



**PİRİNA, FINDIK KABUĞU VE TALAŞIN KARBON DİOKSİT
ORTAMINDA GAZLAŞTIRILMASI**

Abdalla Abdalrazig Abdalla HUSSEIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Abdalla Abdalrazig Abdalla HUSSEIN tarafından hazırlanan “PİRİNA, FINDIK KABUĞU VE TALAŞIN KARBON DİOKSİT ORTAMINDA GAZLAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Doç. Dr. Emine YAĞMUR

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. Ayla ALTINTEN

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdalla Abdalrazig abdalla HUSSEIN

13/09/2019

PİRİNA, FINDIK KABUĞU VE TALAŞIN KARBON DİOKSİT ORTAMINDA
GAZLAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Abdalla Abdalrazig Abdalla HUSSEIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2019

ÖZET

Günümüzde enerji kaynağı olan fosil yakıtları (petrol ve doğal gaz) vazgeçilmez bir öneme sahip olsa da, bu enerji kaynakları yakın gelecekte tükenecektir. Bu durum göz önüne alındığında, diğer enerji kaynakları ve enerji elde etme yolları üzerinde çalışmalar sürmektedir. Özellikle, biyokütle ve katı yakıt atıklarını kullanarak enerjiye erişim araştırması son zamanlarda artmıştır. Bu araştırmaların içinde yer alan gazlaştırma ile sentez gazı elde etme ve oradan da enerji elde etme ön plana çıkmıştır. Gazlaştırma sonucunda üretilen sentez gazından değerli kimyasal maddelerin de (hidrojen, amonyak ve metanol gibi) üretilmesi mümkündür. Bu çalışmada, biyokütle atık olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı karbon dioksit ortamında gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma işlemi 40 mm çapa ve 1 m yüksekliğe sahip sabit yataklı kuartz cam reaktörde gerçekleştirilmiş. Gazlaştırma için gerekli sıcaklık bir fırın yardımı ile vasıtasıyla sağlanmıştır. Partikül çapı 1-1,25 mm olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı, farklı sıcaklıklarda (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C) ve farklı karbon dioksit akış hızlarında (1,5; 3 ve 4,5 ml/s) gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca, katalizör (CaO, MgO ve K₂CO₃) sentez gaz konsantrasyonu üzerindeki etkilerini görmek için en iyi sonuçlar gazlaştırılmış biyokütlelerden (pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı) ve en iyi karbon dioksit akış hızında katalizörlerle gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın, karbon dioksit akış hızı ve katalizör gazlaştırma sonucu oluşan sentez gazı bileşimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda katalizörsüz çalışmada gaz karışımında en iyi H₂ ve CO verimi fındık kabuğunun 800°C sıcaklıkta ve 1,5 ml/s CO₂ akış hızında olduğu belirlenmiştir. H₂ konsantrasyonu açısından % 33,63 en yüksek değeri ulaşılmıştır. Katalizörlü çalışmalarda ise en iyi katkı maddesinin CaO olduğu belirlenmiştir. H₂ konsantrasyonu açısından CaO'ın katkı olarak kullanıldığı durumda en yüksek değere ulaşıldığı görülmüştür. Fındık kabuğu katalizörlü CaO çalışma 600°C sıcaklıkta H₂ verimi hacimce % 52,9, H₂/CO ise 3,31 olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91206

Anahtar Kelimeler : Pirina, Fındık Kabuğu, Odun Talaşı, Karbondioksit, Gazlaştırma

Sayfa Adedi : 69

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

GASIFICATION OF POMACE, HAZELNUT SHELL AND SAWDUST IN CARBONDIOXIDE MEDIUM

(M. Sc. Thesis)

Abdalla Abdalrazig Abdalla HUSSEIN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Although fossil fuels (oil and natural gas), which are the current energy sources, are of indispensable importance, these energy sources will not continue in the near future. Considering this situation, studies on other energy sources and ways of obtaining energy continue. In particular, research on access to energy using biomass and solid fuel wastes has increased recently. In this research, synthesis gas and gas production from gasification came into prominence. It is also possible to produce valuable chemicals (such as hydrogen, ammonia, and methanol) from the synthesis gas produced by gasification. In this study, the gasification process was carried out with carbon dioxide in the pomace, hazelnut shell and sawdust as biomass waste. Gasification was carried out in a fixed bed quartz glass reactor with a diameter of 40 mm and a height of 1 m. The temperature required for gasification is provided by means of an oven and carbon dioxide by means of a tube. Pomace, hazelnut shell and sawdust with average particle diameter of 1-1.25 mm, at different temperatures (600 °C, 650 °C, 700 °C, 750 °C, 800 °C and 850 °C) and at different carbon dioxide flow rates (1.5, 3 and 4.5 ml/sec) gasification process. In addition, the best synthesis gas concentration results obtained from gasified biomass (pomace, hazelnut shell and sawdust) and used carbon dioxide rates (1.5, 3, 4.5 ml/sec) were investigated with catalysts (CaO, MgO and K₂CO₃). The effects of temperature and carbon dioxide flow rate on synthesis gas composition formed by catalyst gasification were investigated. In the experimental studies, the best H₂ and CO yield in the gas mixture in the catalyst-free study were found to be hazelnut shell at 800°C temperature and 1,5 ml/sec CO₂ flow rate. The highest value in terms of H₂ concentration was reached 33.63%. In the catalytic studies, CaO was the best additive. When hazelnut shell and CaO was used as an additive in terms of H₂ concentration, it was found to be the highest. At 600 °C, H₂ yield was 52.9% by volume and H₂/CO was 3.31.

Science Code : 91206

Key Words : Pomace, Hazelnut Shell, Sawdust, Carbon Dioxide, Gasification

Page Number : 69

Supervisor : Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabrından dolayı tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ö. Murat DOĞAN'na teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Laboratuvar çalışmasında boyunca her zaman bana yardım eden arkadaşlarım Agieb Elnazır Agieb HAMMAD ve Özgü YÖRÜK'e sonsuz teşekkür ederim. Türkiye'de eğitimim için maddi destek olan Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na teşekkürlerimi de sunarım. Son olarak yüksek lisans boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Biyokütle ve Biyokütle Enerjisi	5
2.2. Biyokütle Kaynakları	6
2.2.1. Bitkisel kaynaklar.....	6
2.2.2. Hayvansal kaynaklar	7
2.2.3. Şehir ve endüstri kaynakları	7
2.3. Biyokütle Çevrim Teknolojileri	8
2.4. Termokimyasal Dönüşüm Teknikleri	8
2.5. Türkiye'de Biyokütle Potansiyeli	9
2.6. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı ve Özellikleri	11
2.6.1. Selüloz.....	12
2.6.2. Hemiselüloz.....	12
2.6.3. Lignin	13
2.6.4. Ekstraktifler	13
2.7. Biyokütle Olarak Pirina ve Fındık Kabuğu.....	14
2.7.1. Pirina	14
2.7.2. Fındık kabuğu.....	16
3. GAZLAŞTIRMA.....	19

Sayfa

3.1. Gazlaştırma Prosesi	19
3.2. Gazlaştırma Sırasında Gerçekleşen Temel Reaksiyonlar	19
3.3. Gazlaştırıcı Tipleri	21
3.3.1. Sabit yataklı gazlaştırıcı	22
3.3.2. Akışkan yataklı gazlaştırıcı	26
3.3.3. Döner fırın gazlaştırıcı	29
3.3.4. Plazma gazlaştırma sistemleri	30
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	33
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
5.1. Hammaddeler	39
5.2. Deney Sistemi ve Deneylerin Planı.....	40
5.3. Gazlaştırma Ajanı.....	43
5.4. Sentez Gazı Analizi (Gaz kromatografi cihazı – GC).....	43
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
6.1. Sıcaklığın Etkisi	48
6.2. Karbon dioksit Akış Hızının Etkisi	54
6.3. Katalizörlerin Etkisi	57
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Seçilen biyokütlenin selüloz / lignin içeriği	12
Çizelge 2.2. Bazı lignoselülozik biyokütlelerin kimyasal bileşimleri	13
Çizelge 2.3. Biyoatık maddelerin Türkiye’de yıllık miktarları.....	14
Çizelge 2.4. Pirinanın genel özellikleri.....	15
Çizelge 2.5. Pirinanın (Alperujo) temel karakteristikler.....	15
Çizelge 2.6. Yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri	16
Çizelge 2.7 Pirinanın ısıl değerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması.....	16
Çizelge 3.1. Gazlaştırıcı sınıflandırılması.....	21
Çizelge 5.1. Pirinanin kaba ve elementel analiz verileri.....	39
Çizelge 5.2. Fındık kabuğunun kaba ve elementel analiz verileri.....	39
Çizelge 5.3. Odun talaşına ait kaba ve elementel analiz verileri.....	39
Çizelge 5.4. Gazlaştırma parametreleri.....	42
Çizelge 5.5. Katalizörlü gazlaştırma parameterleri.....	42
Çizelge 5.6. Gaz analizi sıcaklık programı.....	44
Çizelge 5.7. Katalizör özellikleri.....	45
Çizelge 6.1. 1,5 ml CO ₂ /s CO ₂ akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar.....	47
Çizelge 6.2. 3ml CO ₂ /s CO ₂ akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar.....	48
Çizelge 6.3. 4,5 ml CO ₂ /s CO ₂ akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar.....	48
Çizelge 6.4. Fındık kabuğu ve katalizörlerle yapılan deneylerden elde edilen sentez gazı ürünleri.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Keeling eğrisi.....	1
Şekil 2.1. Biyokütlenin biyoyakıta dönüşüm yolları	8
Şekil 2.2. Türkiye'de yakacak odun (1000 m ³) üretimi ve tüketimi	10
Şekil 2.3. Yenilenebilir enerjilerden elektrik üretimindeki eğilimler	11
Şekil 2.4. Selülozun kimyasal yapısı	12
Şekil 2.5. Hemiselülozun kimyasal yapısı	13
Şekil 3.1. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı.....	23
Şekil 3.2. Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı	25
Şekil 3.3. Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı.....	26
Şekil 3.4. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma sistemi.....	28
Şekil 3.5. Sürüklemeli akışlı gazlaştırma sistemi	29
Şekil 3.6. Döner fırın gazlaştırıcı sistemi.....	30
Şekil 3.7. Alter Nrg Plazma Gazlaştırıcı sistemi	31
Şekil 4.1. Çam talaşının 100 ml/dk karbondioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi	33
Şekil 4.2. Farklı gazlaştırma ajanında sentez gazı bileşimleri.....	36
Rekil 5.1. Deney düzeneği şeması.....	41
Şekil 6.1. Pirinanın 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	49
Şekil 6.2. Pirinanın 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	50
Şekil 6.3. Pirinanın 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	50
Şekil 6.4. Fındık kabuğunun 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	51
Şekil 6.5. Fındık kabuğunun 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 6.6 Fındık kabuğunun 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	52
Şekil 6.7. Odun talaşının 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	53
Şekil 6.8. Odun talaşının 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	53
Şekil 6.9. Odun talaşının 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi.....	54
Şekil 6.10. Pirina ile yapılan deneylerde CO ₂ akış hızının H ₂ ve CO konsantrasyonları.....	56
Şekil 6.11. Fındık kabuğu ile yapılan deneylerde CO ₂ akış hızının H ₂ ve CO konsantrasyonları üzerine etkisi.....	56
Şekil 6.12. Odun talaşı ile yapılan deneylerde CO ₂ akış hızının H ₂ ve CO konsantrasyonları üzerine etkisi.....	57
Şekil 6.13. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO ₂ akış hızında CaO katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi.....	59
Şekil 6.14. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO ₂ akış hızında K ₂ CO ₃ katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi.....	59
Şekil 6.15. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO ₂ akış hızında MgO katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi.....	59

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Deney düzeneği.....	40
Resim 5.2. GC sistemi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

GW

Gigawatt

Mtoe

Milyon Ton Eşdeğer Petrol

PPM

Milyonda bir

Kısaltmalar

Açıklamalar

CGE

Soğuk gaz verimi

DO

Denklik oranı

GC

Gaz kromatografisi

LHV

Düşük ısıtma değeri

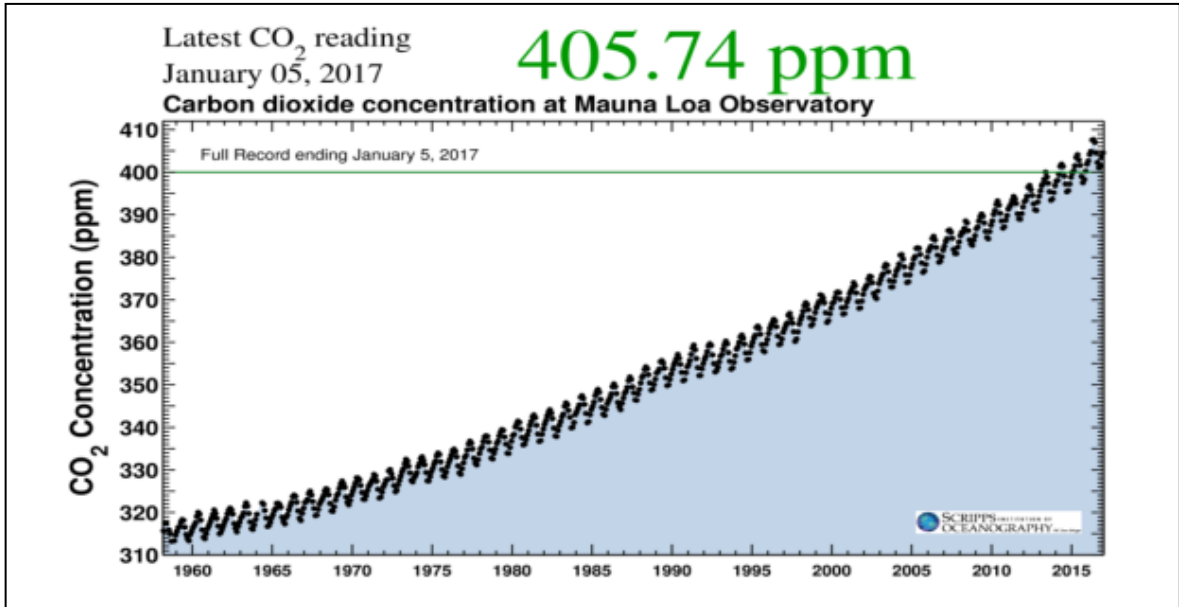
LPG

Sıvılaştırılmış petrol gazı

1. GİRİŞ

Giriş ve çalışma amacı

Katlanarak artan enerji tüketimi, dünyadaki kritik zorluklardan biridir ve günümüzde tüketilen enerjinin önemli bir kısmı petrol, kömür ve doğal gazlar gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. 20. yüzyılda toplam enerji tüketimi yaklaşık 10,048 milyon ton yakıtı eşdeğerdir ve bunun %24'ü kömürden, %39'u petrolden, %23'ü doğal gazdan ve %6'sı nükleer enerjiden sağlanırken, % 8'i ise hidroelektrik, biyokütle, jeotermal, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerjiden temin edilmektedir [1]. Sınırlı ve yenilenemeyen fosil yakıtların bir kısmı tüketilmiş durumdadır ve yakın gelecekte tamamen tükenecektir. Öte yandan, fosil yakıtlardan sağlanan enerji üretiminin yaklaşık %41'i ise küresel ısınmaya katkıda bulunan ana sera gazı olan CO₂ emisyonu için önemli bir kaynaktır [2]. Atmosferdeki CO₂ seviyesi de yenilenemeyen yakıtların artan tüketiminden dolayı sürekli artmaktadır. Şekil 1.1.'de Scripps Oşinografi Enstitüsü tarafından Hawaii'deki Mauna Loa Gözlemevi'nde yıllar boyunca ölçülen atmosferdeki karbon dioksit seviyesinin değişimine ilişkin Keeling Eğrisi gösterilmektedir. Bu ölçümlere göre son 55 yılda CO₂ konsantrasyonu 320 ppm'den 400 ppm'e yükselmiştir [3].



Şekil 1.1. Keeling eğrisi [3]

Ayrıca, NO_x ve SO_x emisyonları da çevre için büyük bir tehdit olan asit yağmuru ile sonuçlanabilmektedir. Enerji sıkıntısını gidermek ve küresel ısınmayı azaltmak için biyokütle, potansiyel olarak yeni ve temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca biyokütle; gaz, sıvı ve katı yakıtlara dönüştürülebildiğinden depolama ve taşıma için de uygundur.

Fermantasyon, yanma ve gazlaştırma gibi çeşitli konuları kapsayan biyokütle kullanımı konusunda çok sayıda çalışma vardır. Fermantasyon, hammadde için nem içeriğinin sınırlandırılması gibi yüksek bir gereksinime sahip değildir, ancak bu işlem oldukça yavaş gerçekleşmekte ve gaz üretiminde önemli miktarda çıktı sağlamak için genellikle büyük reaktörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, biyokütle yanmasından kaynaklanan egzoz gazları toz ve NO_x, SO_x gibi ağır metaller veya değerler içerebilir ve bunların yok edilmesi masraflıdır. Bu nedenle, fermantasyon ve yanma ile karşılaştırıldığında gazlaştırma, biyokütlenin faydalı yakıtlara ve kimyasal kökenli hammaddelere dönüştürülmesinin etkili ve temiz bir yoludur [4]. Gazlaştırma düşük kalorili değerli bir gaz, katran (yoğunlaştırılabilir organik bileşikler) ile birlikte CO, H₂, CH₄ ve CO₂'nin bir kombinasyonu olan sentez gazı ve diğer kirleticileri (NH₃, H₂S, HCN ve diğerleri) üretmek için biyokütlenin kısmi yanma işlemidir. Gazlaştırma işleminden sonra geri kalan katı madde kül olarak adlandırılmaktadır. Sentez gazı; enerji istasyonlarında yanma ile güç üretiminde, Fischer-Tropsch sentezi ve metanol sentezi yoluyla kimyasalların üretiminde ve doğal gaz gibi bir yakıt şeklinde kullanılabilir [5].

Gazlaştırma ajanı olan CO₂ ile gazlaştırmanın buharlaşma için enerji gerekmemesi, üretilmiş gazlardaki H₂/CO oranı gibi spesifik gereksinimi karşılamak için kolayca ayarlanabilmesi ve CO₂ reaktif kömürde daha fazla uçucu maddenin üretilmesi gibi bazı avantajlar mevcuttur. Böylelikle gazlaştırma verimliliği artırılabilir [6]. Nitrojen yerine CO₂ gazlaştırması, doğrudan CO₂'nin geri kazanımı ve geri dönüşümü için uygun olan yüksek oranda CO₂ içeren baca gazına yol açabilmektedir. Sentez gazı üretmek ve CO₂ kirliliğini azaltmak için biyokütle gazlaştırması başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [7–9]. CO₂ ile biyokütle gazlaştırma işlemine dahil olan termokimyasal işlemler, CO₂ ile kömür gazlaştırma işlemine olanlara benzerdir. CO₂'nin karbon yakıtlar ile reaksiyonunun son derece endotermik ve enerji yoğunluğunun yüksek olmasından ötürü, gazlaştırma ajanları olarak genellikle CO₂ ve N₂ karışımı kullanılmaktadır.

Bu çalışmada biyokütle atık olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının karbon dioksit ortamında gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem 40 mm çapa ve 1 m yüksekliğe sahip sabit yataklı kuvars cam reaktör sisteminde gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırma için gereken sıcaklık bir fırın vasıtasıyla sağlanmıştır. Partikül çapı 1-1,25 mm olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı, farklı sıcaklıklarda (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C) ve farklı karbon dioksit akış hızlarında (1,5; 3 ve 4,5 ml/s) gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca, fındık kabuğu atığının gazlaştırma sonucu sentez gazında bulunan yüksek H₂ konsantrasyonu katalizör (CaO, MgO ve K₂CO₃) ile etkisi görmek amacıyla gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın, karbon dioksit akış hızının ve katalizörün gazlaştırma sonucu oluşan sentez gazı bileşimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Amaç, Türkiye’de, biyokütle enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Bu kaynakları , çevre dostu teknolojiler vasıtasıyla hem çevresel hava kirliliğinin azaltılmasına hem de enerji sektöründe yenilenebilir kaynak kullanımını yaygınlaştırmayı ve geliştirmeyi bir çalışmanın gerçekleşmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Biyokütle ve Biyokütle Enerjisi

Her türlü karbon içeren bitki veya hayvan atığı biyokütle adı verilen organik maddelerden oluşmaktadır. Bu kaynaklar bitkisel atıklar, hayvan atıkları, kentsel ve endüstriyel atıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Yeryüzünde fotosentezin doğrudan veya dolaylı olarak ürünü olan biyokütle, yanma olarak adlandırılan oksijenin reaksiyonunda depolanan güneş enerjisi üretir. Bu nedenle, her türlü biyokütlenin yakılması vasıtasıyla enerji elde edilebilir. Farklı şekillerde enerji sağlayabilen birçok biyokütle enerjisi türü vardır. Yenilenebilir biyokütle ve çevre kaynaklı yakıtlar, faydaları nedeniyle fosil yakıtların günümüzdeki enerji kullanımındaki yerini kolayca alacaktır.

Biyokütle materyalleri doğrudan veya dolaylı olarak bitki büyümesinin bir sonucudur. Biyokütle enerjisi; doğal ormanlardan, tarım ve ormancılık süreçlerinden gelen atıklardan, endüstriyel atıklardan, insan veya hayvan atıklarından elde edilmektedir. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyokütle, güneş enerjisinin etkin bir şekilde depolanması bakımından benzersizdir. Bunun dışında biyokütle kaynakları katı, sıvı ve gaz halinde olan yakıtlara dönüştürülebilmektedir [10-13]. Bu nedenle, biyokütleden elde edilen enerji yenilenebilir bir enerji şeklidir ve prensipte bu enerjinin kullanılması sonucunda fosil yakıtların aksine çevreye karbon dioksit salınmaz. Biyokütle, kaynağın çeşitlendirilmesinden ötürü diğer alternatif enerji kaynaklarından farklıdır ve birçok dönüşüm işlemi yoluyla enerjiye dönüştürülebilmektedir.

Biyokütleden elden edilen yakıtlar sıvı, gaz ve katı olmak üzere üç faz şeklinde sınıflandırılabilir. Biyokütleden enerji üretilmesi söz konusu ise; biyokütlenin özelliği ve maliyeti önemli faktörlerdir. Sürdürülebilir bir biyokütle sistemi kapalı bir karbon döngüsü oluşturur; bu nedenle yakıt biyokütle, küresel ve bölgesel ortamlar açısından önemlidir.

2.2. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle enerji üretiminde kullanılan biyokütle kaynakları, dört başlık altında incelenmiştir. Bunlar;

- Ahşap endüstrisi atıkları ile odunsu ve otsu bitkilerden oluşan odun atıkları.
- Tarımsal alanlarda üretilen enerji bitkileri, yağlı tohum bitkileri, yem bitkileri (otlar, yonca ve yonca), nişasta bitkileri (mısır, buğday ve arpa) ve yağlı tohum bitkileri (soya fasulyesi, ayçiçeği, aspir).
- Gıda ve endüstri alanında kullanılan endüstriyel kaynaklı ham madde atıkları ve kentsel odun ve organik atıklar.
- Deniz ve nehirlerde bulunan yüksek nem içeren bitkiler (deniz otları, yosunlar, saz bitkileri ve bazı mikro organizmalar).

Biyokütle enerjisinin ortalama çoğunluğu odun ve odun atıklarından (%64) üretilirken, ardından en çok belediye katı atıklarından (%24), tarımsal atıklardan (%5) ve depolama gazlarından (% 5) üretilmektedir [14].

Biyokütle enerjisi, modern biyokütle ve klasik biyokütle olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Modern biyokütle, genellikle büyük ölçekli kullanımları içerirken, konvansiyonel enerji kaynaklarının yerini almayı hedeflemektedir. Modern biyokütle; odun, tarımsal atıklar, kentsel atıklar, biyogaz ve enerji bitkileri gibi biyoyakıtları içermektedir. Geleneksel biyokütle ise genellikle gelişmekte olan ülkelerle ve küçük ölçekli kullanımlarla sınırlıdır. Evde kullanım için yakacak odun ve odun kömürü, pirinç kabukları ve diğer bitki artıkları ile hayvan atıklarını içermektedir [15]. Modern biyokütle kaynakları, önemli bir biyokütle enerjisi potansiyeline sahiptir ve bu kaynakların geliştirilmesiyle, klasik biyokütle kaynaklarından daha fazla kaynak kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

2.2.1. Bitkisel kaynaklar

Biyokütle enerji üretimi için kullanılan çok çeşitli bitkisel kaynaklar vardır. Bitkisel kaynaklar; zeytin atığı, fındık, orman ürünleri arasında çok hızlı büyüyen ağaç türleri, algler ve enerji bitkilerinde yetişen alg benzeri otlar olarak sınıflandırılabilir. Enerji

sağlayan bitkiler; kısa rotasyonlu odun ürünleri, otlar, nişasta bitkileri (mısır, buğday ve arpa), şeker bitkileri (baston ve pancar) ,yem bitkileri (otlar, yonca) ve yağlı tohum bitkileri (soya fasulyesi, ayçiçeği, aspir) gibi bitkilerdir. Bitkisel kaynaklardan özellikle yüksek nem içeren metan ve diğer ürünler elde edilebilir.

2.2.2. Hayvansal kaynaklar

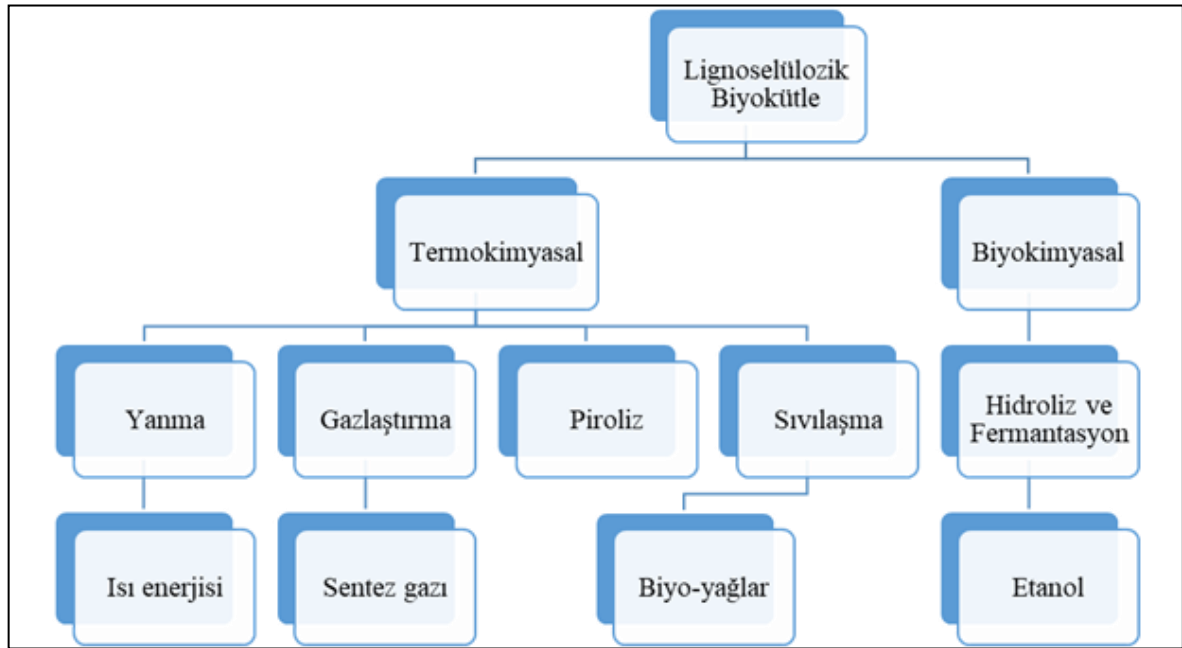
Biyokütle enerjisi üretmek için kullanılan temel hayvansal kaynaklar, büyük ve küçükbaş hayvanlar ile kümes hayvanlarından elde edilen atıklardır. Genel olarak hayvan atıkları saman ile karıştırılarak kurutulur ve yakıt ya da tarımsal gübre olarak kullanılır. Oksijensiz bir ortamda hayvan gübresi fermantasyonu ile birlikte biyogazların üretilmesi oldukça yaygındır. Barınaklarda üretilen hayvan atıkları doğru şekilde depolanmadığından, barınaklarda çevre kirliliği yaratma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

2.2.3. Şehir ve endüstri kaynakları

Belediye atıkları ve endüstriyel atıklar, evden gelen her türlü atıktaki organik maddeleri ve fabrikada üretilen organik atıkları kapsar. Geçmişte büyük oranda ihmal edilen bu atıklar, büyük miktarlara ulaşabilir ve önemli çevresel sorunlara neden olabilir. Bu atıklardan elde edilen biyokütle enerji üretimi sayesinde hem çevre sorunları çözülebilir hem de ekonomik faydalar elde edilebilir. Çöp depolama yerlerinde ve evsel atık su arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamurları, aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılacak ve eğer biyokimyasal aktiviteleri önceden stabilize edilmemiş ise metan gazına dönüştürülecektir. Metan gazı kullanmak için çöplüklerde oluşan gazları toplamak üzere sondaj borularının yapılması gerekmektedir.

2.3. Biyokütle Çevrim Teknolojileri

Biyokütle kullanımı, doğrudan (ısıtma ve yanma için odun yakma) veya dolaylı olarak dönüştürme teknolojilerini kullanarak sıvı veya gaz halinde yakıta (şeker bitkilerinden elde edilen alkol veya hayvansal atıklardan elde edilen gaz) dönüştürülerek kullanılabilir [16]. Biyokütlenin biyoyakıtlara dönüştürülmesinde kullanılan teknolojinin seçimi büyük ölçüde biyokütle türüne ve istenen son ürüne bağlıdır. Lignoselülozik biyokütlenin enerji veya biyokütle temelli kimyasallara ve yakıtlara dönüştürülmesine ilişkin teknolojiler, genelde termokimyasal ve biyokimyasal teknolojiler olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Şekil 2.1, çeşitli dönüşüm yollarının, ilgili adımların ve dönüşüm dizisinden sonra elde edilen son ürünün bir gösterimini vermektedir. Şekil 2.1. biyokütleden üretilebilecek termo-ürün çeşitliliğini göstermektedir [17].



Şekil 2.1. Biyokütlenin biyoyakıta dönüşüm yolları

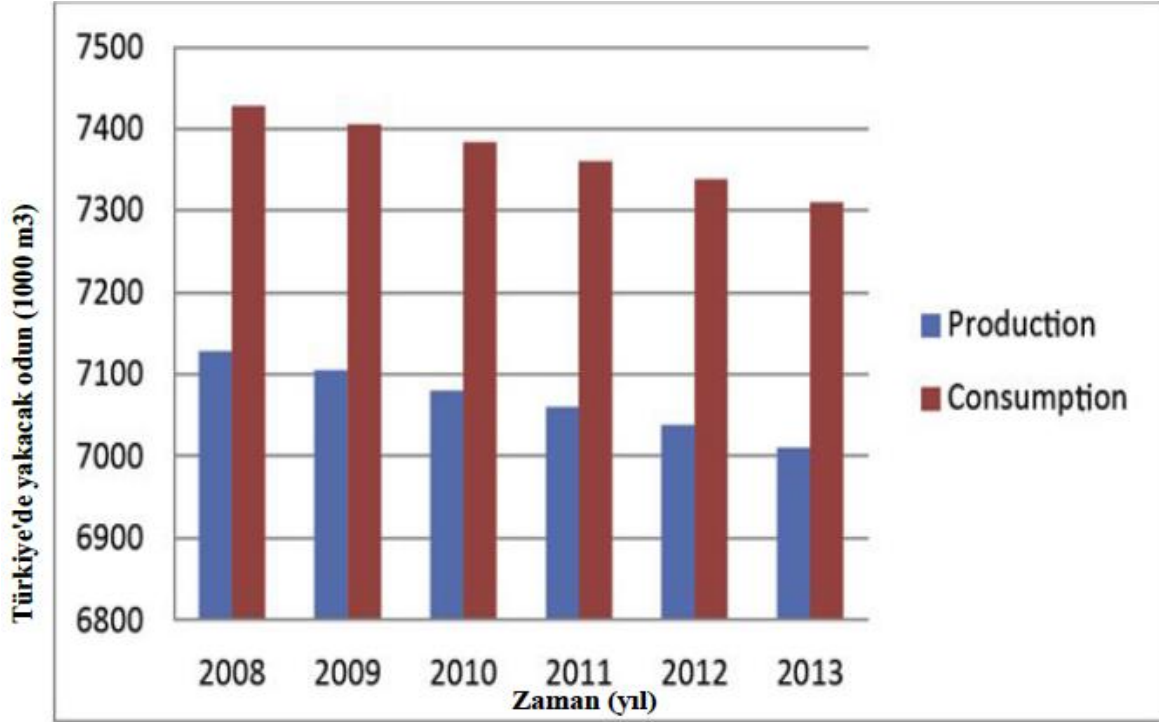
2.4. Termokimyasal Dönüşüm Teknikleri

Termokimyasal platform, ısının ve diğer ajanların kullanımıyla veya bunlar olmadan biyokütlenin dönüştürülmesinde birincil araç olarak kullanılmasına odaklanmaktadır. Buradaki amaç, biyokütlenin güce dönüştürülmesi veya yakıt ve aşağı akışlı kimyasal prosesler için hammadde olarak kullanılabilir diğer ara ürünlere kullanıma hazır hale getirilmesidir. Biyokütle dönüşümü için yaygın olarak düşünülen ana termokimyasal

teknolojiler piroliz, gazlaştırma, hidrotermal sıvılaştırma ve yanmadır. Yanma, H_2O ve CO_2 üretmek için biyokütle ve oksijen arasında ekzotermik bir reaksiyondur. Yanma sırasında ortaya çıkan ısı, bu yoldan geçen enerji kaynağıdır. Elde edilen ısı mekanik güce veya elektriğe dönüştürülebilmektedir. Daha yüksek bir dönüşüm elde etmek için kömür ile biyokütlenin birlikte yakılması, çeşitli çalışmalar için ilgi çeken bir konu olmuştur. Aksine piroliz, oksijenin yokluğunda çeşitli yoğuşabilir ve yoğuşmaz gazlar ve kömür üreten biyokütlenin ısıtılmasıdır. Yoğuşabilir gazlar, sıvı yakıt (biyo-yag) hazırlamak için manipüle veya rafine edilebilen organik sıvılar sağlamaktadır. Sıcaklık ve biyokütlenin kalış süresi gibi yaşamsal işlem parametresini değiştirerek piroliz ürünlerinin verimindeki değişime ilişkin çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. Temel amaç, mevcut olan petrol rafinerilerinin altyapıları kullanılarak işlenebilecek bir ürün üretmektir. Hidrotermal sıvılaştırma, biyokütleyi yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda doğrudan suyla karıştırarak biyokütleden sıvı yakıt elde etme işlemidir. Bu işlem yosun gibi kuruma ihtiyacını önlediği için yüksek nem içeriğine sahip biyokütle besleme stoklarına iyi adapte olmaktadır. Bu aşamada elde edilen son üründür ve aynı zamanda biyo-yag olarak da bilinmektedir .

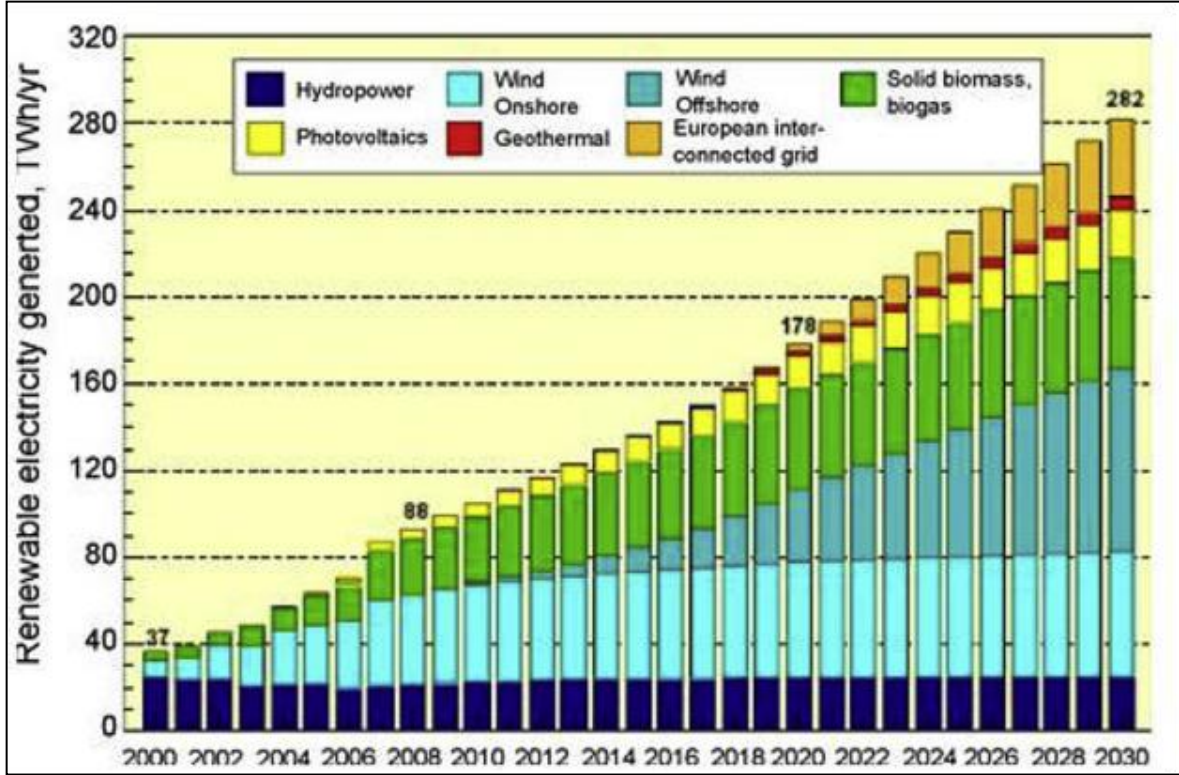
2.5. Türkiye'de Biyokütle Potansiyeli

Türkiye'nin büyük bir petrol ve gaz rezervi yoktur. Neredeyse tüm petrol, doğal gaz ve kaliteli kömür ithal edilmektedir. Ayrıca Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları için büyük bir potansiyele sahip olmasının yanı sıra coğrafi konumuyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğunun kapsamlı kullanımı için çeşitli avantajlara da sahiptir. Son yıllarda odun, fındık kabuğu, tarımsal atıklar, kağıt atığı, buğday samanı, çay atığı ve zeytin kabuğu gibi biyokütlenin enerji üretiminde kullanılması için birçok girişimde bulunulmuştur. Biyokütle enerji kaynakları arasında yakacak odun, Türkiye'nin toplam üretimindeki payının %20 gibi yüksek bir oranda olması ve onu faydalı enerjiye dönüştürme tekniklerinin mutlaka karmaşık olmaması açısından en ilgi çekici ürün olarak görünmektedir. Şekil 2.2. Türkiye'de yakacak odun üretimini ve tüketimini göstermektedir. Türkiye'de biyogaz üretim potansiyelinin 1,0-1,5 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) olarak tahmin edildiği, ancak yalnızca üç küçük ünitenin işleme alındığı ve bir yeni tesise lisans verildiği bildirilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye'de yakacak odun (1000 m³) üretimi ve tüketimi

Türkiye'de, biyokütleden elektrik üretimi odun temelli olarak 2009 yılı için yaklaşık olarak 10 GW olarak gerçekleşirken, biyokütle elektrik üretim kapasitesinin 2030'da yaklaşık 50 GW'a yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu kapasite düzeyinde, ekonomik faydaların kişisel ve kurumsal gelirde 6,4 milyar ABD dolar olacağı ve 250.000 kişiye istihdam sağlayacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2.3.'te Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerden elektrik üretimindeki eğilimler gösterilmektedir. Buna göre, rüzgar ve hidroelektrik enerjisinden sonra, üçüncü yenilenebilir elektrik üretim kapasitesi, Türkiye için yakın gelecekte biyokütleden elde edilecektir.



Şekil 2.3. Yenilenebilir enerjilerden elektrik üretimindeki eğilimler

Sıvılaştırılmış petrol gazı tüketimi (LPG) sürekli arttığından dolayı orman biyokütlesinin toplam enerjiye kıyasla tüketimi son on yılda %22'den %14'e gerilemiştir. Yurtiçi enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %37'sini oluştururken bunun yaklaşık %45'i biyokütle temelli yakıtlardır [18].

2.6. Biyokütlenin Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Biyokütle; hemiselüloz, selüloz, lignin, ekstraktif maddeler, proteinler, basit şekerler, lipitler, nişasta, su, hidrokarbonlar, kül ve diğer bileşenleri içermektedir. Lignoselülozik bileşikler çok sayıda ve farklı şekillerde amorf ve amorf bölgeler içeren büyük bir yapıdır. Karmaşık yapıları nedeniyle ve ekonomik yollarla bileşenlerine ayrılmaları zor olduğundan, bu üç temel bileşenden oluşan lignoselüloziklerin birer kimyasal besleme olarak kullanılmaları oldukça zordur. Lignoselülozik yapıları kullanılabilir, değerli, diğer kimyasallara dönüştürmenin en eski ve en basit yolu ise termokimyasal yöntemlerden biri olan pirolizdir [19].

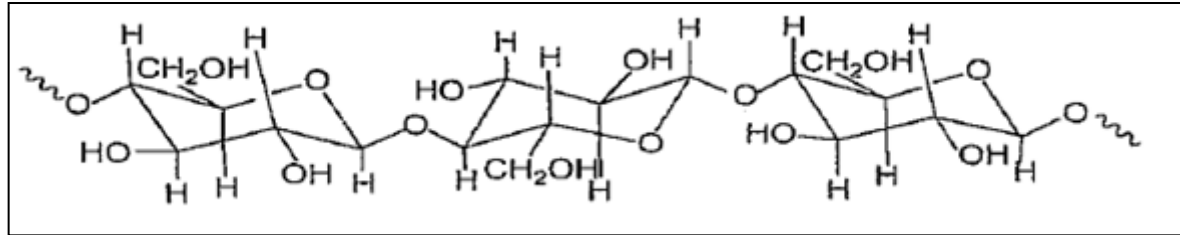
Biyokütle yapısında kuru temel üzerinden %88'den %99,9'a kadar birçok organik bileşeni içermektedir. Bu değerler diğer odun türleri için aşağıdaki Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir [20].

Çizelge 2.1. Seçilen biyokütlenin selüloz / lignin içeriği (ağırlıkça%) [20]

Biyokütle	Lignin (%)	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)
Yumuşak odun	27-30	35-40	25-30
Sert odun	20-25	45-50	20-25
Buğday samanı	15-20	33-40	20-25
Çim çimen	5-20	30-50	10-40

2.6.1. Selüloz

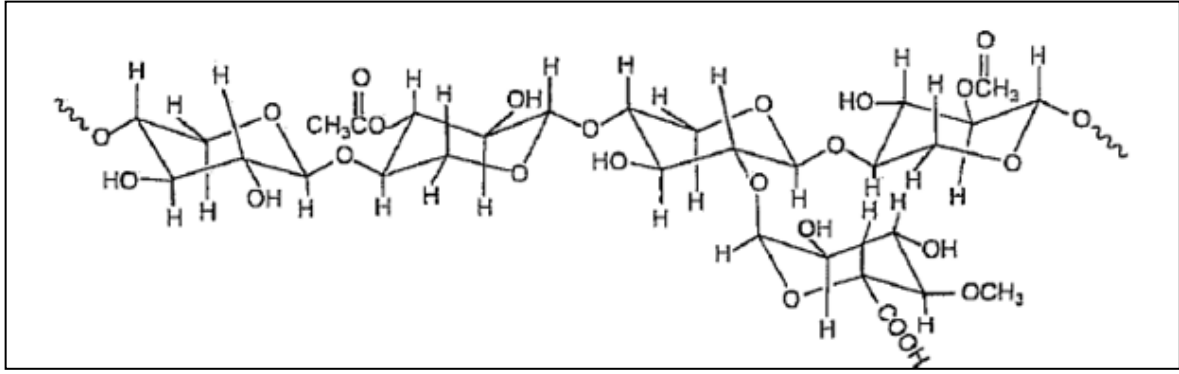
Odunun ortalama %35 ila %45'i selülozdan oluşmaktadır [21]. $(C_6H_{10}O_4)_n$ kapalı formülüne sahip olan selüloz, ayrıca β -glikoz bağlarının oluşturduğu uzun bir zincirden oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Selülozun kimyasal yapısı [19]

2.6.2. Hemiselüloz

Selülozla karşılaştırıldığında hemiselülozun termal dayanıklılığı daha azdır. Diğer anlamda kolay bozulan bir biyokütle bileşenidir [21]. Odunun kuru temel ortalamada %19 ila %30'u hemiselülozdan oluşturmaktadır. Hemiselüloz ısıl bozunma sırasında, yüksek miktarda yanmayan gaz ve az oranda katran oluşumuna neden olmaktadır. Hemiselülozun kimyasal yapısı şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Hemiselülozun kimyasal yapısı [19]

2.6.3. Lignin

Lignin karmaşık bir polifenolik yapıdır. Fenoller, karbon-karbon bağların ve eter pirolizinin sonucunda oluşmaktadır. Lignin, selüloz bozunmasına göre daha fazla miktarda char oluşturmaktadır. Lignin kapalı formülü $C_{10}H_{11}O_2$ olarak ifade edilebilmektedir. Lignin kuru odunun %20-25'ini oluşturmaktadır[21].

Çizelge 2.2.'de bazı bitkisel biyokütlelerin, yani lignoselülozik yapıya sahip maddelerin kimyasal olarak bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı lignoselülozik biyokütlelerin kimyasal bileşimleri [21]

Lignoselülozik biyokütle	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Fındık kabuğu	25,9	29,9	42,5
Buğday sapı	28,8	39,1	18,6
Çay atığı	30,2	19,9	40,0
Fıstık sapı	36,0	43,0	21,0
Çam kozalağı	18,8	46,5	37,4
Mısır koçanı	52,0	32,0	15,0
Zeytin kabuğu	24,0	23,6	48,4

2.6.4. Ekstraktifler

Ekstraktifler, polar (örneğin su) ya da polar olmayan (örneğin eter) çeşitli çözücüler ekstrakte edebilen bir grup heterojen maddeyi içeren bileşiklerdir. Bitki ekstraktlarını, mumları, yağları, katı yağ lipidlerini, reçineleri vs. içerir ve tipik olarak yüksek enerji değerlerine sahiptir. Yağlar, yağ asitleri, uçucu yağlar, fenoller, terpenler, steroidler, reçineler, mumlar ve az sayıda organik bileşikler genellikle bitki proteinlerinin duvarlarında bulunur. Bu kimyasallar monomer, dimer ve polimer formunda bulunur.

2.7. Biyokütle Olarak Pirina ve Fındık Kabuğu

Türkiye'nin farklı bölgelerinden sağlanan, atık potansiyeli yüksek (Çizelge 2.3), üç farklı biyoatık madde (fındık kabuğu, pirina ve odun talaşı) kullanılacaktır. Fındık kabuğu Bolu'dan, pirina Balıkesir'den, odun talaşı örneği ise Denizli'den temin edilmiştir.

Çizelge 2.3. Biyoatık maddelerin Türkiye'de yıllık miktarları [22, 23]

Biyoatık Çeşidi	Yıllık atık miktarı (ton)		Kullanılabilir atık miktarı, Teorik Gerçek ton/yıl
	Teorik	Gerçek	
Fındık kabuğu	698.499	566.437	453.150
Pirina	673.484	829.816	746.834
Odun talaşı	918.970	103.430	82.744

2.7.1. Pirina

Pirina ve kullanım alanları

Pirina, zeytinyağı üretim prosesinde zeytin çekirdeği ve posasından oluşan bir katı atıktır. Zeytinin ortalama %35 ila %45'i ham pirinayı oluşturmaktadır. Pirina; gübre, hayvansal gıda ve yakıt olarak birçok alanda kullanılabilir. Üretim teknolojilerine göre değişen oranlarda yağ içermesi ve yakıt olarak kullanılabilmesi nedeniyle ekonomik değeri yüksek bir biyokütledir. Kül miktarı ve kükürt içeriği düşük bir yakıttır. Isıl değeri 5000 kcal/kg civarında olan bu atığın farklı işlemlerle ekonomik açıdan değerlendirilmesi mümkündür. Enerji üretim süreçlerinde yağsız pirinanın kullanılması, alternatif çevre dostu bir yakıt elde edilmesinin yanı sıra atıkların değerlendirilmesi bakımından da önem arz etmektedir [24].

Çizelge 2.4. Pirinanın genel özellikleri [25]

Parametreler	Demirbaş 1997	Zabaniotou ve ark. 2000	Masghouni ve Hasariri 2000	Zanzi ve ark. 2001
C (%)	50	44,3	38,6-44,2	49,5
H (%)	6,2	5,82	4,8-5,9	6,3
N (%)	1-6	0	1,7	0,5
O (%)	42,2	49,85	27,3-33,1	43,7
Kül (%)	3-6	3,9	6,6	2,8
Nem (%)	19	21,5	9,1	10,6
Isıl Değer (kcal/kg)	-	4916	4182	-

Ham Pirinanın temel karakteristikleri

Pirinanın (Alperujo) temel karakteristikleri Çizelge 2.5.'te gösterilmektedir [26].

Çizelge 2.5. Pirinanın (Alperujo) temel karakteristikler

Parametreler	Miktar aralığı
Nem (%)	55.6-74.5
pH (suda)	4.86-6.45
Elektriksel iletkenlik	0.88-4.76
Organik madde	848.9-976.0 g/Kg
Lignin	323.0-556.5 g/Kg
Selüloz	140.2-249.0 g/Kg
Hemiselüloz	273.0-415.8 g/Kg
Toplam organik karbon	495.0-539.2 g/Kg
Toplam Azot	7.0-18.4 g/Kg
C/N oranı	28.2-72.9
Toplam yağ	77.5-194.6 g/Kg
Suda çözülebilir karbonhidratlar	12.9-164.0 g/Kg
Suda çözülebilir fenoller	6.2-23.9 g/Kg
Fosfor	0.7-2.2 g/Kg
Potasyum	7.7-29.7 g/Kg
Kalsiyum	1.7-9.2 g/Kg
Magnezyum	0.7-3.8 g/Kg
Sodyum	0.5-1.6 g/Kg
Demir	78-1462 g/Kg
Bakır	12-29 g/Kg
Mangan	5-39 g/Kg
Çinko	10-37 g/Kg

Pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesi

Yağı alınmış pirina, kükürt içermemesi ve düşük kül miktarı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanabilmektedir. Türkiye’de de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, alternatif enerji çeşitlerinden olan ve biyokütle kapsamında ele alınan pirinanın yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Böylelikle pirinanın doğrudan evsel ısınma ve sanayide

enerji kaynağı olarak kullanılması ile ülke ekonomisine kazandırılması sağlanmıştır. Sanayide, özellikle zeytinyağı ve/veya pirina yağı rafinerilerinin kendi atıkları bu şekilde değerlendirildiğinden ekonomik açıdan oldukça önemli kazançlar elde edilmektedir. Günümüzde pirina atığı, elektrik üretiminde, sıcak su ve buhar imalinde, merkezi kalorifer sistemlerinde, sanayi kuruluşlarında buhar üretiminde ve kızgın yağların ısıtılmasında yakıt olarak kullanılmaktadır. Yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri Çizelge 2.6’da verilmiştir [27].

Çizelge 2.6. Yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri [27]

Parametre	Değer
Nem, %	20
Kül, %	2,97
Yağ, %	2,5
Karbon, %	45,3
Oksijen, %	27,6
Hidrojen, %	5,9
Azot, %	1,85
Toplam kükürt, %	0,15
Alt ısı değeri, kcal/kg	4 480
Üst ısı değeri, kcal/kg	4 847

Pirinanın kömür ve fuel oil yakmak üzere üretilmiş kazanlarda yakılması sonucu özellikle karbon monoksit emisyonu yüksek değerlere ulaşmaktadır. Pirinanın bileşiminde bulunan yüksek orandaki uçucu maddeler 250-300°C sıcaklıklarda gazlaştığından, gazlaştırma tesislerinde bu gaz ürünlerini yakabilecek uygun hava/yakıt karışımı sağlanmalıdır. Pirina tek başına yakıt olarak kullanılabileceği gibi düşük kalorili linyit kömürü gibi diğer yakıtlarla birlikte de yakılabilir. Pirinanın ısı değeri diğer yakıtlarla karşılaştırılması Çizelge 2.7’de görülmektedir [28].

Çizelge 2.7 Pirinanın ısı değerinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması

Parametre	Kömür	Fuel- oil (4 no’lu)	Yağlı pirina	Yağsız pirina
Isıl değeri (Kcal/kg)	2400-4200	9700	4290	4130

2.7.2. Fındık kabuğu

Fındık, Türkiye’nin Karadeniz bölgesinde yetişen ve dünyadaki üretiminin yaklaşık %80’inin bu bölgeden sağlandığı bir tarım ürünüdür. Türkiye’de fındık kabuğu yıllık miktarı yaklaşık 250.000 tondur. Hasat sonrasında atık malzeme olarak kalan fındık

kabuğu genellikle yakıt olarak kullanılmaktadır. Fındık bitkisinin ağırlıkça %50'sini oluşturan fındık kabuğudur. Fındık kabuğu; %30,4 oranında hemiselülozlardan, %26,8 oranında selülozlardan, %42,9 oranında ligninden ve %3,3 oranında ekstraksiyon maddesinden oluşmaktadır. Fındık kabuğunun kül içeriği ise %1,2'dir [29].

Fındık kabuğunun kullanım alanları

Fındık kabuğu niteliği açısından yüksek kaloriye (4100 – 4400 kcal/kg) sahip bir biyokütledir. Ayrıca fındık kabuğu; gübre, aktive karbon üretimi, etanol ve petrokimya (furfural ve furfural) gibi çeşitli sanayi alanlarında kullanılmaktadır [30].

3. GAZLAŖTIRMA

3.1. GazlaŖtırma Prosesi

GazlaŖtırma, herhangi bir karbonlu yakıtın karbon monoksit, karbon dioksit, hidrojen ve metan gibi gazlara dnŖtrldđ ısı bir prosestir. Diğer bir deyiŖle gazlaŖtırma terimi, herhangi bir karbonlu yakıtın, kullanılabilir bir ısıtma değerine sahip bir gaz halindeki ürüne dnŖtrlmesini kapsar. Bu tanım yanmayı iermemektedir, nk yanmadan üretilen gazların ısı değerı dŖktr. Piroliz, kısmi oksidasyon ve hidrojenasyon gibi teknolojileri kapsar [31].

GazlaŖtırma prosesi sırasında oluŖan kimyasal reaksiyonlar sonucunda elde edilen gaza sentez gazı adı verilir. Kömür, petrol, biyokütle ve atıklar gazlaŖtırma iŖlemi uygulanabilecek karbon ieren hammaddelerdir. GazlaŖtırma ajanı olarak su buharı, hava, CO₂, O₂ ya da bunların karıŖımları kullanılır. OluŖan gaz ürünler, kimyasal madde ve enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır. GazlaŖtırma sonucunda elde edilen sentez gaz bileŖimi ierisinde yanabilir metan ve hidrojen gazlarının yanı sıra karbon dioksit, karbon monoksit ve azot gibi gazlar da bulunmaktadır.

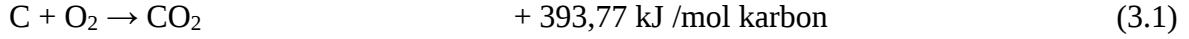
GazlaŖtırmanın ana reaksiyonları endotermiktir ve bunların sağlanması iin gerekli olan enerji genellikle biyokütlenin bir kısmının oksidasyonu ile verilir. Dahili ısıtma veya dıŖ ısıtma vasıtasıyla gazlaŖtırma prosesi gerekleŖmektedir [31].

3.2. GazlaŖtırma Sırasında GerekleŖen Temel Reaksiyonlar

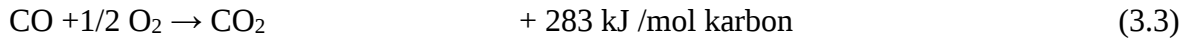
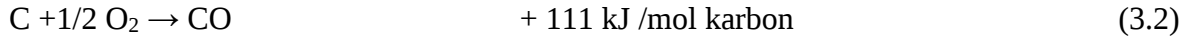
GazlaŖtırma, birok reaksiyonun aynı anda gerekleŖtiđi ve ođu zaman birbirleriyle rekabet ettiği karmaŖık bir iŖlemdir. AŖađıdaki tüm reaksiyonlar 298 K sıcaklıkta gösterilmektedir. Yakıtın oksijen ile reaksiyonu egzotermiktir; buhar veya karbon dioksit ile olan tepkimeler endotermiktir. Biyokütle, gazlaŖtırma iŖlemi sırasında temel kimyasal reaksiyonlarla karbon, karbon monoksit, karbon dioksit, hidrojen, su (buhar) ve metan gibi temel ürünlere dnŖmektedir. GazlaŖtırıcıda endotermik reaksiyonların gerekleŖmesi iin gerekli sıcaklık, yanma reaksiyonlarının gerekleŖmesi ile oluŖmaktadır. Isıl enerjinin

ayrılması ile beraber karbon dioksit ve su da oluşmaktadır [32]. Yanma anında genelde aşağıdaki iki reaksiyon oluşmaktadır:

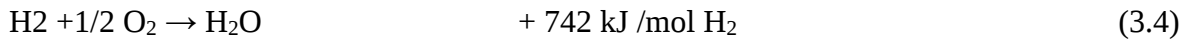
Tam yanma: Karbonun oksijende tam yanması ile karbon dioksit oluşumu.



Kısmi yanma: Karbonun ve karbon monoksitin oksijende kısmi yanması ile karbonmonoksit ve karbondioksit oluşumu.

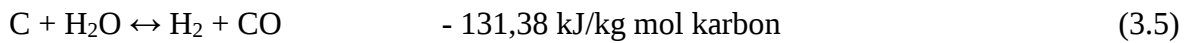


Hidrojenin oksidasyonu: Hidrojenin az miktar oksijende yanması.

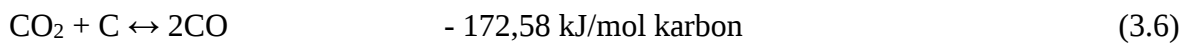


Yukarıda verilen yanma reaksiyonları sayesinde üretilen ısı endotermik reaksiyonların gerçekleşmesine neden olmaktadır. Gazlaştırma verimi olan H_2 , CO , CH_4 gibi yanıcı gazlar aşağıda verilen dört temel gazlaştırma reaksiyonlarını oluşturmaktadır:

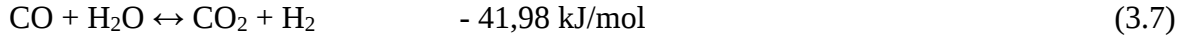
Su gazı reaksiyonu: Karbon ve su buharının reaksiyonu sonucu hidrojen ve karbon monoksit üretilmesidir.



Boudouard reaksiyonu: Karbon ve karbon dioksitten karbon monoksitin oluşum reaksiyonu.



Su gazı yönlendirme (water-gas shift) reaksiyonu: Karbon monoksit ve su buharından karbon dioksit ile hidrojen oluşumu reaksiyonu.

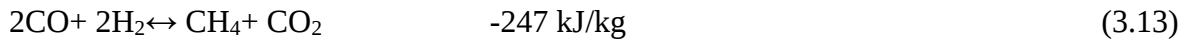
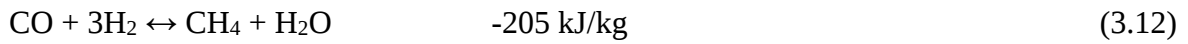
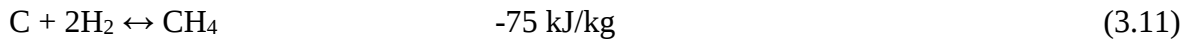


Katalizör reaksiyonu: katalizör (CaO, MgO), karbon dioksit ve karbon (kül) ile karbon monoksit oluşumu reaksiyonu [33].



X, (Ca, Mg ve K_2CO_3)

Metan reaksiyonu: Karbon, karbon monoksit ve hidrojen ile metan, karbon dioksit ve su baharı oluşumu reaksiyonu [34].



3.3. Gazlaştırıcı Tipleri

Çeşitli biyokütle gazlaştırıcı tipleri geliştirilmiştir. Bunlar sabit yataklı gazlaştırıcı (aşağı akışlı sabit yataklı, yukarı akışlı sabit yataklı ve karşıt akışlı gazlaştırıcı), akışkan yatak (kabarcıklı akışkan yatak ve sirkülasyonlu) ve sürüklemeli tip gazlaştırıcılar olarak üç ana başlığa ayrılmaktadır. Farklılaşma, reaktör kabındaki biyokütleyi destekleme aracına, biyokütlenin ve gazlaştırma ajanının akış yönüne ve ısının reaktöre beslenme şekline dayanmaktadır. Çizelge 3.1., en yaygın kullanılan konfigürasyonları listelemektedir. Döner fırın gazlaştırıcı ve Plazma gazlaştırma sistemleri son yıllarda geliştirilen teknolojilerdendir.

Çizelge 3.1. Gazlaştırıcı sınıflandırılması

Gazlaştırıcı tipi	Akış yönü Yakıt	Akış yönü gazlaştırma ajanı	Destek	Isı kaynağı
Yukarı akışlı sabit yataklı	Aşağı	Yukarı	Izgara	Külün yanması
Aşağı akışlı sabit yataklı	Aşağı	Aşağı	Izgara	Uçucuların kısmi yanması
Kabarcıklı akışkan yatak	Yukarı	Yukarı	Hiç	Uçucuların ve külün kısmi yanması
Sirkülasyonlu akışkan yatak	Yukarı	Yukarı	Hiç	Uçucuların ve külün kısmi yanması

3.3.1. Sabit yataklı gazlaştırıcı

Farklı özelliklerdeki yakıtlar için üç farklı gazlaştırıcı geliştirilmiştir. Bunlar; aşağı akışlı sabit yataklı, yukarı akışlı sabit yataklı ve karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılardır. Bunlar arasındaki fark, gazın gazlaştırıcı içerisindeki akış şekli ile ilgilidir. Bu proseste gaz ürünler ile katı madde, kül ve reaktif gazlar arasında zıt yönde bir akış sağlanıyor olması, ısı taşınımının çok iyi gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Sabit yataklı gazlaştırıcılarda, sisteme beslenen yakıtın tutunması ve belirli bir reaksiyon bölgesi oluşturulması amacıyla bir metal ızgara yerleştirilmiştir.

Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar

Ters akış gazlaştırması olarak da bilinmekle birlikte yukarı akışlı konfigürasyon, bu tip gazlaştırıcının en eski ve en basit şeklidir ve hala kömür gazlaştırması için kullanılmaktadır. Yakıt reaktörün üstünde beslenmektedir.

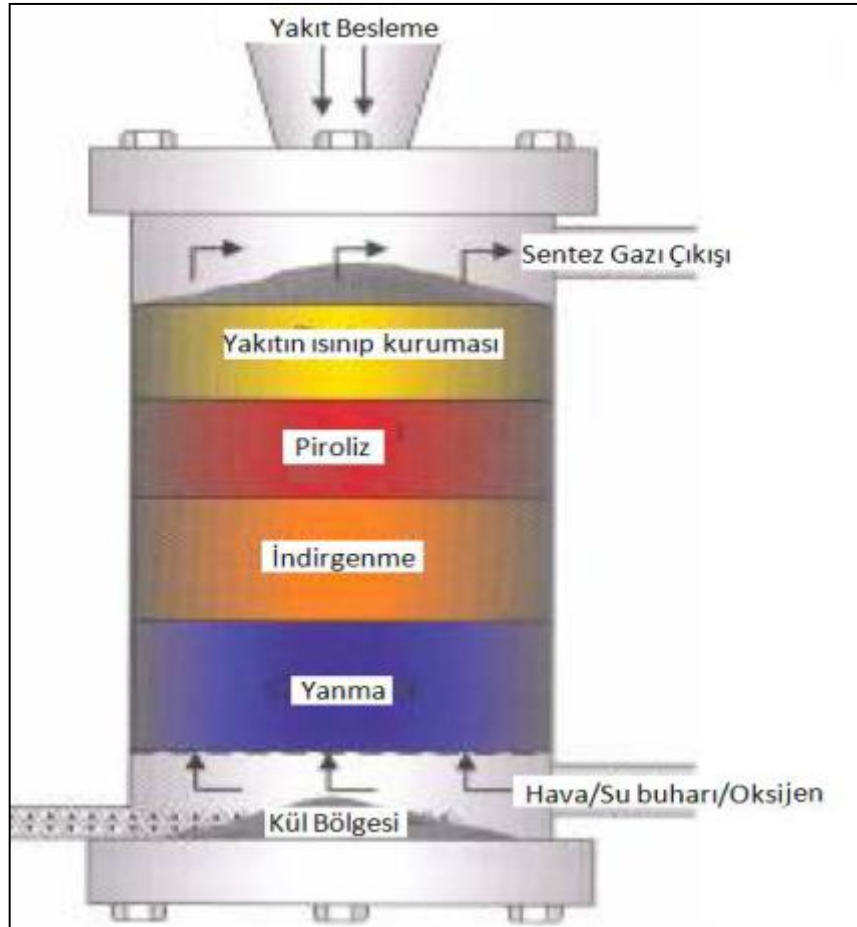
Yakıtlar (biyokütle veya kömür) reaktörün üstünden sisteme beslenirken, gazlaştırma ajanı (hava, buhar veya karbondioksit) gazlaştırıcının alt bölgesinden reaktöre verilir. Gazlaştırıcıya beslenen yakıt (biyokütle) nemi, alt kısımdan gelen sıcak gazın ısısıyla buharlaşarak piroliz bölgesinde katı yakıt yapısındaki uçuculara ayrışır. Yanma ve gazlaştırma reaksiyonları ızgaranın üzerindeki ocak bölgesinde gerçekleşir ve reaksiyon ürünleri bu bölgede oluşur. Bu tip sabit yataklı sistemlerde pirolizden çıkan ürünler tam olarak tepkimeye giremediklerinden ve sıcaklıkların düşük olmasından dolayı oluşan katranın parçalanması tam olarak gerçekleştirilemez ve üretilen sentez gazı içeriğindeki katran miktarı yükündür. Damıtma ve kurutma bölgesinde meydana gelen ürünler ise yağ, katran, buhar ve su olup bunlar oksitlenme bölgesine geçmezler. Bundan dolayı bu tip gazlaştırıcılarda uçucu madde oranı yüksek olan yakıtların gazlaştırılması yapıyorsa, elde edilen gazın katran içeriği yüksek olacaktır. Birçok firma nemli hava kullanarak hem gaz kalitesi hem de gaz sıcaklığını külün ergime noktasının altında tutmaktadır. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Şekil 3.1’de verilmiştir.

Yukarı akışlı gazlaştırmanın avantajları şunlardır [35]:

- Basit ve düşük maliyetli işlemdir
- Yakıt ve gazlaştırıcı ajanı arasında iyi temas sağlanmaktadır.
- Farklı boyutlara, yüksek neme ve yüksek inorganik içeriğe sahip olan biyokütlenin işlenebilmesidir (örnek olarak, belediye katı atığı).
- Kanıtlanmış bir teknolojidir.

Yukarı akışlı gazlaştırmanın dezavantajları şunlardır [35]:

- Sentez gazı ağırlık olarak %10-20 katran içerdiğinden dolayı motordan, türbinden veya sentez uygulamalarından önce kapsamlı bir syngas temizleme gerektirmektedir.
- Üretilen CO ve H₂ miktarları düşüktür.
- Katranın parçalanması için bir proses gerektirir.



Şekil 3.1. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [34]

Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar

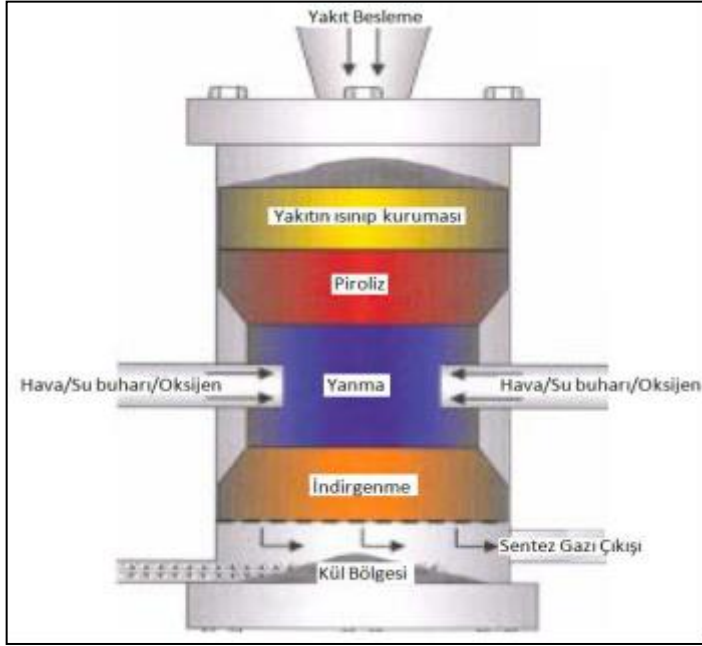
Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırma sisteminde, yakıt ve gazlaştırma ajanı aynı yönde yukarıdan verilerek sistem beslenir. Gazlaştırma işleminden çıkan gazlar, sistemin alt bölgesinden alınır. Piroliz alanından çıkan ürünler sıcak yatak alanından geçtiği için katranların büyük bir kısımda parçalanır. Bu tür gazlaştırıcılar genellikle biyokütle gazlaştırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Yukarı akışlı gazlaştırıcı ile aynı mekanik yapıya sahiptir. Bu işlemin en büyük farkı, oluşan katranların %99,9'unu yakabilmesidir. Düşük nemli biyokütle ($< \% 20$) ve hava veya oksijen, reaktörün üstündeki reaksiyon bölümü içinde ateşlenmektedir. Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Şekil 3.2'de verilmiştir [35].

Aşağı akışlı gazlaştırmanın avantajları:

- Yüksek karbon dönüşümü ve katran düşük üretim.
- Oluşan katranın %99,9'una kadar tüketildiğinden katran temizliği gerektirmez.
- Mineraller char/kül ile kalarak siklon ihtiyacını azaltmaktadır.
- Kanıtlanmış, basit ve düşük maliyetli bir işlemdir.

Aşağı akışlı gazlaştırmanın dezavantajları şunlardır:

- Zorluk başlangıç ve sıcaklığı kontrol.
- Düşük nemli bir besleme ($< \% 20$) olması gerektiği için ön kurutma işlemi gerektirmektedir.
- Reaktörden çıkan sentez gazı yüksek sıcaklıkta olduğundan ikincil bir ısı geri kazanım sistemi gerektirmektedir.
- Karbonun % 4 ila %7'si değişmeden kalmaktadır.



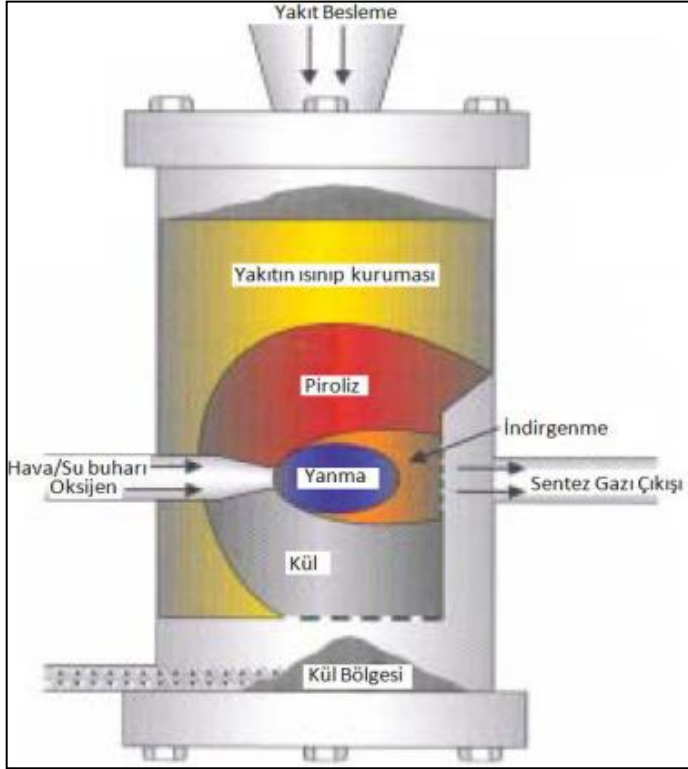
Şekil 3.2. Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [34]

Karşıt akışlı (Crossdraft) sabit yataklı gazlaştırıcılar

Karşıt akışlı ve aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar arasında neredeyse fark bulunmamaktadır. Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırma sistemlerinde, reaktörün üstünden beslenen yakıt aşağı doğru inerken kullanılan gazlaştırıcı gazlar reaktörün yan tarafından beslenir. Ürün gazlar da yine aynı düzeyden diğer taraftan gazlaştırıcıdan alınmaktadır. Yanma bölgesi, bu iki bölgenin arasında kalan kısımda bulunur. Sistemde kül, reaktörün alt kısmında bulunur. Çıkan gazların içeriğinde katran ve partikül miktarı fazladır. Dolayısıyla bu tip proseslerde katran ve nem miktarı fazla olan yakıtlar tercih edilmemektedir. Şekil 3.3'te karşıt akışlı gazlaştırma sistemine ait akış şeması görülmektedir.

Karşıt akışlı gazlaştırmanın dezavantajları şunlardır [35]:

- Gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması.
- Yüksek gaz hızı.
- CO₂ indirgemesinin zayıf olması.



Şekil 3.3. Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı [34]

3.3.2. Akışkan yataklı gazlaştırıcı

Ticari alanlarda ilk kullanılan gazlaştırıcılar, akışkan yataklı gazlaştırıcılardır. 0.5–5 mm aralığındaki biyokütle ve kömür parçacık boyutu bu tip gazlaştırıcı için uygundur. Yakıtın kendi külü ya da kum, kireç veya taşı yatak malzemesi olarak kullanılabilir. Akışkan yataklı sistemler, dolaşimli ve kabarcıklı akışkan yataklı sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar

Geliştirilmekte olan biyokütle gazlaştırıcılarının çoğu, kabarcıklı akışkan yatak ve sirkülasyonlu akışkan yatak şeklinde iki tür akışkan yatak konfigürasyonundan birini kullanmaktadır. Kabarcıklı akışkan yatak boy, yoğunluk ve termal özellikler için seçilmiş ince, inert kum veya alümina parçacıklarından oluşmaktadır. Gaz (oksijen, hava veya buhar), etkisiz partiküllerden geçerken partiküller ve gaz arasındaki sürtünme kuvveti katıların ağırlığını dengelediğinde belli bir noktaya ulaşılmaktadır. Bu minimum akışkanlaştırma şeklinde gazın hızında, gazın kabarcıklararak ortamdan kanallize edilmesi,

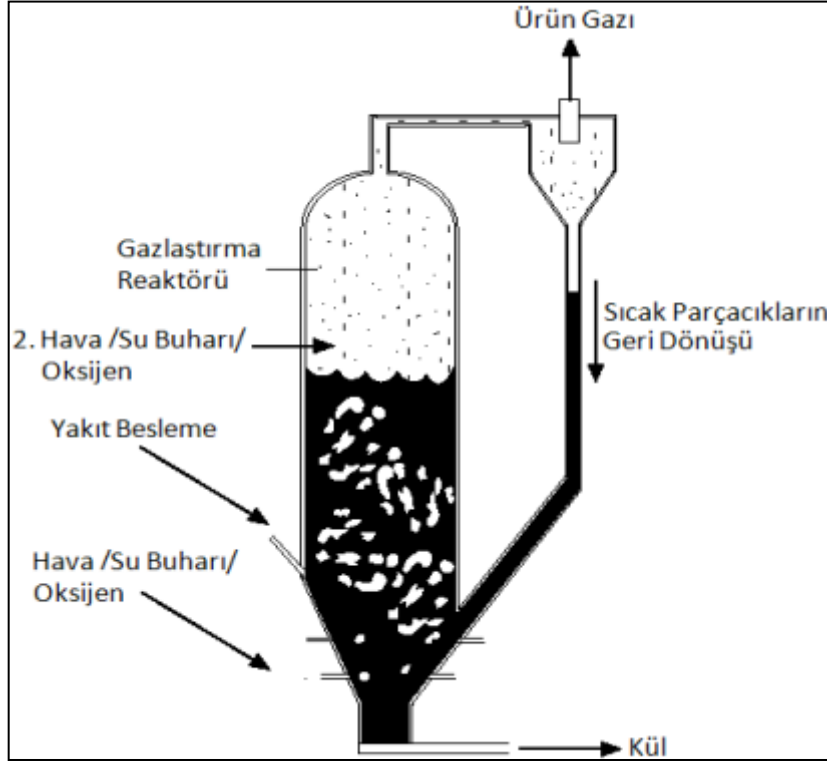
parçacıkların reaktörde kalması ve "kaynama durumu" görünmesi için gerçekleştirilmektedir. Akışkanlaştırılmış parçacıklar, yatağa beslenen biyokütleyi parçalama ve reaktör boyunca iyi ısı aktarımı sağlama eğilimindedir. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı Şekil 3.4'de verilmiştir.

Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırmanın avantajları [35]:

- Yüksek karışım gaz-katı temas ve iyi sıcaklık kontrolü sağlamaktadır.
- Yüksek karbon dönüşümü sağlamaktadır.
- Tekdüze bir gaz ürünü vermektedir.
- Reaktör boyunca neredeyse homojen bir sıcaklık dağılımı sergilemektedir.
- Kömür tozu dahil olmak üzere çok çeşitli yakıt partikül ebatlarını kabul edebilmektedir.
- İnert malzeme, yakıt ve gaz arasında yüksek oranda ısı transferi sağlamaktadır.
- Düşük katran ve dönüştürülmemiş karbon ile yüksek dönüşüm mümkündür.

Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırmanın dezavantajları ise şunlardır:

- Küller içinde karbon kaybı olabilmektedir.
- Baloncuğun büyük olması yatak içerisinden gaz baypasına neden olabilmektedir.



Şekil 3.4. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma sistemi [32]

Sirkülasyonlu akışkan yatak

Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar, minimum akışkanlaşma noktasından daha yüksek gaz hızlarında çalışmakta, bu da gaz akışındaki parçacıkların sürüklenmesini sağlamaktadır. Bu tip sistemlerde yatak sıcaklıkları 1000- 1600 °C sıcaklıkta olduğundan yatak içerisindeki kül ergimiş halde sistemden uzaklaştırılmaktadır. Gazda tutulan partiküller reaktörün üstünden çıkmakta ve bir siklonda ayrılıp reaktöre geri döndürülmektedir. Bu gazlaştırıcılar genellikle 35 bar basınca kadar kullanılabilen iken, gazlaştırma ortamı olarak oksijen kullanılmaktadır. Genelde kömür gazlaştırılması için kullanılsa da aynı zamanda atıkların gazlaştırılması için de kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te sürüklemeli akışlı yatak sistemine örnek olarak Noell tipi gazlaştırıcı sistemini gösterebiliriz [35].

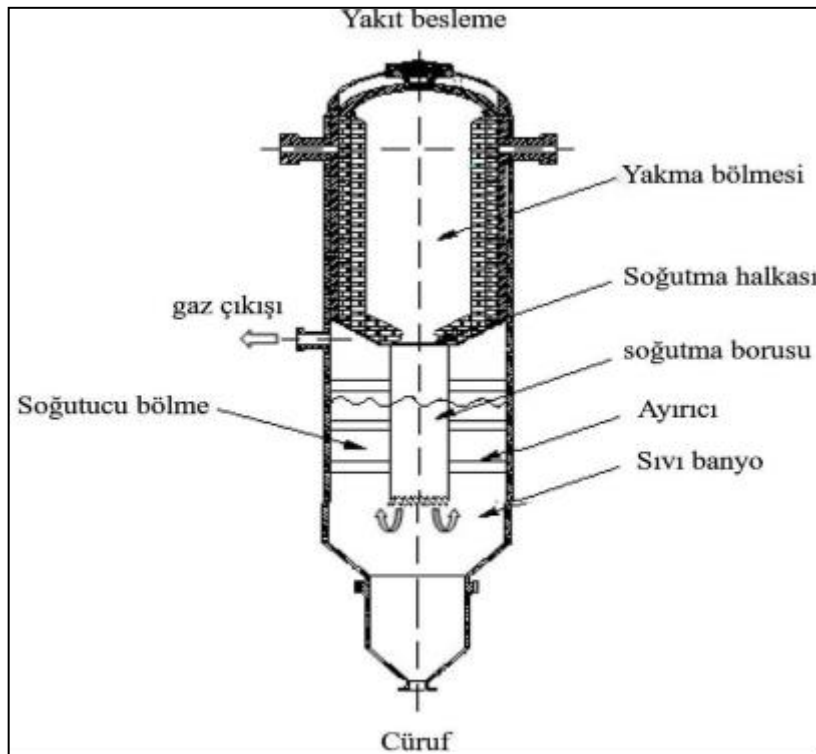
Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırmanın avantajları [35]:

- Hızlı reaksiyonlar için uygundur.
- Yatak malzemesinin yüksek ısı kapasitesi sayesinde yüksek ısı taşıma oranları mümkündür.

- Düşük katran ve dönüştürülmemiş karbon ile yüksek dönüşüm oranları mümkündür.

Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırmanın dezavantajları [35]:

- Sıcaklık değişimleri katı akış yönünde gerçekleşmektedir.
- Yakıt parçacıklarının boyutu minimum taşıma hızını belirlediğinden yüksek hızlar ekipmanın erozyonuna neden olabilmektedir.
- Isı değişimi, kabarcıklı akışkan yataktan daha az verimlidir.



Şekil 3.5. Sürüklemeli akışlı gazlaştırma sistemi [32]

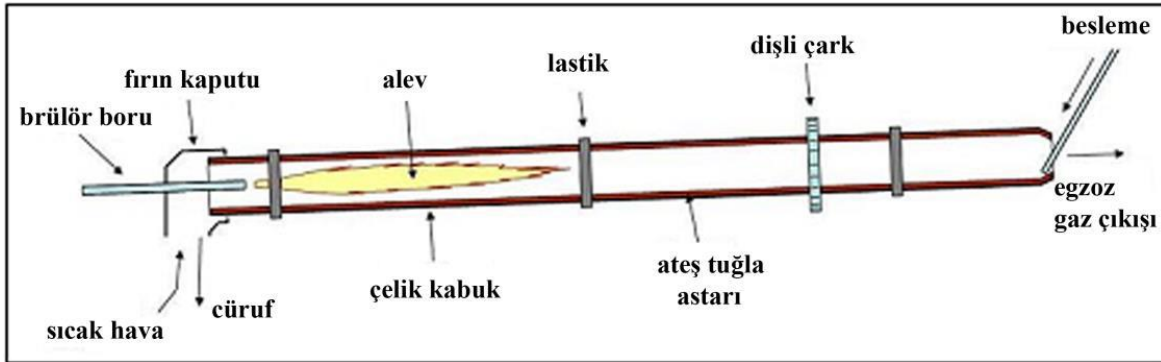
3.3.3. Döner fırın gazlaştırıcı

Döner fırın gazlaştırıcı, Şekil 3.6'da görüldüğü üzere yavaş bir şekilde kendi ekseninde dönen hafif eğimli (%1 – %3) silindirik bir odadan oluşur. Reaktörün üst kısmından yakıt ve gazlaştırıcı ajanı beslemesi yapılmaktadır. Yuvarlanma hareketi sayesinde yakıt, fırının içinden geçerek hava ile karışmakta, böylece gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sentez gazı reaktörün içinde tutulur ve üst tarafından

alınır. Döner fırın, sabit yataklılara kıyasla çeşitli yakıtlar ve farklı parçacık boyutları için kullanılabilir. Şekil 3.6’da döner fırın gazlaştırıcı sistemi verilmiştir.

Döner fırın gazlaştırmanın avantajları şu şekildedir [36]:

- Nem içeren yakıtlar ve büyük parçacık boyutları döner fırında kullanılabilir.
- Yüksek dönüşüme sahip bir gazlaştırıcıdır.
- Sıvılaştırılmış atıklar için uygundur.



Şekil 3.6. Döner fırın gazlaştırıcı sistemi [32]

3.3.4. Plazma gazlaştırma sistemleri

Plazma gazlaştırma sistemi, evsel atık biyokütlelerinin ve diğer katı atıkların gazlaştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir gazlaştırma yöntemidir. Bu tip sistemler ‘plazma proliz’ adıyla da bilinmektedir. Plazma sistemin en önemli unsurları arasında ateşleyiciler bulunur. İki elektrot arasında oluşan yoğun elektrik arkı neticesinde yüksek sıcaklıklara ulaşılır. Son yıllarda plazma teknolojisinde, özellikle Japonya’da büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Westinghouse Plasma Corporation sıcaklık verimi %60 - %70 aralığındadır. Plazma gazlaştırma sistemi Şekil 3.7’de verilmiştir.

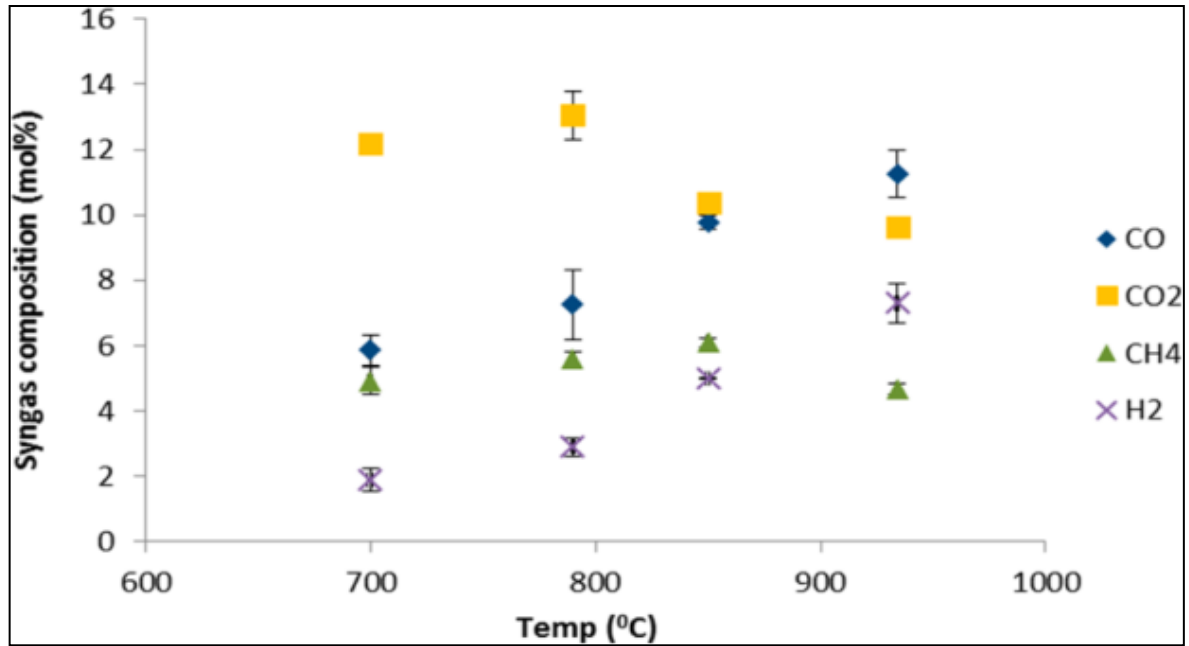


Şekil 3.7. Alter Nrg Plazma Gazlaştırıcı sistemi [32]

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gazlaştırma işlemi, esas olarak karbonlu yakıtlardan termal olarak parçalama reaksiyonlarıyla ‘sentez gazı’ olarak adlandırılan karbon monoksit, hidrojen ve diğer gazlar üretmektedir [37]. Bugüne kadar CO₂'nin biyokütle piroliz/gazlaştırma üzerindeki etkisine odaklanan birçok çalışma bulunmaktadır [38].

Sadhwani N. ve diğerleri (2017) bu çalışmada, biyokütleyi karbon dioksit ortamında gazlaştırmış, çalışmanın sıcaklık etkisini ve CO₂/C oranı ile süreci etkileyen reaksiyonları incelemiştir. Biyokütle olarak çam talaşı kullanarak ve karbon dioksit ortamında kabarcıklı akışkan yatakta gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de gazlaştırma sonuçları daha önce yapılmış olduğu gibi oksijen gazlaştırma çalışmasıyla karşılaştırmıştır. Sonuçta sıcaklık artışıyla CO ve H₂ artışı gözlenmiştir. Ancak oksijen ortamında CO ve H₂ konsantrasyonlarının, CO₂ ortamına kıyasla yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir[39].



Şekil 4.1. Çam talaşının 100 ml/dk karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

Zhang ve diğerleri (2011) tarafından, CO₂ atmosferinde oluşan kül miktarının diğer atmosferlerden (hava/oksijen veya buhar gibi) daha az olduğu bulunmuştur. CO₂ ve sıvı verimi düşerken, yoğunlaşmayan gazın verimi saf N₂ atmosferinde elde edilen verime kıyasla

artmıştır. CO₂'nin, 550°C daha düşük bir sıcaklıkta dahi, biyokütle piroliziyle pirolize edilen gazlar ve katranlarla reaksiyona girebilme kabiliyeti vardır [38].

Gao ve diğerleri (2013) linyit piroliz/gazlaştırma prosesinde CO₂'nin farklı etkilerinin düzeylerini incelemişlerdir. Benzen halkasının çatlamasını ve hidroksil, metil ve metilen gruplarının parçalanmasını artırarak kömür pirolizi/gazlaştırma işleminin CO₂ ile desteklendiğini bulmuşlardır. CO₂'nin gazlaştırılmasıyla hem gaz verimi hem de kömürün yüzey alanı arttırılmıştır [38].

Renganathan ve diğerleri (2012) CO₂'nin karbonlu hammadde biyokütle ile gazlaştırılmasını incelemiştir. CO₂'nin gazlaştırma ajanı olarak CO konsantrasyonunu arttırdığı, ancak H₂ üretimini azalttığını bildirilmişlerdir. Ek olarak, ürün sentez gazının düşük ısıtma değeri (LHV) ve besleme stoğunun LHV'si arasındaki oran olan soğuk gaz verimi (CGE), CO₂ miktarındaki artışla birlikte artmıştır. Bununla birlikte, CGE enerji gereksinimini dikkate almamakta ve genel verimlilik değerlendirmesi için yanıltıcı olabilmektedir [37].

Cheng, Y. ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada, akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda biyokütlenin CO₂ gazlaştırmasını incelemek için Eulerian yöntem kullanılmıştır. Gazlaştırıcı karışımında havada CO₂ yüzdesinin, CO₂-biyokütle oranının, odun talaşının nem içeriğinin ve odun talaşı boyutunun gazlaştırma performansı üzerinde büyük etkisi olduğu tespit edilmiştir. CO₂-biyokütle oranının artırılmasıyla, CO'nun üretilmiş gazlardaki mol oranı artarken, H₂ ve CO₂'dekiler ters eğilim değişikliği göstermiştir. Gazlaştırma ajanında CO₂ kütle yüzdesi %60 olduğunda, üretilmiş gazdaki CO ve CH₄ fraksiyonları maksimum seviyeye ulaşmıştır [40].

Renganathat ve diğerleri (2012) Gibbs minimizasyon yaklaşımını kullanarak karbonlu hammaddelerin gazlaştırılması için CO₂ gazlaştırma ajanı üzerine bir termodinamik analiz gerçekleştirmişlerdir. CO₂'nin gazlaştırıcı bir madde olarak buharla veya oksijenle birleştirildiğinde, karbonun yanı sıra karbon dioksit dönüşümünün ve enerji ihtiyacının azaltılabileceğini bulmuşlardır. Ayrıca sentez gazında birleşim olan hidrojen/karbon oranı geniş bir aralıkta değişebilmektedir [40].

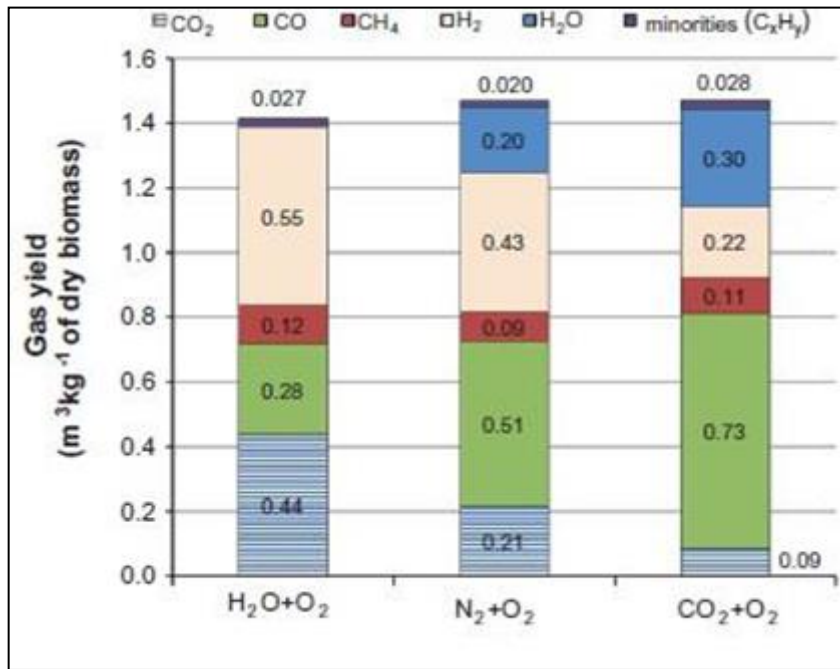
De Sales ve diğerlerinin (2017) çalışmalarında, O_2 , O_2 + doymuş buhar ve O_2 ve doymuş buhar gibi farklı gazlaştırma ajanlarını kullanarak iki aşamalı aşağı akışkan bir reaktörde biyokütle (*Okaliptüs spp.*) gazlaştırmasını araştırmışlardır. O_2 , O_2 + doymuş buhar olarak karbon dioksit gazlaştırma ajanıyla beslendiğinde, CO_2 enjeksiyonunun da biyokütleyi yoğunlaştırabilen ve nemlendiren buharı değiştirme fonksiyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Aynı şekilde CO_2 , CO oluşturmak üzere C (ler) ile Boudouard reaksiyonunu destekleyebilmektedir. 11 L/dk olarak CO_2 akışının kontrolü debimetre ile gerçekleştirmekte ve O_2 beslemesinden önceki işleme verilmektedir [40].

C. Guizani ve diğerleri (2014) çalışmalarında, yüksek sıcaklıkta ince odun karbon dioksit ortamında gazlaştırma gerçekleştirmişler. Çalışmanın amacı CO_2 'nin gazlaştırma ajanı olarak potansiyel kullanımını değerlendirilmesidir. Deneysel sonuçlara göre, kullanılan gazlaştırma ajanları CO_2 ortamında yapılan gazlaştırma, azot ajanı ile karşılanmıştır. Piroliz aktif aşaması sırasındaki kütle kaybı oranı, N_2 ve CO_2 piroliz atmosferlerde hemen hemen aynı bulunmuştur. Ayrıca kül miktarının da aynı olduğu gözlenmiştir. Bir diğer araştırmada kömür külü veriminin, saf bir CO_2 atmosferinde, He atmosferindeki pirolize kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. Partikül içinde CO_2 mevcut olmasına rağmen düşük sıcaklıkta CO_2 etkisi gözlenmemiştir[42].

Uysal ve diğerleri (2011) sabit yatak gazlaştırıcı kullanarak linyitten sentez gazı üretilmesi amacıyla çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma koşulları $600^{\circ}C$ - $800^{\circ}C$ sıcaklık aralığında olup, linyit parçacık boyutu 2-3 mm ve 5-15 g su/dk olarak su buharı üzerinde işleme tabi tutulmuşlardır. Elde edilen gaz bileşimi sonuçları ile sıcaklık ve su buhar akış hızı etkilerini incelemişlerdir. Yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen sentez gazı karışımında hidrojenin konsantrasyonu %8 – %76 aralığında, karbonmonoksitin konsantrasyonu ise %15 – %83 aralığında değişmiştir. Elde etmiş oldukları sonuçlardan, optimum gazlaştırma sıcaklığının $700^{\circ}C$, optimum su buharı akış hızının ise 10 g/dk olduğunu tespit etmişlerdir [43].

Gil ve diğerleri (1997) farklı gazlaştırma ajanı hızları buhar veya buhar + oksijen biyokütle gazlaştırdığında kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre CO ve hidrokarbonlarda azalma görülmüş, H_2 ve CO_2 konsantrasyonlarda artış görülmüştür. CO_2 gazlaştırıcı olarak kullanıldığında hem sentez gazında H_2 ve CO miktarları hem de Boudouard ve su gazı reaksiyon hızlarını artırır [44].

Pohorely ve arkadaşları (2014) üç gazlaştırma ajanı kombinasyonunun etkisini araştırmıştır: O_2 , buhar ve CO_2 , $850^\circ C$ sıcaklıkta ve akışkan yataklı gazlaştırıcıda yapılmıştır. Şekil (5.2), farklı gazlaştırma ajanları için sentez gazı birleşimlerini gösterir. CO_2 , CO , H_2 ve H_2O verimlerinde, termodinamik beklentilere (su gazı şeft reaksiyonu) göre değişme gözlenmiştir. Gazlaştırıcı olarak buhar ve CO_2 birlikte kullanıldığı zaman metan ve kısa zincirli organik bileşiklerde (C_2-C_7) benzerlik gözlenmiştir. Aynı zamanda N_2 düşük olduğu saptanmıştır. Gazlaştırıcı ajanı olarak CO_2 ve O_2 karışımı kullanıldığında, en yüksek soğuk gaz verimi ve karbon dönüşümü gözlemlenmiştir [45].



Şekil 4.1. Farklı gazlaştırma ajanında sentez gazı bileşimleri [45]

Vural ve diğerleri (2014) tarafından yapılan çalışmada Soma Eynez Havzasına ait linyit kullanılarak, sabit yatakta, dolaylı ısıtmalı ve su buharı ile yapılan gazlaştırma tekniği ile yüksek hidrojen içeren sentez gazı elde edilmişler. Kömür partikül çapı, su buharı akış hızı ve sıcaklık parametrelerinin etkileri deneysel olarak incelemişler. İnceledikleri deneysel aralıklarda, optimum koşullar 1,2 mm kömür ortalama partikül çapı, $700^\circ C$ sıcaklık ve 10 ml/dk su buharı akış hızı olarak belirlemişler. Yapılan analiz sonucunda elde edilen sentez gazında hidrojen, karbon monoksit, metan ve karbon dioksit gazlarının konsantrasyonları sırasıyla %63, %3, %2 ve %32 olarak belirlemişler. Ayrıca, CaO , MgO , K_2CO_3 gibi katalizörlerin gazlaştırma sürecine katalitik etkisi de incelemişler. Bunların arasında en

uygunu CaO olduğunu bu durumda H₂, CO, CH₄ ve CO₂ konsantrasyonları sırasıyla, %73, %10, %5 ve %12 olarak bulunmuşlar [46].

Sert, M. ve diğerleri (2009) bu çalışmada kapsamında pirinadan hidrojen üretimi araştırılmıştır. Deneyler, kesikli otoklavda 300-600°C sıcaklıklar arasında ve 200-425 atm basınç aralığında gazlaştırma gerçekleştirilmiştir. Ayrıca katalizörün (Trona, K₂CO₃ ve KOH) etkisi de incelenmiştir. Ürütlen gaz birleşimleri (H₂, CO, CO₂, CH₄) ve az miktarda C₂-C₄ hidrokarbon içermektedir. Katalizörlü çalışmada katalizör etkisi görmek amacıyla yapılmıştır. Katalizörsüz çalışmada, gaz ürünleri sıcaklıkla etkileme gözlenilmiştir. sıcaklık 300°C'den 400°C'ye yükseldiğinde, gaz verimi %19,7'den %33,8'e yükselmiştir. 600°C'de en yüksek gaz verimi 64,6% elde edilmiştir. Pirinanın katalizörsüz çalışma için, % 64,6 gaz verimi, % 4,6 sıvı ürün verimi ve % 30,8 kalıntı elde edilmiştir. Bu çalışmada, hidrojen verimini arttırmak için üç farklı katalizör kullanılmıştır. Katalizörsüz çalışma ile karşılaştırıldığında, gaz verimi katalizör olduğunda artırma gözlenmiştir. 600°C'de katalizör olarak K₂CO₃ kullanıldığında, gaz ürününün verimi %64,6'dan %78,5'e yükselmiştir. K₂CO₃ katalizli işleminde, gaz ürünü verimi %27,4'ten % 78,5'e yükselmiştir, sıcaklık 300°C'den 600°C'ye yükseltilmiştir. Basıncın metan ve su gazı reaksiyonu üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Gaz ürünündeki metan bileşimini 75atm aralıkta basınç 200 atm'den 425 atm'a yükseltildiğinde, metan bileşimi K₂CO₃ katalizli gazlaştırma işlemi için 600°C'de % 15,3'ten % 25,1'e yükselmiştir [47].

Kwon ve diğ. (2009) karbon dioksit ortamında ve çeşitli basınçlarda belediye atıklarından sentez gazı üretmek için çalışmalar yürütmüştür. Deneylerde gazlaştırıcı olarak “Düşürme Tüplü Reaktör” kullanmışlar. Çalışmalarının iki aşamasında sıcaklıkta düşüş gözlemlemişler. İlk sıcaklık düşüşünde 280-350°C'ye düşer ve genellikle biyokütlede C₁-3 hidrokarbonların bozunma işlemi olarak gözlenmişler. İkinci sıcaklık düşüşünde ise genelde 280 - 350°C sıcaklıkta ve belediye atığı karışımlarında kullanılması tanımlamışlar. Yapmış oldukları tüm deneylerinde, CO₂ enjekte edilmesinin katran oluşumunu azalttığını ve CO konsantrasyonunu arttırdığını bulunulmuşlar. Ayrıca, CO₂ kullanıldığında oluşan CO miktarının N₂'den daha fazla olduğunu bulunulmuşlar. % 30 CO₂ kullanıldığında en yüksek hidrojen ve karbon monoksit değerini elde etmişler [48].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Hammaddeler

Deneysel çalışmalarda hammadde olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı kullanılmış ve öncelikle pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının kaba ve elementel analizleri yapılarak bileşimleri öğrenilmiştir. İlk önce pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı atığının kaba analizi “Leco CHN 1000” markalı elementel analiz cihazı ile elementel analizi yapılmıştır. Ayrıca kullanılan gazlaştırma ajanı karbon dioksit saflığı %99,98 CO₂’dir. Çizelge 5.1-5.3’de kullanılan pirina, fındık kabuğu ve talaşın sırasıyla kaba ve elementel analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 5.4. Pirinanin kaba ve elementel analiz verileri

Pirina					
Kaba analiz	% Nem	% Uçucu madde	% Kül	% sabit C	
	5,86	65,12	3,16	25,86	
Elementel analiz	% v/v				
	C	H	N	O	S
	50,5	6,55	1,39	41,35	0,21

Çizelge 5.5. Fındık kabuğunun kaba ve elementel analiz verileri

Fındık kabuğu					
Kaba analiz	% Nem	% Uçucu madde	% Kül	% sabit C	
	8,4	62,7	1,3	27,6	
Elementel analiz	% v/v				
	C	H	N	O	S
	46,4	5,7	1,4	45,83	0,67

Çizelge 5.6. Odun talaşına ait kaba ve elementel analiz verileri

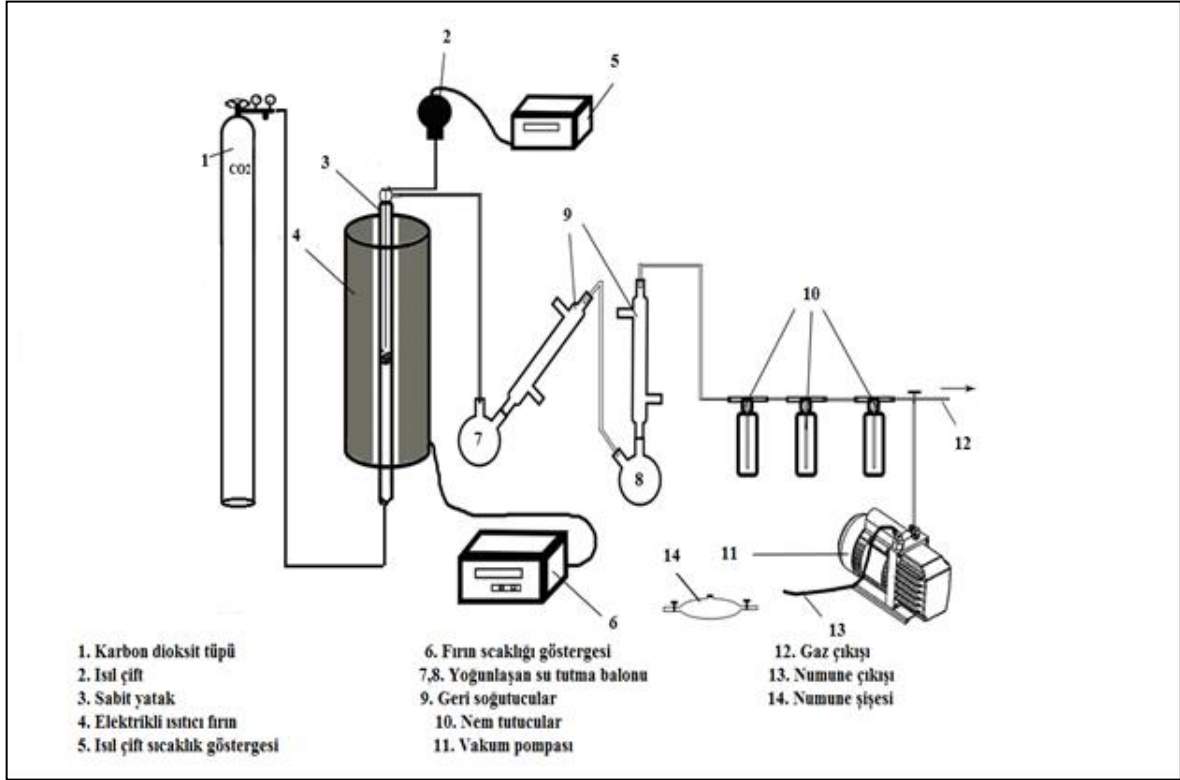
Odun Talaşı					
Kaba analiz	% Nem	% Uçucu madde	% Kül	% sabit C	
	5,2	77,3	1,1	16,4	
Elementel analiz	% v/v				
	C	H	N	O	S
	44,59	6,32	1,57	42,83	0,2

5.2. Deney Sistemi ve Deneylerin Planı

Gazlaştırma işlemi, bir fırının içine yerleştirilmiş ve içinde elek olan 40 mm çapında ve 1 m boyunda silindir şeklinde cam kolondan oluşan sabit yatakta gerçekleştirilmiştir. Resim 5.1 ve şekil 5.1’de deney düzeneğinin şeması ve resmi verilmiştir.



Resim 5.1. Deney düzeneği



Şekil 5.2. Deney düzeneği şeması

Her deneyde sisteme, katı besleme öncesinde kolon içerisinden oksijeni veya havayı tamamen uzaklaştırmak amacıyla yaklaşık 5 dakika boyunca azot gazı verilmiştir. Oksijen kolondan uzaklaştırıldıktan sonra gazlaştırma ajanı olarak CO₂ akış hızı ayarlanarak gazlaştırıcıya beslenmiştir. Ardından katı besleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı her deneyde ayrı ayrı gazlaştırılmıştır. Atıklar, reaktöre üst kısımdan beslenmiştir. Katı atıklar sisteme 5 g/dk sabit besleme hızında ve her deney için en az 60 g şeklinde beslenmiştir. Gazlaştırma sonucunda oluşan kül, reaktörün alt kısmında bulunan kül tutma balonunda biriktirilmiş, kolonun ortasında bulunan eleğin tıkanmadığından emin olmak için bir veya iki deneyden sonra kolon soğutularak temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Gazlaşma sonucu oluşan gazlar, reaktörün üst kısmında bulunan gaz çıkışından çıkıp, iki geri soğutucu ve üç nem tutucudan geçmiş ve numune şişelerinde tutulmuştur. Geri soğutucular gazın sıcaklığını düşürmek amacıyla kullanılmıştır. Geri soğutuculardan geçen nemli gaz önce silikon nem tutucudan, sonrada CaCl₂ nem tutucudan geçirilerek suyu uzaklaştırılmış ve vakum pompası vasıtasıyla sentez gazı numune alma cam şişelerinde

analiz için toplanmıştır. Vakum pompası numun alırken pompa çıkışı ve cam şişe ile bağlanıp sentez gazının şişede toplanır.

Deneylerde 1-1,25 mm ortalama partikül çaplı biyokütle olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı kullanılmıştır. Deneyel çalışmada, sıcaklık ve karbondioksit akış hızları parametrelerinin, karbondioksit ve biyokütle (pirina, fındık kabuğu ve talaş) gazlaştırıldığında elde edilen sentez gazı içerisindeki H_2 , CO , CH_4 ve CO_2 konsantrasyonların H_2/CO hacimsel oranına etkisi incelenmiştir. Daha sonra pirina, fındık kabuğu ve odun talaş olan biyokütlelerin en iyi sentez gazı konsantrasyonu eldesi için karbondioksit hızları (1,5; 3 ve 4,5 ml/s) katalizörler (CaO , MgO ve K_2CO_3) ile gazlaştırma etkileri incelenmiştir. Bu parametreler aşağıdaki Çizelge 5.4-5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Gazlaştırma parametreleri

Biyokütle Türü	Ortalma Partikül boyutu , mm	Karbon Dioksit Hızı, ml/s	Sıcaklık , °C	Kullanılan biyokütle miktarı, g
Yağsız Pirina	1,0	1,5	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	3	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	4,5	600,650,700,750,800,850	60
Fındık Kabuğu	1,0	1,5	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	3	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	4,5	600,650,700,750,800,850	60
Odun talaşı	1,0	1,5	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	3	600,650,700,750,800,850	60
	1,0	4,5	600,650,700,750,800,850	60

Çizelge 5.5. Katalizörlü gazlaştırma parameterleri

Katalizör	CaO , MgO , K_2CO_3
Karışım oranı, g	%90 fındık kabuğu + %10 CaO %90 fındık kabuğu + %10 MgO %90 fındık kabuğu + %10 K_2CO_3
Sıcaklık °C	600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C
Karbon dioksit akış hızı ml/s	1,5

5.3. Gazlaştırma Ajanı

Biyokütle gazlaştırılması için kullanılan hava, oksijen, buhar ve karbondioksit gibi çeşitli gazlaştırma ajanlarının gazlaştırma işlemi üzerinde etkileri araştırılmıştır. Hava veya oksijen gazlaştırmada denklik oranının (DO) arttırılması, biyokütle miktarına kıyasla oksijen miktarının arttırılması anlamına gelir. Denklik oranı (DO) arttığında, oksidasyon/yanma reaksiyonları CO ve H₂ miktarında azalmaya neden olur ve CO₂ çıkışında bir artış gözlenir. Sentez gazı ısıtma değeri azalır, ancak hem gaz verimi hem de karbon dönüşümü artar. Buhar veya buhar + oksijen gazlaştırma ajanı olarak kullandığında sentez gazı içersinde H₂ miktarı ve ısıtma değeri artırılır [49].

5.4. Sentez Gazı Analizi (Gaz kromatografi cihazı – GC)

Bir karışımda gaz halinde bulunan veya kolayca buharlaştırılabilen bileşenlerin birbirinden ayrılması amacıyla gaz kromatografisi (GC) yöntemi kullanılır. Bu yöntemde ayrılma, bileşenlerin farklı katı yüzeylerdeki farklı adsorpsiyon ilgilerine göre gerçekleşir. Numunede bulunan bileşenler bir cihazla spektrum haline getirilir ve bu spektrumda bulunan her pik ayrı bir bileşeni gösterir.

Gazlaştırma prosesinden sonra üretilen sentez gazı numunesi, gaz kromatografi cihazı (GC) kullanılarak analiz edilmiştir. Gaz kromatografi cihazının kolonu silika jeldir. Taşıyıcı gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Gaz akış hızı 13 ml/dk ve gönderilen numunenin hacmi ise 2,5 ml'dir. Gaz analizi cihazı ve sıcaklık programı sırasıyla Resim 5.2 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Resim 5.2. GC sistemi (Taşıyıcı gaz, Enjeksiyon ünitesi, Kolon, Dedektör, Bilgisayar kısımlarından oluşur)

Çizelge 5.6. Gaz analizi sıcaklık programı

Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Bekletme, dakika	Son sıcaklık, (°C)
50	8,20	80
80	8,00	120
120	4,50	200
200	0,00	240
240	8,00	0

➤ Sıcaklık ve karbon dioksit akış hızının sentez gazı bileşimine etkisi

- Sistemde karbon dioksit, 1.5, 3 ve 4.5 ml/sa olmak üzere üç farklı akış hızı kullanılmıştır.
- Daha önce yapılmış gazlaştırma çalışmalarına göre partikül boyutu etkisi tespit edilmemesi için bu çalışmada 1-1,25 mm aralığında partikül boyutu seçilmiştir. Ayrıca biyokütle hızlı gazlaştırması için biyokütledeki boyutu seçilmiştir. Partikül boyutu, 1-1,25 mm olan pirina, fındık kabuğu ve talaş numuneleri sabit yataklı

gazlaştırma reaktörüne beslenmiştir. Deney setindeki her bir deney için numune miktarı 60 g olarak sabit tutulmuştur.

- Çalışılan farklı akış hızlarında 600, 650, 700, 750, 800 ve 850°C sıcaklıklarda alınan gaz numuneleri incelenmiştir.
- Katalizör tipinin sıcaklığa bağlı olarak sentez gazı bileşimine etkisi
 - Katalizörsüz gazlaştırma işlemi sonuçlarına göre, CaO, MgO ve K₂CO₃ katalizörlerinin en yüksek hidrojen verimi alınan fındık kabuğu atığı ile olan fiziksel karışımlarının (%10 katalizör) katalitik etkileri incelenmiştir.
 - Üç farklı katalizör ile yapılan deneysel çalışmalarda, ortalama partikül boyutu 1 mm olan 60 g biyokütle numuneleri, 4,5 mlCO₂/s karbon dioksit geçirilen sistemde gazlaştırılmıştır
 - Farklı katalizörlerle yapılan deneylere ait 600, 650, 700, 750 ve 800°C sıcaklıklarda alınan ürün gaz numuneleri incelenmiştir.

Çizelge 5.7. Katalizör özellikleri

Katalizör Türü	Hammade şekli	M (g/mol)	Konsantrasyon %
MgO	Tuz	40,30	98
CaO	Tuz	56,04	97
K ₂ CO ₃	Tuz	58,06	99

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Biyokütle atıklar olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının karbon dioksit ortamında gazlaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırma prosesi gerçekleştirilmiştir.

1 mm boyutundaki partiküller deneylerde kullanılmıştır. Deneysel çalışmada sıcaklık, karbon dioksit akış hızları ve katalizör etkileri incelenmiştir. Deneyler 600–850°C sıcaklık aralığında ve farklı karbon dioksit hızlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 6.1-6.3'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, azot ve diğer gazlar hariç H₂, CO, CH₄ ve CO₂ gazlarının hacimce toplam yüzdeleri olarak verilmiştir.

Çizelge 6.1. 1,5 ml CO₂/s akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar

Biyokütle Türü	Sıcaklık, °C	600	650	700	750	800	850
	Gaz içeriği						
Yağsız Pirina	H ₂ , %(v/v)	25,19	23,22	26,49	27,40	29,13	20,02
	CO, %(v/v)	54,05	54,71	56,59	58,66	59,46	67,52
	CH ₄ , %(v/v)	9,98	8,51	8,79	6,94	6,36	7,16
	CO ₂ , %(v/v)	10,78	13,57	8,13	6,99	5,04	5,16
	H ₂ /CO	0,47	0,42	0,47	0,47	0,49	0,47
Fındık Kabuğu	H ₂ , %(v/v)	25,35	22,32	25,77	28,75	33,63	30,99
	CO, %(v/v)	49,88	55,69	58,28	59,60	58,29	58,99
	CH ₄ , %(v/v)	18,59	15,05	11,26	7,39	5,43	4,85
	CO ₂ , %(v/v)	6,19	6,93	4,68	4,25	2,64	5,16
	H ₂ /CO	0,51	0,40	0,44	0,48	0,58	0,53
Odun talaşı	H ₂ , %(v/v)	11,59	28,23	28,24	30,36	31,26	24,26
	CO, %(v/v)	35,29	56,02	57,09	57,27	58,20	59,84
	CH ₄ , %(v/v)	45,13	7,08	7,04	7,15	6,12	4,29
	CO ₂ , %(v/v)	8,23	8,67	7,62	5,22	4,41	11,14
	H ₂ /CO	0,33	0,50	0,49	0,53	0,54	0,41

Çizelge 6.2. 3ml CO₂/s akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar

Biyokütle Türü	Sıcaklık,°C	600	650	700	750	800	850
	Gaz içeriği						
Yağsız Pirina	H ₂ , %(v/v)	24,29	25,56	27,08	27,73	27,91	23,59
	CO, %(v/v)	43,96	55,58	54,43	56,94	60,63	63,49
	CH ₄ ,%(v/v)	26,18	9,55	6,21	7,71	5,72	7,91
	CO ₂ ,%(v/v)	5,57	9,31	11,27	6,60	5,74	4,99
	H ₂ /CO	0,55	0,45	0,49	0,49	0,46	0,37
Fındık Kabuğu	H ₂ , %(v/v)	19,08	19,27	20,26	21,08	28,13	26,22
	CO, %(v/v)	53,60	58,29	57,61	56,73	62,25	48,89
	CH ₄ ,%(v/v)	17,78	15,94	10,88	15,30	3,28	9,76
	CO ₂ ,%(v/v)	9,54	6,49	11,25	6,88	6,34	12,13
	H ₂ /CO	0,35	0,33	0,35	0,37	0,45	0,54
Odun talaşı	H ₂ , %(v/v)	17,98	24,68	24,30	28,25	30,21	25,91
	CO, %(v/v)	16,35	53,69	60,51	60,71	61,29	61,91
	CH ₄ ,%(v/v)	11,41	15,22	9,15	4,24	4,86	7,96
	CO ₂ ,%(v/v)	54,25	6,39	6,03	6,79	3,64	4,22
	H ₂ /CO	1,01	0,46	0,40	0,48	0,49	0,42

Çizelge 6.3. 4,5 ml CO₂/s akış hızında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar

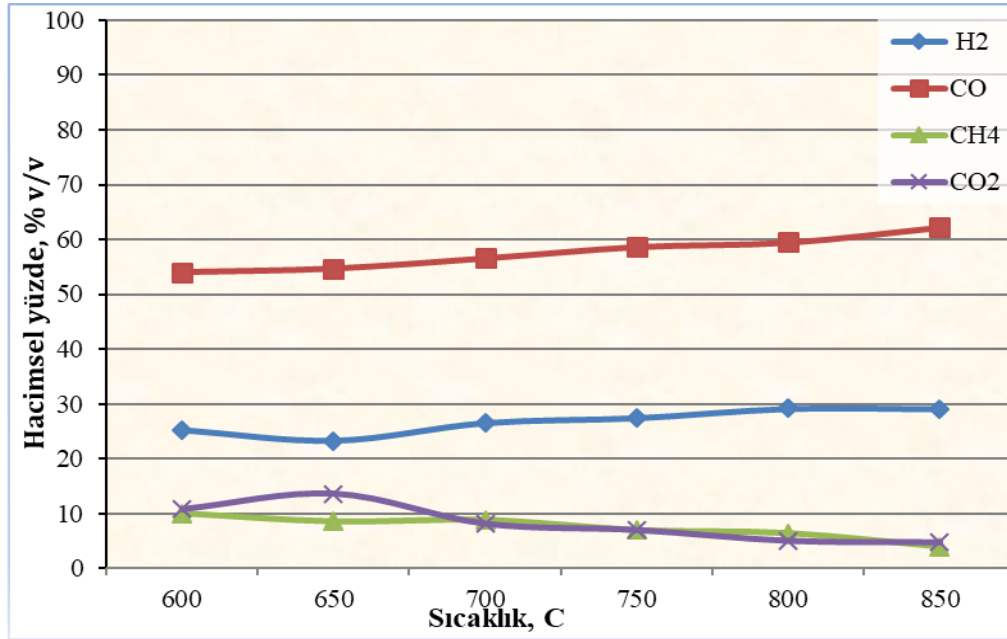
Biyokütle Türü	Sıcaklık,°C	600	650	700	750	800	850
	Gaz içeriği						
Yağsız Pirina	H ₂ , %(v/v)	19,86	24,23	22,64	28,97	33,04	27,33
	CO, %(v/v)	28,27	49,34	55,75	54,53	55,61	58,03
	CH ₄ , %(v/v)	36,19	16,67	14,49	7,93	5,37	10,06
	CO ₂ , %(v/v)	15,66	9,75	7,12	8,57	5,98	4,57
	H ₂ /CO	0,70	0,49	0,35	0,53	0,61	0,47
Fındık Kabuğu	H ₂ , %(v/v)	8,71	12,65	13,02	18,37	28,00	27,52
	CO, %(v/v)	39,01	60,77	61,37	61,64	58,37	54,58
	CH ₄ , %(v/v)	24,25	15,91	14,16	8,57	10,54	7,69
	CO ₂ , %(v/v)	28,03	10,67	11,45	11,41	6,08	10,21
	0,22	0,21	0,21	0,21	0,29	0,48	0,68
Odun talaşı	H ₂ , %(v/v)	19,32	20,03	28,46	29,31	32,04	27,86
	CO, %(v/v)	56,27	56,16	58,26	56,09	57,69	57,31
	CH ₄ , %(v/v)	18,13	14,33	7,61	9,69	5,43	10,24
	CO ₂ , %(v/v)	5,27	9,48	5,67	4,92	4,83	4,58
	H ₂ /CO	0,34	0,36	0,49	0,52	0,55	0,49

6.1. Sıcaklığın Etkisi

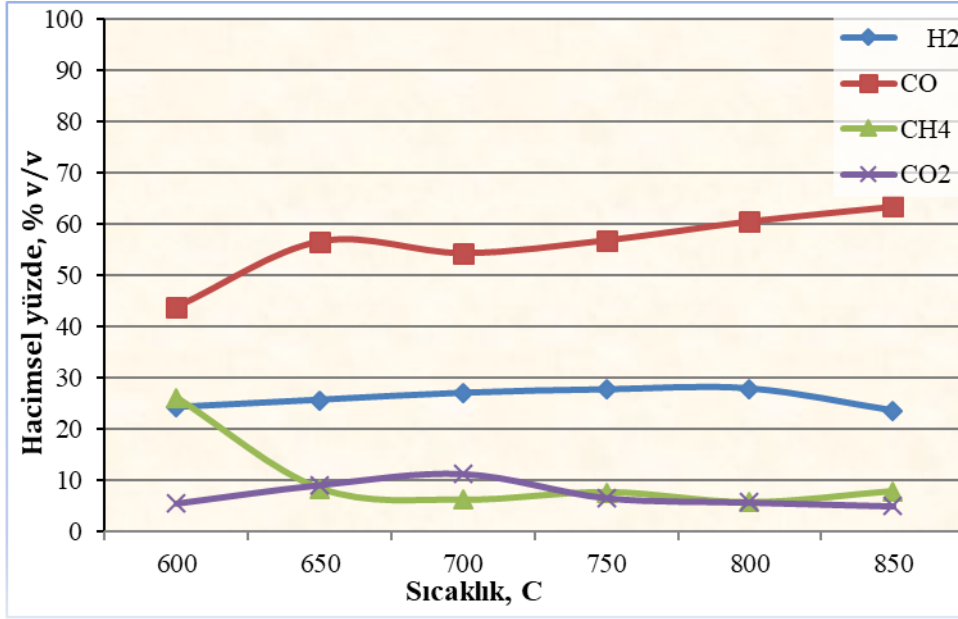
Gazlaştırma işlemi farklı sıcaklıklarda (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C) gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda gaz bileşimlerinin H₂, CO, CH₄ ve CO₂ etkileri incelenmek amacıyla Şekil 6.1-6.9’da gösterilmiştir. Bu şekillerde biyoküteller aynı partikül boyutu olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının üç farklı karbon dioksit akış

hızında yapılan gazlaştırma sonunda elde edilen gaz ürün konsantrasyonlarının sıcaklıkla değişimi verilmiştir.

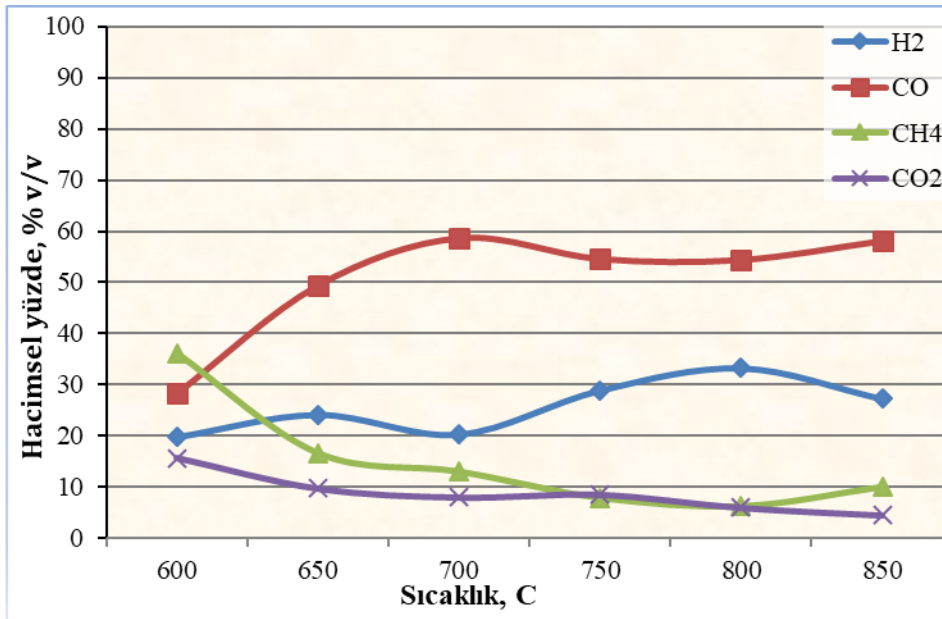
Şekil 6.1-6.3'te pirinanın üç farklı karbon dioksit akış hızında yapılan gazlaştırılma işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelediğinde sıcaklığın artması ile CO miktarında artma, CH₄ ve CO₂ miktarında ise azalma görülmüştür. Aynı zamanda bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarla (Sadhvani N. ve diğerleri, Cheng, Y. ve diğerleri, Renganathan ve diğerleri) desteklenmektedir. Bu şekiller incelendiğinde esas olarak H₂ konsantrasyonunda çok fazla artış görülmemiştir. Aynı zamanda H₂ konsantrasyonu 850°C sıcaklıkta azalmaya başlamıştır. Hidrojenin hacimce yüzdesinin (33,63% v/v) en yüksek olduğu durumun 800°C sıcaklık ve 1,5 ml/s karbon dioksit akış hızında olduğu tespit edilmiştir. CO'nun hacimce yüzdesinin (63,49% v/v) en yüksek olduğu durumun 850°C sıcaklık ve 3 ml/s karbon dioksit akış hızında tespit edilmiştir. Pirinanın toplam H₂+CO hacimce yüzdesinin en yüksek olduğu durumun 850 °C sıcaklık olduğu bulunulmuştur.



Şekil 6.1. Pirinanın 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



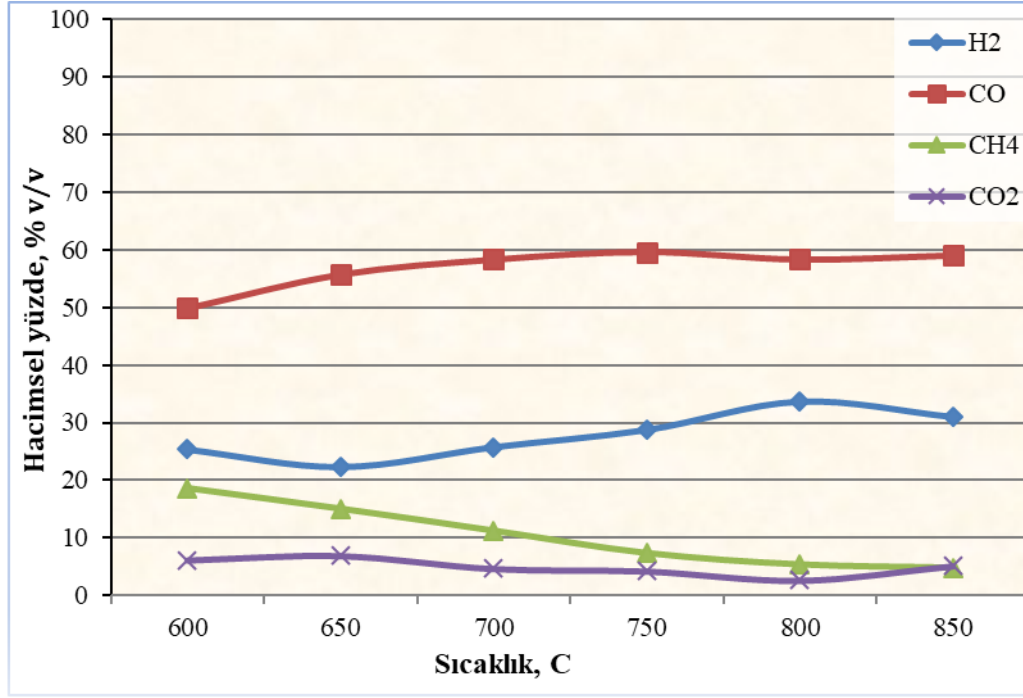
Şekil 6.2. Pirinanın 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



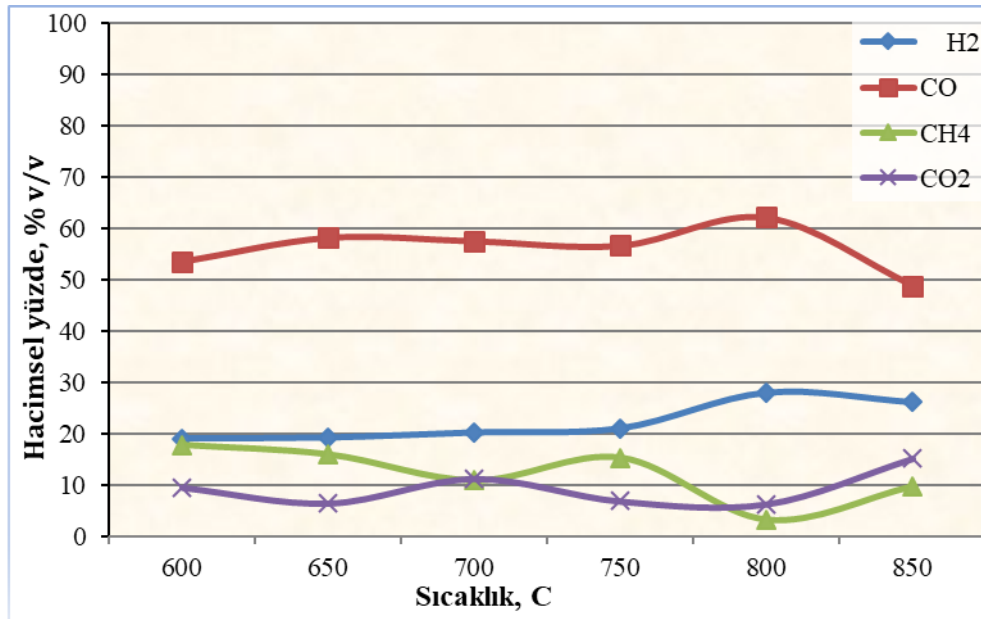
Şekil 6.3. Pirinanın 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

Şekil 6.4-6.6'da fındık kabuğunun üç farklı karbon dioksit akış hızında yapılan gazlaştırılması işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde sıcaklığın artması ile Şekil 6.1-6.3'teki grafiklere benzer olarak CO ve H₂ miktarında artma, CH₄ ve CO₂ miktarında ise azalma gözlenmektedir. Fındık kabuğu gazlaştırıldığında, diğerlerine göre en yüksek H₂ konsantrasyonu bulunulmuştur. En yüksek H₂ konsantrasyonu (33,63% v/v) 800°C sıcaklıkta

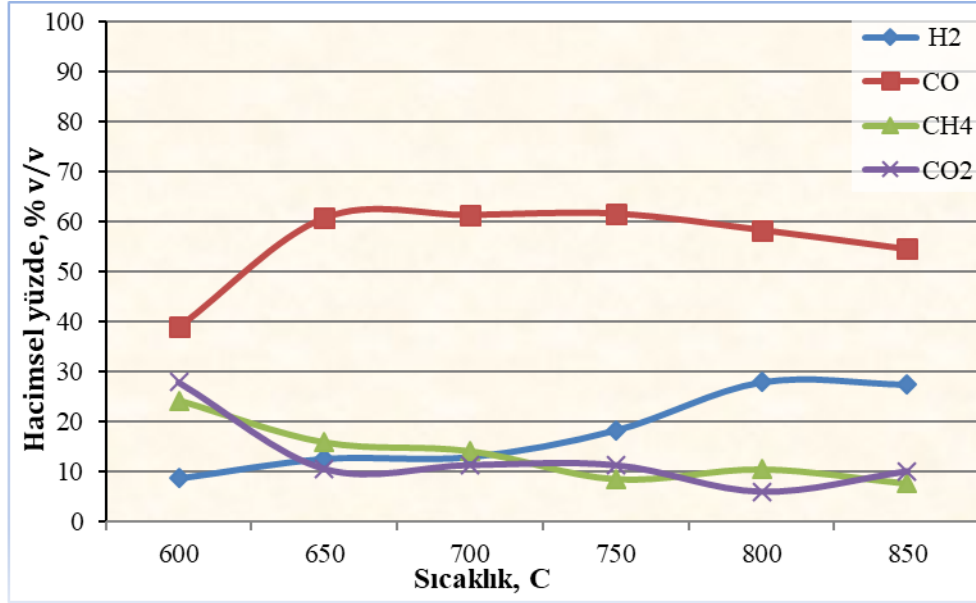
bulunmuştur. Fındık kabuğunun toplam H_2+CO hacimce yüzdesinin en yüksek olduğu durum $800\text{ }^{\circ}C$ sıcaklıkta bulunmuştur. Fındık kabuğunun tüm verilere göre en iyi sonuçları, düşük CO_2 akış hızında bulunulmuştur.



Şekil 6.4. Fındık kabuğunun 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

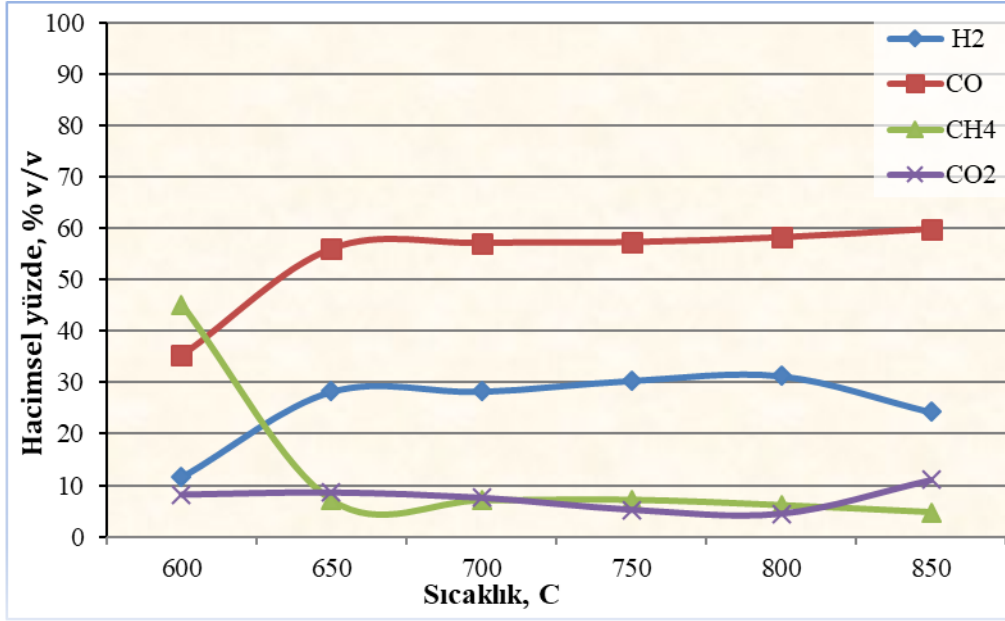


Şekil 6.5. Fındık kabuğunun 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

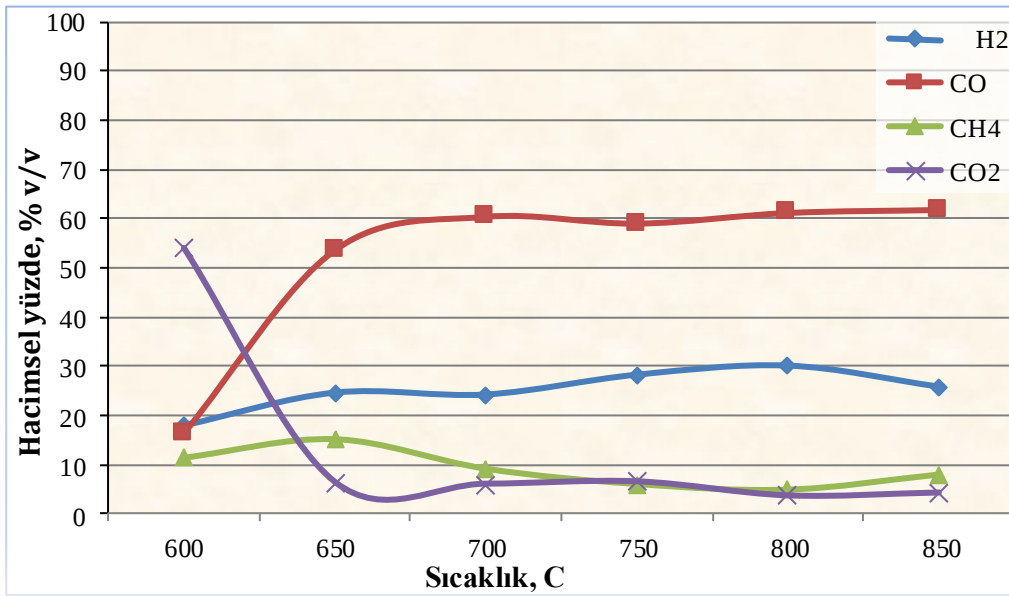


Şekil 6.6. Fındık kabuğunun 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

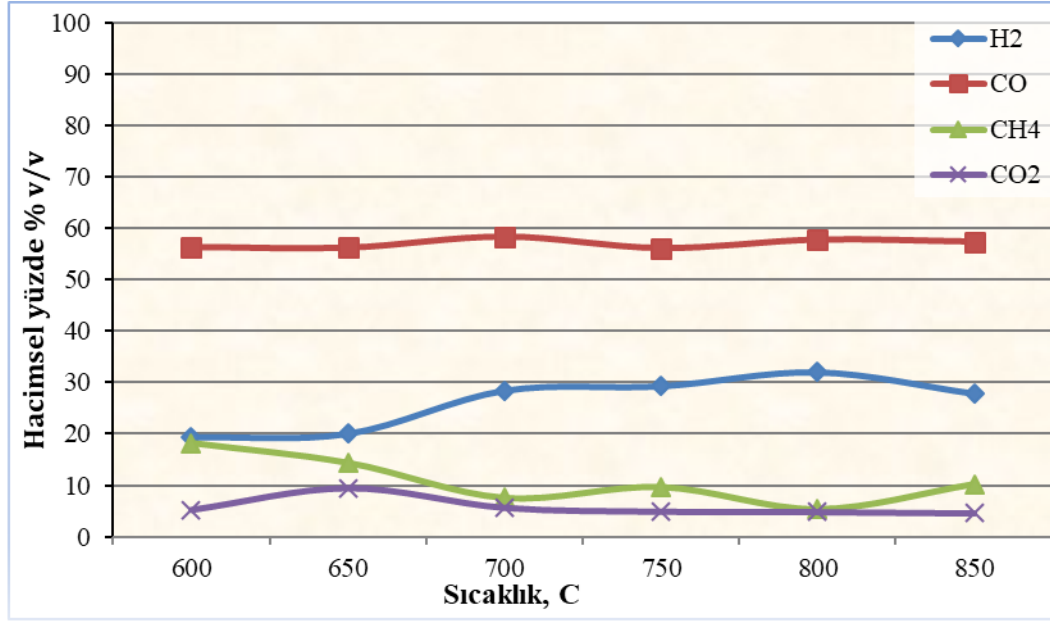
Şekil 6.7-6.9'da odun talaşının üç farklı karbon dioksit akış hızında yapılan gazlaştırılma işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde, sıcaklığın artması ile H₂ konsantrasyonunun arttığı, özellikle 800°C sıcaklıkta maksimum değere ulaştığı görülmüştür. 850°C sıcaklıklarda H₂ konsantrasyonunda kayda değer azalış olduğu görülmektedir. CO konsantrasyonunun ise sıcaklığın artması ile arttığı görülmektedir. Ama CO konsantrasyonunun, yüksek CO₂ akış hızında azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Talaşın toplam H₂+CO hacimce yüzdesinin en yüksek olduğu durumun 800 °C sıcaklıkta olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.7. Odun talaşının 1,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

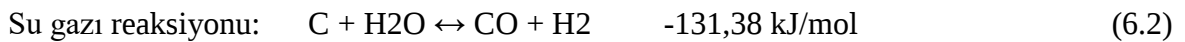


Şekil 6.8. Odun talaşının 3 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



Şekil 6.9. Odun talaşının 4,5 ml/s karbon dioksit akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

Şekillerden anlaşılacağı üzere tüm biyokütle örneklerinde (pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı) ve karbondioksit akış hızlarında, sıcaklık 600°C'den 850°C'ye doğru yükseldikçe oluşan gaz ürünündeki hidrojen miktarı artmaya ve metan CH₄ miktarı azalmaya başlamıştır. Aynı zamanda, CO konsantrasyonu sıcaklığın artması ile doğru orantılı bir değişim göstermiştir. Sentez gazı bileşim grafiğindeki CO konsantrasyonu sıcaklık arttırıldığında sürekli olarak artmaktadır. Genel olarak CO değeri 600°C sıcaklıkta %16,35 değerinden, 850°C sıcaklıkta %67,52 değerine yükselmiştir. CO konsantrasyonunda 850°C sıcaklıkta yüksek değişim görülmüştür. Bu nedenle, CO üreten reaksiyonların aktivitesinin sıcaklıkla arttığı ve 850°C civarında en yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Gazlaştırma sırasında kolonda gerçekleşebilecek CO reaksiyonları aşağıdaki gibidir.



6.2. Karbon dioksit Akış Hızının Etkisi

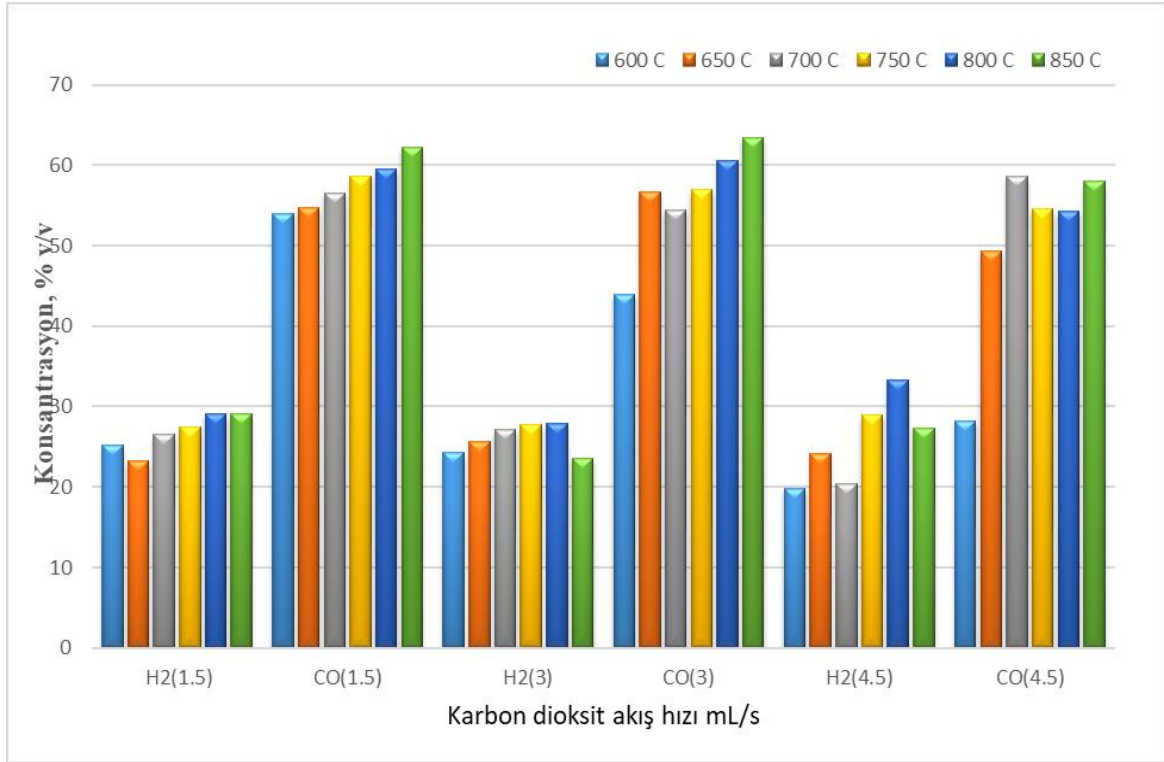
Gazlaştırma işlemi üç farklı karbon dioksit akış hızında (1,5; 3 ve 4,5 ml/s) gerçekleştirilmiştir. Karbon dioksit akış hızının gaz ürün bileşimindeki H₂ ve CO

konsantrasyonlarını üzerine etkisini incelemek amacıyla Çizelge 6.1-6.3'teki verilerden Şekil 6.10-6.13'teki grafikler elde edilmiştir.

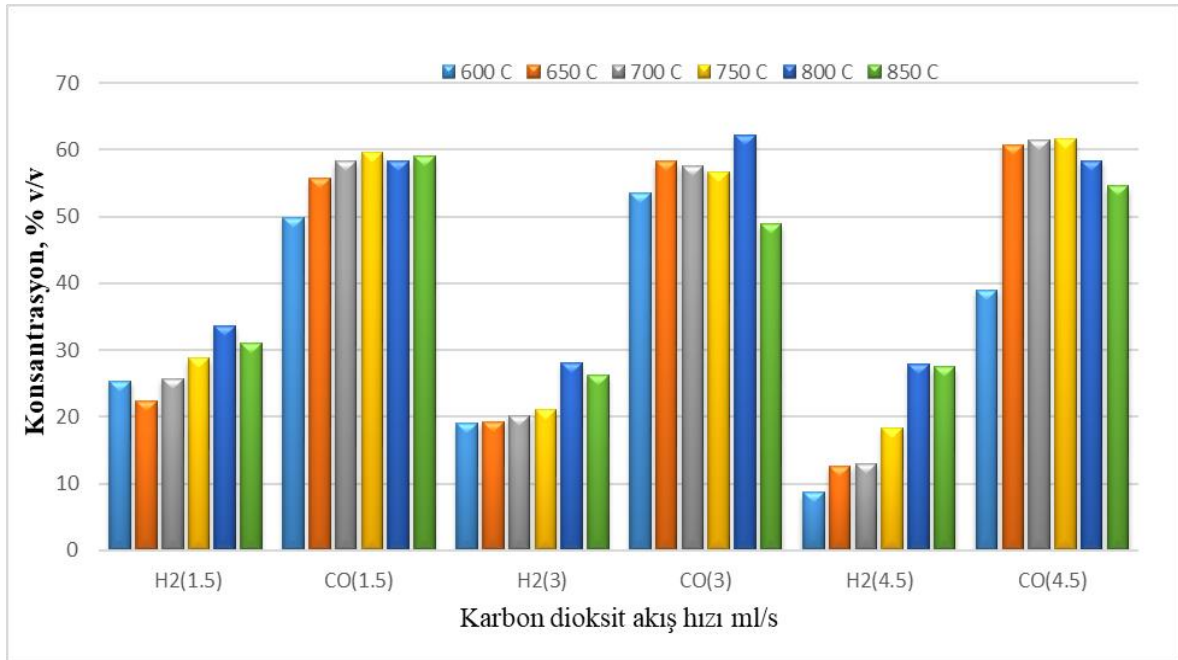
Şekil 6.10-6.12 incelendiğinde en yüksek H₂ ve CO konsantrasyonlarının, 1,5 ml/s CO₂ akış hızında olduğu bulunmuştur. Şekil 6.10'da biyokütle olarak Pirina kullanıldığı ve CO₂ 1,5 ml/s akış hızının CO konsantrasyonları açısından daha verimli olduğu görülmektedir. Şekil 6.11'deki fındık kabuğunda ise CO₂ akış hızının 1,5 ml/sn iken H₂ konsantrasyonları açısından daha verimli olduğu görülmektedir. CO₂ akış hızlarının 3 ve 4,5 ml/sn olması arasında önemli bir fark yoktur. Sentez gazı bileşimlerinin 1,5 ml/s CO₂ akış hızında daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.10-6.12'ye göre fındık kabuğu için 800 °C ve 1,5 ml/s CO₂ akış hızı koşulları sağlandığında en yüksek H₂ konsantrasyonu ve H₂/CO mol oranına sahip sentez gazı elde edilmiştir. Sıcaklığın ve CO₂ akış hızının artması, sentez gazında CO miktarının oluşumuna olumlu yönde etki etmektedir. Bu durumun, yüksek sıcaklıklarda gazlaştırma ortamında karbon dioksitin karbonla reaksiyonu (Boudouard reaksiyonu) sonucunda karbon monoksitin oluşması, daha sonra ise oluşan karbon monoksitin yeniden su buharı ile hidrojene ve karbon dioksit dönüşümü ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

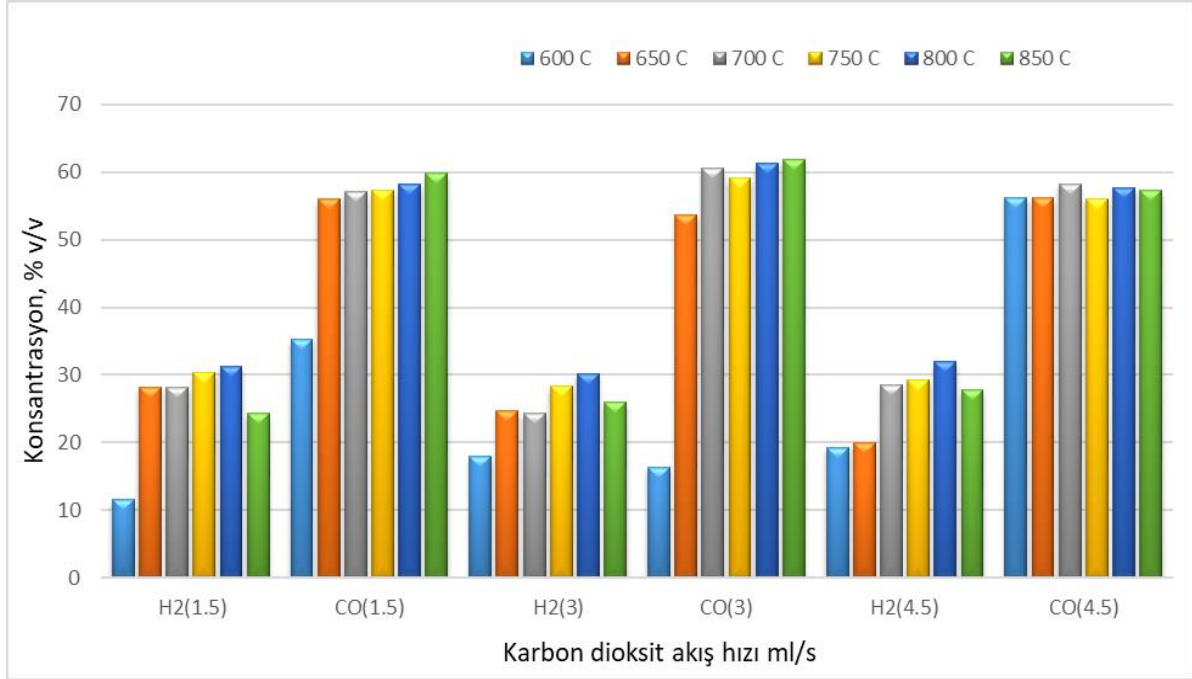




Şekil 6.10. Pirina ile yapılan deneylerde CO₂ akış hızının H₂ ve CO konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 6.11. Fındık kabuğu ile yapılan deneylerde CO₂ akış hızının H₂ ve CO konsantrasyonları üzerine etkisi



Şekil 6.12. Odun talaşı ile yapılan deneylerde CO₂ akış hızının H₂ ve CO konsantrasyonları üzerine etkisi

6.3. Katalizörlerin Etkisi

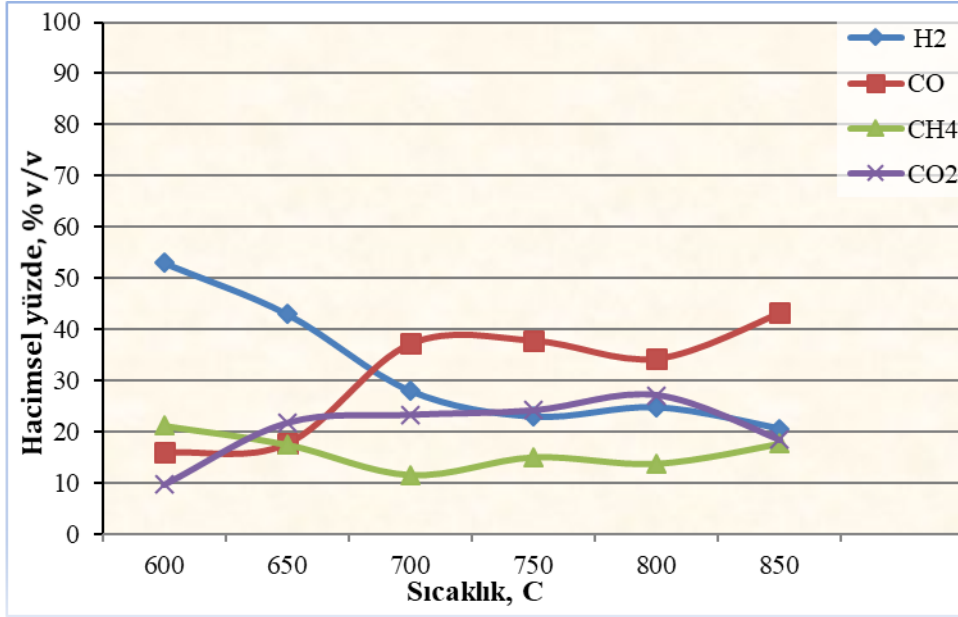
Yapılan katalizörsüz gazlaştırma sonuçlarına göre en iyi H₂ ve CO konsantrasyonları, biyokütle olarak fındık kabuğu ve 1,5 ml/s CO₂ akış hızında bulunmuştur. Bu çalışmada, biyokütle olarak fındık kabuğu kullanılarak ve akış hızı olarak 1,5 ml/s CO₂ belirlenerek katalizör etkisini görmek amacıyla gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Katalizör olarak CaO, K₂CO₃ ve MgO kullanılmıştır. Deneylerde fındık kabuğu, katalizörle karışım miktarının %10'u kadar kullanılmıştır. Çizelge 6.4'te verilen sentez gazı ürünlerine göre elde edilen Şekil 6.13-6.15'te katalizörle yapılan deneylerin grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6.4. Fındık kabuğu ve katalizörlerle yapılan deneylerden elde edilen sentez gazı ürünleri

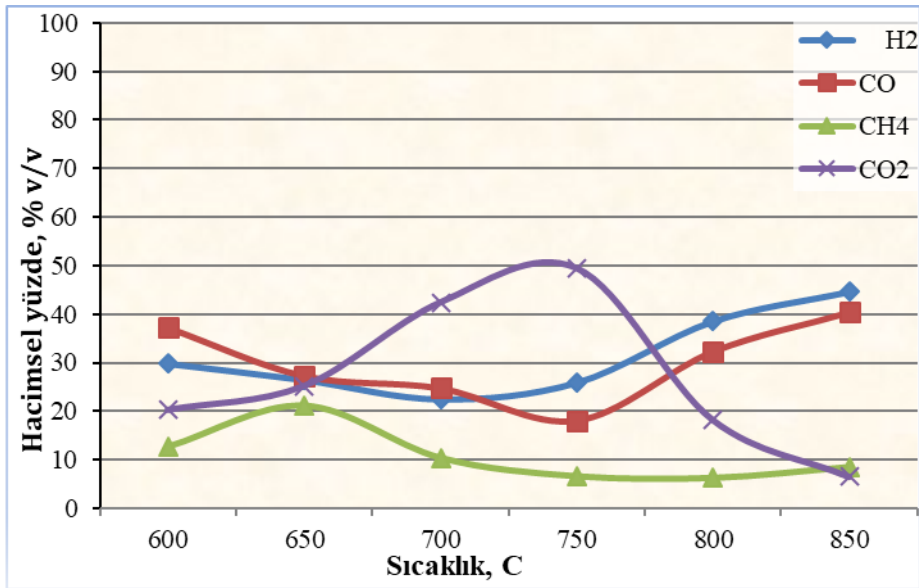
Katalizör	Sıcaklık, °C	600	650	700	750	800	850
	Gaz içeriği						
CaO	H ₂ , %(v/v)	52,95	42,96	27,98	22,96	24,79	20,62
	CO, %(v/v)	16,02	17,77	37,23	37,86	34,34	43,21
	CH ₄ , %(v/v)	21,27	17,52	11,47	15,01	13,74	17,71
	CO ₂ , %(v/v)	9,75	21,76	23,31	24,16	27,13	18,46
	H ₂ /CO	3,31	2,42	0,75	0,61	0,72	0,48
K ₂ CO ₃	H ₂ , %(v/v)	29,79	26,41	22,43	25,83	38,51	44,61
	CO, %(v/v)	37,25	27,29	24,76	18,09	32,31	40,39
	CH ₄ , %(v/v)	12,63	21,05	10,39	6,61	6,26	8,49
	CO ₂ , %(v/v)	20,33	25,24	42,41	49,47	18,20	6,51
	H ₂ /CO	0,79	0,98	0,91	1,43	1,19	1,10
MgO	H ₂ , %(v/v)	18,43	20,94	26,64	26,86	35,58	42,64
	CO, %(v/v)	29,05	25,83	41,94	27,74	38,39	30,90
	CH ₄ , %(v/v)	41,62	42,62	28,99	13,96	11,93	20,64
	CO ₂ , %(v/v)	10,90	10,61	2,44	31,43	14,10	5,82
	H ₂ /CO	0,63	0,81	0,64	0,97	0,93	1,38

Şekil 6.13-6.15 incelendiğinde fındık kabuğu ve 1,5 ml/s karbon dioksit akış hızında, CaO, K₂CO₃ ve MgO katalizörleri ile yapılan H₂ konsantrasyonu, diğer katalizörsüz çalışmalarla karşılaştırıldığında, H₂ konsantrasyonu açısından en yüksek seviyeye CaO'nun katkı olarak kullanıldığı durumda ulaşıldığı görülmüştür. Bu durumda Şekil 6.13'te görüldüğü gibi 600°C sıcaklıkta H₂ konsantrasyonu olarak %52,95 değerine ulaşılmıştır. Katalizörsüz yapılan gazlaştırma işlemi deneylerinde ise bu değere 800°C sıcaklıkta ulaşılmıştır. CO konsantrasyonunun ise katalizörsüz yapılan deneylerde, katalizör ile yapılan deneylere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. CaO katalizörle yapılan deneyde H₂/CO mol oranının 3,31 olduğu belirlenmiştir.

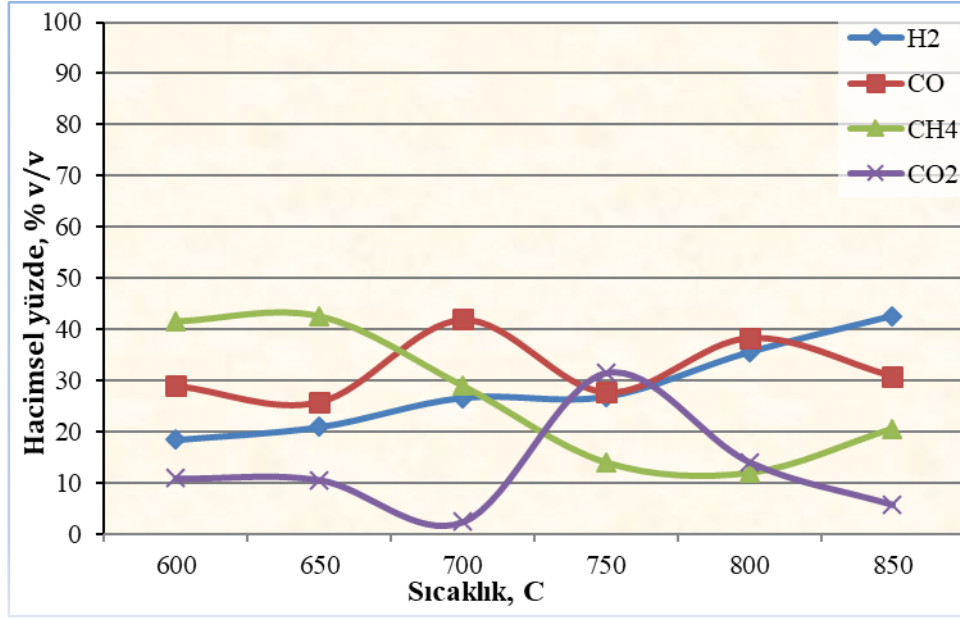
Bütün bu koşullar göz önüne alındığında, hidrojen zengin sentez gazı üretimi için gazlaştırma işleminde en iyi katalitik aktivite gösteren katalizörün CaO olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.13. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO₂ akış hızında CaO katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi



Şekil 6.14. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO₂ akış hızında K₂CO₃ katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi



Şekil 6.15. Fındık kabuğunun 1,5ml/s CO₂ akış hızında MgO katalizörü ile yapılan deneyde sıcaklığın gaz konsantrasyonuna etkisi

Kalsiyum katalizör kullanımı, fındık kabuğu gazlaştırmasında en ilgi çekici yöntemdir. CaO, gazlaştırma ürünü H₂ miktarını birkaç şekilde artırır. İlk önce, araştırmacılar CaO'nun parçalanma reaksiyonlarını arttırabileceğini bildirmişler. İkinci olarak, CaO, CO₂'yi, CaCO₃ formunda yakalar, bu durum su gazı yönlendirme reaksiyonunu ve su gazı reaksiyonunu H₂ üretimi yönünde artırır. Ayrıca, CaCO₃ oluşumunun sağladığı ısı, katran parçalanma ve su buharlı reforming reaksiyonlarının da yürütülmesinde faydalı olur. Bu süreçler sonucunda, ürün gaz bileşiminde H₂ oranı yükselir. (Vural ve diğerleri, 2014) bu açıdan değerlendirildiğinde literatür verileriyle deney sonuçları uyumlu çıkmıştır ve ürün gazda H₂ konsantrasyonu ciddi bir artış göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Biyokütle atıklar olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının karbon dioksit ortamında gazlaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırma prosesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, biyokütle besleme hızı ve partikül boyutu 1 mm sabit olarak kullanılmıştır. Gazlaştırma işleminden elde edilen gazlar H_2 , CO, CO_2 ve CH_4 gibi farklı bileşenler içermektedir. Çalışma kapsamında ilk önce sıcaklığın ve karbon dioksit akış hızının etkileri incelenmiştir.

Sıcaklığın ve karbondioksitin biyokütle olarak pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının gazlaştırılması üzerindeki etkisi araştırılmış, aynı zamanda sonuçlar literatürde yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. $600^\circ C$ 'den $850^\circ C$ 'ye doğru sıcaklık arttıkça oluşan gaz ürünündeki CO miktarı yükselmeye, CH_4 ve CO_2 miktarı da düşmeye başlamıştır. Sentez gazı bileşimi içindeki CO konsantrasyonu, sıcaklık arttırıldığında sürekli olarak artmaktadır. Yapılan çalışmalarda gaz karışımında en iyi H_2 ve CO veriminin, fındık kabuğunun $800^\circ C$ sıcaklıkta ve 1,5 ml/s CO_2 akış hızında olduğu gazlaştırmada elde edildiği belirlenmiştir. H_2 konsantrasyonu açısından en yüksek %33,63 değerine ulaşılmıştır. Ayrıca H_2/CO mol oranının ise 0,58 olduğu belirlenmiştir.

Yapılan katalizörsüz gazlaştırma sonuçlarına göre en iyi H_2 ve CO konsantrasyonları, biyokütle olarak fındık kabuğu ve 1,5 ml/s CO_2 akış hızında bulunmuştur. Biyokütle olarak fındık kabuğu kullanılarak 1,5 ml/s CO_2 akış hızında katalizör etkisini görmek amacıyla gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Katalizör olarak ise CaO, K_2CO_3 ve MgO kullanılmış, buna göre en iyi katkı maddesinin CaO olduğu belirlenmiştir. H_2 konsantrasyonu açısından en yüksek değere, CaO'nun katkı olarak kullanıldığı durumda ulaşıldığı görülmüştür. $600^\circ C$ sıcaklıkta H_2 veriminin hacimce %52,9, H_2/CO 'nun ise 3,31 olduğu tespit edilmiştir.

Öneriler

- Çalışmalarda farklı biyokütle maddelerin gazlaştırılmaları gerçekleştirilerek, numune özelliklerinin gazlaştırma sonuçları üzerindeki etkileri incelenebilir.

- Karbon dioksit gazlaştırma ajanı olarak yüksek akışta fırının sıcaklığı negatif yönde etkileyebilir.
- Yapmış gazlaştırma kuru ortamda değil çalışmalara göre elde edilen H₂ miktarı az bulmuştır. CO ise karbon dioksit ortamında yüksek miktarda üretebilir.
- Fındık kabuğu katalizör varlığında gazlaştırılması elde edilen ürün verimlerini etkileyebilir.

KAYNAKLAR

1. Song, C. (2006). Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO₂ for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing. *Journal Catalysis Today*, 115(1-4), 2-32.
2. Hoeven, M.V. (2011). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion: Highlights*. International Energy Agency, Paris.
3. İnternet: Oceanography, S. I. O. (2018). The Keeling Curve. Retrieved from URL: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>, Son Erişim Tarihi: 18.02.2019.
4. Sheth, P. N. and Babu, B. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *Journal Bioresource technology*, 100(12), 3127-3133.
5. Huber, G. W., Iborra, S. and Corma, A. (2006). Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. *Journal Chemical reviews*, 106(9), 4044-4098.
6. Buttermann, H. C., Castaldi, M. J. J. (2009). CO₂ as a carbon neutral fuel source via enhanced biomass gasification. *Journal Environmental science technology*, 43(23), 9030-9037.
7. Irfan, M. F., Usman, M. R. and Kusakabe, K. J. E. (2011). Coal gasification in CO₂ atmosphere and its kinetics since 1948: A brief review. *Journal Energy*, 36(1), 12-40.
8. Gonzalo-Tirado, C., Jiménez, S., Ballester, J. J. C. and Flame. (2012). Gasification of a pulverized sub-bituminous coal in CO₂ at atmospheric pressure in an entrained flow reactor. *Journal Combustion Flame*, 159(1), 385-395.
9. Gonzalo-Tirado, C., Jimenez, S., Ballester, J. J. C. and Flame. (2013). Kinetics of CO₂ gasification for coals of different ranks under oxy-combustion conditions. *Journal Combustion Flame*, 160(2), 411-416.
10. IPCC, (2011). *Intergovernmental panel on climate change, special reports on renewable energy sources*. Summary for policy makers, in: 11th Session of Working Group III of the IPCC, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 5-8.
11. Rossilo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S., and Woods, J. J. E., London. (2007). *The biomass assessment handbook*. 269.
12. Ntona, E., Arabatzis, G., Kyriakopoulos, G. L. J. R. and Reviews, S. E. (2015). Energy saving: Views and attitudes of students in secondary education. *Journal Renewable Sustainable Energy Reviews*, 46, 1-15.
13. Kyriakopoulos, G. L., Arabatzis, G. J. R. and Reviews, S. E. (2016). Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Journal Renewable Sustainable Energy Reviews*, 56, 1044-1067.

14. Demirbas, M. F., Balat, M., Balat, H. J. E. C. and Management. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Journal Energy Conversion Management*, 50(7), 1746-1760.
15. Demirbaş, A. J. E. c. and Management. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Journal Energy Conversion Management*, 42(11), 1357-1378.
16. Ozcan, M., Öztürk, S., Oguz, Y. (2015). Potential evaluation of biomass-based energy sources for Turkey. *Journal Engineering Science Technology, an International Journal*, 18(2), 178-184.
17. Alonso, D. M., Bond, J. Q. and Dumesic, J. A. J. G. C. (2010). Catalytic conversion of biomass to biofuels. *Journal Green Chemistry*, 12(9), 1493-1513.
18. Toklu, E. J. R. E. (2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Journal Renewable Energy*, 107, 235-244.
19. Tüplek, A. (2011). *Odun talaşı ve tozundan pelet biyoyakıt üretilmesi ve yanma analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
20. McKendry, P. J. B. t. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Journal Bioresource technology*, 83(1), 37-46.
21. Uskan, B. (2009). *Odun talaşının hidrotermal dönüşümünden elde edilen kimyasalların karakterizasyon*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
22. Acaroğlu, M. J. B., Ankara. (2007). *Alternatif Enerji Kaynakları*, Nobel Yayınları, Genişletilmiş 2.
23. Şölener, M. J. E. O. Ü. M. v. M. F. D. (2004). Kızılçam Biyokütlesinde Isıl Değer Belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(2), 51-58.
24. Hussein, A., Uysal, D. ve Uysal, B. (2019). Pirinanın karbondioksit ortamında gazlaştırılması ile hidrojen zengin sentez gazı üretimi. *International Agean Symposium On Innovative Interdisciplinary Scientific Researches, Atlas Jornal*, 6(2), 113-117.
25. İlten, N. ve Vardar, N. (2002). *Balıkesir ili'nde pirina üretim kapasiteleri ve pirinanın yakıt olarak değerlendirilmesi*. 1. Zeytinyağı Üretiminde Çevre Sorunları ve Çözümleri Uluslararası Çalıştayı, Zeytinli/Edremit-Balıkesir.
26. Cegarra, J., Alburquerque, J.A., Gonzalez, J. and Garcia, D.A. (2000). *Survey of olive –mill wastes in spain :Feasibility of composting* .1 st International Workshop on Environmental Problems in Olive Oil Production and Solutions, Zeytinli-Balıkesir, 149-153.
27. Yalılı-Kılıç, M. (2011). *Zeytin karasuyunun ileri artıma yöntemleri ile ekonomik artırılabilirliğinin araştırılması*. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

28. Akin, S. (2000). *Biyokütle olarak pirinanin enerji üretiminde kullanılması*. Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Enstitüsü, Kimya Bölümü, Balıkesir.
29. Demirbas, A. J. E. S., Part A. (2006). Furfural production from fruit shells by acid-catalyzed hydrolysis. *Journal Energy Sources, Part A*, 28(2), 157-165.
30. Kumaş, C. (2015). *Fındık kabuğundan aktif karbon elde edilmesinde fosforik asit ve bor kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
31. Higten, C. and Burgt, M.V.D. (2008). *Gasification second edition*, Elsevier 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803. USA Linacre House: Jordan Hill, 91, 116-160.
32. Nadirov, E. (2016). *Polietilen atığın ve ceviz kabuğunun birlikte su buharı gazlaştırmasıyla hidrojen zengin sentez gazı üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
33. Huang, Y., Yin, X., Wu, C., Wang, C., Xie, J., Zhou, Z., . . . Li, H. J. B. a. (2009). Effects of metal catalysts on CO₂ gasification reactivity of biomass char. *Biotechnology advances*, 27(5), 568-572.
34. Nayır, T. (2012). *Kömür ve biyokütle karışımlarının gazlaştırılması ve aspen hysys® programı ile simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
35. Ciferno, J. P. and Marano, J. J. J. U. D. o. E. N. E. T. L. (2002). Benchmarking biomass gasification technologies for fuels, chemicals and hydrogen production. *Journal US Department of Energy. National Energy Technology Laboratory*.
36. Molino, A., Chianese, S. and Musmarra, D. (2016). Biomass gasification technology: The state of the art overview. *Journal of Energy Chemistry*, 25(3), 10–25.
37. Chaiwatanodom, P., Vivanpatarakij, S. and Assabumrungrat, S. J. A. e. (2014). Thermodynamic analysis of biomass gasification with CO₂ recycle for synthesis gas production. *Journal Applied energy*, 114, 10-17.
38. Liu, Z., Zhang, F., Liu, H., Ba, F., Yan, S. and Hu, J. J. B. t. (2018). Pyrolysis/gasification of pine sawdust biomass briquettes under carbon dioxide atmosphere: Study on carbon dioxide reduction (utilization) and biochar briquettes physicochemical properties. *Journal Bioresource technology*, 249, 983-991.
39. Sadhwani, N., Adhikari, S., Eden, M. R. J. I. and Research, E. C. (2016). Biomass gasification using carbon dioxide: effect of temperature, CO₂/C ratio, and the study of reactions influencing the process. *Journal Industrial Engineering Chemistry Research*, 55(10), 2883-2891.
40. Cheng, Y., Thow, Z. and Wang, C.-H. J. P. t. (2016). Biomass gasification with CO₂ in a fluidized bed. *Journal Powder technology*, 296, 87-101.

41. de Sales, C. A. V. B., Maya, D. M. Y., Lora, E. E. S., Jaén, R. L., Reyes, A. M. M., González, A. M., . . . Management. (2017). Experimental study on biomass (eucalyptus spp.) gasification in a two-stage downdraft reactor by using mixtures of air, saturated steam and oxygen as gasifying agents. *Journal Energy Conversion Management*, 145, 314-323.
42. Guizani, C., Sanz, F. E. and Salvador, S. J. F. (2014). Effects of CO₂ on biomass fast pyrolysis: Reaction rate, gas yields and char reactive properties. *Journal Fuel*, 116, 310-320.
43. Uysal, D., Doğan, Ö.M. ve Uysal, B.Z. (2011). *Soma linyitinin su buharı gazlaştırmasıyla sentez gazı üretimi*, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak.
44. Gil, J., Aznar, M. P., Caballero, M. A., Francés, E., Corella, J. J. E. and Fuels. (1997). Biomass gasification in fluidized bed at pilot scale with steam– oxygen mixtures. Product distribution for very different operating conditions. *Journal Energy Fuels*, 11(6), 1109-1118.
45. Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Svoboda, K., Kameníková, P., Skoblia, S. and Beňo, Z., (2014). CO₂ as moderator for biomass gasification. *Fuel*, 117(A), 198-205.
46. Vural, E.S., Uysal, B.Z. ve Doğan, Ö.M. (2014). *Soma-eynez linyitinden su buharı gazlaştırmasıyla hidrojen içeriği yüksek sentez gazı üretimi*. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir.
47. Sert, M., Selvi Gökkaya, D., Cengiz, N., Ballice, L., Yüksel, M. and Sağlam, M. (2018). Hydrogen production from olive-pomace by catalytic hydrothermal gasification. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 83, 90-98.
48. Kwon, E., Westby, K. J. and Castaldi , M. J. (2009). *An investigation into the syngas production from municipal solid wastes (MSW) gasification under various pressures and CO₂ concentration atmospheres*. Proceedings of The 17th Annual North American Waste-to-Energy Conference (NAWTEC17), Chantilly, Virginia, USA.
49. Kumar, A., Eskridge, K., Jones, D. D. and Hanna, M. A. (2009). Steam–air fluidized bed gasification of distillers grains: Effects of steam to biomass ratio, equivalence ratio and gasification temperature. *Bioresource Technology*, 100(6), 2062-2068.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Abdalla Abdalrazig Abdalla HUSSEIN
 Uyruğu : Sudan
 Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1990, RABK
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : +90 5348745409
 E-posta : aabdalrazig644@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Kimya Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Bilim ve Teknoloji Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2014
Lise	EL-Manhal Koleji	2008

Yabancı Dil

Arapça, Türkçe, İngilizce

İş Deneyimi

- 2014 – 2015 Bilim ve Teknoloji Üniversitesin’de öğretim asistanı ve laboratuarda çalışma, cihazların nasıl çalıştırılacağını ve bunların nasıl kullanıldığını açıklar.
- 2015 Üretim Mühendisi / Kenana Sugar Company-Sudan.

Yayınlar

1. Hussein, A. A., Uysal D., Doğan Ö. M. ve Uysal B. Z. (2019). *Production of hydrogen-rich syngas by co-gasification of pomace at carbon dioxide atmosphere.* (International Agean Symposim On Innovative Interdisciplinary Scientific Resear) Izmir – Turkey



GAZİ GELECEKTİR...