları yapılmıştır [6].

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 [6].

Aynı zamanda ilgili süreçlerde denklemler kurularak deneysel olarak SEM/EDX analiz sonuçları karsılaştırılmıştır. TPS ve KTH teknolojilerinde basınç, sıcaklık ve diğer değişkenlerle birlikte iki analiz sonuçları belirlenmiştir [6].

Elde edilen verilerle kül kimyası ortaya koyulmuştur. Diğer verilerle karşılaştırıldığında basınçlı dolaşımlı akışkan yataktan elde edilen kül miktarı daha fazla olduğu belirlenmiştir [6].

Bir önceki yapılan çalışmaya ek olarak yapılan çalışma olup aynı düzenek üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyde, Zevenhoven Onderwater ve ark. çalışmıştır. Bu çalısmada, 4 farklı biyokütle kullanılmış ve önce yapılan (Part I) deneylerle karşılaştırılmıştır. Analizler için SEM/EDX analizörü kullanılarak incelemeler yapılmıstır [7].

Franco ve ark. deneysel çalışması, biyokütlenin buharla gazlaştırma işlemi etkileri İncelenmişlerdir. Bu işlem atmosferik akışkan yatakta gerçekleştirilmis, 3 tip orman ürünü kullanılmıştır: Çam agacı, Okaliptus, Pırnal [8].

Deneylerde enerji dönüşümü, gaz bileşimleri, ısıl değer ve gaz ürünler belirlenmekte sıcaklık, buhar/biyokütle oranı, biyokütle özellikleri arasında ilişki kurulmaktadır. Sonuçlardan elde edilen verilere göre en uygun isletme koşulları, sıcaklığın 830 ºC dolaylarında ve buhar/biyokütle oranının 0,6-0,7 olduğu anlaşılmıştır. Çünkü hidrojen içinde daha zengin, hidrokarbon içerisinde daha fakir gaz olduğu ve katran ürettiği görülmüştür [8].

Glicksman ve ark. bir çalışmalarında dolaşımlı akışkan yataklar (DAY) için boyutsal ilikşileri 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 [9].

Dowaki ve ark. yaptığı çalımsa, 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 is 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 dogrudan yakma sistemi ile karşılaştırılarak analiz edilmektedir. Özellikle üretilen elektrigin zarar edilmeksizin satılabilecegi en düsük fiyat hesaplanmaktadır (Bu enerjinin alıcısı oldugu varsayımı ile). Bu konuda, enerjinin kullanılabilirligi açısından Japonya'da yürütülmekte olan çalışmalar (Renewable portfolio Standard) bulunmaktadır. Sonuç olarak, biyokütle

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

Baron ve ark. yaptıgı çalışmada ise, odun talaşının gazlaştırma sonucunda elde edilen gazların ortalama sıcaklıktaki katı oksit yakıt hücrelerinin performansı üzerine etkileri belirlenmistir. Çesitli atmosfer basıncında yapılan testlerde anot malzemesi, madeni seramiktir (%60 : 40 (agırlık) Ni: C60 - 10 (Ce0.9Gd0.1O1.95)). CH4 ile karşılaştırıldığında CO'in hücre performansını azalttıgı bulunmuştur. Karbon birikmesine bağlı olarak düşük güç çıktışıyla sonuçlanan çalışmada (CH_4 yüzdesi: % 5-10), yakıt içerisinde %10 civarında CO_2 bulunması hücre performansını önemli bir derecede etkilemektedir [11].

Asadullah ve ark. yaptığı araştırma, gaz türbiniyle güç üretimi için kullanılmak üzere yüksek kaliteli gaz yakıtların üretimi için, havayla gazlaştırılma islemi, 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 sağlanmıstır. Soguk gaz verimliligi, 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 karsılastırılmıstır. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanılarak elde edilen ürün gazlarında katran konsantrasyonu tamamen ihmal edilmistir. Halbuki bu deger G-91, dolomit ve katalizörsüz gaz üretiminde sırasıyla 30, 113, 139 g/m^3'tür. $Rh/CeO2/SiO_2$ katalizörler kullanıldıgında karbonun CO, H_2 ve CH_4 gibi yararlı gazlara dönüşümü daha yüksektir (873K'de). Bu durumda soguk gaz verimi yanma hali için üretilen gazın hidrojen içerigi (> % 24 hacim) belirlenmis degerden (> % 10 hacim) çok daha büyüktür. $Rh/CeO_2/SiO_2$ katalizör kullanıldıgında diger katalizörlere göre kok ve kömür olusumu daha düsüktür. Aynı katalizörün en az 20 deneyin için de kullanılmasından sonra katalizör yüzey alanının az bir miktarda azalmasına ragmen ciddi bir deaktivasyon problemi gözlenmemistir [12].

Çay kurutması için asağı çekişli bir odun gazlastırıcının 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. Çesitli durumlar için deneysel tasarım testleri yapılarak elde edilen bilgiler, bu parametre ve özelliklerin çevrim verimliligi üzerine etkilerini arastırmak için gelistirilmis olan bir bilgisayar programını kalibre etmek için kullanılmıstır. Program piroliz ve gazlaştırma bölgeleri için iki adet alt modelden meydana gelmektedir. Piroliz alt modeli, maksimum sıcaklıgı ve gazlaştırma bölgesine giren gazın bileşimlerini belirlemek için kullanılmıstır. Gazlaştırma bölgesi alt modeli, deneylerde elde edilen veriler kullanılarak kalibre edilmiştir. Bu gazlaştırıcı da 3-5cm büyüklügünde ve nem içerigi % 15'den daha az olan odun talaşının kullanılması gerektigi bulunmuştur [13].

Altafini ve ark. çalışması, Gibbs serbest enerjisinin minimizasyonuna dayandırılan bir denge modeli kullanılarak bir odun artıgı gazlaştırıcısının simülasyonuna deginilmiştir. Gazlaştırıcı, genis ölçüde Güney Brezilya'da yetistirilen Pinus Elliotis talası kullanılarak deneyler yapılmıstır. Deneylerde kullanılan biyokütle yaklasık % 10'luk neme sahiptir. Ürün gazın ortalama bileşimi (katransız) kullanılan denge modeli ile karsılastırılmıştır. Bıçkı artıklarının nem içeriginin yakıt gaz bileşimine ve onun ısıtma degerine etkisini göstermek için duyarlılık çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaların daha iyi bir kesinlikle yenilenmesi için daha kompleks modeler hazırlanmıstır. Denge modellerinin nispi olarak daha yüksek sıcaklıklarda (800ºC) meydana gelen tepkimeleri çok iyi temsil etmemesine ragmen bu modeller, bir gazlaştırıcının çalışma parametreleri varyasyonları hakkındaki bazı egilimlerini gösterme konusunda yararlı olabilir [14].

3. ENERJİ ÜRETİMİNDE TERMAL PROSESLER

Dünyadaki enerji tüketimi son on yılda sabit bir oranda artmıştır, beklentiler bu artışın gelecek on senede ivmeleneceği yönündedir. Fosil yakıtların bugün olduğu gibi birincil yakıt kaynağı olarak yeterli olmayacak olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda yapılan çalışmaları zorunlu kalmaktadır. Biyokütle insanlığın kullandığı en eski yakıt çeşididir; ancak günümüzde amaç onu en verimli şekilde kullanabilmektir. Gazlaştırma, içten yanmalı motor, yakıt pili gibi pek çok alanda kullanılabilecek temiz gaz ürünlerin üretilmesine olanak sağlaması nedeniyle iyi bir alternatif teknolojidir.

Dünya enerji üretiminde yaklaşık % 7,6'lık paya sahiptir. Özellikle atık sorununun halen çözülememiş olması nedeni ile ABD ve AB ülkelerinde, mevcut teknolojilerle yeni santrallar inşa edilmemekte ve ekonomik ömürlerini tamamlayanlar da devre dışı bırakılmaktadır. Ancak, gerek atık sorununun çözülebilmesi ve gerekse yeni teknolojilerle, güvenli santrallar inşa edilebilmesi için yoğun AR-GE çalışmaları sürdürülmektedir. Dünyada hidrojen ve toryum gibi yeni kaynaklara yönelik çalışmalar, önümüzdeki on yıllara damga vurabilecek ve enerji alanında köklü değişikliklere yol açabilecek çalışmalardır. AR-GE çalışmalarına GSYİH'sının yalnızca % 0,63'ünü, enerji alanındaki AR-GE çalışmalarına ise bu zaten son derece düşük oranın % 0,27'sini ayıran Türkiye'nin, bu alanda mutlaka atılım yapması gerekmektedir. Hidrolik kaynaklar, temiz ve yenilenebilir kaynaklar olarak, dünya ülkelerinin enerji üretimlerinde çok önemli paya sahiptirler. Dünya genel enerji üretiminde % 2,6 payı olan bu kaynak, ülkemiz için de çok önemli ve diğer ülkelerden farklı olarak, henüz dörtte üçü kullanılmamış bir kaynaktır. Güneş, rüzgar ve jeotermal başta olmak üzere tüm yeni ve yenilenebilir kaynaklara da, gerek temiz yakıtlar olmaları ve gerekse yenilenebilir kaynaklar olmaları nedeniyle, geleceğin enerji kaynakları olarak bakılmaktadır. Bu kaynaklar henüz diğer konvansiyonel kaynaklarla ekonomi olarak rekabet edecek teknolojilere kavuşamadılarsa da, başta AB olmak üzere, hem temiz enerjinin teşvik edilmesi, hem de kaynak çeşitliliği politikaları

doğrultusunda, enerji politikalarında ağırlığı giderek artan kaynaklar olarak öne çıkmaktadırlar [15].

Enerji alanında olduğu kadar, teknoloji alanında da, baş döndürücü gelişmeler olmaktadır. Özellikle enformasyon teknolojilerinde, biyoteknolojide, genetik biliminde, ileri malzeme üretiminde, elektronik alanında önemli atılımlar beklenmektedir. Bu gelişmeler, önümüzdeki yıllarda, enerji alanında da çok köklü değişimleri gündeme getirebilecektir [15].

3.1. Dünyada Fosil Yakıt Kullanımı ve Rezervleri

Günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklar petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Özellikle doğalgazın çevreyi daha az kirletmesinden dolayı enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır. Dünyanın en çok kullanılan enerji kaynağı petroldür. İkinci sırada kullanımı gittikçe azalan maden kömürü ve üçündü sırada üretim ve tüketimi hızla artan doğalgaz bulunmaktadır. Her dönem belirli bir enerji kaynağı önem kazanmıştır. Kömürün yerini zamanla petrol almış ve sonraki yıllarda doğalgaz önem kazanmıştır. Önümüzdeki yıllarda ise alternatife enerji kaynakları değer kazanacaktır. Dünyamızda bulunan enerjinin çoğu, güneşten gelir. İnsanların ve hayvanların beslendiği bitkiler, Güneş enerjisi sayesinde yaşamlarını sürdürürler. Odunun, kömürün, petrolün içinde bulunan Güneş enerjisi de insanlar tarafından çeşitli işlerde kullanılır. İnsanlığın gelişmesi de, yeni enerji kaynaklarının bulunmasıyla sıkı sıkıya birbirine bağlıdır.

Dünya'da fosil enerji kaynaklarına baktığımızda, rezervlerin yeterliliği açısından bir sorun yoktur**.** Bilinen üretilebilir rezervler; petrolde 40 yıl, doğal gazda 62 yıl, kömürde ise 216 yıl yetecek düzeydedir. Mevcut rezervler ndanışçıa asıl sorun, bu kaynakların, dünya yüzeyinde coğrafi anlamdaki "eşitsiz" dağılımından kaynaklanmaktadır. Bu husus, özellikle petrol ve doğal gaz kaynakları açısından böyledir. Kömürde ise, diğer iki fosil kaynağa göre çok daha "dengeli" bir dağılımı

vardır ve bu özelliği de kömürün, özellikle arz güvenliği açısından, stratejik bir avantajını oluşturmaktadır. Halen, dünya üretilebilir petrol rezervlerinin % 65'i Orta Doğu'da yer almaktadır. Bu bölgenin 1900'lü yılların başından bu yana, sıcak ve soğuk savaş rüzgarlarının odağında yer almasının temel nedenini bu gerçekten bağımsız düşünmek mümkün değildir. Buna paralel olarak, ABD öncülüğünde, Irak'a yönelik düzenlenen müdahalenin, bu ülkedeki zengin petrol ve gaz kaynaklarının paylaşımına, ticaretlerinin ve taşınma yollarının kontrolüne yönelik uzun erimli stratejilerden bağımsız olduğunun düşünülmesi de mümkün değildir. Mart 2003'de başlayan ve Irak'ın ABD ve yandaşı güçler tarafından işgali ile sonuçlanan bu müdahalenin, tek değilse de başlıca nedenlerinden birinin, başta petrol olmak üzere, bu ülkenin enerji kaynaklarının kontrolünü ele geçirmek olduğu açıktır. Irak'ın bilinen 112.5 milyar varillik (dünya üretilebilir petrol rezervlerinin % 11'i) üretilebilir petrol rezervinin yanı sıra, henüz üretime konulmamış 120-130 milyar varillik bir potansiyel rezervi vardır. ABD, İngiltere ve çok uluslu petrol şirketleri, bir yandan bu rezervlerin kontrolünü ele geçirmek4, diğer yandan da Irak'ın müdahale öncesi günde 2 milyon virile düşen üretimini hızla arttırarak, petrol arzında önemli bir etkinliğe ulaşmaya çalışmaktadırlar. Bir yandan Irak'ı, OPEC dışında tutarak bu kartelin petrol piyasalarındaki ve fiyatlar üzerindeki gücünü kırmak, bir yandan da başta Suudi Arabistan olmak üzere, büyük üreticilere, "artık kontrol sizde değil" mesajını verebilmek hedeflenmektedir. Önümüzdeki on yıllarda, dünyada önemli güçler olmaları beklenen Çin5 ve Hindistan gibi ülkelerin, giderek artacak olan petrol ithalatlarında en yaşamsal çıkış noktası olan Basra Körfezi'nin kontrolü de ABD politikası açısından bir diğer hedeftir6. Basra Körfezi aynı zamanda Japonya için de yaşamsal önem taşımaktadır. Orta Doğu petrolünün bugün için % 65 olan dünya rezervlerindeki ezici payının, bu bölgede üretilen petrolün geliştirme maliyetinin de dünya ortalamasının çok altında olduğu gerçeği ile birleşmesi, Orta Doğu'nun önümüzdeki on yıllardaki öneminin bugünkünden de fazla olacağını göstermektedir. Bir fikir vermesi bakımından, 1997 yılında günde 19,5 milyon varil olan Orta Doğu'daki OPEC üyesi ülkelerinin toplam arzının, 2020 yılında 46.7 milyon varil/güne yükselmesinin beklendiğinin vurgulanmasında yarar vardır. Bir diğer

anlatımla, 1997'de dünya toplam petrol arzında % 26 olan OPEC-Orta Doğu'nun payının, 2020'de % 41'e yükselmesinin beklenmesi, bu bölgenin ve Körfez'in artan stratejik ve ekonomik öneminin önemli bir göstergesi sayılmalıdır. Enerji kaynaklarının eşitsiz dağılımı yalnızca rezervler açısından değil, tüketim miktarları açısından da geçerlidir. Bölgesel olarak baktığımızda da, dünya enerji tüketiminin % 26'sını bir başına ABD'nin gerçekleştirdiğini görüyoruz. Avrupa, dünya tüketiminin % 21'ini, Rusya ve Birleşik Devletler Topluluğu ülkeleri % 10,4'ünü, Asya Pasifik ülkeleri %27'sini, Orta Doğu ülkeleri % 4,5'ini, Afrika ülkeleri ise % 3'ünü gerçekleştirmektedir [15].

Çizelge 3.1 Dünya fosil yakıt rezervleri [16]

Bölge	Petrol Milyar Ton	D.Gaz Trilyon m^3	Kömür (Milyar Ton)	
			Taş kömürü	Linyit
Kuzey Amerika	11,5	8,4	116,7	139,8
Orta ve güney Amerika	13,O	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	9,1	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

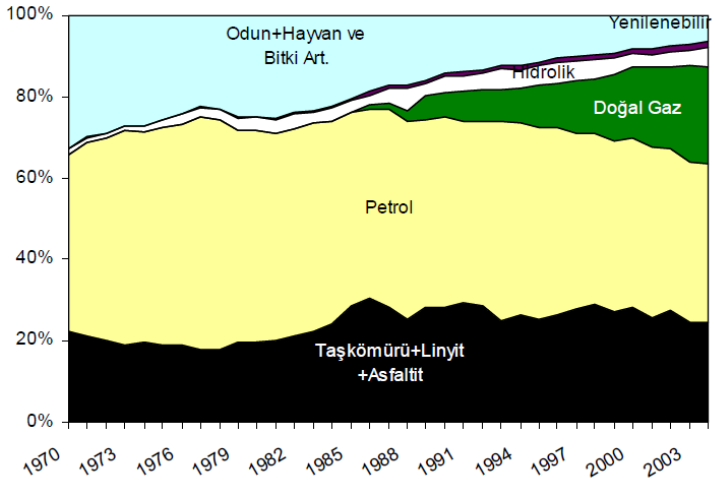
2030 yılını baz alırsak; dünya kömür rezervlerin%25i petrol rezervlerinin %84'ü,doğal gaz rezervlerinin ise %64'ünün tükenmiş olacağı tahmin edilmektedir. Yani fosil yakıtların ömrünü yaklaşık olarak kömür için 200 yıl, petrol için 41 yıl doğal gaz için ise 67 yıl kaldığını söyleyebiliriz(WEC,204). Dünya toplam birncil enerji tüketimi projeksiyonunun üç zaman dilimine göre yüzdeleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir[16].

Çizelge 3.2. Dünya toplam birincil enerji tüketiminde yakıt payları [16]

Yakıtlar	2002 Yılı Toplam arz 10230 Mtep	2010 Yılı Toplam arz 12100 Mtep	2030 yılı Toplam arz 16300 Mtep
Petrol	43,9%	35,3%	35,4%
Kömür	23,5%	23,1%	25,8%
Doğal gaz	21,2%	22,3%	22,1%
Diğer	11,4%	10,9%	10,1%
Nükleer	6,8%	6,2%	4,3%
Hidrolik	2,2%	2,3%	2,2%

3.2. Türkiye'de Fosil Yakıt Rezervleri ve Kullanımı

Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin 1980 -2004 dönemindeki yıllık ortalama artışı %4,3 iken üretim artışı %1,4'de kalmıştır. Aynı dönemde Avrupa Birliği ülkelerindeki ortalama tüketim artışı ise %0,8 olmuştur. Kaynakların toplam enerji tüketimindeki payına bakıldığında yenilenebilir kaynak payı azalırken 1985 sonrası doğal gaz payının hızla arttığı Şekil 3.1'de görülmektedir [17].



Şekil 3.1. Birincil enerji tüketiminde kaynakların payı [17]

2006'da 92.261 mtep olan Türkiye Birincil Enerji arzında, yerli enerji kaynakları 26.636 mtep ile %28.67 lik paya sahiptir. İthal enerji kaynaklarının Birincil Enerji Arzı içindeki payı ise, 65.814 mtep ile %71,33'tür. Çizelge 3.3'te de grüleceği üzere toplam birincil enerji arzı içinde en büyük pay %35,62 ile petrole ait olup, petrolü %27,55 ile doğal gaz, %13,65 ile taşkömürü, %11,98 linyit izlemektedir

Çizelge 3 .3. Türkiye birincil enerji değesi 2006(mtep) [16]

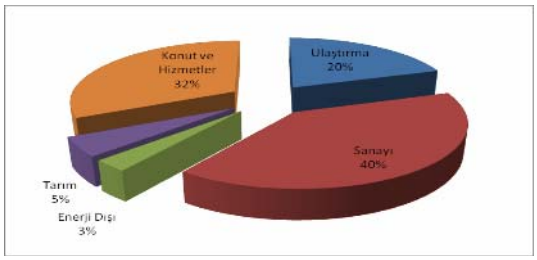
	ɔmürü	Linyit Asfaltit	Odun Hay. Bitki	Petrol	Doğal gaz	Hidrolik	Jeotermal Elektirik	Rüzgar	Jeotermal Güneş	Güneş	Toplam
Yerli üretim	1973	11065	5127	2504	743	3745	92	7	976	403	26636
Ithalat	1063 7		0	30406	24714						65814
Ihracat		0	0								188
Ihrakiye		0	0								0
Stok değişim		0	0								0
Istatiktik Hata		0									
Birincil Enerji Arzı	1261	11065	5127	32910	25457	3745	92	7	976	403	92261
Rafineri Dışı üretim		0	0								
Tolam Enerji Arzı	1261	11065	5127	32910	25457	3745	92	7	976	403	92261
Tolam Enerji Arzı İçinde Payı%	1365	11, 58	5,54	35,62	27,55	4,04	0,10		1,06	0,44	100

Birincil Enerji Arzının %76,82'sini sağlayan petrol, doğal gaz ve taşkömüründe 2006 yılında yerli üretim ve ithalatın payları çizelge 3.4'te verilmiştir. Tablodan grüleceği üzere yerli üretimin payı doğal gazda %3, petrolde %8, taşkömüründe %17'dir. Bu tablonun işaret ettiği çarpıcı hususlardan biri, bir zamanlar 8,2 milyon ton olan yerli taşkömürü üretiminin 3.364.000 tona gerilemesidir[16].

Çizelge 3.4. 2006'da fosil yakıt üretimi ve ithalat rakamları [16].

Kaynaklar	Yerli Üretim		İthalat	
	Miktar	%	Miktar	%
Taşkömürrü(ton)	3,364,000	17	16,262,000	83
Petrol(ton)	2,385,000	8	28,958,000	92
Doğal Gaz(m^3)	871,000,000	3	27,158,000	97

Birincil Enerji üretiminin sektörel tüketimleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir[16].



Şekil 3.2. Nihai tüketimin sektörel dağılımı [16]

3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Milyonlarca yıl önce ölmüş hayvan ve bitkilerin atıkları yüksek ısı ve basınç altında petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtları oluşturdu. Bu yakıtlar, gelişmeleri çok uzun yıllar aldığı için "yenilenmeyen yakıtlar" olarak adlandırılıyor. Fosil yakıtların yerini artık yenilenebilir enerji kaynakları, yani doğada sürekli var olan, güneş, rüzgâr, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik, okyanus kaynakları vb. enerji kaynakları alıyor. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özelliklerinin başında sürekli tekrarlanabilir olmaları ya da kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendilerini yenileyebilmeleri geliyor. Bunun yanında bu teknolojiler özellikle çevre dostu olmaları ve ekolojik denge açısından olumlu etkileri ile ortaya çıkıyor. Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemleri "temiz enerji" olarak da adlandırılıyor [18].

Dünya nüfusunun artması, teknolojideki gelişmelere paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilirliği sağlama isteği, Kyoto Protokolü gereğince CO_2 ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırıyor. Bugün tüm dünyada çözülmesi gereken en önemli küresel sorunların başında, sürdürülebilir enerji güvenliği geliyor. Petrol ve doğal gaz gibi konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenecek olması, alternatif ve yenilenebilir çözümlerin ortaya çıkarılmasını zorunlu kılıyor. Yapılan uzun dnem tahminlerine gre, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelecekte daha etkin bir rol alması kaçınılmaz. Teknolojik ilerlemeler ve yapılan

ARGE çalışmaları ile yenilenebilir enerjilerin yatırım maliyetlerinin azaltılması ve daha verimli hale getirilmeleri gerekiyor. Yenilenebilir kaynaklardan enerji elde eden süreçlerin olgunlaşması ve fosil temelli yakıt fiyatlarının da artmasıyla, yenilenebilir enerji teknolojilerinin diğer enerji elde etme süreçleriyle rekabet edebilir hale gelmesi bekleniyor. Tabii burada herkese çok büyük görev düşüyor. Çünkü ülkelerin enerji bağımlılıklarını bir şekilde aşabilmelerinin yolu, yatırımların doğru yönlendirilmesinden ve seri üretimin artırılmasından geçiyor. Yenilenebilir kaynakların kullanımının ve teknolojilerinin yaygınlaşmasını uzun vadede yavaşlatabilecek bazı engeller de bulunuyor. Bunlar arasında, bazı teknolojilerin yüksek maliyetleri ve devlet desteği alınamaması, enerji elde edebilmek için kullanılan tarım ürünlerinin gıda güvenliği üzerindeki etkileri ile ilgili artan endişeler, politika belirleme çalışmalarındaki eksiklikler, elektrik şebekelerine yapılan yetersiz yatırımlar ve enerji sektöründe şu anda faaliyet gösteren ana oyuncuların yenilenebilir kaynakların uygulanabilirliği ile ilgili kuşkuları sayılabilir [18].

3.4. Türkiye 'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye'nin ekonomiklik analizi yapılmış olan 130 milyar kWh hidrolik potansiyeli bulunmakta ve bu potansiyelin %30 'u kullanılmaktadır. Brüt hidrolik potansiyelimiz 433 milyar kW civarında olup, teknik yönden değerlendirilebilir hidrolik potansiyel 216 milyar kWh'dır. Termik kapasitemiz ise yıllık 114 milyar kWh'dır. Linyit kömüründen elektrik enerjisi üretim miktarı, toplam potansiyelimizin %22'sidir. Elektrik üretiminde kullanılabilecek jeotermal kaynak potansiyelimiz 2450 MW (yıllık 16 milyar kWh) elektrik enerjisi üretimine eşittir. Rüzgar gücünden elektrik enerjisi üretim potansiyelimiz ise 83000 MW (yıllık 300 milyar kWh) enerji üretimine eşdeğerdir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi konusunda ülkemizde kayda değer bir çalışma henüz hayata geçirilmiş değildir. TEAŞ 1999 yılı verilerine göre, elektrik enerjisi tüketim talebi bir önceki yıla göre %3,9 artarak 118484,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2000'li yıllarda enerji arayışlarının yoğunlaşacağı, diğer yandan sürdürülebilir kalkınma ve çevresel etki tartışmalarının bilim ve teknoloji arayışlarını yönlendireceği kesindir. Ancak son on yıllık nüfus artışının %0,15-%0,21

olduğu, sosyokültürel değerlerin ve ekonomik yapının geliştiği, sanayi tüketiminin büyüdüğü ülkemizde enerji yatırımlarının aynı oranda büyüdüğünü söylemek mümkün değildir Çizelge 3.5'te bu durum görülmektedir[19].

Çizelge 3.5. Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibarıyla gelişimi (1985-1999 yılları arası) [19]

Yılar	Termik MW	Hidrolik MW	Jeotermal MW	Rüzgar MW	Toplam	Artış
1985	5229,3	3874,8	15	-	9119,1	8,7
1986	6220,2	3877,5	15	-	10112,7	10,9
1987	7474,3	5003,3	15	-	12492,6	23,5
1988	8284,8	6218,3	15	-	14518,1	16,2
1989	9193,4	6597,3	15	-	15805,7	8,9
1990	9535,8	6764,3	15	-	16315,1	3,2
1991	10077,8	7113,8	15	-	17206,6	5,5
1992	10319,9	8378,7	15	-	18713,6	8,8
1993	10638,4	9681,7	15	-	20335,1	8,7
1994	10977,7	9864,6	15	-	20857,3	2,6
1995	11074,0	9862,8	15	-	20951,8	0,5
1996	11297,1	9934,8	15	-	21246,9	1,4
1997	11771,8	10102,6	15	8,7	21889,4	3,0
1998	13021,3	10306,5	15	8,7	23351,5	6,7
1999	155555,9	10537,2	15	8,7	26116,8	11,8

Çizelge 3.6'da Türkiye 'nin yenilenebilir enerji potansiyeli verilmektedir.

Çizelge 3.6**.** Türkiye yıllık yenilenebilir enerji potansiyeli (MTEP: Mega Ton Eşdeğeri Petrol) [19]

Yenilenebilir Enerji		Kulanım Enerji Türü	Doğal potensiyel	Teknik potensiyel	Ekonomik potensiyel
Güneş enerjisi		Elek.Enj .(milyar k Wh)	977000	6105	305
		Isı(MTEP)	80000	500	25
Hidrolik Enerji		Elek.Enj. (milyar k Wh)	430	215	124,5
Rüzgar Enerjisi	Direkt R.Enj.karasal	Elek.Enj .(milyar k Wh)	400	110	50
	Direkt R.Enj.Denizsel	Elek.Enj. (milyar k Wh)	-	180	-
	Deniz Dalga Enj.	(milyar k Wh)	150	18	-
Jeotermal Enerji		Elek.Enj. (milyar k Wh)	-	-	1,4
		ISI(MTEP)	31500	7500	28,43
Biyokütle Enerjisi		Yakıt (klasik MTEP)	30	10	7
		Yakıt (mdern MTEP)	90	40	25

3.5. Biyokütle

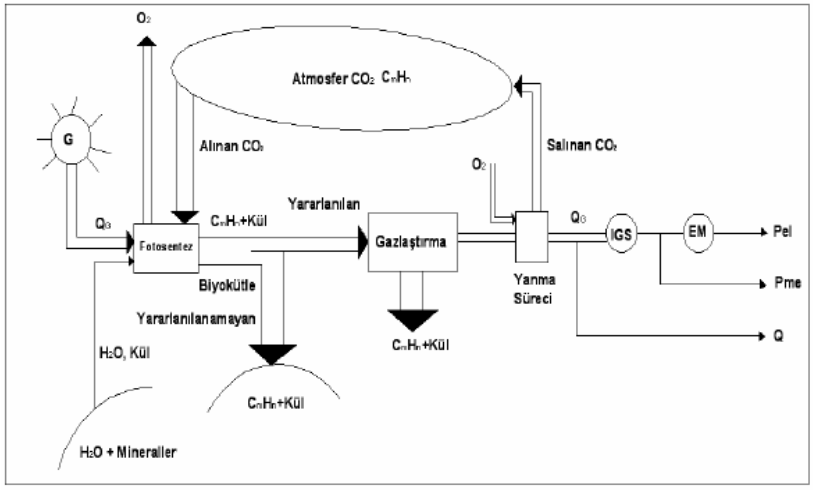
Biyokütle yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Karbon içeren organik maddeler oksijenle reaksiyona girdiklerinde ısı açığa çıkartırlar.

Biyokütle 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, biyokütleye örnek olarak, ağaçları, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkılarını, gübre ve sanayi atıklarını saymak olanaklıdır. Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen enerjinin kaynağı güneştir. Güne enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Fotosentez yoluyla organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, karbondioksit salınımı açısından korunmuş olacaktır.

Günümüzde biyokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak olanaklıdır. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tez ganin basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen bio-dizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır.

Biyokütle, günes ısıma enerjisinin fotosentez üzerinden depolanmıs bir biçimidir ve fosil yakıtların hammaddesidir (Sekil 3.3) [20]. Biyokütle enerjisi yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek toplanması sonucu oluşan biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynaklarından üretilen enerji olarak tanımlanır.

$$CO_2+O_2+H_2O+\text{Mineral}+\text{Güneş ışınları} \xrightarrow{\text{klorofil}} C_mH_n+O_2+H_2O+\text{kül}$$



Şekil 3.3. Güneş ısıma enerjisinin fotosentez süreci üzerinden biyokütle olarak depolanması ve dünya karbon/oksijen döngüsü

Enerji kaynağı olarak kullanılan biyokütle, bol bulunabilmesi, çevre kirliligine neden olmaması, elde edilen enerjinin az masrafla üretilmesi, biyokütle de yüksek nem iç riginin, düsük yogunluklu olmasının sakıncalı olmasına ragmen, son yıllarda önem taşımaktadır. Aynı zamanda az miktardaki kükürt oranına baglı olarak çevre kirliligine neden olan SO_2 oluşumunun önlenmesi ve atmosferdeki CO_2'in kullanılması ile oluşan sürekli yenilenebilir kaynaklara dayalı olması bu önemi artırmaktadır [20].

3.5.1. Türkiye' de biyokütle enerjisi

Türkiye 'de biyokütle enerjisinin birincil enerjiler içinde kullanımı 1989'da %15,2, 1994'de ise %12,4 oranında gerçekleşmiştir. 2000'li yıllarda ise bu değerin %8,5 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Biyokütle enerjisinin Türkiye'de gelişimi için öncelikle enerji bitkileri ile ilgili hybrid tohum/rizom üretimi, enerji mekanizasyonu ve yakma teknolojilerinin geliştirilmesi konuları çözümlenmelidir. Bu konularda bilgi ve teknoloji transferi gereklidir. Büyük potansiyel arz eden biyokütle enerjisi ekonomiktir ve çeşitli ekolojik avantajları vardır. Şehirler için yok edilmesi büyük sorun olan çöplerden enerji kaynağı olarak yararlanmak mümkündür. Bu amaçla

özellikle gelişmiş ülkelerde ve Avrupa Birliğine üye ülkelerde, çöpten elektrik enerjisi üreten termik santrallar kurulmuştur. Ankara 'da 40 MW, İstanbul 'da 125 MW ve İzmir'de 30 MW'lık çöp santrallarının kurulması beş yıllık kalkınma planlarında istenmiştir. Ayrıca 45 MW güçte ve net enerji üretimi 302 milyon kWh/yıl olacak Adana çöp santralının sözleşmesi imzalanmıştır. Yine Ankara Mamak, Mersin, Bursa ve Tarsus 'ta çöp santralları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

3.5.2. Dünyada'da biyokütle potansiyeli ve kullanılabilirliği

Biyokütle kökenli yakıtların (odun ve diğer çeşitler) tüketim miktarı birçok ülkede ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde kesin olarak tespit edilmemektedir. Ancak, endüstrileşme ile birlikte doğal kaynakların azalmaya başlaması biyokütlenin değerlendirilmesinin gündeme getirerek bu kaynağı öne çıkarmaya başlamıştır. Biyokütlenin sanayileşmiş ülkelerdeki birinci enerji tüketimindeki payı genel olarak %3'ün altında ise de bazı ülkeler biyoenerji kaynağını önemli ölçüde kullanmaya başlamışlardır. Örneğin, Finlandiya %15, İsveç %9, Amerika %4, Eski SSCB Devletleri %3-4 oranında biyokütle enerji kullanmaktadırlar. Ekonomik ve sosyal problemlerin olduğu gelişmekte olan bazı ülkelerde biyokütle önemli ölçüde kullanılmaktadır. Gelecek yüzyılın ortalarında dünya nüfusunun %90'nın gelişmekte olan ülkelerde yasamaya başlayacağı varsayımı ile biyokütle enerjisi büyük bir olasılıkla önemli bir enerji kaynağı olarak yerini koruyacaktır. Bunun yanı sıra biyokütle yakıtlarının atmosferik karbondioksit kirlenmesine etkisinin az olmasından dolayı, birçok sanayileşmiş ülke, biyokütle enerji üretimini artırabilmek için planlar yapmaktadır[21]. Çizelge 3.7'de Dünya biyokütle potansiyeli verilmiştir.

Çizelge 3.7. Dünya biyokütle potansiyeli [22]

Alanlar	Biyokütle	Üretim(%)
Ormanlar	11	44
Korulular	5	1
Otlak çayır	5	9
Tarma uygun alanlar	3	5
Çöl	5	0
Göl ve nehirler	1	3
Okyanuslar	70	38

Avrupa ülkeleri 2000 yılına kadar yıllık yaklaşık $3,78x10^2$ Gj'lük kullanılabilir enerjiye dönüşebilecek biyokütle potansiyeline sahiptir. Bu değer 1985 tahmini enerji tüketiminin yaklaşık %7'sine eşittir. ABD'de ise 2000'li yıllarda enerji üretiminde toplam biyokütle potansiyelinin yaklaşık olarak 700 milyon ton olacağı öngörülmektedir[23]. 10 Güney Afrika ülkesinde 82,2 milyon olan toplam nüfusun 79 milyonu enerji gereksinimini biyokütleden karşılamaktadır. Bölgede küçük ya da orta büyüklükteki sanayiler için de biyokütle önemli bir kaynaktır. Büyük ölçekli elektrik üretiminde de alkol kullanımı yaygındır. Biyokütle enerjisinin yaygın olarak kullanan ülkelerden birisi olan Hindistan'da köylerde elle çalıştırılan küçük biyogaz üretim tesisleri kullanılmaktadır. Bu ülkede biyogaz üretiminde temel kaynak odun, odun atıkları ve tarımsal atıklardır. Bu yolla yemek pişirme, ısıtma ve elektrik elde etmek gibi gereksinimler karşılanabilmektedir.

Çizelge 3.8'de ülkeler bazında dünyadaki biyokütle enerjisi kullanımı verilmektedir [23].

Çizelge 3.8 Dünyada biyokütle enerjisi kullanımı

Ülke	1990 Nüfus (milyon)	Yüzölçümü (Mha)	Toplam Enerji kullanımı)MTEP	Biyokütle kullanımı			
				BUN	WEC		UN
					Klasik	Modem	
Kuzey Amerika	276	1833	227	38	19	19	
Batı Avrupa	454	355	1379	20	10	10	
Japonya +Avustralya	389	2342	1637	30	10	10	
Sanayileşmiş ülkeler toplamı	448	2016	417	88	125	46	132
Latin Amerika ülkeleri	271	1190	294	15	21	0	
G.doğu+K.Afrika ülkeleri	501	2363	291	180	141	5	
Pasifik+G.D.Asya ülkeleri	1663	1281	1091	331	347	16	
Güney Asya ülkeleri	1146	752	498	296	204	8	
Gelişmekte olan ülkeler	4029	7602	2591	910	538	75	
Toplam DÜNYA	5292	12959	8387	1083	1051	880	165

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

Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji potansiyeline bakıldığında, son on yıldır hemen hemen sabitleşmiş verilerle yılda 18 milyon ton odunun üretilip tüketildiği görülmektedir. Önceki verilerine göre yerli enerji üretiminin %25,5'i odun ve tezek ile sağlanmakta, toplam birincil enerji tüketiminin ise %9,8'i odun ve tezekten karşılanmaktadır. Ülkemizde ormanlarımız, resmi üretimin yanı sıra hemen hemen resmi üretime yakın miktarda kaçak kesim yapılması nedeniyle büyük oranda tahrip edilmektedir. Odunun yakıt olarak tüketilmesi yalnızca çevresel bozulmalara neden olmamakta aynı zamanda önemli bir sanayi maddesi yakılarak tüketilmektedir.

4. GAZLAŞTIRICILAR VE GAZLAŞTIRMA TEKNOLOJILERİ

Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücresine verilen hava ile biyokütle yakılır ve çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbon monoksit, karbondioksit ve azot gibi gazlar da bulunur. Biyokütle gazlaştırmasının çevreye ciddi bir zararı yoktur. Biyokütle içindeki kükürt miktarı göz ardı edilebilecek kadar azdır. Ancak, bu ürün kullanılmadan önce öğütülüp küçük parçacıklara ayrıldığında, çeşitli yakma sistemleri içinde kullanılmaktadır. Kum ve yatağa beslenecek öğütülmüş biyokütle karışımı yanma odası içine yukarı doğru verilen hava akımı ile itilir. Hava akımı bu karışımı kolaylıkla hareket eden bir akışkan olacak şekilde ayarlar. Biyokütle parçalarının bir kısmının yakılması ile kumun homojen bir şekilde 650 ^{0}C ile 850 ^{0}C arasında ısınması sağlanır. Bu kimyasal tepkime sonucu oluşan gaz dışa doğru çıkarken, siklon ayrıştırıcı içinden geçilerek istenmeyen parçacıklar, katran ve diğer zararlı maddeler elenir. Elde edilen on ürüne odun gazı, veya jeneratör gazı adı verilir. Bu gazın birin hacmindeki ısıl değer 4 ile 11 MJ/m^3 (10002600 kcal/m^3) arasında değişmekte olup, doğal gaza göre daha az enerji verirler.

Gazlaştırmada kullanılan biyokütle kaynaklarını üç ayrı sınıfta incelemek olanaklıdır. Bunlar; mısır sapları,buğday, pirinç, ayçiçeği vb. Bitkilerin samanları gibi tarım atıkları, ceviz kabuğu, erik, kaysı çekirdekleri vb. gıda işleme sonrası atıklar ve orman ürünleri ile atıklarıdır. Gazlaştırma işleminde sabit veya hareketli yatak yöntemleri ile son yıllarda daha çok kullanılan akışkan yataklı sistemler kullanılmaktadır. Akışkan yataklı sistemlerin sürekli besleme olanağı diğerlerine göre büyük üstünlük taşımaktadır. Oldukça basit sistemlerde bile çevrim verimi %8590 dolayındadır. Gazlaştırma, gaz halinde yakıtça zengin ürün oluşumunu sağlayan termokimyasal prosestir. Gazlaştırıcının tasarımına bakılmaksızın, kullanışlı gaz elde edebilmek için iki aşamanın gerçekleştirilmesi zorunludur. Bu mecburi aşamalardan ilki pirolizdir. Pirolizde, 600°C'nin altındaki sıcaklıklarda yakıtın içindeki uçucu bileşenler ayrılır.

Pirolizin buharlaşmayan yan ürününe çar (gazı alınmış katı) adı verilir ve çar genel olarak sabit karbon ve külden oluşur. Endüstriyel gazlaştırma prosesi, 700°C'nin üzerindeki sıcaklılarda ki kullanılan yönteme bağlı olarak bu sıcaklık 1200°C'ye kadar çıkabilir, gerçekleştirilebilir. İkinci zorunlu aşamada, pirolizden kalan karbon, buhar veya hidrojen ile reaksiyona girer ya da hava veya saf oksijen ile yanar. Hava ya da oksijenin kullanıldığı oksidasyon reaksiyonları, endotermik reaksiyonlarda gereken ısı enerjisini sağlar. Böylece dışarıdan bir enerji takviyesi gerekmez [24]. Böylece Gazlaştırma kullanılan ortama göre, havada gazlastırma, oksijenli ortamda gazlaştırma, buhar ortamında gazlastırma "reforming" ve karbondioksit ortamında gazlastırma olarak sınıflandırılmaktadır. Hava ortamında gazlastırma, çok basit ve iyi bilinen bir süreç türüdür [25]. Ürünler yüksek oranlarda azot içerirler. Ürün gazlar seyreltik haldedir ve enerji olarak düsük degere 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. Oksijen ortamında gazlastırmada ise ürünler daha yüksek enerjili (12000 kJ/Nm3) ve CO ve H_2 gibi daha degerli gazlardan olusurlar. Fakat kullanılan oksijen ünitesini maliyeti oldukça yüksektir[26]. Oksijen veya havanın farklı miktarlarda karısımı olan buhar ortamında gazlastırmada H_2/CO oranı daha yüksektir ve metan, metanol, hidrojen gazı, nafta, basit aromatic bilesikler (C_1-C_5) gibi çok degerli ürünler yüksek oranda elde edilirler [27].

4.1. Gazlaştırmanın Tarihcesi

Gazlaştırma 1940'lı yıllardan beri endüstriyel alanda rafinerilerde ve kimya-gübre sanayisinde kullanılmaktadır. Ancak gazlaştırma, özellikle kömürün gazlaştırılması 19. yüzyıldan itibaren havagazı (town gas) elde edilmesi için İngiltere'de kullanılmaya başlanmış, Doğalgazın ucuz ve işletmesi kolay olması nedeniyle önemini giderek kaybetmiştir. Ülkemizde havagazı üretimi tamamen durdurulmuş olmasına rağmen bazı ülkelerde (örneğin İsveç) havagazı üretimine ve kullanımına devam edilmektedir. Son yirmi yılda gazlaştırma teknolojisinde gelişmelerle verimliliğinin artması ve petrolün-doğalgazın rezervlerinin azalması ve pahalılaşması nedenleriyle Gelişmiş

ülkelerde Gazlaştırmanın önemi yeniden fark edilmiştir. Özellikle çevre sorunu yaratan rafineri atıklarının, ağır petrolün, yüksek kükürtlü fuel-oil ve arıtma çamurları ile belediye çöplerinin çevreye zarar vermeden enerjiye dönüşebilen Yapay gaz üretiminde ve bazı kimyasal maddelerin elde edilmesinde Gazlaştırma prosesi kullanılmaya başlamıştır. 1999 yılında Gazlaştırma Teknolojileri Kurumu (Gasification Technologies Council) bağlı kuruluşlarınca Dünya üzerindeki Gazlaştırma uygulamaları araştırmasında Kuzey-Güney Amerika, Avrupa, Asya, Avusturalya ve Afrika kıtalarında 28 ülkede 160'dan fazla ticari ölçekte gazlaştırma tesislerinin bulunduğu tespit edilmiştirBu tesislerin günlük Yapay gaz(Syngas) üretiminin 770 000 varil petrol eşdeğeri 430 Milyon Nm^3 olduğu belirlenmiştir. Önceleri Gazlaştırma prosesinde ortaya çıkan Yapay gaz (Syngas) kimyasal madde üretiminde ana girdi iken, 1990 yıllardan itibaren enerji (Isı elektrik) elde edilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. 1990 yılında toplam Yapay gazın %60'ı enerji üretiminde kullanılırken bu oran 2000'li yıllarda %75'i geçmiştir. Ağırlaşan petrol ve doğalgaz faturaları ve bunların enerji üretiminde kullanılmasının Küresel ısınmaya sebep olarak çevreye zarar verdiğinin belirlenmesiyle Alternatif Enerji üretim yöntemlerinin önemi artmıştır [28].

4.2. Gazlaştırma Kimyası

Gazlaştırma prosesi dört safhaya ayrılır: kurutma, oksidasyon, piroliz ve indirgenme.

1. kurutma >150^oC
2. Piroliz 150-700^oC
3. Oksidasyon 700-1500^oC
4. İndirgeme(Gazlaştırma) 800-1100^oC

Süreçler 1,2 ve 4 ekzotermik yanmadan sağlanan ısıyı tüketir.

4.2.1. Kurutma

Yakıt gasifier içine inerken, ısı transferi kullanılarak yakıtın içindeki nem uzaklaştırır. Kurutma hızı yakıt yüzeyine bağlıdır.

4.2.2. Piroliz

Bu bölgede büyük moleküler küçük molekülere ayırılır. Piroliz yakıtın kimyasal dönüşümünün ilk adımıdır. Odunun pirolizi 4 karakteristik bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölge 200°C 'a kadar olan sıcaklık bölgesi olup burada su açığa çıkar. kinci bölge 200-280 ^{o}C sıcaklık bölgesi olup; su buharı, formik asit, asetik asit ve CO_2 açığa çıkar, Üçüncü bölge 280-500°C arasında olup yoğun bir eksotermik reaksiyon başlar Yoğun bir şekilde katran ve CO_2 ve bazı metil alkol de oluşur Dördüncü bölge 500°C 'in üstü olup burada reaksiyonlar yoğun bir şekilde devam eder ve H_2 açığa çıkar [29]. Piroliz bölgenin oluşan gazın ısıl değeri düşüktür (3,5-9MJ/Nm^3).

4.2.3. Oksidasyon

Biyokütlenin organik molekülleri karbon ve hidrojen, aşağıdaki reaksiyonlar gereğince, okside olarak ısı enerjisi açığa çıkarırlar. Bu reaksiyonlar sıcaklığın dışarıya verildiği ekzotermik reaksiyonlardır. Bunlar sırasıyla karbondioksit ve su buharına dönüşürler. Yanma sonucu yanmayan inorganik minerallerin bulunduğu kül de açığa çıkmaktadır [29].

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + \text{ısı} \quad (4.1)$$

$$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O + \text{ısı} \quad (4.2)$$

4.2.4. İndirgeme(Gazlaştırma)

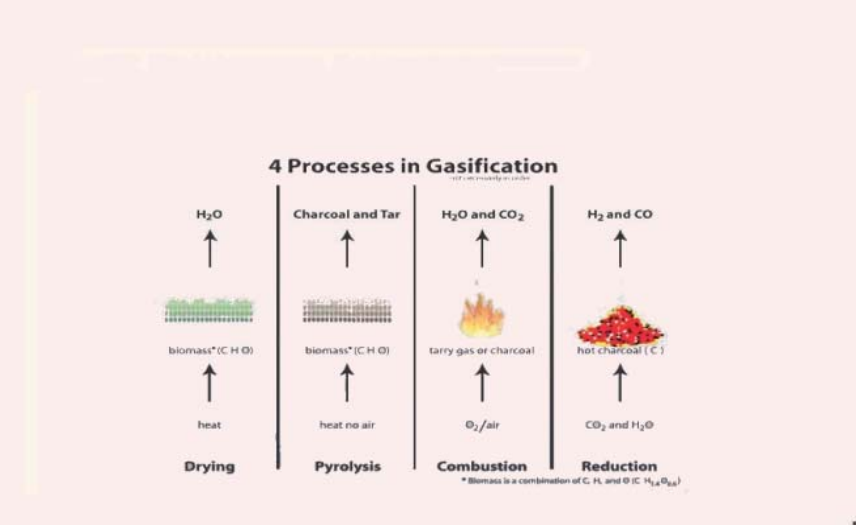
Oluşan karbondioksit ve su, reaksiyonları gereğince indirgenme reaksiyonunda doğal olarak karbon monoksit ve hidrojene dönüşürler. Bunun yanı sıra kömür ve katran da oluşur teknoloji gereğince katrana dönüşen kömür gazlaştırılır. Oluşan gazlar yanıcı gazdır ve üründeki partikül madde konsantrasyonu azalmıştır. Gazlaştırmada önemli olan biyokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Nem oranı arttıkça gazın kalorifik değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı

düşerken CO_2 miktarı da artmaktadır. Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri 4,5-6 MJ/m^3 olan gaz üretilir. Gazlaştırıcının içindeki kor halinde bulunan maddeye su buharı püskürtülürse su gazı elde edilir. Bu gazın kalorifik değeri 10 MJ/m^3 dür.

$$C + H_2O + ısı \longrightarrow CO + H_2$$

$$C + CO_2 + ısı \longrightarrow 2CO$$

Şekil 4.1. Gazlaştırma süreçleri gösterilmekte.



Şekil 4.1. Gazlaştırma süreçleri

4.3. Gazlaştırma Yöntemi

Katı enerji kaynaklarının gazlaştırılması genellikle 800-2000°C aralıklarında ve 40 bar basınç altında gerçekleştirilir. Bu dönüşüm prosesi sırasında su buharı yanında CO_2 de çıkar. Kullanılan gazlaştırma yöntemleri arsında karbonun gazlaştırılması, basınçsız kömür tozunun gazlaştırılması, basınç altında katı yakıt gazlaştırılması, linyit-yüksek-sıcaklık gazlaştırılması ve biyokütle gazlaştırılması da dahil edilebilir. Verim genelde

%55 civarındadır. Biyokütlenin buhar ortamında gazlaştırılmasının gaz fazı reaksiyonları şu sekilde verilmiştir.

4.3.1. Su-Gaz tepkimesi

Su gaz tepkimesi, havayla birlikte gelen su buharı, suyun buharlaşmasından kaynaklanan buhar, katı yakıtların ısıl kesiminden kaynaklanan buhar gibi farklı kaynaklardan ortaya çıkabilen buhar yoluyla karbonun kısmi oksitlenmesidir. Buhar, heterojen su gaz tepkimesine göre sıcak karbonla tepkimeye girer:

$C+H_2O \longleftrightarrow CO+H_2$ $\Delta H = 118.9\ kJ/mol$

4.3.2. Boudouard tepkimesi

Gaz dönüştürücü içindeki karbondioksit, aşağıdaki endotermik tepkimeye göre karbondioksit üretir. Bu tepkime, aynı ısıdaki yanma reaksiyonundan daha küçüktür.

$C+CO_2 \longleftrightarrow 2CO$ $\Delta H = 159.7\ kJ/mol$

4.3.3. Değişim dönüşümü

Hidrojenin ısı değeri karbon monoksitin değerinden daha yüksektir. Bu yüzden, hidrojen üretmek için karbon monoksit tarafından buhar haline getirme (indirgenme) yüksek oranda istenen bir tepkimedir.

$CO + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + H_2$ $\Delta H = -41{,}98 kJ/mol$

4.3.4. Metanlaşma

Metan aşağıdaki tüm reaksiyonlarla gaz dönüştürücü içinden elde edilebilir.

$C + 2H_2 \longleftrightarrow CH_4$ $\Delta H = 74{,}90 kJ/mol$ karbon.

Çizelge 4.1. gazlaştırma sürecindeki temel tepkimeleri göstermekte.

Çizelge 4.1. Gazlaştırma sürecindeki temel tepkimeler [30]

	Tepkime Sıcaklığı	Basınç Etkisi	ΔH
Heterojen gaz/katı tepkimesi			
Su Gazı Tepkimesi $C+H_2O \longrightarrow CO+H_2$	Yüksek	$-(CO+H_2)$	+119
Boudouard Tepkimesi $C+CO_2 \longrightarrow 2CO$	Yüksek	-CO	+162
Hidrojenle Gazlaştırma $C+2H_2 \longrightarrow CH_4$	Yüksek/Orta	$+CH_4$	-87
Kısmi yanma $C+1/2O_2 \longrightarrow CO_2$	Yüksek	$+CO_2$	-123
Tam Yanma $C+O_2 \longrightarrow CO_2$	Yüksek	$+CO_2$	-406
Homojen gaz/gaz tepkimesi			
Su Gazı Tepkimesi $CO+H_2O \longrightarrow H_2+CO_2$	Yüksek/Orta	0	-42
Metanlaşma $CO+3H_2 \quad CH_4+H_2O$	Yüksek/Düşük	CH_4	-206

4.4. Biyokütle Gazlaştırılması

Hiç şüphe yok ki biyokütle doğal enerji kaynağı olarak kendini sonsuza kadar yenileyebilecek bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlar, nükleer enerji ve büyük ölçekli hidrolik projeleri gibi geleneksel enerji kaynakları dünya enerji piyasasına hakim durumdadırlar. Diğer enerji kaynakları bu geleneksel kaynaklarla rekabet edecek yeterlilikte değillerdir. Son yıllarda biyokütle enerjisinin kullanımı araştırma ve geliştirme birimleri ve hükümetler tarafından büyük ilgi görmektedir. Biyokütle enerjisinin farklı yollardan enerji sağlayabilmesi için birçok formları oluşturulmaktadır.

Güvenilirliği sağlamak ve işlem verimliliği için biyokütle yakıtların gazlaştırılmasında proses ayrıntılarının kesinleştirilmesi gerekmektedir. Tüm gazlaştırıcı tiplerinde biyokütlenin boyutu, nem ve kül içeriğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Eksik yakıt hazırlığı gazlaştırma prosesinde teknik problemlerin sıkça oluşmasına sebep olur. Bu yüzden güzel bir organizasyon ve kontrol yakıt hazırlama yöntemi çok önemlidir.

4.5. Gazlaştırmanın Avantajları

Çevresel yararlar, kömürün yaydığı gazlardan gelen, kirlilik oluşturan atıkların %99a kadar temizlenebilmesinden doğar. Mesela kömürdeki sülfür, hidrojen ve sülfat olarak ortaya çıkar ve bugün kimyasal sanayide kullanılan işlemlerden geçirilebilir. Bazı yöntemlerde, sülfür ticari olarak satılabilen bir biçimde çıkartılabilir. Bunun gibi, nitrojen normalde amonyak olarak ortaya çıkar ve aşılama veya diğer amonyak esaslı kimyasalları üreten işlemlerle kömür gazından arındırılabilir. Kömür gazlaştırması, karbondioksit gibi atmosferdeki artan sera gazları üzerindeki ilgilere yönelerek daha fazla çevresel avantaj sunabilir. Eğer oksijen hava yerine kömür gazlaştırıcısı olarak kullanılırsa, karbondioksit, yoğunlaştırılmış gaz akışı olarak yayılır. Bu şekilde, daha kolay ve daha düşük fiyatlara en gelişmiş çeşitli kontrol altında tutma girişimleri için muhafaza edilebilir. (tam tersi, kömür yandığında veya %80i nitrojen olan havaya karıştığında, ortaya çıkan karbondioksit daha çok sulandırılmış ve yakıcı veya gazlaştırıcıdan çıkan çok miktardaki gaz yığınından ayırmak için maliyeti çok daha fazla olur.) Zaman ve para kaybetmeden elde edilen kazanımlarda, kömür gazlaştırmasının diğer bir faydası kömür yakan sıradan bir fabrikada, yanan kömürden çıkan sıcaklık suyu kaynatmak, buhar türbin jeneratörünü çalıştıran buharı üretmek için kullanılır. Kömürün değerli olan enerjisinin sadece 3te 1i çoğu fabrikanın ocakları tarafından elektriğe dönüştürülüyor, geri kalanı da atık sıcaklık olarak kayboluyor. Kömür gazlaştırması gücüyle çalışan fabrika ise ürettiği gazlarla 2 iş birden yapıyor. Önce pisliklerinden arındırılmış olan gazlar tıpkı doğal gazlar gibi bir elektrik kaynağı üretmek için gaz türbininde yakılıyor. Gaz türbininin sıcak egzozu sonra daha alışılagelmiş bir buhar türbin jeneratörü için kullanılır. ‘Birleşik döngü’ adlı elektrik gücünün bu iki kaynağı kömürün sabit enerjisinin çoğunu kullanılabilir elektriğe dönüştürerek değerli hale getirir. Kömür gazlaştırması gücüyle çalışan fabrikanın yakıt tasarrufu %50ye ya da daha fazlasına arttırılabilir. Yakıt deposu veya yakıt gaz deposu türbin karışımından bahseden gelecekteki kavramlar belki %60 oranında, belki neredeyse günümüzün olağan kömür yanmasıyla çalışan fabrikalardan 2 katı fazla tasarrufu bile başarabilecekler. Eğer geriye kalan atık ısı belki yakınlardaki işletmeler

ya da bölgedeki sıcaklıkla çalışan fabrikalar için buhar veya ısı işlemine dönüştürülebilirse ilerdeki gazlaştırma fabrikalarının tüm yakıtı verimli kullanabilme seviyesi %70 den %80e ulaşabilir [31].

4.6. Gazlaştırmanın Dezavantajları

Buna istinadeden biyokütle gazlaştırmasının dezavantajlarına da bakmak gerekmektedir. Çevreyi ne kadar güvene alıyorsa da sağlığa zararları açısından açıklanan dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar;

- Koku
- Gürültü
- Yanma/patlama riski
- CO zehirlenmesi
- Atık gaz ve pis su çıkışı (gazın temizlenme prosesinden kaynaklı)

Biyokütle gazlaştırmasında çıkan koku hidrojen sülfür, amonyak ve karbon oxy sulphide kokularına benzer. Katran da sert bir kokuya sahiptir. Gazdan çıkan koku pis su, katran ve uçuşan küllerden de kaynaklanabilir. Gürültü ise işlem sırasında makinelerin çalışmasından kaynaklanır. Sistemden atmosfere sızan gaz yakıt veya duman eğer ortamda ateşleme yapılırsa patlama olabilir. Biyokütle gazlaştırma prosesinde katı yakıt deposu, yanabilen tozlar, yakıtın kurutulması ve üretilen gaz temel risk faktörlerini oluştururlar. Renksiz ve kokusuz olan karbon monoksit gazı solunduğunda tehlikeli bir toksik etki yaratır.

- Gazlaştırıcıda üretilen yanabilir gazlarda homojen bir karışım yoktur ve zamana bağlı olarak da gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri (bileşimi, enerji miktarı, kirliliği) değişebilir.

- Gazlaştırıcı ile içten yanmalı makine arasında bir depolama tankı yoktur. Bu nedenle depolama problem oluşturmaktadır. Üretilen gaz motorda yakılmadan önce ise çok iyi temizlenmelidir.

4.7. Gazlaştırmanın İşletme Parametreleri

Yakma ve ısıtma değerlerini birçok etkileyen parametlerer vardır.

4.7.1 Yakıt özeliği

Yakıt tepkimesi

biyokütlenii genel tepkimesi yüksek seviyede düşer. Tanecik boyutu ve gözenek gibi yakıtın fiziksel özelliklerinin biyokütle gazlaştırmasının kinetikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Tanecik boyutu küçüldükçe, biyokütle ve tepkime gazları arasındaki özel temas alanı daha hızlı tepkime artar. Düşük ve orta seviyedeki kömürler için, gazlaştırma tepkisi gözenek hacmindeki ve yüzey alanındaki artışla birlikte artar, ama yüksek seviyedeki kömürün (C>85%) tepkimesi gözeneklerdeki değişikliğin etkisi altında kalmaz. Yüksek seviyeli kömürlerde, gözenek hacmi o kadar küçüktür ki, tepkime difüzyonu kontrol altına alınır [32].

Nem miktarı

Nem miktarı, geniş çapta hiçbir değişiklik gözlenmeyene kadar, yakıt örneğini çevresel basınçtaki saf ortamda 378K da tutarak elde edilir. %5 ile 40 arasında değişir. Yüksek nem içerikli yakıt, gazlaştırıcının içindeki ısıyı düşürür çünkü buharlaşma endotermiktir. Bu yüzden iyi bir gazlaştırma için en iyi sınır, %35 yer altındaki katı maddelerin gazlaştırılması ve 5-10% yer arlındaki akışkan maddelerin yayılımıdır [32].

Kül miktarı

Kül miktarı üretilen gazı doğrudan etkilemez. Aslında gazlaştırma şartlarını etkiler. Her yakıtın kendine ait kül erime ısısı noktası vardır. Gazlaştırıcı bu ısının altında bir seviyeye ayarlanmalıdır. Bu külün dağılımını engeller.

Uçucu maddeler

Bir yakıtın içindeki uçucu madde, yakıtın herhangi bir değişiklik gözlenmeyene kadar 1300K da durağan bir ortamda tutularak tespit edilebilir. Uçucu madde miktarı yüksek olan yakıtlar daha reaktiftir ve böylece daha az yanarak kömürleşen atık üreterek daha kolay gaza dönüştürülebilir.

4.7.2. Sıcaklık

Sıcaklık gazlaştırma aşamasında ikinci en önemli parametre işlemidir [30]. Sistem bol miktarda hidrojene sahip gazı üretebilmek için 1100-1300K sıcaklık seviyesine ayarlanmalıdır.

4.7.3. Tanecik boyutu

Besin stoğu yapan maddelerin tanecik hacmi ocak boyutuna bağlıdır ama genelde ocak çapının %10 uyula 20si arasındadır. Geniş tanecikler besinin aşağıya kaymasını önleyen köprüler oluştururken, küçük tanecikler genelde yüksek hava basıncının düşmesine ve gazlaştırıcının daha sonra kapanmasına sebep olarak mevcut hava boşluğunu engeller.

4.7.4. Basınç işlemi

Gazlaştırıcılar ya doğal basınç ya da basınç altında kalmış olabilirler. Doğal basınç işlemleri daha yaygın ve dolayısıyla teknolojide de kanıtlanmıştır. Basınca maruz kalmış gazlatıcıların en önemli sorunu kaynak sağlama sistemidir. Basınç ayrıca gaz bileşimi üzerinde de etkiye sahiptir. Gazlaştırma tepkimelerine bakılırsa CH_4 oluşumu artarken CO ve H_2 oluşumunun artan basınçla azaldığını rahatlıkla söyleyebiliriz. Bu yüzden basınca maruz kalmış bu gazlaştırıcılar genellikle IGCC teknolojisinde kullanılırlar.

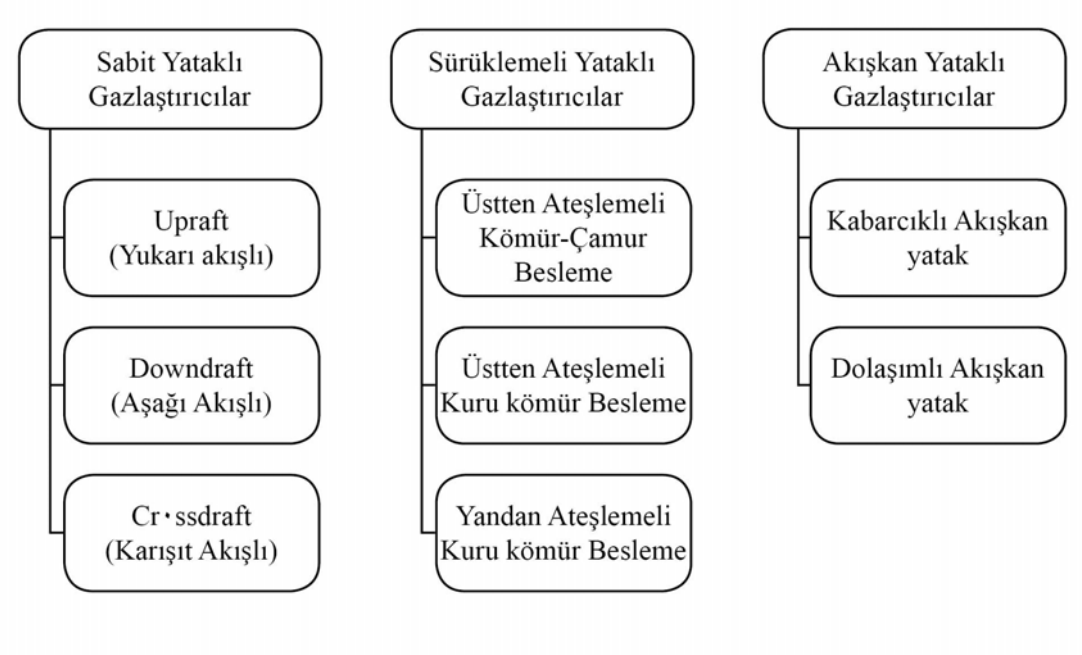
4.7.5. Gazlaştırma maddeleri

Gazlaştırma maddeleri hava, oksijen, buhar veya bunların karışımı olabilir. Hava gazlaştırması %50 N_2yi kapsayan üretilen gaz düşük ısıl değerine sahiptir, oksijen ve buhar gazlaştırması çok az veya N_2 si olmayan orta derecede gaz ısıl değerli üretir. Oksijen gazlaştırması çok pahalı olan oksijen üretimi için gerekli olan hava ayrım ünitesine sahiptir. Buhar gazlaştırması, endotermik olduğu için ekstra ısı kaynağına ihtiyaç duyar.

4. 8. Gazlaştırıcılar

Gazlaştırıcılar katı haldeki bir yakıtı gaz halindeki yakıta çeviren makinelerdir. Küçük ölçekli gazlaştırıcılar oldukça basit cihazlardır. Yakıtla dolu silindirik bir gövdeden oluşurlar. Bu gövde üzerinde hava giriş ve gaz çıkışı için bir ağız bulunur. Ayrıca bir de ızgara vardır. Gövde ateş tuğlasıyla örülmüştür. Gazlaştırıcılar, ya taşınabilir olarak yapılırlar ve bir kamyona yüklenerek istenilen yere götürülürler ya da sabit bir yerde kurulurlar. Gazlaştırıcıların tasarımında en önemli kısım yakıt kolonuna verilecek havanın gönderiliş biçimi ve yeridir. Buna göre de gazlaştırıcılar sınıflandırılırlar[33].

Gazlaştırma için temel olarak kullanılan üç reaktör tipi bulunmaktadır; sabit yataklı hareketli yataklı ve akışkan yataklı. Hareketli yataklı gaz dönüştürücü temelde eş yönlü akım içinde oksijenle birlikte toz haline getirilmiş yakıt için kullanılır. Sabit yataklı reaktörler, hava akışına bağlı olarak yukarı çekişli, aşağı çekişli ve nadiren de karışıt çekişli gazlaştırıcılar. Akışkan yataklı gazlaştırmak için seçilen sistem kabarcıklı akışkan yatak ve dolaşımlı akışkan yataklardır. Onlar akışkanlık hızına ve gaz yoluna bağlı olarak farklılaşır. Gazlaştırıcı sistemler şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Gazlaştırıcı sistemler

4.8.1. Sabit yataklı gazlaştırıcılar

Sabit yataklı gazlaştırıcılarda, tipik olarak, beslenen maddeyi desteklemek ve belirli bir reaksiyon bölgesi yaratmak amacıyla bir metal ızgara bulunur[24]. Yakıt, gazlaştırma reaksiyonlarının gerçekleştirildiği farklı bölgelere doğru hareket eder(kurutma, piroliz, oksidasyon, indirgenme). Böylece sabit yataklı gazlaştırıcılar arasında akışa bağlı olarak bir fark oluşur. Sabit yataklı gazlaştırıcılar oldukça kolay tasarlanır ve çalıştırılır(Şekil 4.3). Bu yüzden küçük ve orta ölçekli güç ve termal

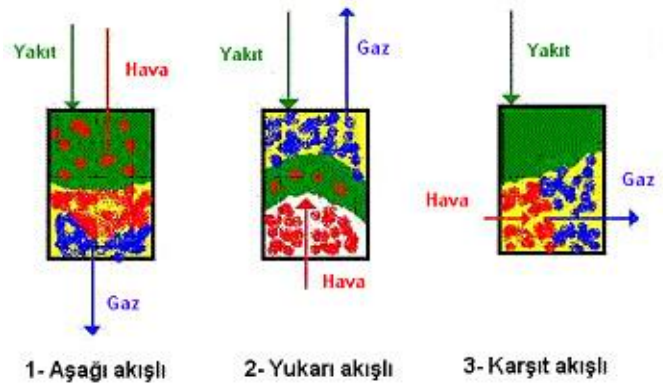
enerji kullanımları için uygundurlar. Fakat çalışma sıcaklıklarını her bölgede aynı tutmak ve reaksiyon bölgesindeki gaz fazını yeterli oranda karıştırmak zordur. Sonuç olarak ortaya çıkan gaz ürün miktarı önceden tahmin edilemez ve bu yüzden büyük ölçekli güç kullanma maksatlı tercih edilmez [24]. Farklı sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri genelde hava akımının yönüne göre karakterize edilirler.

Sabit yataklı gazlaştırıcılar, 1000 derece civarında ısılarda işletilen gazlaştırma sürecinde kullanılan geleneksel süreçlerdir. Onlar çok basit işlemlerdir ve gazlaştırıcının içindeki katı yakıt kalış zamanı uzun ve gaz hızı düşüktür. Bu tip gazlaştırıcılarda genellikle küçük ölçekli enerji üretimi için kullanılırlar (< 10 MWth) [34].

Hava ve yakıt girişi yönüne göre sabit yataklı gazlaştırıcılar üç tipe ayrılmaktadır:

1- Yukarı akışlı
2- Aşağı akışlı
3- Karşıt akışlı

Bu tipler aşağıdaki şekil 4.3'te gösterilmektedir.



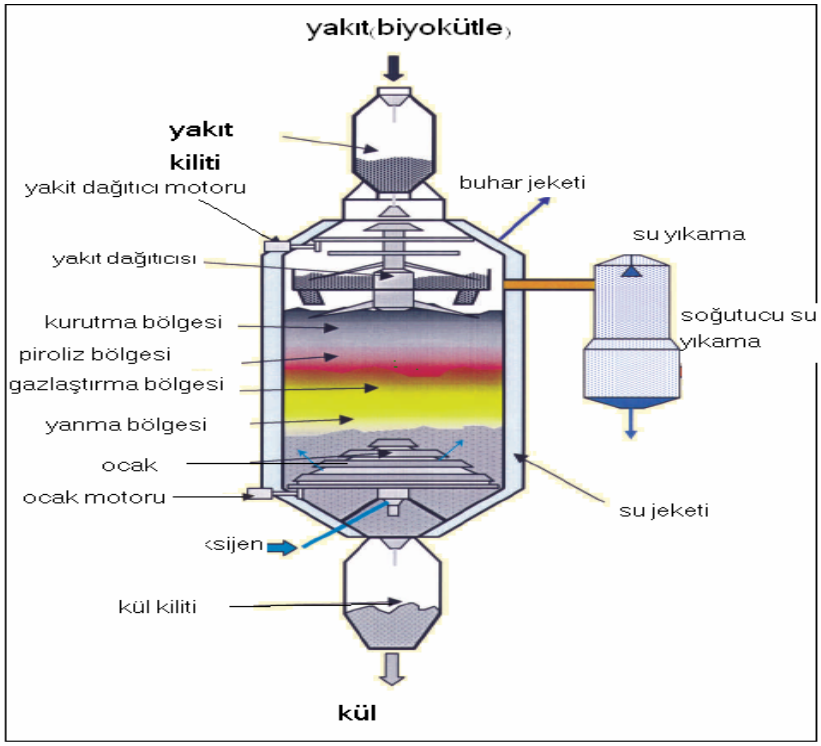
Şekil 4.3.Sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri

Yukarı akışlı gazlaştırıcılar

Hava akışı, yakıt akışına ters olarak ve gaz üretecinin mümkün olduğu kadar alt kısmından sağlanmıştır. Üretilen gaz ise gazlaştırıcının üst kısmından alınmaktadır. Şekil 4.4'te bir updraft gazlaştırıcı görülmekte. Updraft gazlaştırıcılar, sıcak gazların yakıt kolonundan geçerek oldukça düşük sıcaklıkta gazlaştırıcıyı terk ettiklerinden yüksek verime sahiptirler. Gaz tarafından verilen duyulur ısı yakıtı kurutmak ve ısıtmak için kullanılmaktadır. Damıtma ve kurutma bölgesinde meydana gelen ürünler ise; su, katran ve yağ buharları olup bunlar oksitlenme bölgesine geçmezler. Bu nedenle bu gazlaştırıcılarda yüksek uçucu maddeye sahip yakıtların gazlaştırılması yapılıyorsa, üretilen gaz yüksek oranda katran içerecektir. Gaz kalitesini artırmak ve sıcaklığı külün ergime noktasının altında tutmak için birçok üretici nemli hava kullanmaktadır. En nemli tasarım parametreleri ise şunlardır: Hava yüklemesinin yöntemi, gaz çıkışının pozisyonu, ızgaranın tipi ve boyutu, nemli hava girişi için ortalama buharlaşan su miktarı, ateş kutusu içi, beklenen özgül gazlaştırma oranı, yakıt yatağının yüksekliği [33].

Yukarı akışlı gazlaştırıcılarda yakıt, tepeden verilirken hava akımı aşağıdan yukarı doğru verilir. Yakıt, aşağı doğru inerken kurur; pirolize uğrar; gazlaşır ve yanar[24]. Kuruma bölgesinde biyokütle kurutulur. Destilasyon veya piroliz bölgesinde biyokütle, uçucu gazlara ve katı çara dekompoze olur. Piroliz ve kuruma için gereken ısı üretilen gazın yukarı doğru çıkışıyla ve ocak kısmından gelen ısının iletimiyle sağlanır. İndirgenme bölgesinde, çar, karbondioksit ve su buharı içeren, karbonun dönüştürüldüğü ve karbon monoksit ve hidrojenin oluşan gazın ana bileşenleri olarak üretildiği birçok reaksiyon gerçekleşir. Ocak bölgesinde, kalan çar, indirgenme bölgesindeki reaksiyonları için gereken karbondioksit ve su buharı eldesi için, ısı verilerek yakılır[30]. Kül, alt bölgeden alınır. Bu gazlaştırıcı tipinin başlıca avantajları basitliği, gaz çıkış sıcaklığının düşük olmasına bağlı olarak internal ısı değişimi ve yüksek gazlaştırma verimidir. İnternal ısı değişimi sayesinde yakıt, gazlaştırıcının tepesinde kurur ve buna bağlı olarak da yüksek nem miktarına sahip yakıtlar da

kullanılabilir. Yani hiçbir ön kurutma işlemine gerek olmaksızın gazlaştırma yapılabilir. Dahası, bu tip gazlaştırıcılar küçük boyutlardaki yakıt parçacıklarıyla da çalışabilir. Bu da, çok geniş bir boyut aralığı na sahip olan biyokütlenin, farklı parçacık boyutları ve nem miktarlarıyla gazlaştırılmaya uygun olduğunu gösterir. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcının dezavantajları ise yüksek miktardaki katran miktarı ve piroliz gazı yakılmadığı için piroliz ürünleridir. Bununla beraber, yüksek katran miktarı, enerji uygulamaları açısından istenmeyen bir durumdur çünkü büyük ölçüde katran temizliği gerektirir.



Şekil 4.4. Yukarı akışlı gazlaştırıcı

Aşağı akışlı gazlaştırıcılar

Bu tipte gönderilen hava, yakıtla aynı yönde yani aşağıya doğrudur ve gaz da gazlaştırıcının alt kısmından dışarı alınmaktadır. Şekil 4.5'de bu tip bir gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tasarımın altında yatan temel düşünce ise şu şekildedir. Damıtma

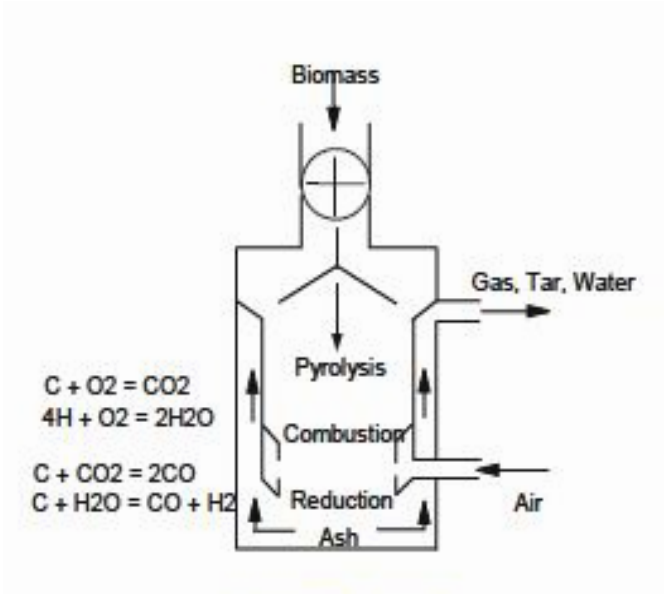
bölgesinde açığa çıkan katran, yağlar ve buharlar yüksek sıcaklığa sahip değildir. Bunlar, gaz çıkışından geçmek için kısmi yanma bölgesinden de geçmek zorundadırlar. Burada yüksek sıcaklıktan geçerken parçalanarak gaza dönüşürler. Böylece gaz karışımın içerisinde çok düşük oranda katran kalır. En önemli tasarım parametreleri ise; yanma bölgesinin tasarımı, hava gönderilmesi, ızgara tasarımı, boğaz tasarımıdır. Downdraft tipteki bir gazlaştırıcının hava giriş kısmının üzerinde daraltılmış dikdörtgen bir kesit vardır. Buna boğaz adı verilir ve bu boğaz sıcak karbona homojen bir kalınlık sağlayarak damıtma gazlarının geçişine izin verir Bu nedenle tasarımda önemli bir parametre olmaktadır. Downdraft tipteki gazlaştırıcılar; yüksek kül oranına, yüksek nem oranına veya yüksek cürufa sahip yakıtların gazlaştırmasına uygun değildir. Nem oranının %20 'yi geçmesi durumunda bu sistem için bu yakıtın kullanılması uygun olmayacaktır. Eğer yakıtın kül oranı yüksekse bu durumda ızgaranın döner olması gerekecektir. Bu gazlaştırıcı için en yüksek kül oranı %5 civarıdır. İlave buhar veya suyun sisteme verilmesi "Downdraft" gazlaştırıcılarda çok kullanılmaz. Hidrojen üretimi için yakıt ve havadaki nem yeterli olmaktadır [33].

Aşağı akışlı gazlaştırıcının en önemli avantajı, üretilen gazın oldukça düşük miktarda katran içermesidir. Tüm bunların yanında yakıt gazlaştırıcıya beslenmeden önce nem seviyesinin %20'lere düşürülmesi gerekir. Bu da bir kısım atık ısının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir.

Reaksiyon bölgelerinde uniform sıcaklık dağılımı ve çar tabakalarındaki gaz geçirgenliğinin iyi oluşu gaz kalitesini etkileyen faktörlerdir. Aşağı akışlı gazlaştırıcılar, partikül büyüklüğü ve nem içeriği ile bağlantılı olarak yakıt hazırlığı gerektirmekte dir. Atık kazanımı için uygun değildirler çünkü tıkanmayı önlemek için düşük kül oranlı yakıtları tercih ederler[35].

- Gaz, yüksek oranda toz ve kül içerir ve bu yüzden oksidasyon bölgesini külparçalarıyla geçmek durumunda kalır.

- Yakıt konusunda nispeten katı kuralları vardır. Düzenli akışın sağlanabilmesi, dar kısımlarda birbirlerini engellememeleri, piroliz gazlarının aşağı akışı için yeterli boş alanın olması ve ocak bölgesinden yukarı ısı taşınımı olması için kullanılacak maddelerin boyutu 4-10 cm arası yaklaşık birbirinin aynı olmalıdır. Bu yüzden biyokütle boyutunun ayarlanması gereklidir.
- Biyokütlenin nem içeriği %25'ten düşük olmalıdır.
- Çıkış gazlarının yüksek sıcaklığı, düşük gazlaştırma verimine sebep olur.
- Bu tip gazlaştırıcılar, enerji üretimi uygulamalarında 80-500 kW sınırında kullanılabilir.



Şekil 4.5.Aşağı akışlı gazlaştırıcı

Karşıt akışlı gazlaştırıcılar

Bu tipteki gazlaştırıcılar Updraft ve Downdraft gazlaştırıcılara karşı belirli avantajlarına rağmen fazla tercih edilmezler. Şekil 4.6'de bir Cross draft gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tip gazlaştırıcıların en büyük dezavantajları ise; gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması, yüksek gaz hızı, CO_2 indirgemesinin zayıf olmasıdır. Cross draft gazlaştırıcılarda gaz çıkışı da diğer tiplerden farklıdır. Birçok durumda

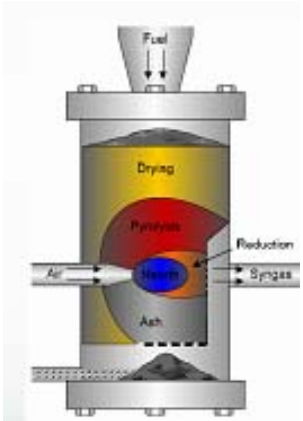
diğer gazlaştırıcılardan farklı olarak kül, ateşleme ve indirgeme bölgeleri bir ızgara ile ayrılmamıştır [33].

Karşıt akışlı gazlaştırıcılar odun kömürü kullanımı amaçlı tasarlanmışlardır. Odun kömürünün gazlaştırılması, ocak bölgesinde çok yüksek sıcaklıklarda sonuç vermiştir. Karşıt akışlı gazlaştırıcıda besleme aşağı doğru inerken hava yan taraftan verilir. Oluşan gazlar ise karşı tarafta aynı seviyedeki noktadan çekilir ve çıkış sıcaklıkları 800-900°C arasındadır. Ocak bölgesi gaz çıkışı ile hava girişinin gerçekleştiği bölgenin ortasında yer almaktadır. Kül gazlaştırıcının alt kısmından alınır. Bu tip gazlaştırıcılar düşük katran içerikli yakıtlar için uygundur. Çünkü çıkan katran miktarı yüksektir. Sistemin avantajı düşük ölçülerde de üretim yapılabilmesidir. Dezavantajı ise yüksek kalitedeki odun kömürü ihtiyacına karşılık düşük katran dönüşümüdür [35].

Karışıt akışlı gazlaştırıcı şekil 4.6'de görülmekte.

4.8.2. Sabit yataklı gazlaştırıcıların avantaj ve dezavantajları

Gazlaştırıcıların bir tipinin seçimi değerlerine göre yakıt tarafından keşfedilmektedir bunun sonunda elde edilen aşağıda avantaj ve dezavantaj gösterilmekte [29].



Şekil 4.6. karışıt akışlı gazlaştırıcı

Çizelge 4.2. Çeşitli gazlaştırıcıların avantaj ve dezavantajları [29]

Gazlaştırıcı tipi	Avantaj	Dezavantaj
Yukarı akışlı	• Küçük basınç düşüşü • Yüksek ısıl verimli • Cüruf oluşumu azdır • Kurulum kolaylığı ve basit inşa • Hammaddenin nem içeriği yönünden daha büyük esneklik göstermesi	• Yüksek oranda katran içeren kirli gaz üretimi • Ic motorlarda çalışabilmesi için uzun zaman lazımdır ve Elektrik üretimi için uygun olmaması • Ağır gazların yüküne karşı düşük kapasiteli reaksiyona girer • Daha küçük çıkış gazı sıcaklığı
Aşağı çekişli	•Temiz gaz üretim •Yüksek dönüşüm oranı •Yakıtın içerdiği toz ve katran oluşumuna karşı düşük hassasiyetliğe sahiptir	•Çok küçük yakıt parçaları için uygun değil •Yüksek bakım maliyeti •Yakıtlar düiük nem içermeli •Nispeten daha düşük hacimsel kapasite
Karışıt çekişli	düşük ölçülerde de üretim yapılabilmesidir.	•Curuf oluşumu hızlıdır • Büyük basınc düşüşleri

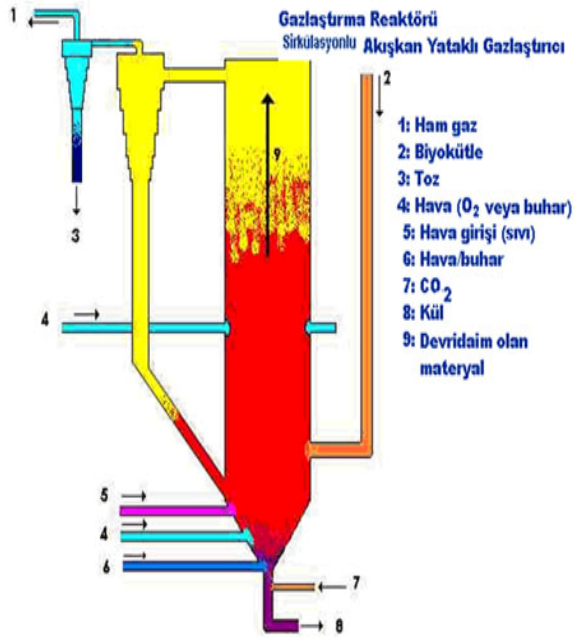
4.8.3. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar

Akışkan yatak teknolojisi; ekonomik değeri düşük ve temini kolay (0-10 mm toz kömür, talaş, prina vb.) çok çeşitli yakıtları yüksek verim ile yakarak temiz ve güvenli enerjiden buhar/kızgın yağ üretim sistemidir. Ayrıca yüksek performanslı, çevre kirliliği yapmayan ve ekonomik olarak verimli yakma tekniği gelişmiş kazanlardır.

Çeşitli yakıt kaynaklarını ve tiplerini kullanma yeteneği ile işletmenize yakıta ait değişen masraflar ve bulunabilirlik konusunda esneklik sağlamaktadır.

Küçük kapasiteli kazanlardan büyük kapasiteli kazanlara kadar çok çeşitli kapasitelerde, farklı büyüklüklerde akışkan yataklı kazan yapıları geliştirilmiştir. 21. yüzyılın başlarından itibaren akışkan yataklı kazan teknolojisi büyük yol kat etmiş ve enerji sektöründe kendi payını büyük oranda arttırmıştır. Ülkemizde değişen ekonomik dengeler ile değişken petrol ve doğalgaz fiyatları akışkan yataklı sistemi zorunlu hale getirmektedir.

Ülkemizde bol ve ucuz olan düşük kalorili linyit kömürü, ağaç talaşı, prina, fındık kabuğu vb yakıtların ayrı ayrı veya birlikte yakılmasına olanak vermek için çok geniş işletme şartları göz önüne alınarak tasarlanmaktadır [36].

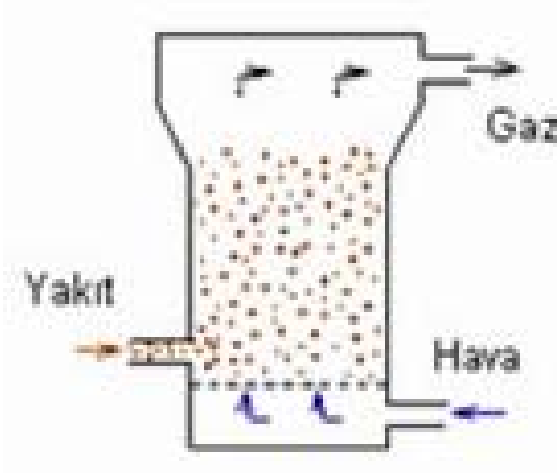


Şekil 4.7. Akışkan yataklı yakma sitemi

Kabarcıklı akışkan yatak

Bu proseste; bir kolon içinde altta yığılı durumda bulunan taneciklerin teşkil ettiği yatak bölgesine alttan düşük bir hızla hava verilmeye başlandığında, hava parçacıklar üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve parçacıklar arasından kendine boşluklar bularak yukarı hareket eder. Bu durum parçacıkların hareket etmediği sabit yatak konumudur.

Akış hızı arttırıldıkça hava, parçacıklara daha fazla kuvvet uygular ve yatak içinde hava kabarcıkları oluşur. Bu kabarcıkların yatağı, su kaynamasına benzer bir sekilde terk ettiği görülür. *Kabarcıklı akışkan yatak* olarak adlandırılan bu sistemlerde, gaz katı karışımın kapladığı hacim sabit yatak konumuna göre, daha fazladır. Yatak bölgesi ile serbest bölge arasinda gözle görülür bir yatak yüzeyi bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Kabarcıklı akışkan yatak sistemi

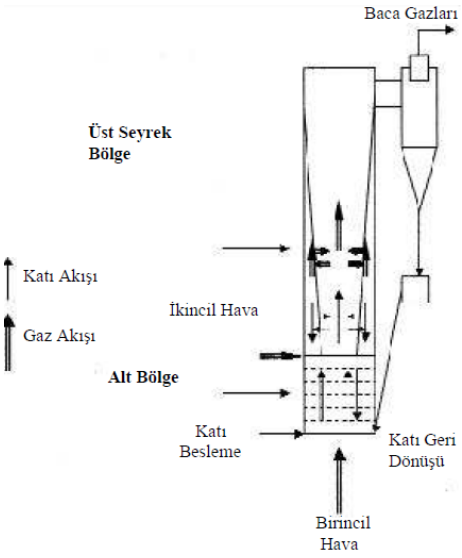
Dolaşımlı akışkan yatak sistemi

Dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcıda gazların hızı artarken, katıların yatağı genişlemeye devam eder ve parçacıkların yatağın dışına taşınma oranı artar. Daha sonra yatağa döndürülecek büyük parçacıkları yakalamak için düşük verimli parçacık toplayıcılar kullanılabilir. Bu asılı halde yanma kavramının geçerli olduğu yatak, dolaşımlı akışkan yatak olarak adlandırılır [24].

Yoğun katılar bölgesi ile seyreltik katılar bölgesi arasında farklı bir ayrılma bölgesinin olmaması, Şekil 4.9. Dolaşımlı akışkan yatağı, kabarcıklı akışkan yataktan ayıran özelliktir. Yatak yoğunluğu dolaşımlı akışkan yatakta 560 kg/m iken, kabarcıklı yatakta 720 kg/m civarındadır. Düşük yatak yoğunluğu sağlamak için, kabarcıklı yatakta hava hızı 1,5-3,7 m/s'den, 9,1 m/s civarına yükseltilir. Parçacıkların dağılımı, katıların aşınma hızı ve gazların akış hızı, dolaşımlı yatak katıların en uygun kalma süresini belirler. Dolaşımlı akışkan yatak gazlaştırıcının en önemli bir avantajı, değişik bileşim ve nem içerikli hammaddeleri işleme kapasitesidir. Ancak, kabarcıklı yataklarda olduğu gibi topaklanma söz konusudur. Yüksek alkali içerikli yakıtlar parçacıkların yatak içinde topaklanmasına sebep olur ve bunun sonucunda sistem akışkan özelliğini yitirir. Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırıcılar ısıl gücü

10MW'dan yüksek yakıt üretimi için daha uygundurlar. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcılar ile karşılaştırıldığında içerdiği ilave avantajlar sayesinde yüksek bir gaz kalitesi sağlamaktadır [37].

- •Bu sistemlerde kapasitenin üst limiti yoktur. Kapasite tamamen biyokütle veya yerel enerji ihtiyacının kullanımına göre tespit edilebilir.
- Gazlaştırma ajanı genellikle atmosferik basınçta ki havadır, fakat 100MW'dan dahabüyük gaz türbinlerinde basınçlı gazlaştırma avantajlı olabilecektir.
- Düşük sıcaklıktan dolayı (850°C civarında) tam yanma olmaması ve az miktardaki kül içeriği tehlikelidir.



Şekil 4.9. Dolaşımlı akışkan yatak sistemi

Çizelge 4.3. Akışkan yataklı gazlaştırıcı ile sabit yatak gazlaştırıcı karşılaştırılması [38]

Sınıf	Tip	Güclü/zayif Tarflar	Enerji üretimi
Sabit Yatak	Aşağı Akışlı	Düşük ısıl değeri Orta boyutta partikül Düşük seiyede katran	Küçük-Orta ölçekli
	Yukarı Akışlı	Yüsek ısıl değeri Orta boyutta partikül Yüksek seviyede katran	
	Karışıt Akışlı	Düşük ısıl değeri Orta boyutta partikül Yüksek seviyede katran	
Akışkan yatak	Kabarcıklı	Sabit yatağa göre yüksek hızda ürün eldesi	Orta Ölçekli
	Dolaşımlı	Geliştirilmiş kütle ve ısı transferi Daha yüksek verim Daha yüksek ısıl değerli gaz	

Çizelge 4.4. Genişletilmiş gazlaştırıcı karşılaştırması [38]

	Sabit Yatak			Akışkan yatak	
	Yukarı Akışlı	Aşağı Akışlı	Karşıt Akışlı	Kabarcıklı	Dolaşımlı
Reaksiyon sıcaklığı(ºC)	1000	1000	900	850	850
Gaz çıkış sıcaklığı(ºC)	250	800	900	800	850
Yakıt kapasitesi(t/h)	10	0.5	1	10	20
Elektrik kapasitesi(MWe)	1-10	0.1-20	0.1-2	1-20	2-100

Çizelge 4.5. Kömür ve biyokütle açısından gazlaştırıcı karşılaştırması[39]

	Akışkan yataklı gazlaştırıcı		**Sabit yataklı gazlaştırıcı**	
	Kömür	Biyokütle	Kömür	Biyokütle ve atıklar
Çalışma Sıcaklığı	900-1200°C	750-850°C		850°C
Çıkış sıcaklığı	800900°C		Düşük çıkış sıcaklığı	500-600°C
Besleme boyutu	0,5-3,0 mm	0,2 cm		
Sıcak gaz verimi	%90-95	%90-95	Yüksek gazlaştırma verimi	
Tasarım ve Çalıştırma	Daha yüksek üretim kapasitesi	Yüksek üretim kapasitesi, yüksek reaksiyon hızı, üretilen gazda yüksek parçacık seviyesi	Düşük oksijen gereksinimi, dolayısıyla kükürdün ayrımı aşamasında daha az maliyet	
Karbon dönüşüm verimi	Genellikle %99			%99
Gereksinimler	Geniş yakıt aralığı, düşük yoğunluklu biyokütlenin gazlaştırılabilmesi, gaz kalitesi kontrolünün zorluğu	Daha küçük boyut, az yoğunluk ve farklı biçimde olan beslemenin işlenebilmesi, kabul edilebilir karışım yoğunluğu için daha düşük limitlerin ayarlanabilmesi daha olasıdır	Yüksek kömür partikül gereksinimi	Geniş, yoğun, düzgün yakıt boyut gerekliliği, yüksek yakıt işleme maliyeti

Çizelge 4.6. Gazlaştırıcı kapasite karşılaştırması[40]

Gazlaştırıcı Tipi	Kapasite
Aşağı Akışlı Sabit Yatak	1 kW-1 MW
Yukarı Akışlı Sabit Yatak	1,1 MW-12 MW
Kabarcıklı Akışkan Yatak	1 MW-50 MW
Sirkülasyonlu Akışkan Yatak	10 MW-200 MW

5. DENEYSEL VE TASARIM ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında gazlaştırma özellikleri incelenecek olan biyokütleler üzerinde laboratuvar ve deneme çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, ülkemizde yaygın olarak bulunabilen prina, ayçiçeği kabuğu, küspe, ağaç talaşı, fıstık kabuğu, ceviz kabuğu ve arıtma çamuru olmak üzere yedi farklı biyokütle kullanılmıştır.

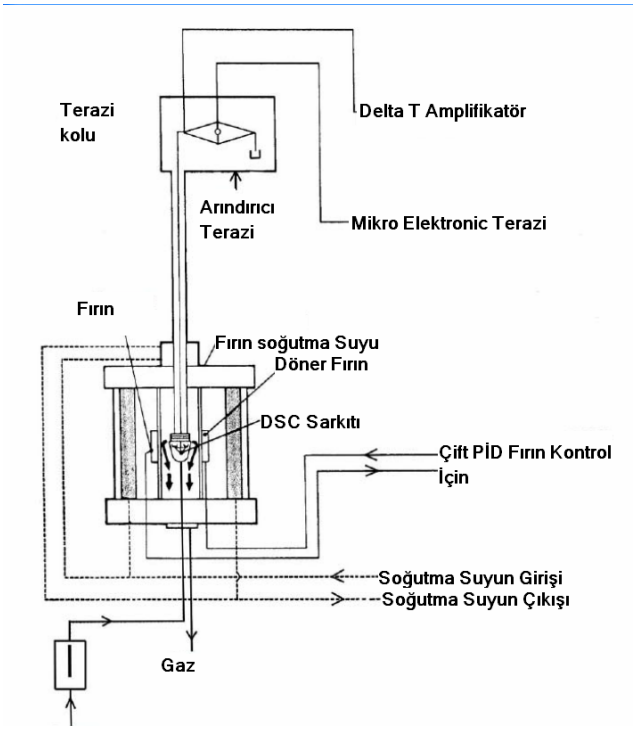
Biyokütleler üzerinde herbirine ait gazlaşma özelliklerinin belirlenebilmesi için Eşzamanlı Termal Analizler (STA) gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucu elde edilen gazlaşma özellikleri, model ölçülerinin, ve işletme şartlarının belirlenmesinde yol göstermiştir. Ayrıca biyokütlelerin altyapısının oluşturulmasında bir envanter elde edilmektedir.

Deneysel çalışmada STA analizleri yapılan numuneler ilk model üzerinde 10, 15 ve 20 kg/h lik yakıt besleme debilerinde gazlaşma ve yakma deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen STA analiz sonuçları ve ön deneylerin sonuçları ile yeni bir döner tipte gazlaştırıcı sistem tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

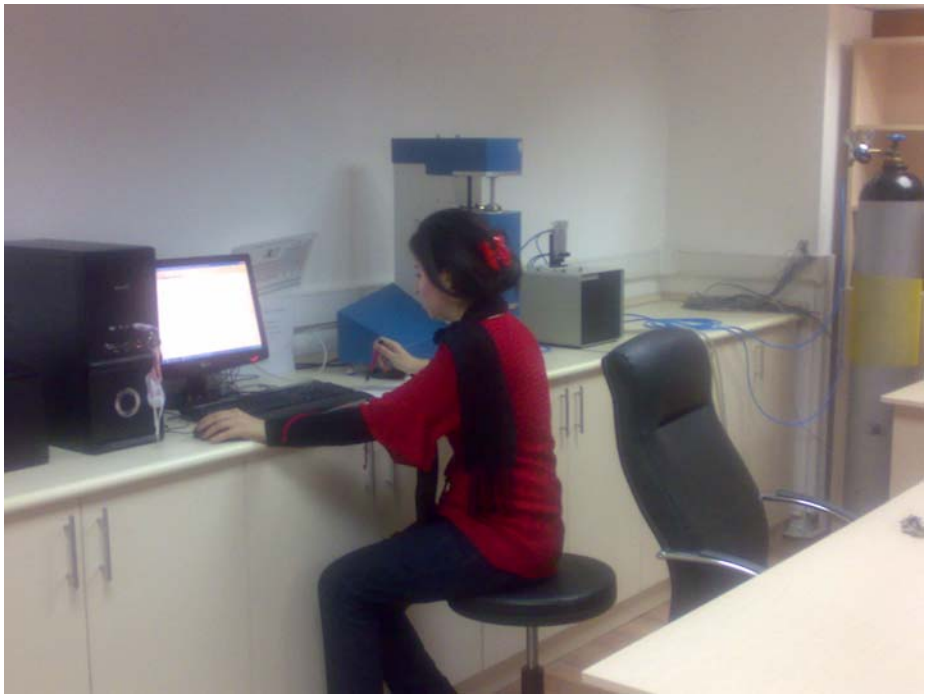
5.1. STA Deney Yöntemi ve Biyokütle Analizleri

Eşzamanlı termal analizler için Laboratuvarımızda bulunan N1000 model Scinco Marka STA 1000 Model bir cihaz kullanılmıştır(Şekil x). Bu deney düzeneğinde Pt-Rh alaşım termik çift sıcaklık ölçümlerinde kullanılmıştır. Deneylerde biyokütle numuneleri Pt bir silindirik hücreye yerleştirilerek çalışılmıştır.





Şekil 5.1. STA Cihazı çalışma prensibi ve sistem elemanları



Şekil 5.2. STA Deney düzeneği ve çalışmaya bir örnek

STA deneylerinde kullanılan deney prosedürü aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

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

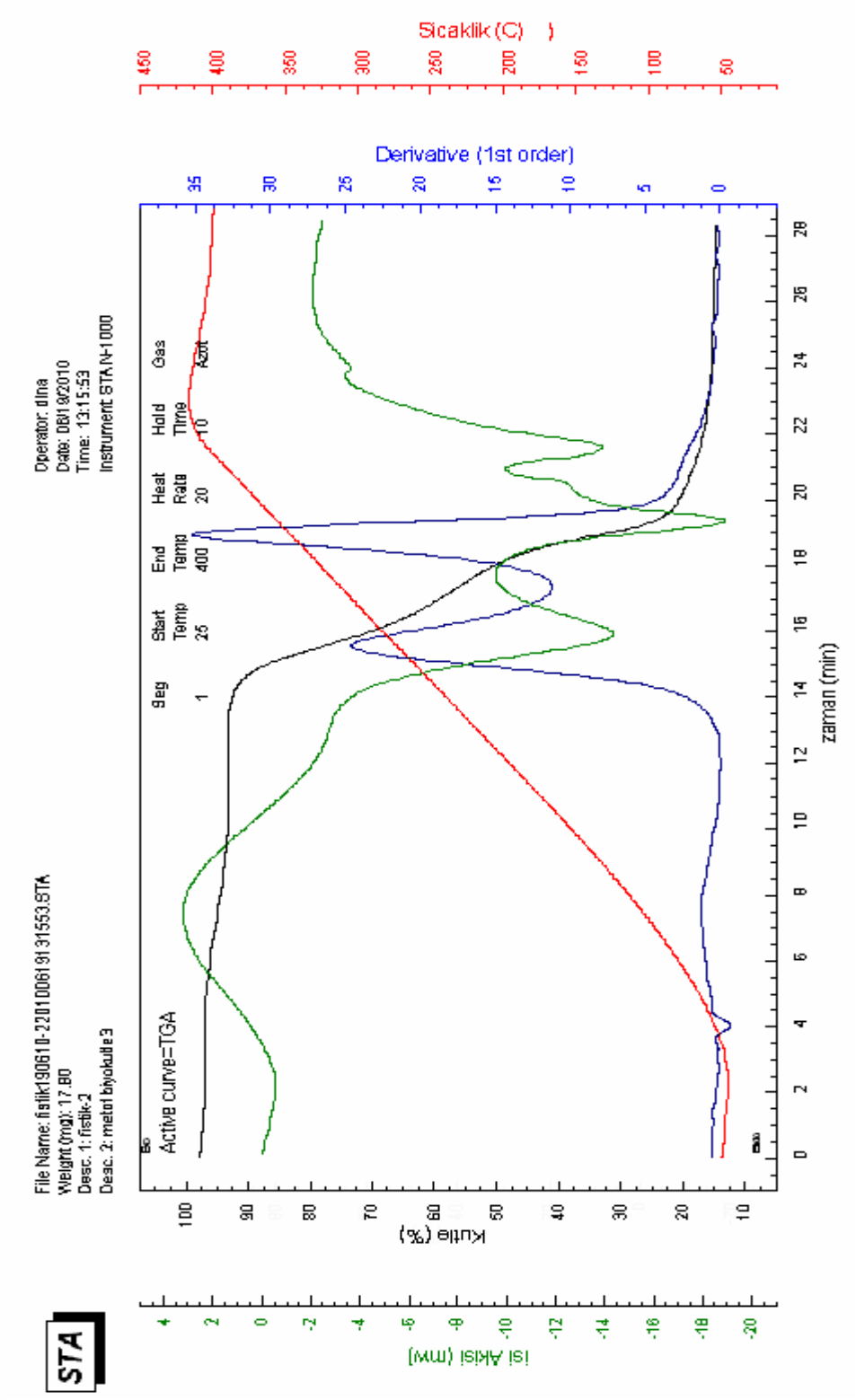
i) Terazi kefeleri dengeli ve yerinde ise plaka alınır ve asansör indirilir. Asansör her iki biçimde işlem tamamlandığında düğmesi orta konuma getirilir.

Tesisten alınan örneklerden ceviz kabuğu ile yapılan STA analizleri kısaca aşağıdaki sonuçları vermektedir. Bunlar,

Aşağıda STA analizleri yapılan biyokütlelere ait termogravimetrik analiz sonuçları verilmiştir.

5.1.1. Fıstık kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri

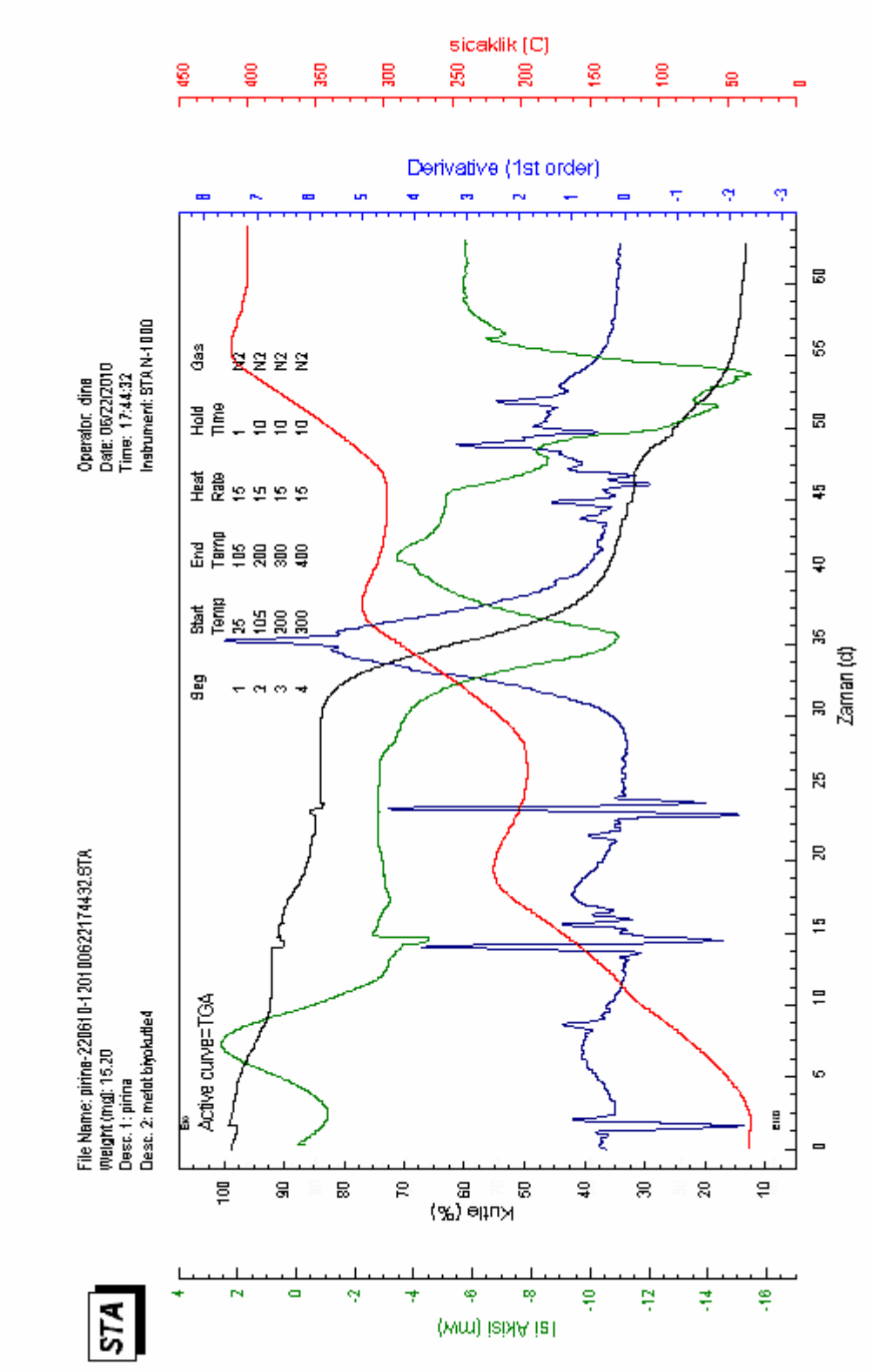
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 120 °C'de yaklaşık % 6 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- Kütle kaybı olarak en büyük salınım 14. dakika ve 240 °C de oluşmaya başlamıştır. 22. dakika ve 400 °C de kütle salınımı tamamlanmıştır. Genel olarak gazlaşma süresi 8 dakika ile sınırlı olup gazlaşma işlemi sonucunda % 14 civarında kül kalmıştır.
- Şekil 5.3'de yeşil çizgi ile gösterilen fırın enerji akısı incelendiğinde oluşan reaksiyonların kütle kayıpları sırasında enerji açığa çıktığını yani oluşan reaksiyonların egzotermik olduğunu göstermektedir.
- Sıcaklık artışına göre piroliz ürünleri paralel olarak oluşmuştur.
- Salınımlar 275-350 °C arasında 20 °C/dk ısınma hızında elde edilmiştir.
- Gazlaştırma ürünleri (kül ve uçucular) 400°C de gerçekleşmiştir.



Şekil5.3. Fistık kabuğu kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.2. Prina numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri

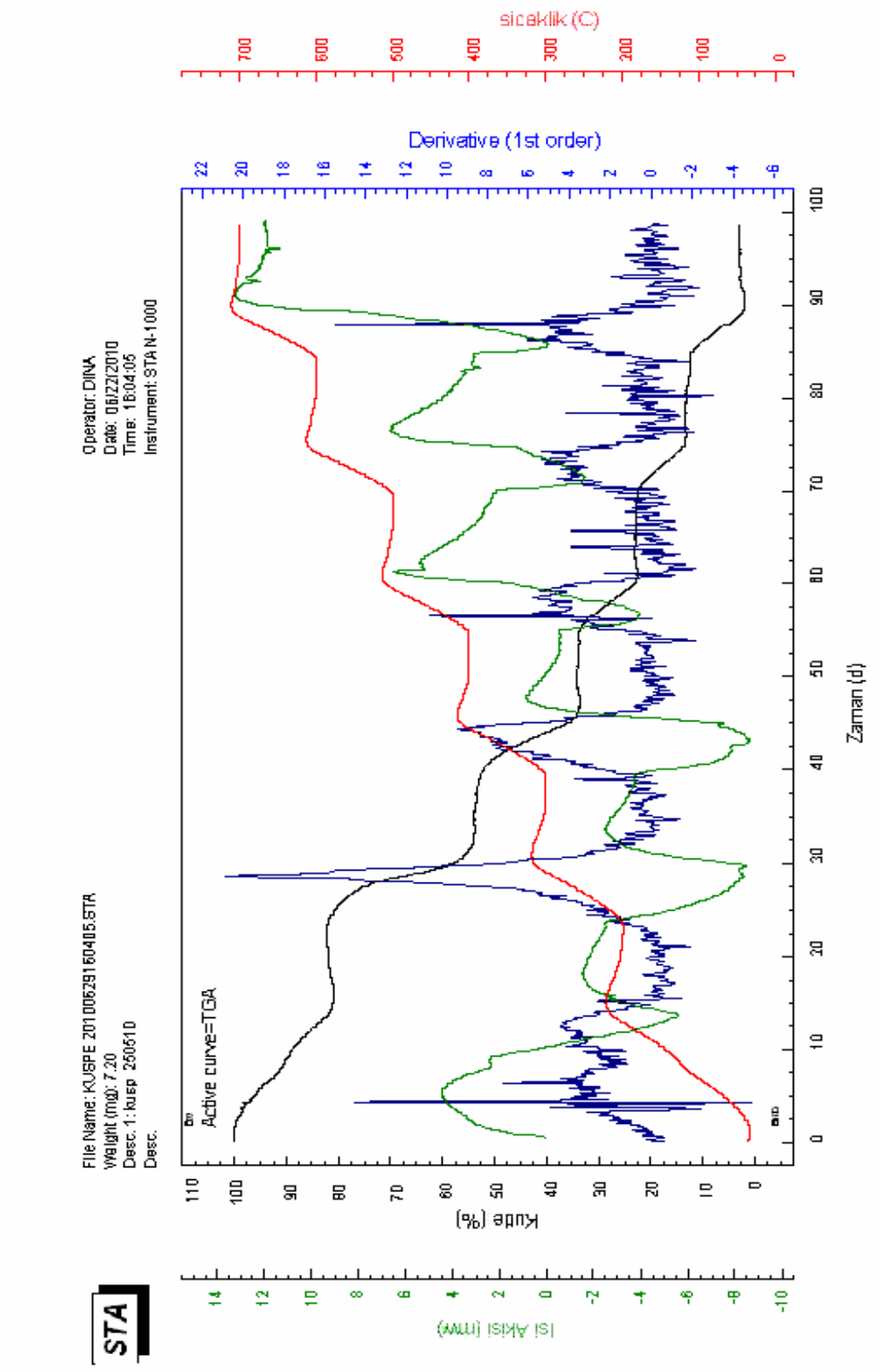
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 100 °C'de yaklaşık % 9 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk salınımlar yaklaşık kütlesel yüzde olarak %5 lik bölümü 105-200 °C arasında 15 °C/dk ısınma hızında elde edilmiştir.
- Sıcaklık artışına göre piroliz ürünleri sırasıyla oluşmuştur.
- Deneyin 30-45. dakikaları arasısında ve 200 C ile 300 C sıcaklık bölgesinde yaklaşık % 70 lik gazlaşma ürünleri salınmıştır. Kütleden oluşan gazlaştırma ürünleri 400°C sıcaklıkta ve 60 dk içerisinde tamamen gerçekleşmiştir. Süre sonunda kütlesel olarak % 12 kül kalmıştır.
- Fırın enerji akısı incelendiğinde kütle kayıplarından enerji açığa çıktığı anlaşılıyor. Bu süreçte egzotermik reaksyonlar oluşmaktadır.



Şekil 5.4. Pirna kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.3. Küspe numunesi ile yapılan tga analizleri

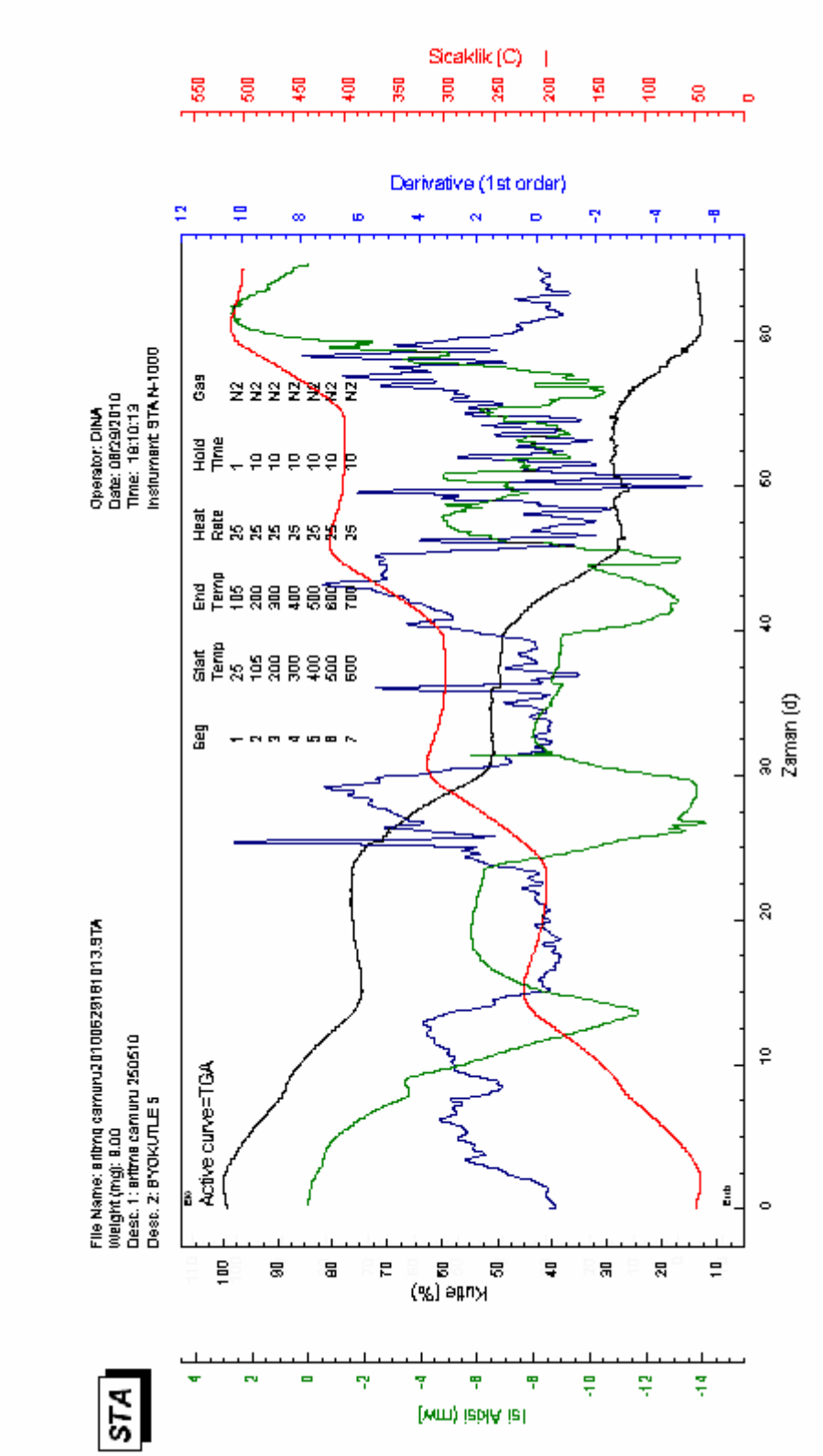
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 200°C'ye kadar düzenli olarak yaklaşık %20 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk salınımlar 200-300 °C arasında 25 °C/dk ısınma hızında kütlesel olarak % 15 elde edilmiştir.
- Sıaklık artışına göre piroliz ürünleri sıralı olarak oluşmuştur.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamı 700°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 90 dakika içerisinde gerçekleşmiştir.
- Şekil 5.5'de yeşil çizgi ile gösterilen fırın enerji akısı incelendiğinde oluşan reaksiyonların kütle kayıpları sırasında enerji açığa çıktığını yani reaksiyonların egzotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklık artışlarında ise sistemin hariçten enerji aldığı ve ısıtıldığı görülmüştür.



Şekil 5.5. Küspe kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.4. Artma çamuru ile yapılan tga analizleri

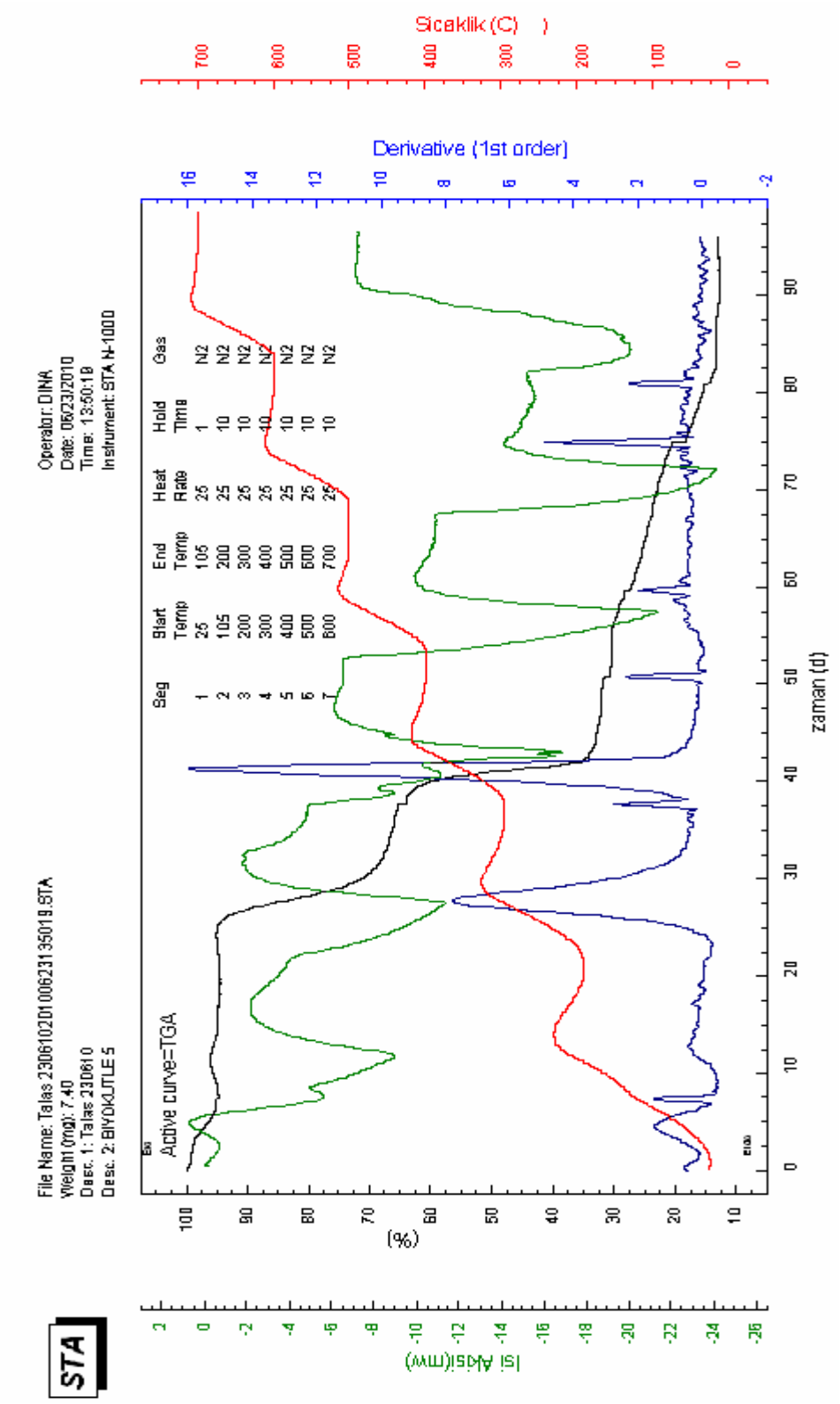
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 105 °C' de yaklaşık % 10 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk salınımlar 105-200 °C arasında 25 °C/dk ısınma hızında elde edilmiştir.
- Sıaklık artışına göre piroliz ürünleri paralel olarak oluşmuş.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 500°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 60 dakika içerisinde gerçekleşmiştir.
- Fırın enerji akışı kütle kütle kayıplerinde enerji açığa çıkıyor yani egzotermik reaksyon oluşuyor.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 500°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 60 dakika içerisinde gerçekleşmiştir. Hızlı sıcaklık şartlarına ulaşım ile gazlaşma ürünlerinin çok büyük bir bölümünün yaklaşık 500°C de salınabileceği anlaşılmıştır.
- 400°C ve üzerindeki sıcaklık bölgesinde farklı gaz salanımları ile karşılaşılmıştır. Atık madde içerisindeki homojensizlikler buna neden olmaktadır.



Şekil 5.6. Arıtma camuru kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.5. Talaş numunesi üzerinde yapılan tga analizleri

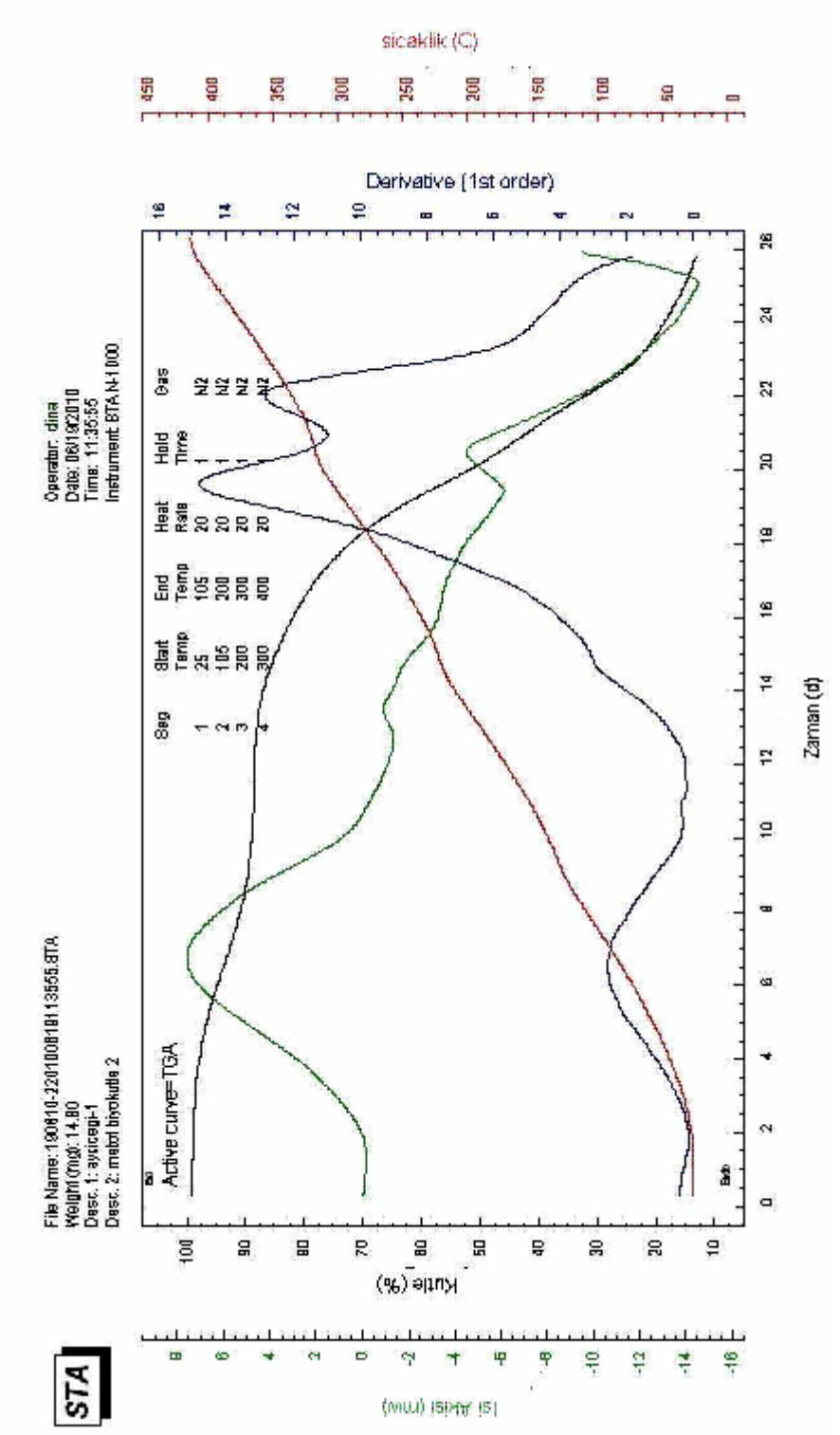
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 200 °C' de yaklaşık % 5 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk dakalarda 5 dk civarlarında 50°C'de salınımlar başlamış, 25°C/dk ısınma hızında elde edilmiştir.
- Sıaklık artışına göre piroliz ürünleri paralel olarak oluşmuş.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 600°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 85 dakika içerisinde gerçekleşmiştir.
- Fırın enerji akışı kütle kütle kayıplerinde enerji açığa çıkıyor yani egzotermik reaksyon oluşuyor.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 600°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 80 dakika içerisinde gerçekleşmiştir. Hızlı sıcaklık şartlarına ulaşım ile gazlaşma ürünlerinin çok büyük bir bölümünün yaklaşık 600°C de salınabileceği anlaşılmıştır.



Şekil 5.7. Talaş kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.6. Ayçiçeği kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri

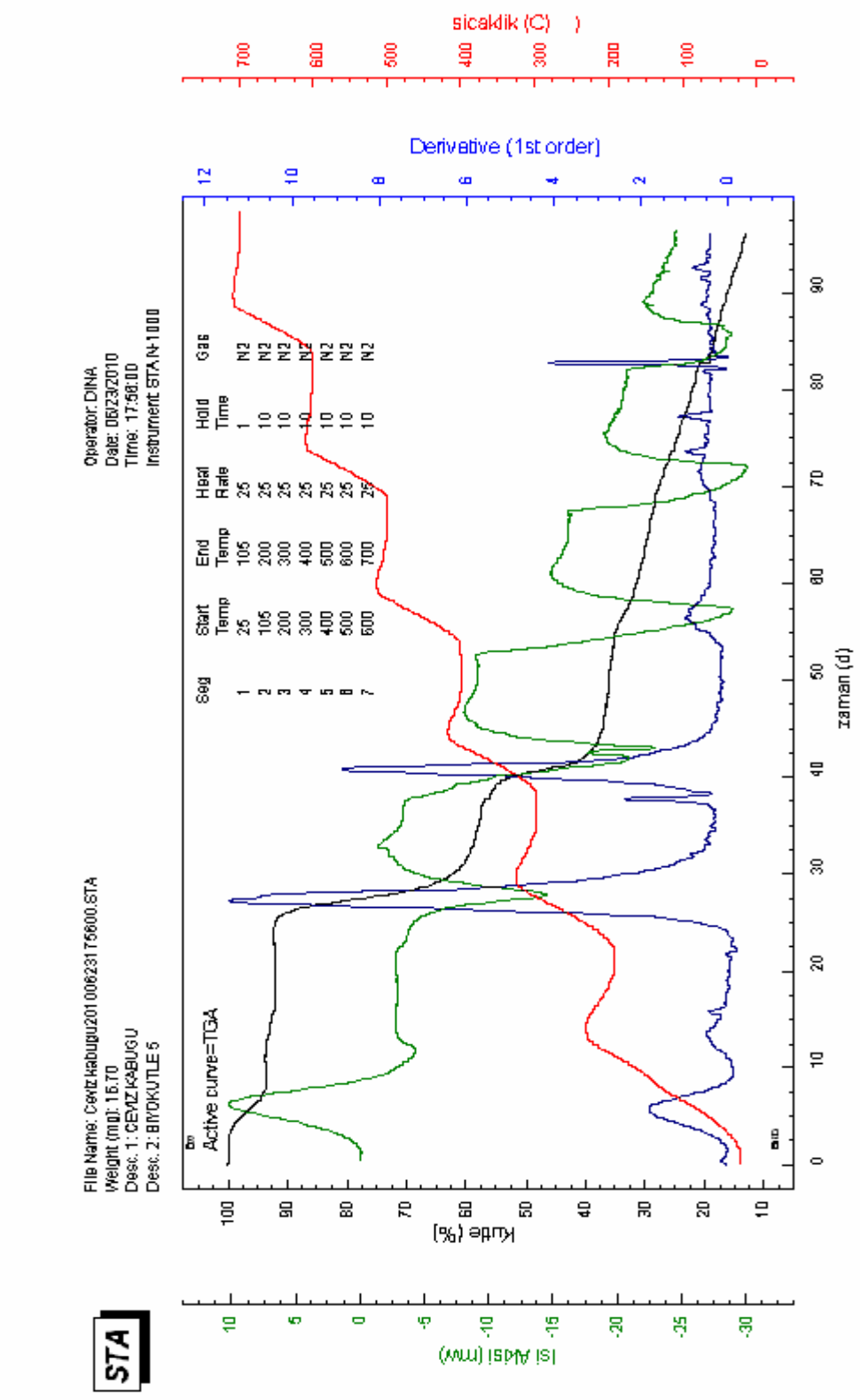
- Kaba nemi alınmış olan numuneden 200 °C' de yaklaşık % 6 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk salınımlar 250-300 °C arasında 20 °C/dk ısınma hızında elde edilmiştir.
- Sıaklık artışına göre piroliz ürünleri paralel olarak oluşmuş.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 400°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 25 dakika içerisinde gerçekleşmiştir.
- Fırın enerji akışı kütle kütle kayıplerinde enerji açığa çıkıyor yani egzotermik reaksyon oluşuyor.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 400°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 25 dakika içerisinde gerçekleşmiştir. Hızlı sıcaklık şartlarına ulaşım ile gazlaşma ürünlerinin çok büyük bir bölümünün yaklaşık 400°C de salınabileceği anlaşılmıştır.
- 400°C ve üzerindeki sıcaklık bölgesinde farklı gaz salanımları ile karşılaşılmıştır. Atık madde içerisindeki homojensizlikler buna neden olmaktadır



Şekil 5.8. Ayçiçeği kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.1.7. Ceviz kabuğu numuneleri üzerinde yapılan tga analizleri

- Kaba nemi alınmış olan numuneden 105 °C' de yaklaşık % 7 civarında kalan nem numuneyi terk etmiştir.
- İlk dakalarda 5 dk civarlarında 50°C'de salınımlar başlamış, 25°C/dk ısınma hızında elde edilmiştir. Yaklaşık %10 civarında kütle salınımı oluşmuştur.
- Sıaklık artışına göre piroliz ürünleri paralel olarak oluşmuş.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 700°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 95 dakika içerisinde gerçekleşmiştir.
- Fırın enerji akışı kütle kütle kayıplerinde enerji açığa çıkıyor yani egzotermik reaksyon oluşuyor.
- Kütleden oluşan gazlaşma ürünlerinin neredeyse tamamının 700°C sıcaklık şartlarına kadar toplam 95 dakika içerisinde gerçekleşmiştir. Hızlı sıcaklık şartlarına ulaşım ile gazlaşma ürünlerinin çok büyük bir bölümünün yaklaşık 700°C de salınabileceği anlaşılmıştır.



Şekil 5.9. Ceviz kabuğu kullanılarak yapılan STA analiz sonucu

5.2. Gazlaştırıcı Tasarımı

Yapılan ön deneyler sonucunda elde edilen biyokütlelere ait termal özellikler kullanılarak bir küçük ölçekli laboratuvar tipi döner sistemli gazlaştırma ünitesi tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

Protopip imalatı yapılmadan önce istenen parametreler doğrultusunda bir özgün tasarım yapılmıştır. Bu tasarım Solidworks 2010 versiyonu bir katı model çizim ve similasyon programı kullanılarak oluşturulmuştur.Bu deneylerde prine kullanıldı,prine'nin kaba ve elementer analizler çizelge 5.1'de verilmiştir.

Tasarıma esas olan parametreler aşağıda Çizelg 5.2'de verilmiştir.

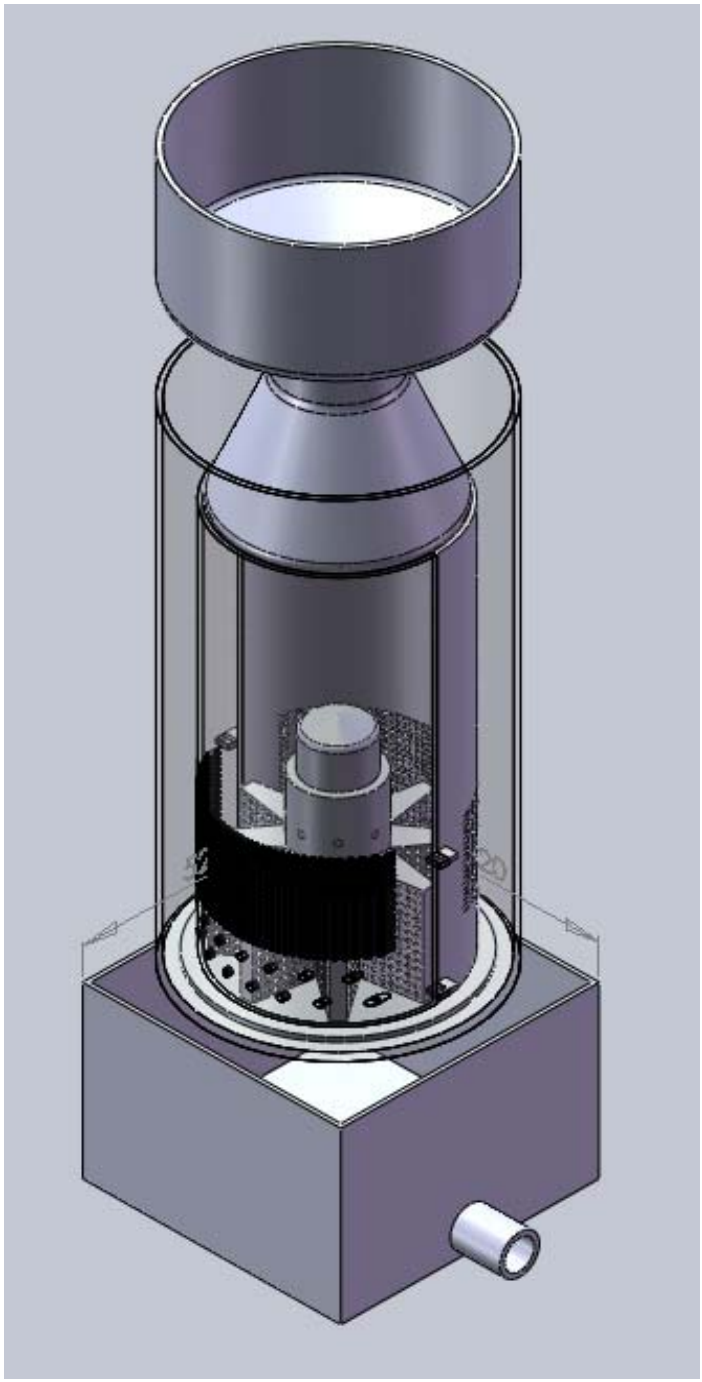
Çizelge 5.1. Prine'nin kaba ve elementer analizleri

Kaba analiz	C	V	A	W	H_o(kj/kg)	Hu (kj/kg)
	15,64	68,82	9,01	6,53	1,813	19,600
Elementer asnsliz	C	H	N	O	S	A
	46,80	6,07	0,68	36,69	0,12	9,64

Çizelge 5.2. Tasarım kriterleri

Tasarım Kriterleri		**Prototip**	**Model**
Isıl kapasite	kW	100	1000
Yakıt kapasitesi	kg	50	500
Yakıt tüketimi	kg/h	20	200
Gazlaştırıcı çapı	m	0,40	1,00
Reaktör çapı	m	0,80	1,40
Hava miktarı	m^3/h	100	400

Yapılan tasarıma ait imalat çizimleri ve yapılan imlata ait bazı resimler Ek 1'de verilmiştir. Aşağıda Şekil 5.10'de ise gazlaştırıcı sisteme ait montaj resmi görülmektedir.



Şekil 5.10 Tasarımı yapılan döner tipte gazlaştırıcı üniteye ait montaj resmi

Tasarımı yapılan sisteme ait imalat resimleri ve imalata ait bazı fotoğraflar Ek 1'de verilmiştir.

5.3. Ön Deneyler ve Deney Sonuçları

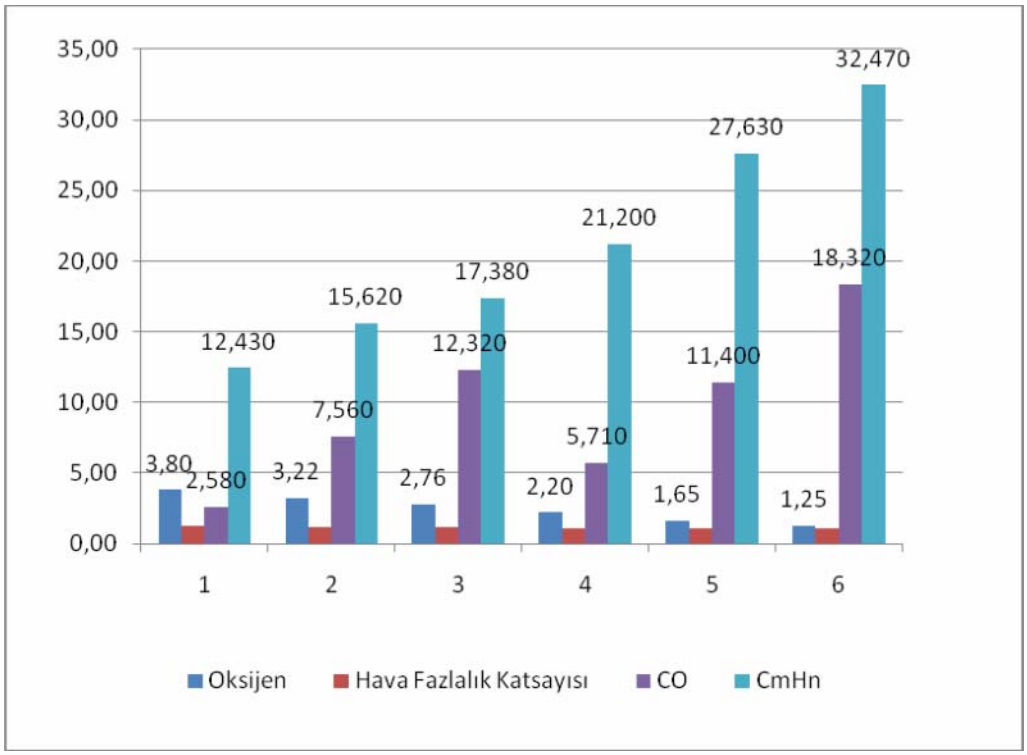
Deneysel çalışma için ilk model üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Oksijenli ortamda yapılan deney sonuçları aşağıda tablo ve grafik ile verilmiştir. Biyokütle yükleme değeri olarak sistemde 10, 15 ve 20 kg/h lik deneyler yapılmıştır. Farklı yükleme değerleri için yine farklı hava fazlalık katsayıları ile çalışılmaya özen gösterilmiştir. Elde edilen en uygun deney sonuçları olarak 6 deney seti sonucu Tablo5.2. ve Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde farklı hava fazlalık katsayısındaki aynı yakıt yüklerinde elde edilen gaz kosantrasyonlarının sırasıyla değişimleri görülmektedir. Hava fazlalık katsayısının azaltılması sonucu CO ve hidrokarbon oluşumlarının oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan deneyler bir döner sistemli gazlaştırma ve yakma ünitesine aittir. Yapılan ön deneylerde kullanılan ilk model resimleri Ek 1'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Döner reaktörlü sistemde deney sonuçları

Deney Numarası	**O_2**	**n**	**M_y**	**CO**	**C_mH_n**	**Hu cal\kg**
#	**%**	/	**kg/h**	**%**	**%**	
1	3,80	1,22	10,00	2,580	12,430	31,93
2	3,22	1,18	15,00	7,560	15,620	46,81
3	2,76	1,15	20,00	12,320	17,380	89,39
4	2,20	1,12	10,00	5,710	21,200	80,05
5	1,65	1,09	15,00	11,400	27,630	96,16
6	1,25	1,06	20,00	18,320	32,470	96,43

Sırasıyla hava fazlalık katsayısındaki azalma ile CO ve C_mH_n oluşumları incelendiğinde yakıt yükü artışı ile CO için % 121, 50 ve 48 elde edilmiştir. C_mH_n için ise % 70, 76 ve 82 artışlar elde edilmiştir.



Şekil 5.11.Deneylerde elde edilen baca gazı konsantrasyonları

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan ön deneyler sonucunda elde edilen biyokütlelere ait termal özellikler kullanılarak bir küçük ölçekli laboratuvar tipi döner sistemli gazlaştırma ünitesi tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Protopip imalatı yapılmadan önce istenen parametreler doğrultusunda bir özgün tasarım yapılmıştır. Bu tasarım Solidworks 2010 versiyonu bir katı model çizim ve similasyon programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Gazlaştırma özellikleri incelenmek üzere ülkemizde bol bulunan bazı biyokütleler belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda, prina, ayçiçeği kabuğu, küspe, ağaç talaşı, fıstık kabuğu, ceviz kabuğu ve arıtma çamuru olmak üzere yedi farklı biyokütle kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, biyokütleler üzerinde herbirine ait gazlaşma özelliklerinin belirlenebilmesi için Eşzamanlı Termal Analizler (STA) gerçekleştirilmiştir. Eşzamanlı termal analizler, N1000 model Scinco Marka STA 1000 Model bir cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda herbir biyokütlenin gazlaşma sürecinde gerekli işletme şartları ortaya konmuştur.

Gazlaşma özellikleri incelendiğinde optimum çalışma reaktör sıcaklık aralıkları: ağaç talaşında 200-400°C, prina için 200-300°C, ceviz kabuğu için 200-400°C, fıstık kabuğu için 200-400°C, ayçekirdeği için 50-350°C, küspe için 100-700°C ve arıtma çamuru için 100-500°C olarak deneysel olarak belirlenmiştir.

Biyokütle gazlaştırma çalışmalarında elde edilen sonuçlar bakımından incelendiğinde en uygun sıcaklık artışı olarak 25 °C/dk kullanılmıştır.

Sistem ısıl kapasitesi olarak 100 kW belirlenmiştir. Bu kapasiteyi karşılayacak bir prototip imal edilmiştir. Ön deneyler sonucu elde edilen gazlaşma ürünlerinin düşük hava fazlalık katsayılarında çalışma şartlarındaki değişimleri deneysel olarak gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. **BIOMASS Green energy for Europe**, European Communities, 2005, http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.htm,15Oct 2005.
2. **Spivey, J.J.**, 2005. Catalysis in the development of clean energy technologies, *Catalysis Today* **100**, 171-180.
3. **Quaak, P., Knoef H. and Stassen, H.**, 1999. Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies, World Bank Technical Papers Energy Series, WTP 422, Washington, USA.
4. 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).
5. Gil, Javier, Corella, José, Azner, María P., Caballero, Migel A., "Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidised bed: Effect of the type of gasifying agent on the product distribution", ***Biomass and Bioenergy,*** 17: 389-403 (1999).
6. Zevenhoven-Onderwater, Maria, Backman, Rainer, Skrifvars, Bengt -Johan, Hupa, Mikko,"The ash chemistry in fluidised bed gasification biomassfuels. Part I: Predicting the chemistry of melting ashes and ash bed materialinteraction", ***Fuel,*** 80: 1489-1502 (2001).
7. 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 behavior prediction versus bench scale agglomeration tests." ***Fuel,*** 80: 1503-1512 (2001).
8. Franco, C., Pinto, F., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., "The study of reactions influencing the biomass steam gasification process", ***Fuel,*** 82: 835-842 (2003).
9. 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).
10. Dowaki, K., Mori, S., "Biomass Energy Used in a Sawmill", ***Applied Energy,*** 80: 327-339 (2005).
11. 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).

12. Asadullah, M., Miyazawa, T., Ito, S., Kunimori, K., Yamada, M., Tomishige, K., "A Comparison of Rh/CeO2/SiO2 Catalysts With Steam Reforming Catalysts, Dolomite and Inert Materials as Bed Materials in Low Throughout Fluidized Bed Gasification Systems" ***Biomass and Bioenergy,*** 26***:*** 269-279 (2004).

13. Jayah, T.H., Aye, L., Fuller, R.J., Stewart, D.F., "Computer Simulation of a Downdraft Wood Gasifier for Tea Drying" ***Biomass and Bioenergy,*** 25: 459- 469 (2003).

14. 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).

15. Necdet, P.A.," Dünyada ve Türkiye'de Enerji ,Türkiye'nin Enerji kaynakları ve Enerji politikaları", 6-3 Mayıs (2003) .

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

17. İnternet : İstanbul Teknik Üniversitesi "Türkiye'de Enerji ve Gelecegi, _İTÜ Görüsü" http://www.energy.itu.edu.tr/iTUOnerileri.pdf (2007).

18. *Karadağ,Ç., Gülsaç,I., Ersöz,A,.Çakan,M.,* "Yenilenebilir Enerji Kaynakları", ***Bilim ve Teknik***, Mayıs, 2009.

19. Gençoğlu, M.T.,"Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi"

20. 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).

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

22. Acaroglu, M., Ültanır, M. Ö., "Türkiye'de biyokütle enerji potansiyeli ve degerlendirilmesi", ***Türkiye'de 8. Enerji Kongresi***, Cilt II, 161-172, Ankara (2000).

23. Özer, Z., "Bitkilerdeki Gizli Güç Biyokütle Enerjisi", ***Bilim ve Teknik,*** *342*, 56-61 (1996).

24. İnternet :**www.seas.columbia.edu/earth/kleinthesis.pdf**

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

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

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

28. Mançuhan, Ç. "Mühendisçe Yakma Yerine neden Galaştırma",Su ve Çevre Teknolojileri dergisi, sayı 6 (2006).

29. Rajvanshi, A. K. "Biomass Gasification", Alternative Energy in Agriculture, Vol. II, Ed. D. Yogi Goswami, CRC Press, 1986, pgs. 83-102

30. Canel, Muammer, "Kömürlerin Gazlastırılması" ***Madencilik***, 25(2): 35 (1986).

31. Personal interview with Jose Maria Sanchez

32. Basu, P.: "*Combustion and Gasification in Fluidized Beds*", CRC Press, Taylor & Francis Group, USA, (2006).

33. Topal,M., Arsalan,E.I.,"BIYOKÜTLE ENERJİSİ VE TÜRKİYE" ***VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,*** İstanbol**,**241-248(2008)

34. Solo,M.K.: "Review Of Finnish biomass gasification technologies", *OPET Report 4*,Technical Research Centre of Finland, Finland, (2002).

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

36. Internet: **http://www.isimek.com.tr**

37. Internet: **www.eie.gov.tr**

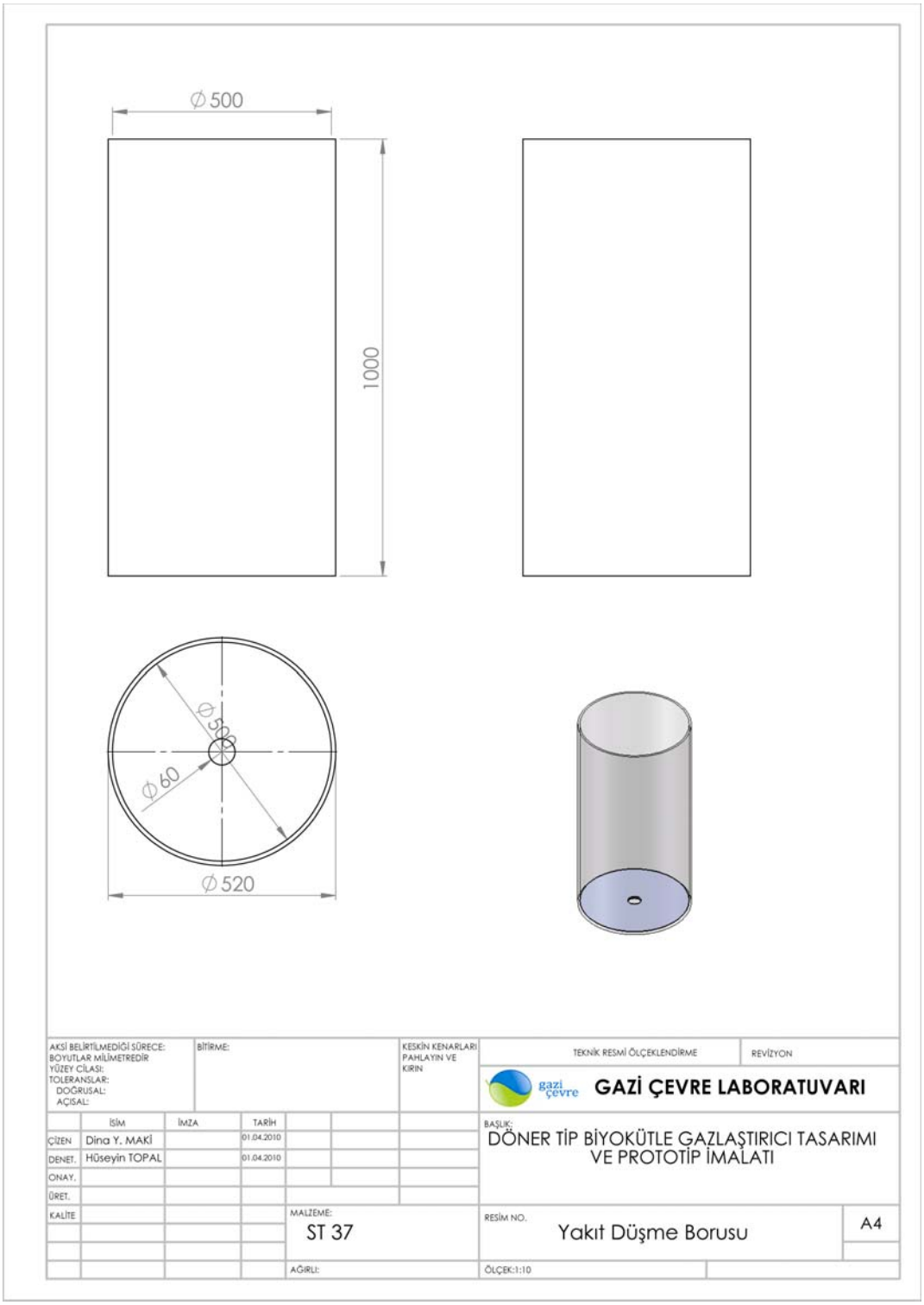
38. Internet:**http://www.mrac.ca/files/pdfs/2004_Bibeau_mrac.pdf**

39. Internet:**www.igcc.uniessen.de/introduction/gasification/powerplanttech.html**

40. Internet:**www.seas.columbia.edu/earth/kleinthesis.pdf**

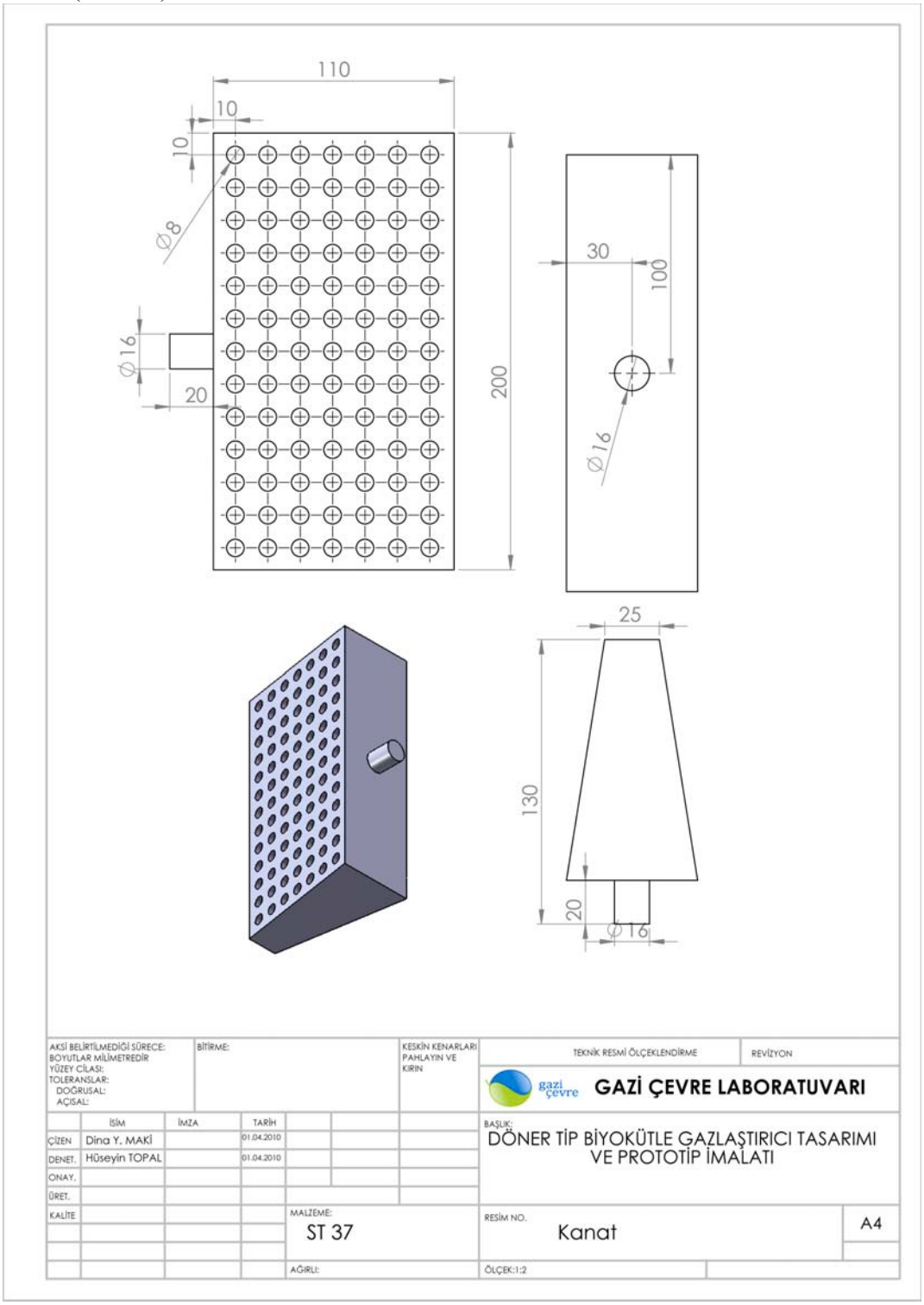
EKLER

EK-1.Tasarım resimleri



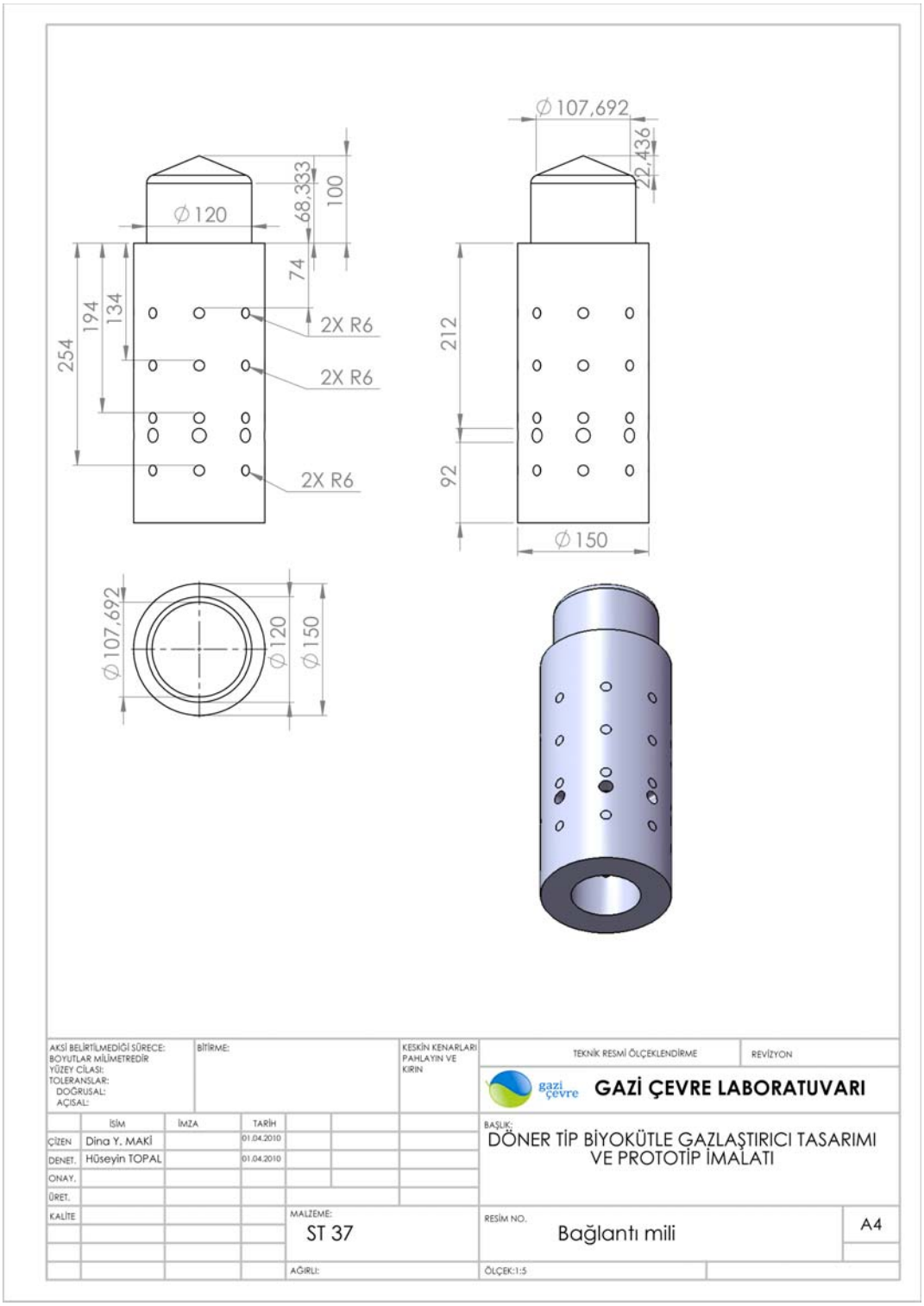
Yakıt düşme borusu imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



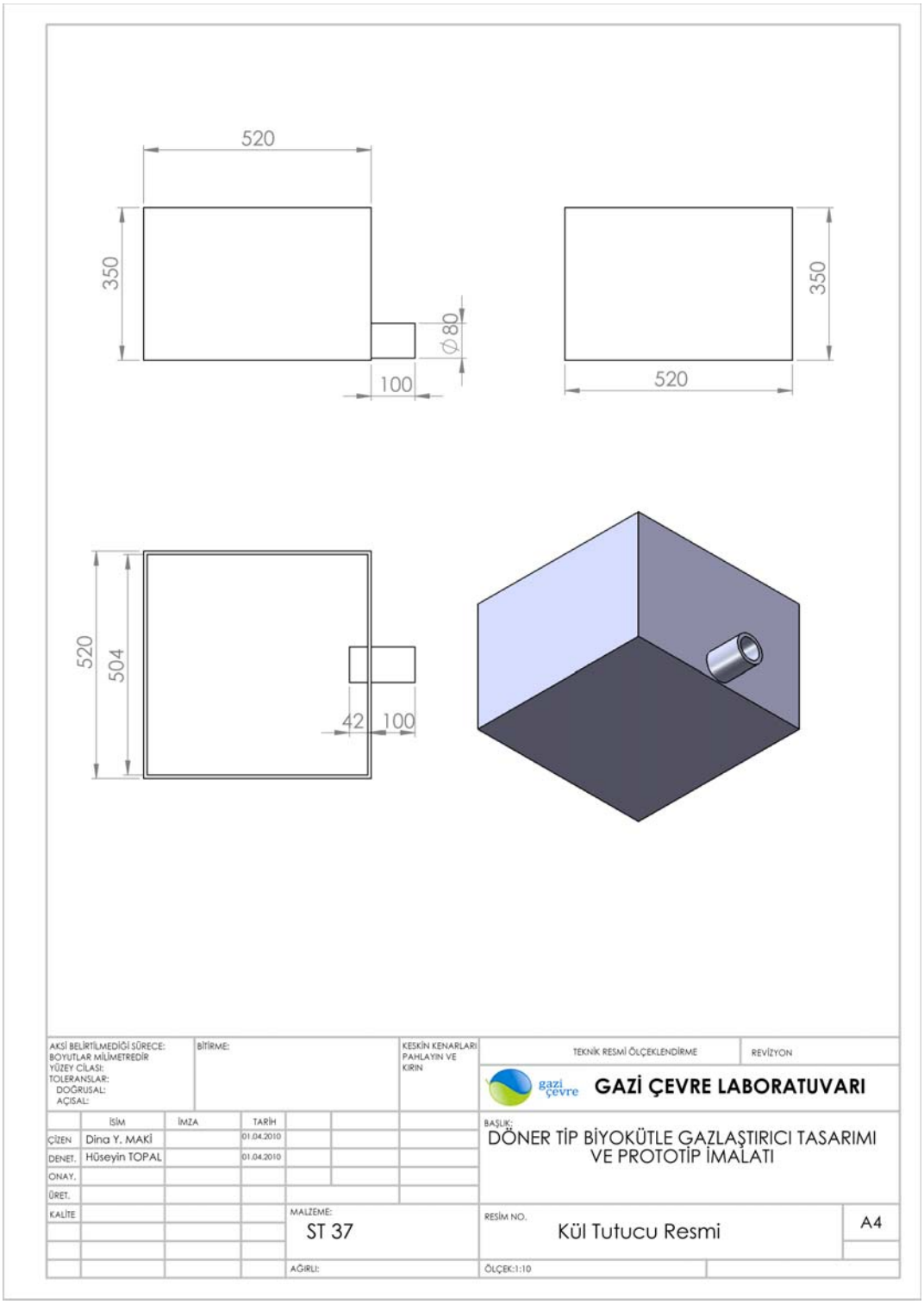
Kanat imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



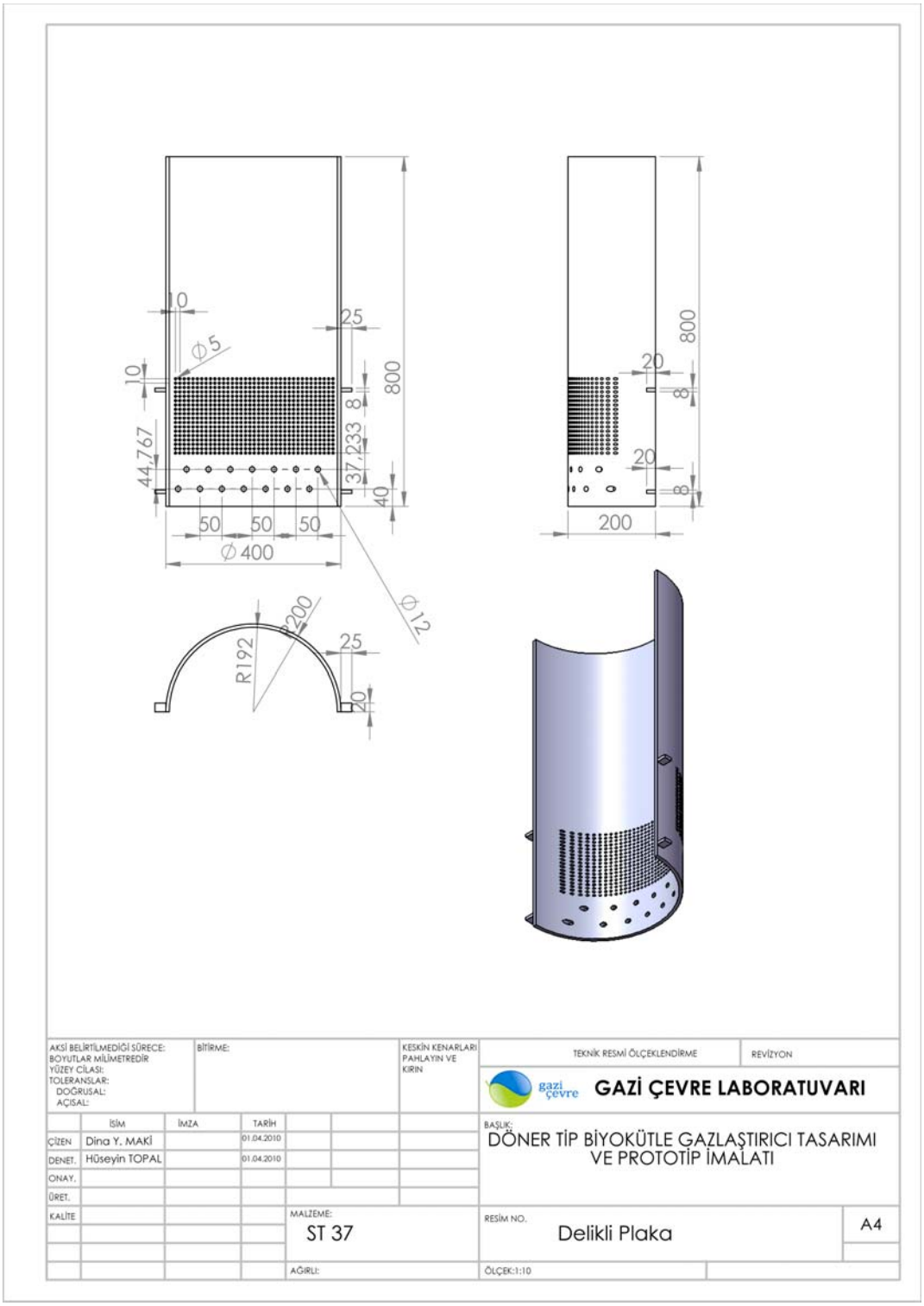
Kanatların takılacağı hava kanallı mil imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



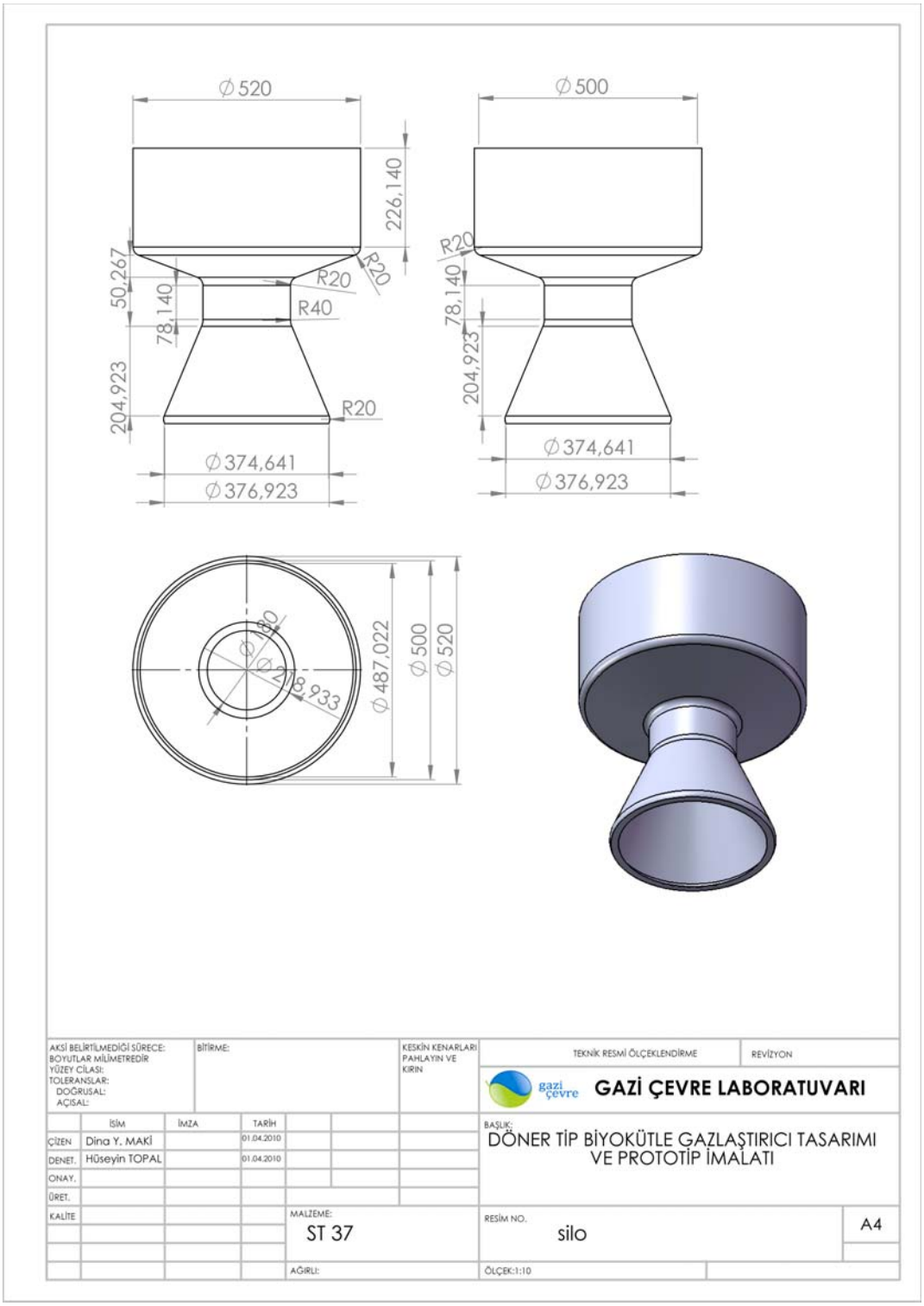
Kül alma ve döner sistemi taşıyan alt bölüm imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



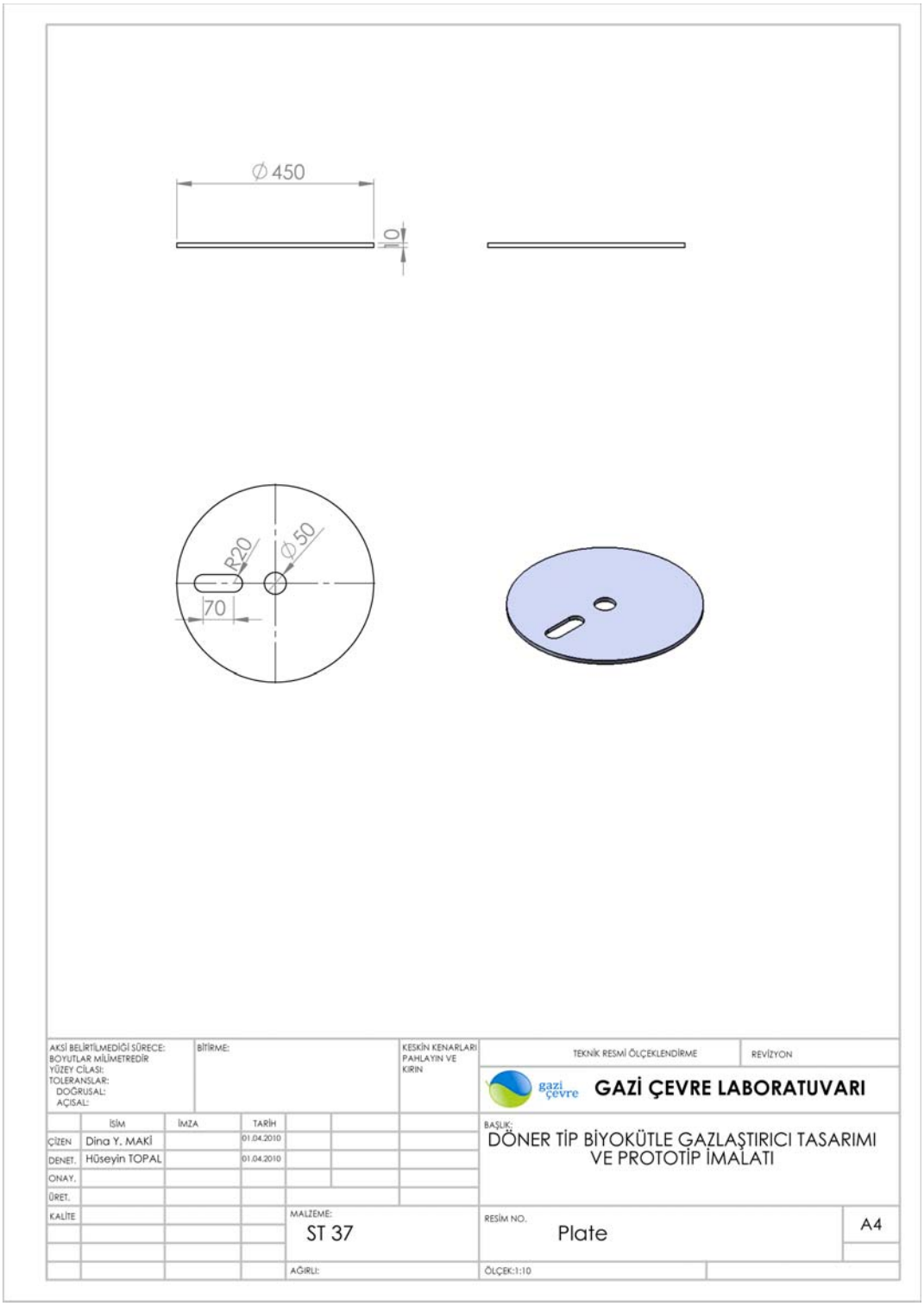
Reaktör yan duvarı imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



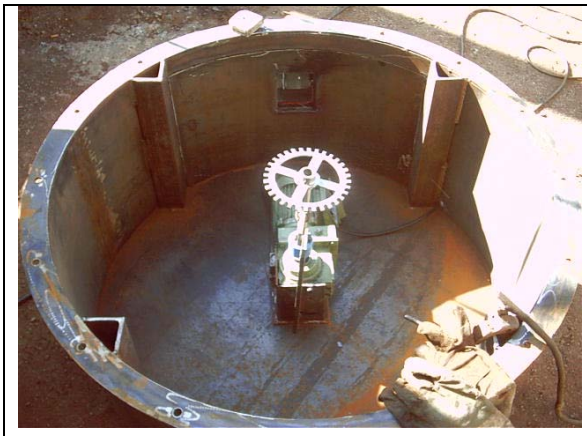
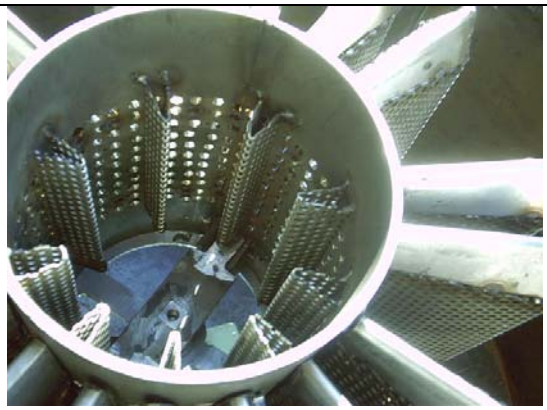
Yakıt silosu imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



Taşıyıcı sistem elemanı ve kül alma bölümü imalat resmi

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri

	
Döner sistem redüktör ve dişlisi	Kanatcıklar
	
Reaktörün monte edileceği taşıyıcı tabla	Kanatcıkların hava kanallı mile monte edilmiş hali

EK-1.(Devam) Tasarım resimleri



Döner kısmın monte edilmesi



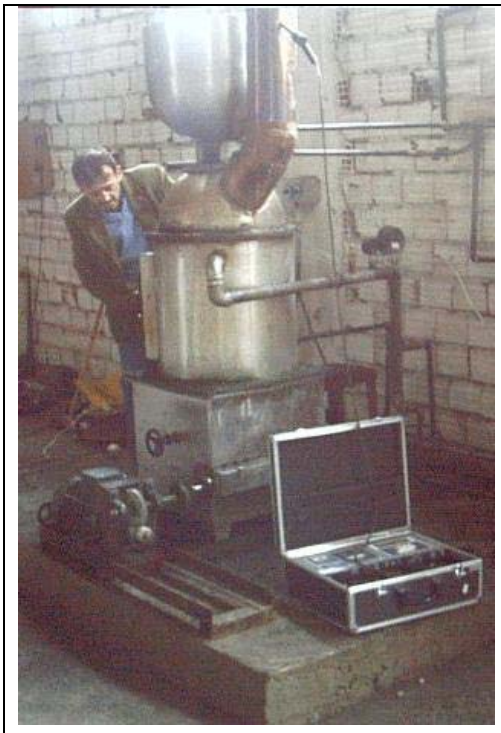
Gazlaştırıcıya ait su ceketi



Montaj çalışmasından örnekler



EK-1.(Devam) Tasarım resimleri

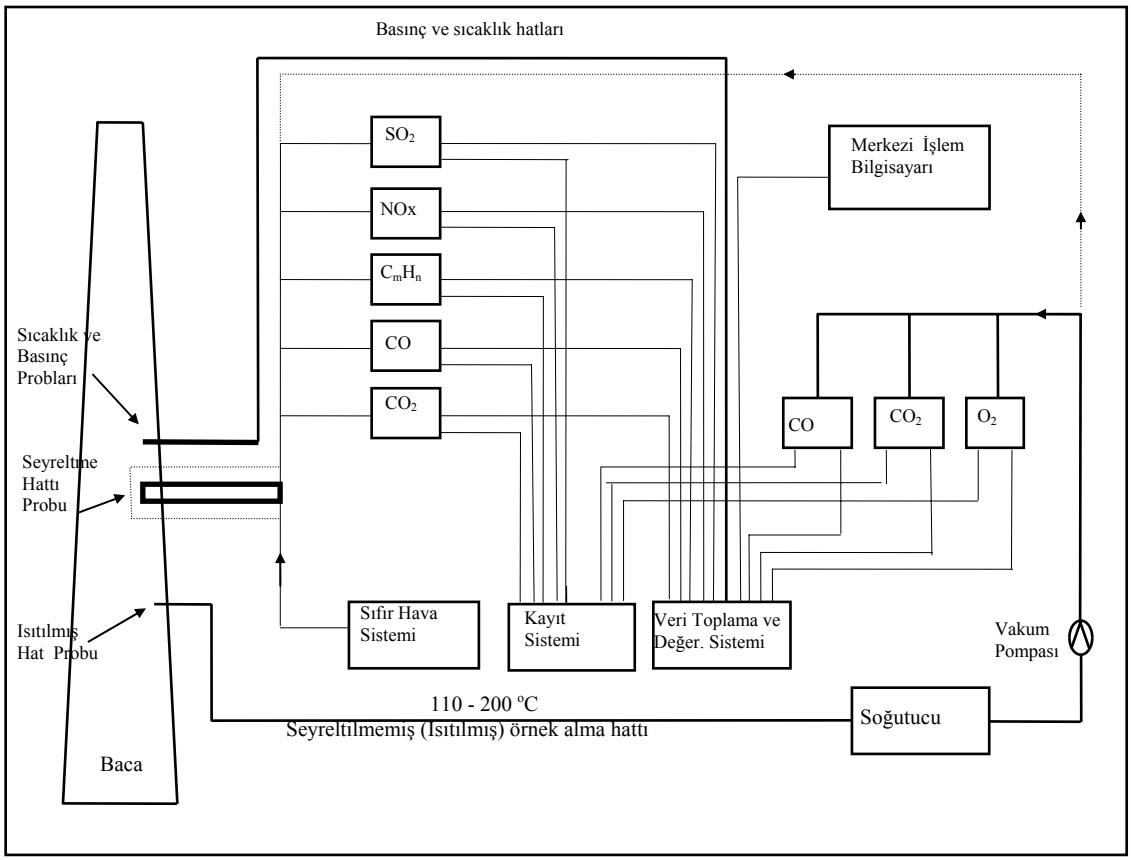
<table>
<tr>
<td>
İlk Prototip sistem ve baca gazı analizleri</td>
<td>
İlk Prototip sistemin çalıştırılması ve oluşan gazın yanma odası bölümünde yanması</td>
</tr>
<tr>
<td>
İlk Prototipte oluşan küller</td>
<td></td>
</tr>
</table>

EK-2. Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

Ölçme ve veri değerlendirme için Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isıl Güç laboratuarında bulunan Mobil Emisyon Test Laboratuarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, NATO-TU Air Pollut projesi kapsamında alınan cihazlar, Gazi Üniversitesi Rektörlüğü tarafından desteklenen çesitli Arastırma Fonu Projeleri kapsamında olusturulan ölçme sistemleri kullanılmıştır.

Gaz derişiminin doğru olarak analizinde izokinetik koşullarda yani örnekleme gaz hızının baca gazına eşit olması gerekmektedir. Aksi takdirde gerçek gaz derisiminin üstünde değer elde edilir ki bu da hatalı bir ölçüm olmaktadır. Asağıda Mobil Emisyon Test Laboratuvarı (METL) ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. METL sistem yapısı ve bağlantı biçimi asağıdaki.METL örnek gaz alma ve hazırlama sistemi, ölçüm cihazları, very toplama ve degerlendirme sistemi, merkezi islem bilgisayarı ve diger yardımcı teçhizattan olusmaktadır. METL'de analiz edilecek örnek gazın seyreltilerek ve seyreltilmeden alınabilme imkanı bulunmaktadır.

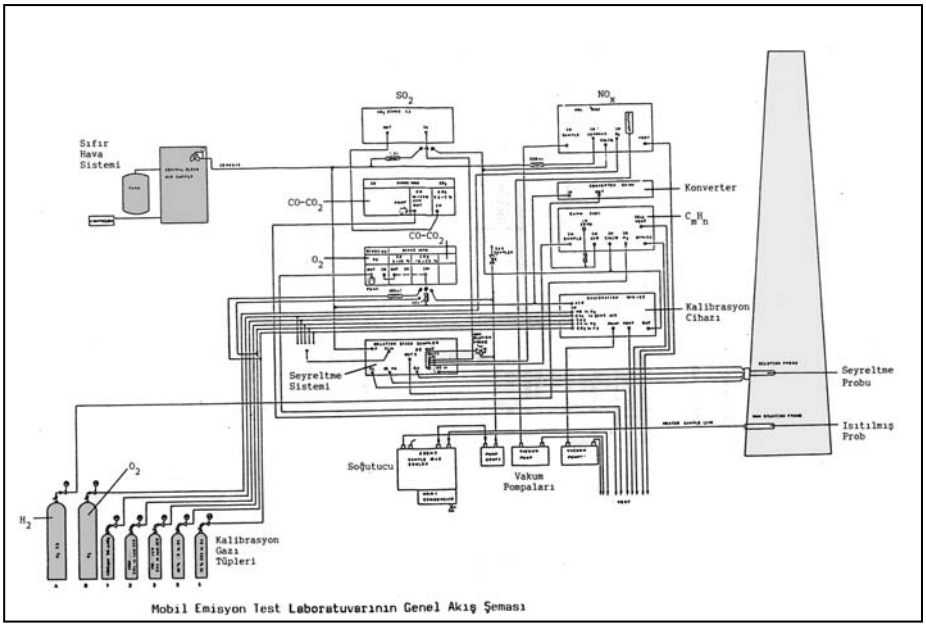
EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi



Sekil . Baca gazı ölçme ve veri degerlendirme sistemlerinin sematik görünümü

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

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi



Baca gazı ölçme ve değerlendirme sistemi elemanları akış şeması

Örnek Alma Sistemi: Gaz emisyon ölçümlerinde seyreltilmis ve seyreltilmemis olarak iki örnekleme hattı kullanılmaktadır. Gaz analizleri yapılacak olan örnek sürekli olarak aynı anda iki hat ile beraber alınabilmektedir. Örnekleme yapılan gaz derisi leri gaz analiz sistemlerinin ölçme sınırlarının üzerinde olması durumunda, seyre tilmis hat ile gaz örnegi aynı zamanda METL'nda hazırlanan temiz hava ile seyrelt lerek alınır. Seyreltme oranına baglı olarak, su buharının kısmi basıncı düstügünden, yogusma sıcaklıkları ortam sıcaklıklarının çok altına düsürülerek yogusma önlenebilmektedir. Seyreltme uygulanmayan örnek gaz alma islemlerinde, örnekleme hattında yogusmanın önlenebilmesi için kesinlikle ısıtılmıs hat kullanılmalıdır. Kontrol altında elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan örnek gaz alma hatlarında, ısıtma sıcaklıgı 170-200ºC aralıgında ayarlanabilmektedir. METL'na kadar yoğusmadan getirilen gaz örneginin nemi bir yogusturucuda alındıktan sonra kuru olarak gaz analiz sistemlerine verilmektedir.

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

Mobil Emisyon Test Laboratuvarından çeşitli görünüşler









Mobil Emisyon Test Laboratuvarından çeşitli görüşler

Gaz Analiz Sistemleri*:* Kazan ısıl performans ve emisyon özelliklerinin incelenmesi amacıyla, gazların içerdigi gaz derisimlerinin zamana baglı olarak degisimlerinin analizi gerekmektedir. Yapılan arastırmalar sonucunda ilgili test programının gerçeklestirilmesinde her bir gaz analizi Çizelge'de verilen analiz yöntemlerine sahip analiz sistemlerinin kullanılmasının uygun olacagı saptanmıştır.

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

METL'nda Bulunan Ölçme Sistemleri ve Yardımcı Cihazlar

Ölçme Sistemleri Ve Yardımcı Cihazlar
Oksijen Analizörü
Karbonmonoksit - Karbondioksit Analizörü
Kükürtdioksit Analizörü
Hidrokarbonlar Analizörü
Azotoksitler Analizörü
Isıtılmış Örnek Gaz Alma Analizörü
Seyreltilmiş Örnek Gaz Alma Sistemi
Beş Adet Isıl Çift
Baca Çekiş Ölçüm Sistemi
Basınç Farkı Ölçüm Sistemleri
Elektrik Regülasyon Sistemi
Klima Cihazı
Katalitik Konverter
Seyreltme Hattı Kontrol Ünitesi
Mikroprosesörlü Kayıt Cihazı
Bilgisayar kontrollü Kalibrasyon Sistemi
Isıtılmış Hattın Sıcaklık Kontrol Ünitesi
Bilg. Kont. Veri Toplama ve Değerlendirme Sist.
Kompresör ve Hava Tankı
Sıfır Hava Hazırlama Sistemi
Soğutucu, Yoğuşturucu
Regülatör
Vakum Pompaları
Kalibrasyon Gaz Tüpleri (CO, CO_2, SO_2, CH_4, NO_x)
Hidrojen Tüpü
Oksijen Tüpü
Yedek Enerji Ünitesi
Isıtılmış Örnek Gaz Alma Probu
Seyreltilmiş Örnek Gaz Alma Probu

SO_2 analizinde, baca gazının içerdiği nemin ölçüme olan etkisini en aza indirmek amacıyla, mor ötesi ışıma yöntemi seçilmiştir. Saçınımsız kızılötesi veya morötesi ışıma yöntemlerinde, analizi yapılan gazın bu ışınları kısmen absorbe ederek,

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

enerji şiddetlerini azaltmasına neden olmaktadır. Işın enerjisindeki azalma, ölçülen gaz konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri

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

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

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

yakılması ile oluşan alev iyonlarının miktarı, yanma gazlarının içerdiği C_mH_n konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Kayıt Sistemi : Isıl performans ve emisyon testlerinde kullanılmak üzere bir bilgisayar programı yazılmış ve METL içerisinde bulunan veri toplama sisteminde depolanan veriler kullanılarak kazan verimi ve emisyonlar istenen birimlerde hesaplanarak kaydedilmiştir. METL'nda bulunan ölçüm aygıtlarında ölçülen değerler, analog sinyaller olarak kayıt sistemi ile veri toplama ve değerlendirme sistemlerine gönderilmektedir. Kayıt sisteminde söz konusu ölçüm değerleri anında kaydedilmektedir. Merkezi işlem bilgisayarı tarafından kontrol edilen veri toplama ve değerlendirme sistemine gelen analog çıkışlar, burada dijital değerlere çevrilmekte ve bir paket program yardımıyla, birçok değişik şekillerde işlenebilmektedir. Bütün değerler sabit tarama süresi olan üçer saniyelik aralıklarla taranmakta ve merkezi işlem bilgisayarının ekranında görülebilmektedir.

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

CO, CO_2, SO_2, NO_x ve C_mH_n analizörlerinde sıfır kalibrasyonu için METL'nda bulunan ve sıfır hava hazırlama sisteminde üretilen temiz hava kullanılmaktadır. O_2 analizörü sıfır kalibrasyonu için ise diğer gazlardan herhangi biri kullanılmaktadır. Açıklık kalibrasyonu için her analizöre ait sertifikalı sabit konsantrasyonlu kalibrasyon gazları ve karma havası olarak sıfır hava kullanılmaktadır. Gaz analiz cihazlarında kullanılan, kalibrasyon gazı ve konsantrasyonları Çizelge .de verilmiştir.
EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

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

Gaz ölçüm analizörü, kalibrasyon gazı ve konsantrasyonları.

Kalibrasyon Tüpü Gaz Analiz Cihazı	**Kullanılan Kalibrasyon Gazı**	**Tüp Konsantrasyonu**
CO	CO	10.3 %
CO_2	CO_2	15.0 %
SO_2	SO_2	10100 ppm
NO_X	NO	4050 ppm
C_mH_n	CH_4	7700 ppm

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

Veri Toplama ve Değerlendirme Sistemi: DAYYS'nin yanma performansı, emisyon özellikleri ve hidrodinamik yapının incelenmesinde genel olarak

EK-2.(Devam) Ölçme ve veri değerlendirme sistemi

yanma ve yanma gazı analizi ile yakma sistemi sıcaklık ve basınç dağılımları incelenmiştir. Yatakta radyal ve eksenel sıcaklık dağılımları, akış özellikleri, ısı transferi ve enerji dönüşümünün incelenmesinde, sıcaklık veri toplama ve değerlendirme sistemine gereksinim vardır. Bu amaçla METL'nda 5 adet sıcaklık ölçer ile 36 kanal girişli bir veri toplama sistemi ve 14 adet fark basınç transduseri birlikte kullanılarak çeşitli parametrelerin karşılıklı olarak değişimleri incelenebilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: Maki, Dina
Uyruğu	: IRAK
Doğum tarihi ve yeri	: 01.01.1983 / Kerkük
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (531) 685 33 94
e-mail	: d_dndn@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyettarihi
Lisans	Teknoloji Üniversitesi /Makina Müh.IRAK	2005
Lise	kerkük Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yabancı Dil

Arapca,İngilizce