T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BİYOKÜTLE ATIKLARININ SU BUHARI GAZLAŞTIRMASI

AGİEB ELNAZİR AGİEB HAMMAD

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EYLÜL 2019

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Gazi

1926

FARKLI BİYOKÜTLE ATIKLARININ SU BUHARI GAZLAŞTIRMASI

Agieb Elnazir Agieb HAMMAD

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2019

Agieb Elnazir Agieb HAMMAD tarafından hazırlanan "FARKLI BİYOKÜTLE ATIKLARININ SU BUHARI GAZLAŞTIRMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Başkan : Doç. Dr. Emine YAĞMUR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

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

Üye : Doç. Dr. Hüseyin ARBAĞ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 05/09/2019

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 çalışmasında;

- 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 çalışmasında 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.

Agieb Elnazir Agieb HAMMAD

05/09/2019

FARKLI BİYOKÜTLE ATIKLARININ SU BUHARI GAZLAŞTIRMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Agieb Elnazir Agieb HAMMAD

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Günümüzde en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların sahip olduğu öneme rağmen, neden olduğu çevresel sorunlardan dolayı ve buna paralel yükselen enerji arzını karşılamak için en verimli, temiz ve ekonomik çözüm yollarını bulunması yolunda yapılan araştırmalar hızla sürdürülmektedir. Bu araştırmalar çerçevesinde, çevreyi daha az kirleten, yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle, fosil kaynaklara alternatif olabilecek en önemli enerji kaynaklarından biridir. Biyokütlenin, termal, biyolojik ve fiziksel proseslerle bir takım teknolojilerle çeşitli enerji kaynaklarına dönüştürülmesi mümkündür. Bu teknolojiler içeresinde gazlaştırma teknolojisi çok önemli yer kapsamaktadır. Biyokütlenin gazlaştırılması sonucunda üretilen sentez gazından hidrojen, amonyak ve metanol gibi değerli kimyasal maddelerin de üretilmesi söz konusudur. Bu çalışmanın amacı, biyokütle atığı olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşının gazlaştırma işlemi ile hidrojence zengin sentez gazı üretilmesidir. Deneysel çalışmada, laboratuvar ölçekli dolaylı ısıtmalı 40 mm çapında 1 m yüksekliğindeki sabit yataklı gazlaştırma reaktör sistemi kullanılmıştır. Gazlaştırma için gerekli sıcaklık dolaylı olarak bir fırın yardımı ile sağlanmakta, gazlaştırma ajanı olarak kullanılan su buharı ise buhar jeneratörü vasıtasıyla sağlanmıştır. Çalışmada biyokütle atık olarak kullanılacak olan pirina (P), fındık kabuğu (FK) ve odun talaşı (OT) ilk önce öğütülerek kaba ve elementel analizleri yapılmıştır. Ortalama partikül boyutu1 mm olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı, farklı sıcaklık (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C), farklı su buharı akışı (5, 10 ve 15 g su/dk) ve farklı katalizörler (MgO, CaO ve K_2CO_3) kullanılarak gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Gazlaştırma sıcaklığının ve su buharı akış hızının ve katalizörlerin elde edilen sentez gazı bileşimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sentez gazı bileşenlerinin analizi gaz kromatografi cihazı kullanılarak yapılmış ve karışım içerisinde hacimce yüzdeleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda en yüksek hidrojen konsantrasyonu hacimce %66 ile 750 ^{o}C sıcaklığında ve 0,25 g su/s buhar akış hızı koşullarında pirina atığı beslemesinde elde edilmiştir. Elde edilen en yüksek hidrojen/karbon monoksit oranı 5,4 olup pirina atığı ile yapılan deneyde elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 91206

Anahtar Kelimeler : Gazlaştırma, Pirina, Fındık Kabuğu, Odun Talaşı, Sentez Gazı

Sayfa Adedi : 81

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

STEAM CO-GASIFICATION OF VARIOUS BIOMASS WASTES

(M. Sc. Thesis)

Agieb Elnazir Agieb HAMMAD

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

Despite the importance of fossil fuels, which is an important energy source on the present time, the researches are continuing to find more efficient, clean and economic solutions to meet the increasing energy needs due to the environmental problems. Within the framework of these studies, biomass was found to be one of the most important energy sources that can act as an alternative to fossil fuels, because of its less polluting effects and renewability. Biomass can be transformed into a wide variety of energy sources with a wide variety of thermal, biological and physical technologies, and gasification technology are among the important technologies to use. With the biomass gasification process, it is also possible to produce valuable chemicals such as hydrogen, ammonia, and methanol as side products. The aim of this study to produce hydrogen-rich syngas production by the gasification process of olive pomace, hazelnut shell and sawdust as biomass residue. A fixed bed in indirectly heated gasification reactor with a diameter of 40 mm and a height of 1 m system was used during the experimental work. The temperature required for gasification was adjusted with a furnace and the water vapor used as gasification agent is also provided by steam generator. First grinding the olive pomace, hazelnut shell and wood sawdust which will be used as biomass waste, then quartz and elemental analyses were carried out. The olive pomace, hazelnut shell and wood sawdust pieces with an average of 1 mm diameter under various temperatures (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C and 850°C), varying steam flow (5, 10 and 15 g water/min) and different catalysts (MgO, CaO, K_2CO_3) during gasification process. The effects of the gasification temperature, water vapor flow rate and catalysts on the syngas composition were investigated. The syngas composition was analyzed in gas chromatography equipment and the percentages in the mixture were determined. During the experimental studies, the highest hydrogen concentration of 66% was obtained while using the olive pomace as biomass residue the highest at 750 ^{o}C and under 15 g water/min steam flow rate conditions. The highest H_2/CO ratio was recorded as 5.4 during the experiment with olive pomace waste.

Science Code : 91206

Key Words : Gasification, Olive Pomace, Hazelnut Shell, Wood Sawdust, Syngas

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca her türlü desteğini yanımda hissettiğim, bilgi ve tecrübe birikimi ile yardımlarını ve rehberliğini esirgemeyen, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum ve ayrıca tez yazım aşmasında göstermiş olduğu ilgi, hoşgörü ve sabrından dolayı değerli hocam sayın Prof. Dr. Özkan Murat DOĞAN' a, tez çalışmalarım sırasında kıymetli bilgileriyle büyük katkısı olan sayın hocam Prof. Dr. Bekir Zühtü UYSAL' a, uzun deneysel çalışmalarım sırasında ortamı neşeli hale getiren ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Elshan NADİROV' a ve Özgü YÖRÜK' e, bu günlere ulaşmamda büyük pay sahibi olan ve her türlü desteğini esirgemeyen annem Manal' a, babam Elnazir' e ve kardeşlerime teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Sayfa

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge **Sayfa**

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil **Sayfa**

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PJ	Petajoule (10^{15} joule)
Ster	1 m^3 hacime yığılmış yakacak odun miktarı (ort.500 kg)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
FAO	Food and Agriculture Organization
FK	Fındık Kabuğu
GC	Gas Chromatography
INC	International Nut Council
OT	Odun Talaşı
P	Pirina
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı

1. GİRİŞ

Günümüzün en önemli konularından olan enerji arzının büyük bir bölümü yüz binlerce yılda oluşmuş fosil kökenli petrol, doğal gaz ve kömür gibi yakıtlardan karşılanmaktadır. Fakat, geçen yüzyıl içeresinde bu yakıtların yoğun bir şekilde tüketilmesi ile küresel ısınma, iklim değişikliği ve asit yağmurları gibi etkiler, dünyayı telafi edilmesi zor bir çevre kirliliği ile yüz yüze bırakmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından hazırlanan Dünya Enerji Durumuna Bakış (WEO) 2005 Raporu'nda, şuan ki izlenen politikalarla devam edildiği takdirde enerji üretiminden ortaya çıkan CO_2 emisyonlarının gelecek on yılın sonuna kadar 14 milyar ton artacağı işaret edilmektedir. Ayrıca, fosil kökenli yakıtların tükenir ve sınırlı bir rezerve sahip olduğu unutulmaması gereken önemli bir konudur. Bu kaynaklar bu kadar hızlı ve kontrolsüzce kullanımı devam edilirse, yakın gelecekte bu yakıtların tükeneceği bir gerçektir. Dolayısıyla, çevre kirliliğine neden olmadan ve sürdürülebilir olarak artan enerji gereksinimini sağlayabilecek alternatif enerji kaynakları bulunması yönünde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Aynı zamanda, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara alternatif olarak gösterilse de gerekli enerji ihtiyacını karşılayacak düzeye ulaşamamıştır. Buna rağmen, 2040 yılında, dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %50'sinin yenilenebilir kaynaklardan elde edileceği ve dünya elektrik tüketiminin %80'den fazlasının da yenilenebilir kaynaklardan sağlanacağı tahmin edilmektedir.

Biyokütle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında dikkat çeken temiz bir alternatif enerji kaynağı olup doğasında kimyasal enerji içeren fosil olmayan tüm organik maddelere verilen isimdir. Temel olarak kullanılan biyokütle çeşitleri, tarımsal ekinler ve atık yan ürünleri, odun atıkları, gıda endüstrisi atıkları, suda yaşayan bitkiler ve algler olarak sınıflandırılabilir. Günümüzde dünya enerji ihtiyacının %10-15'i biyokütle enerjisi ile karşılanmaktadır. Türkiye'de her yıl milyon tonlarla ifade edilen tarımsal ve orman arazilerinde biyokütle atıkları oluşmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesine olanak sağlayacak çok yöntem olmasına rağmen, küresel çapta artan çevre duyarlılığı ve küresel ısınmaya karşı karbon salınımına getirilen sınırlamalara uygun bir yöntem seçimi önem kazanmaktadır.

Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi termokimyasal veya biyokimyasal/biyolojik proseslerle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, gazlaştırma, yanma, piroliz, sıvılaştırma, süperkritik akışkan ekstraksiyonu, anaerobik parçalama, fermantasyon, asit hidrolizi, enzim hidrolizi ve esterifikasyon olarak gruplandırılır (Balat, 2005).

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinden biri olan gazlaştırma, biyokütlenin temiz gaz ürüne dönüştürülebilmesi için etkin bir yöntem olduğundan son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir. Gazlaştırma, biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda hava, O_2 ya da buhar varlığında gaz ürünlere dönüştürülmesidir. Elde edilen gaz ürünüm bileşimi (CO, H_2, CH_4 ve CO_2) gazlarının karışımından oluşmakta ve bu gaz karışımına sentez gazı denmektedir.

Bu çalışmada, biyokütle atığı olan fındık kabuğu, odun talaşı ve zeytinyağı işletmeleri katı atığı olan pirinanın ayrı ayrı gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Gazlaştırma işlemi laboratuvar ölçekli sabit yataklı gazlaştırıcıda, su buharı ortamında, altı farklı sıcaklıkta (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C) ve üç farklı su buharı akış hızında (5 g su/dk, 10 g su/dk ve 15 g su/dk) yapılmıştır. Ayrıca, pirina atığının üç farklı (CaO, MgO ve K_2CO_3) katalizör eşliğinde gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, sıcaklığın, su buharı akış hızının ve katalizörün sentez gazı bileşimine etkileri araştırılmıştır. Amaç, önemli ölçüde biyokütle rezervlerine sahip olan Türkiye'nin bu rezervleri, çevre dostu teknolojiler vasıtasıyla hem çevre kirliliğine neden olan atıkların değerlendirilmesine hem de enerji sektöründe yenilenebilir kaynak kullanımını yaygınlaştırarak ithal edilen enerji yüzdesinin azaltılmasına destek olmaktır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

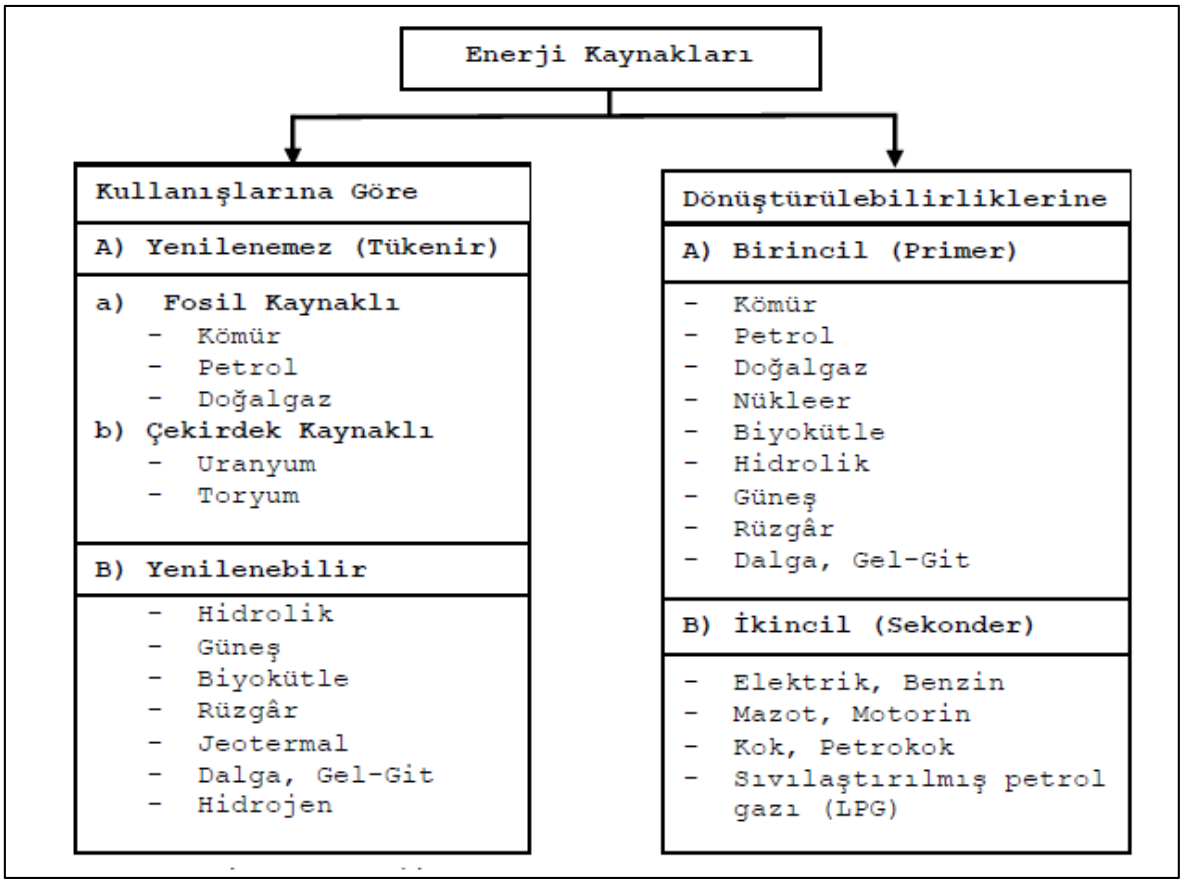
2.1. Enerji

Enerji kavramı iktisat biliminin doğuşuyla birlikte kullanılmaya başlanmasına rağmen, enerjinin bir üretim faktörü olduğuna ilişkin görüşler daha çok 1970'li yıllardan sonra teorik bütünlük kazanmıştır. 1970'lerin ortalarında yaşanan enerji krizleri ve 1980 sonrası yaşanan globalleşme süreci nedeniyle ekonomik büyümenin yavaşlaması, ülkeler arasındaki gelişmişlik farklılıklarının büyümesine neden olmuştur. Buna ilişkin ortaya çıkan teorik ve politik tartışmalardan sonra gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkelerdeki yapısal farklılıkların gelir düzeyi ve enerji bağımlılığı gibi farklılıklar nedeniyle oluştuğu ortaya konulmuş ve enerji stratejik bir unsur haline gelmiştir (Yapraklı, 2013).

Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, üretip tükettikleri enerjiye büyük ölçüde bağımlıdır. Dünya nüfusunun artışı ile beraber enerjiye olan istek de günden güne artmakta olup bu gereksinim dünya başlangıcında biyokütlenin milyonlarca yıl süren yer altı gazlaşma süreci ile oluşan kömür, petrol, doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının sürekli azalması ve ayrıca enerji üretimi için kullanımı sırasında yarattıkları çevre sorunları enerji sorununu sürekli olarak gündemde tutmaktadır. Milyonlarca yıl süren doğal yer altı biyokütle gazlaşma sürecinin, kısa süreli teknik biyokütle gazlaşma süreçleri ile yapay birincil enerjiler (gaz, sıvı, katı) elde edilmektedir (TMMOB, 2006).

Yapılan araştırmalar ışığında fosil yakıtların oluşum hızı dünyadaki enerji tüketim hızına kıyasla çok düşük olduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle, ayda yaklaşık otuz bin yıllık fosil yakıt oluşumu kullanılmaktadır.

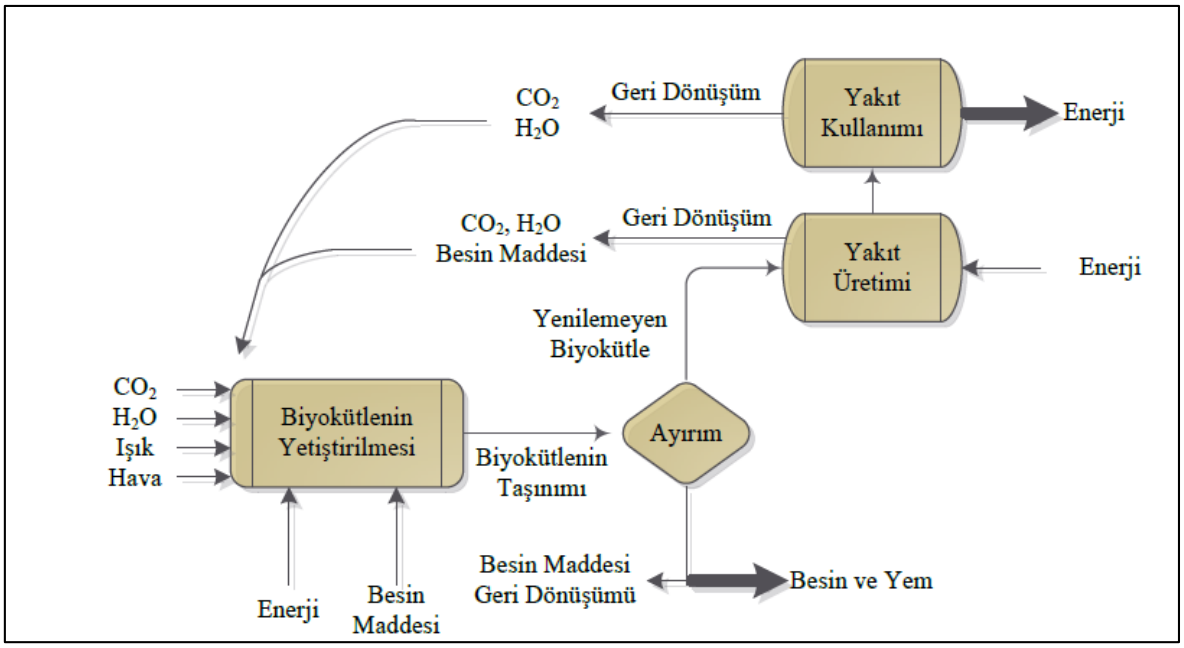
Kullanış biçimine göre yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayrılan enerji kaynakları, dönüşüm türüne göre de birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde sınıflandırılmaktadır (Şekil 2.1) (Koç ve Şenel, 2013). Kısa vadede bitmesi beklenen yenilenemez enerji kaynakları fosil ve çekirdek kaynaklılar olarak ayrılmaktadır. Diğer yandan, kendisini yenileyebilen kaynaklar olarak ifade edilen yenilenebilir kaynaklar oldukça uzun bir gelecekte tükenmeden kalabileceği düşünülmektedir (Koç ve Kaya, 2015).



Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

2.2. Biyoenerji

Bitkisel organik ve hayvansal atıkların çürütülmesiyle oluşan metan gazı biyogaz olarak bilinmektedir. İlk önce gazın depolanması yapılarak daha sonra arıtılır, bunun ardından oluşan metan yakılarak enerjiye dönüştürülmüş olur ve böylece biyoenerji üretilebilmektedir. Yakma işlemi yapılması zor olan atıklar ise hayvanlara yem olarak verilmektedir (Tutar ve Eren 2011).



Şekil 2.2. Entegre biyokütle üretim-dönüşüm sisteminden sürdürülebilir yakıt üretimi

Biyoyakıt üretimi yapılırken sisteme CO_2, H_2O, ışık ve hava girdisi olarak bilinirken enerji ve gıda çıktılar olarak bilinmektedir (Şekil 2.2). Karbonhidrat ekonomisinin kullanımının yapılması için ilk olarak biyokütlenin büyümesi gerekmekte bunun ardından yakıt olarak kullanılması için yakıta dönüşümünün yapılması bunun ardından ise gerekli yerlerde kullanılması gerekmektedir. Verim, bölgesel koşullar ve ekonomi gibi etmenlere bağlı olan biyokütlenin seçimi, ideal biçimde yakıtın elde edilmesi için öncelikle verimliliği oldukça fazla olan bitkilerin kullanılması bunun yanı sıra ise gübre ve enerjinin kullanımının az olması gerekmektedir (Huber ve arkadaşları, 2006).

3. BİYOKÜTLE

Biyokütle enerjisi yaklaşık olarak 100 yıldan kısa süre içinde kendisini yenileyebilen ve toprak üzerinde ya da su altında yaşayan bitkilerin atıkları, şehirlerde bulunan atıklar ve organik madde içeren tüm atıklar için kullanılan bir terim olup kimyasal maddelerin üretiminde kullanılan bir alternatif olarak bilinmektedir. Bu enerji türü yenilenebilir olması bakımından ve özellikle yerleşik olan köy alanlarında üretilmesi bakımından bu yerlerin kalkınmasına ve gelişimine ekonomik anlamda fayda sağladığı gibi maliyetinin de ucuz olması onu kullanılabilirliği açısından cazip hale getirmektedir (Topal ve Arslan, 2008).

Biyokütle enerjisi kömür, doğalgaz ve petrolden sonra kullanımı en fazla olan enerji türü olarak bilinmektedir. Yakıt olarak kullanımı için üç etkene dikkat edilmesi gerekmektedir. İlk olarak karbon-nötr yenilenebilmeli ve süreklilik sağlayan bir enerji yapısı olması gerekmektedir. İkinci etken ise çevreye zarar vermemeli ve çevreye dost olması gerekmektedir. Bu enerji türü sera gazları salınımına destek vermez ve dolaysıyla NOx ve SOx seviyesini aza indirmektedir. Biyokütle enerjisi dünyada ekonomiye can vermenin yanı sıra sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir (Kumar, 2013).

Bitki ve hayvan artıkları olan biyokütle kaynakları uzun zamanlardan beri ülkemizde ısıtma ve benzeri alanlarda etkin bir şekilde tüketilmektedir. Biyokütle Türkiye birincil enerji kaynakları üretiminde düşük bir yüzdeye sahipken tüketiminde ise yaklaşık %3,1 mertebesindedir (EÜAŞ, 2012).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça şanslı ülkeler arasındadır. Bu durum Çizelge 3.1’den görülmektedir.

Çizelge 3.1. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (MTEP) (EÜAŞ, 2012)

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

Ülkemiz araştırıldığında 28 milyon hektara ekilebilir alanı olmasının yanı sıra 8,8 milyon hektar ekili alanı olması ile birlikte dünyada bu enerjinin üretimi için oldukça iyi bir tabloya teşkil etmektedir. Yapılan çalışmalara göre, Türkiye'de tarım alanlarından arta kalan atık oranı 60 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu atıkların yaklaşık 30-40 milyon ton'u yakıt üretiminde kullanılma özelliği bulunan atıklardır.

Türkiye'nin bir tarım ülkesi olmasına karşın, biyokütle enerjisi, toplam enerji tüketiminde 1980 yılında %18-20 değerinden, 2009 yılında %7-8 değerlerine gerilemiştir. Tahıl atıkları, buğday sapı ve fındık kabuğu Türkiye'de bol bulunan biyokütle kaynaklarıdır. Organik atıklar da Türkiye'de bol bulunan biyokütle kaynağı olup bu kaynaklar yakılarak sıvı yakıt elde edilmektedir. Hayvansal atıklar, ısıl değeri arttırmak amacıyla tahıl saplarıyla karıştırılıp kurutularak özellikle dağlık bölgelerde yakılmaktadır (Toklu, 2013).

Türkiye'nin yıllık bazda biyokütle enerjisi bakımından yaklaşık 117 milyar ton seviyelerinde rezervi bulunmaktadır. Bu miktar de yıllık 32 Mtep'e eşittir (Çapik ve arkadaşları, 2012). Biyokütle enerjisi bakımından Türkiye'nin yıllık bazda potansiyeli Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerjisi potansiyeli

Biyokütle Çeşidi	Yıllık Potansiyel (Mton)	Enerji Potansiyel (MTEP)
Yıllık ekinler	55	14,9
Çok yıllık ekinler	16	4,1
Hayvansal atıklar	7	1,5
Orman atıkları	18	5,4
Tarımsal endüstri atıkları	10	3,0
Kereste endüstrisi atıkları	6	1,8
Diğerleri	5	1,3
Toplam	117	32,0

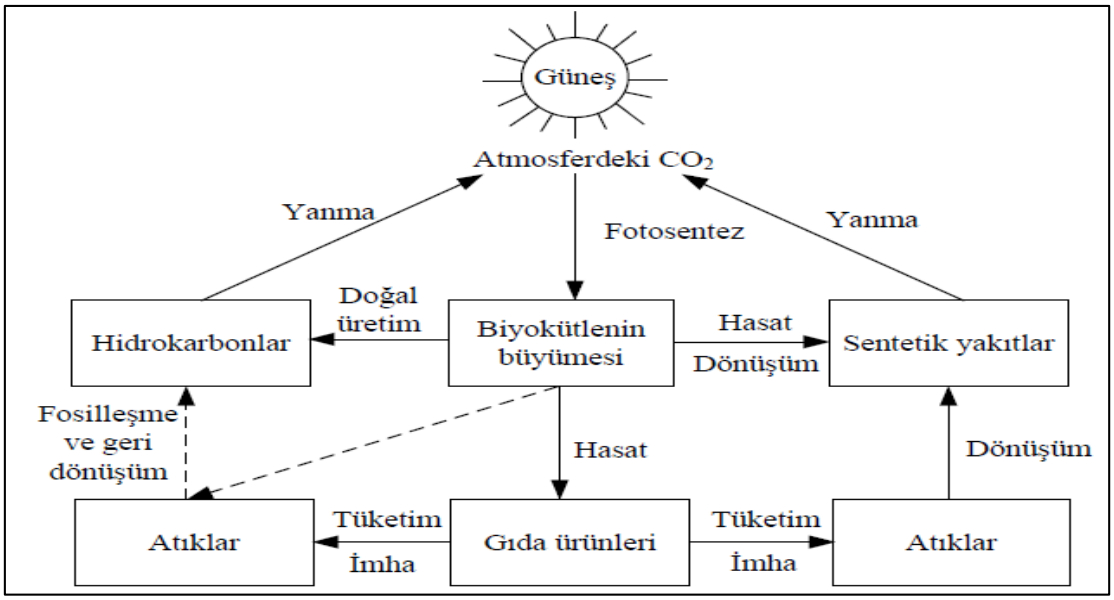
3.1. Biyokütle İçeriği

Bitkilerin içeresinde bulunan karbondioksit ve suyun güneşten gelen enerjinin yardımıyla etkileşimleri sonucunda şeker ve oksijen meydana gelmektedir denklem (3.1). Polimerik yapısı bulunan Şeker selüloz ve nişasta şeklinde depolanır. Birden fazla biyokütlenin ağırlıkça yüzde 75'lik kısmı şeker polimerinden meydana geldiği görülmektedir.

$$nCO_2 + nH_2O + \text{ışık} \xrightarrow{\textbf{Klorofil}} (CH_2O)_n + nO_2 \qquad (3.1)$$

Biyoenerji, bitkisel ya da hayvansal atık hammaddelerin biyoyakıta dönüştürülmesi veya doğrudan yanma işlemine tabi tutularak elde edilir. Ekonomik ve bulunması kolay olan biyokütlenin temini biyoyakıt eldesinde önemli bir aşamadır.

Biyokütlenin temel enerji çevrimi Şekil 3.1'de verilmektedir. Gıda veya farklı amaçlarla yetiştirilip hasatı yapılan biyokütle veya atıkları uygun bir yöntem kullanıldığında doğrudan sentetik yakıtlara dönüştürülebilir (Klass, 1998).



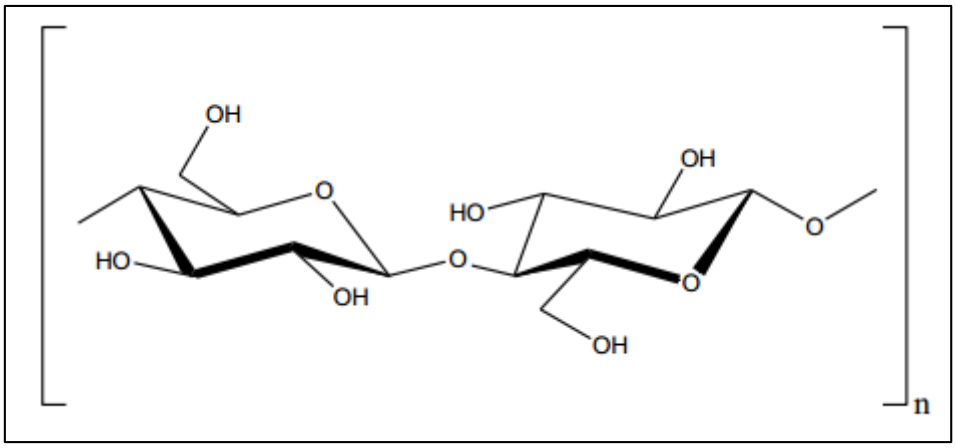
Şekil 3.1. Biyokütle enerji çevrimi

3.2. Biyokütlenin Bileşenleri

Lignoselülozik biyokütle, temel bileşenleri karbonhidrat selüloz, hemiselüloz ve fenolik polimer ligninden oluşan bitki hücre duvarlarını içermektedir. Bu bileşenlerin miktarları bitkinin tür ve cinsine, iklim, toprak, eklenen gübreye göre değişmekle birlikte, buğday, mısır ve pirinç kabuklarının hücre duvarları ortalama olarak sırasıyla, kuru bazda %40 selüloz, %30 hemiselüloz ve %15 lignin içermektedir (Zhao ve arkadaşları, 2012). Ayrıca biyokütlenin yapısında yağ ve protein de bulunmaktadır. Biyokütle genellikle yüksek miktarda su içeriğine ve çoğu fosil kökenli yakıtlarla kıyaslandığında yüksek oksijen içeriğine (%39-44, ağırlıkça) sahip olup P, N, K, Na ve Ca elementlerini de içermektedir.

3.2.1. Selüloz

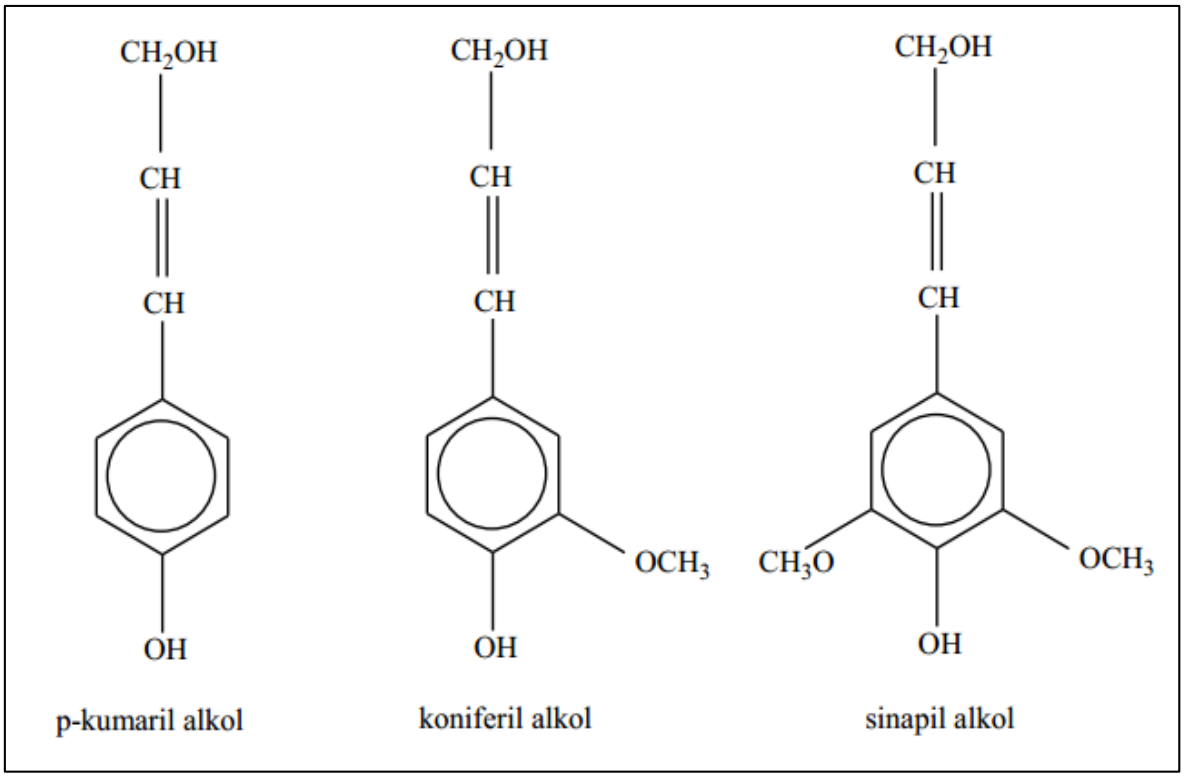
Selüloz, yüzlerce β-1,4 bağlarıyla birbirine bağlanmış D-glikoz birimlerinden oluşmuş bir polisakkarit olup molekül formülü $(C_6H_5O_5)_n$ olarak ifade edilmektedir. Yaklaşık 200°C'de glikoz molekülüne hidroliz olur (Zhao ve arkadaşları, 2012). Kısmi hidrolizinde ise sellobioz, sellotrioz ve sellotetroz moleküllerine dönüşür. Selüloz zincirleri hem kristal hem de amorf yapıları içerebilir, selüloz molekülünün kimyasal yapısı Şekil 3.2'de verilmektedir. Pamuk neredeyse saf bir selüloz olmasına rağmen, odunun içeriğinde selülozun yanı sıra lignin ve hemiselüloz da bulunur. Ayrıca selüloz suda çözünmemektedir (Klass, 1998).



Şekil 3.2. Selüloz molekülünün kimyasal yapısı

3.2.2. Lignin

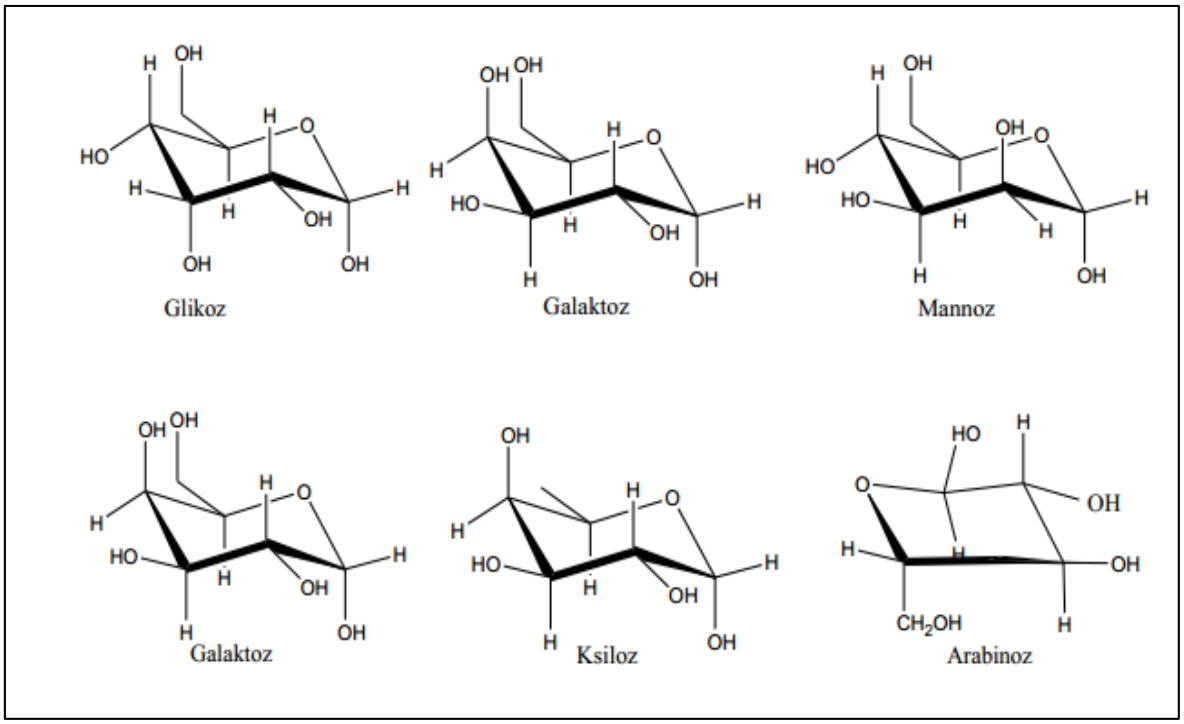
Lignin, p-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkol gibi yüksek derecede çapraz bağlı fenil propan (C_6-C_3) birimlerinden oluşan kararlı bir biyopolimerdir. Lignin, selüloz ve hemiselüloza göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Ligninin üç temel bileşeninin yapısı Şekil 3.3'te verilmiş olup lignin molekülü bu bileşenlerin birbirleriyle eter (C-O-C) ve C-C bağlarıyla bağlanmasıyla oluşmaktadır (Resende, 2009). Lignin molekülü genellikle selüloz fiberlerine bitişik bir şekilde bulunduğundan oluşan bu yapı lignoselülozik kompleks olarak adlandırılır. Bu yapı, mikrobiyal sistemlere ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça dayanıklıdır. Odunun lignin içeriği ağırlıkça %20-40 arasında değişirken, küspe, mısır koçanı, fıstık kabuğu, pirinç kabuğu gibi bitki kökenli biyokütlelerdeki oranı ağırlıkça %10-40 arasında değişmektedir.



Şekil 3.3. Lignin molekülünün temel bileşenlerinin kimyasal yapısı

3.2.3. Hemiselüloz

Hemiselüloz heterojen bir polisakkarit olup ksiloz ve arabinoz gibi pentoz (C_5) şekerleri, heksoz (C_6) şekerleri ve manoz, galaktoz ve glukoz gibi tekrarlayan şeker gruplarını içermektedir ve $(C_5H_8O_4)_n$ formülüne sahip olup hemiselüloz molekülünün temel bileşenlerinin kimyasal yapısı Şekil 3.4'te verilmektedir. Kristal yapıya sahip ve bozunmaya dirençli olan selülozun tersine amorf yapıya sahiptir ve polimerize olma dereceleri daha düşük olup alkalilerde kolay çözünürler; dolayısıyla daha kolay hidrolize olurlar. Ancak hücre duvarının iç kısmında olması ve selüloz ve ligninle etkileşmesi hücre duvarının sertliğini arttırmaktadır. Hidrolize olmuş hemiselüloz molekülünde bulunan temel şekerler ksiloz, arabinoz, glukoz ve galaktozdur (Zhao ve arkadaşları, 2012).



Şekil 3.4. Hemiselüloz molekülünün temel bileşenlerinin kimyasal yapısı

3.2.4. Ekstraktifler

Ekstaktifler, biyokütleden polar ve polar olmayan çeşitli çözücülerle ekstrakte edilebilen bir grup heterojen maddeyi içeren bileşiklerdir. Genellikle bitkinin duvarında bulunup proteinler, yağlar, yağ asitleri, uçucu yağlar, fenoller, terpenler, steroidler, reçineler, vakslar ve az miktarda bulunan birçok organik bileşiği içermektedir (Tekin, Karagöz ve Bektaş, 2014).

3.2.5. Kül

Biyokütlenin içerdiği inorganik maddeler kül olarak adlandırılmakta olup mineral tuzları ve diğer inorganik maddeleri kapsamaktadır. Bu bileşenler arasında azot, fosfor ve potasyum gibi bileşenler biyokütleden ayrıldığında gübre üretiminde kullanılmaktadır (Madenoğlu, Sağlam, Yüksel ve Ballice, 2013).

3.3. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynakları modern ve geleneksel biyokütle olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Modern kaynaklar, büyük ölçekli üretimde var olan enerji kaynaklarının yerini

alabilmek için kullanılanlardır. Bu kaynaklar odun, tarımsal atıklar, kentsel atıklar ve enerji bitkilerini kapsamaktadır. Geleneksel kaynaklar ise genellikle gelişmiş ülkelerde küçük ölçekli üretimde kullanılmaktadır. Bunlar, yakacak odun ve kömür, pirinç kabukları ve diğer bitki ve hayvansal atıkları içerir. Genel olarak biyokütle kaynakları üç temel gruba ayrılabilir (Demirbaş, 2001).

Bu kaynaklar bitkisel (orman ve tarımsal atıklar) , hayvansal, kentsel ve endüstriyel atıkları kapsamaktadır.

3.3.1. Bitkisel atıklar

Türkiye coğrafik oluşumuna bakıldığında hayvancılık ve tarımın elverişli olduğu bir ülkedir (Maraş, 2005). Bitkisel atık olarak, tarımsal atıklar, orman kökenli atıklar örnek verilebilir.

Enerji bitkileri, özellikle enerji eldesi için üretilen bitkiler olup okaliptüs, söğüt, kavak, sorgum, şeker kamışı, ayçiçeği ve pamuk gibi bitkileri içermektedir. Enerji bitkileri yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğundan oldukça önemlidir. Yağ ekstraksiyon teknikleri ve tarımsal teknikler günümüzde oldukça gelişmiş olduğundan bu bitkileri enerji amaçlı değerlendirmek avantajlıdır.

Tarımsal atık olarak yağlı tohum bitkileri (ayçiçeği kabuğu, pirina), şekerli bitkiler ve nişastalı bitkiler olup hem kendileri hem de atıkları biyokütle kaynağı olarak kullanılmaktadır. Özelikle ülkemize özgü tarımsal atıklar olan fındık kabuğu ve çay fabrikası atıkları, bu kaynaklar arasında önemli bir yere sahiptir (Maraş, 2005). Ayrıca ısı enerjisi veya metan gazı üretmek için kullanılan hayvansal dışkılar da bu grupta yer alır (Demirbaş, 2001).

Orman kökenli atıklar ise, ormanların doğrudan işletilmesi sonucunda oluşan atıklar ve odun endüstrisinin atıkları kapsamaktadır. Odunun lignin oranı yüksek olup %50'den az nem içermektedir.

Türkiye'nin toplam tarımsal alan büyüklüğü yaklaşık 23 063 000 hektar olup, % 45'i orman, % 38'i ekili alan, % 10'u nadas alanı, % 7'si ise meyve ve sebze ekili alandır. En

fazla atık oluşturan bitkiler olarak arpa ve buğday ilk sıralarda yer almaktadır (Çizelge 3.3). Tarla bitkileri yıllık atık miktarının toplam ısıl değeri yaklaşık olarak 228 PJ olup Türkiye'nin yıllara göre toplam tarla alanı, bitkilerin ekim alanları ve verimi Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Türkiye'nin toplam tarla alanı, bitkilerin ekim alanları ve verimi (Başçetinçelik ve arkadaşları, 2005)

Tarla Alanı		23,063,000 ha	
Ekilen Alan		18,107,000 ha	
Nadas Alanı		4,956,000 ha	
Orman Alanı		21,189,000 ha	
Bitkisel Ürün	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/ha)
Buğday	9,300,000	21,000,000	2,258
Arpa	36,000,000	9,000,000	2,500
Mısır	570,000	3,000,000	5,263
Ayçiçeği	550,000	900,000	1,636
Soya	14,000	50,000	3,571
Aspir	165	150	909
Kanola (kolza)	1,700	4,500	2,647
Şeker pancarı	315,344	13,517,241	42,865

Çizelge 3.4. Türkiye'nin yıllara göre toplam tarla alanı, bitkilerin ekim alanları ve verimi

Tarım alanı	1990		2002		2014		2015		2016		2017	
	(Bin ha)	%	(Bin ha)	%	(Bin ha)	%	(Bin ha)	%	(Bin ha)	%	(Bin ha)	%
Tarla bitkileri	18,87	67,7	17,935	67,5	15,789	66,0	15,723	66,0	15,575	65,7	15,532	66,4
Nadas	5,324	19,1	5,040	19,0	4,108	17,2	4,114	17,2	3,998	16,9	3,697	15,8
Sebze	635	2,3	930	3,5	804	3,4	808	3,4	804	3,4	798	3,4
Meyve	3,029	10,9	2,674	10,1	3,243	13,5	3,284	13,7	3,329	14,0	3,343	14,3
Toplam	27,86	100	26,579	100	23,934	100	23,934	100	23,711	100	23,375	100

Çizelge 3.5-3.6'da tarla ürünlerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları verilmiştir (Başçetinçelik ve arkadaşları, 2005).

Çizelge 3.5. Türkiye'deki tarla ürünlerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Alan (ha)	Toplam Atıklar (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirli (%)	Birim Isıl Değeri (MJ/kg)	Toplam Isıl Değeri (GJ)
				Teorik	Gerçek				
Buğday	Saman	22439042	9424785	29170755	23429907	3514486	15	17.9	62909300
Arpa	Saman	8327457	3732992	9992948	8963012	1344452	15	17.5	23527908
Çavdar	Saman	253243	145907	405188	358040	53706	15	17.5	939855
Yulaf	Saman	322830	150459	419678	321236	48115	15	17.4	838425
Mısır	Sap	2209601	565109	5911902	4970259	2982155	60	18.5	55169873
	Sömek			596592	1907307	1144384	60	18.4	21056667
Pirinç	Saman	331563	59879	582555	209532	125719	60	16.7	2099510
	Kabuk			88527	77747	62198	80	12.98	807327
Tütün	Sap	181382	222691	362763	410778	246467	60	16.1	3968113
Pamuk	Sap	2292988	680177	6317181	2520281	1512169	60	18.2	27521470
	Çırçır atığı			481527	732220	585776	80	15.65	9167391
Ayçiçeği	Sap	836269	545963	2341554	2259121	1355472	60	14.2	19247709
Yerfıstığı	Saman	55241	25167	127054	28638	22910	80	20.74	475155
	Kabuk			27621					
Soya	Saman	28795	15064	60468	21872	13123	60	19.4	254595

Çizelge 3.6. Türkiye'deki bazı tarla bitkileri yıllara göre ekiliş alanı ve üretim miktarları (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).

Ürünler	Ekim Alanı (1000 ha)								Üretim (1000 ton)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Buğday	8.103	8.096	7.529	7.773	7.919	7.867	7.672	7.669	19.660	21.800	20.100	22.050	19.000	22.600	20.600	21.500
Arpa	3.040	2.869	2.749	2.721	2.787	2.784	2.740	2.424	7.240	7.600	7.100	7.900	6.300	8.000	6.700	7.100
Çavdar	141	128	143	138	115	112	115	101	366	366	370	365	300	330	300	320
Yulaf	88	86	89	93	94	103	99	113	204	218	210	235	210	250	225	250
Çeltik	99	99	120	111	111	116	116	110	860	900	880	900	830	920	920	900
Aspir	14	13	16	29	44	43	40	27	26	18	20	45	62	70	58	50
Ayçiçeği	641	656	605	610	657	685	720	780	1.320	1.335	1.370	1.523	1.638	1.681	1.671	1.964
Dane Mısır	594	589	623	660	659	688	680	639	4.310	4.200	4.600	5.900	5.950	6.400	6.400	5.900
Kolza	31	27	30	31	32	35	35	17	106	91	110	102	110	120	125	60
Kuru Fasulye	103	95	93	85	91	94	90	90	213	201	200	195	215	235	235	239
Kütlü Pamuk	481	542	488	451	468	434	416	502	2.150	2.580	2.320	2.250	2.350	2.050	2.100	2.450
Mercimek	234	215	237	281	250	224	252	293	447	405	438	417	345	360	365	430
Nohut	456	446	416	424	389	359	360	395	531	487	518	506	450	460	455	470
Patates	139	145	174	126	130	154	145	143	4.513	4.613	4.795	3.948	4.166	4.760	4.750	4.800
Soğan (Kuru)	63	66	73	62	60	58	60	58	1.900	2.141	1.736	1.905	1.790	1.879	2.121	2.132
Soya	23	26	32	43	34	37	38	32	87	102	122	180	150	161	165	140
Ş. Pancarı	329	297	281	291	289	274	322	339	17.942	16.126	15.000	16.489	16.743	16.023	19.465	20.828
Tütün	81	77	108	133	99	92	93	95	55	45	73	90	75	68	70	80
Çay	76	76	76	76	76	76	76	82	1.306	1.231	1.250	1.180	1.266	1.328	1.350	1.300

Türkiye'nin bahçe bitkileri yıllık atıklarının toplam ısıl değeri yaklaşık 75 PJ'dür. Bunlar içerisinde ise en büyük payı % 55,8 ile fındık ve % 25,9 ile zeytin almaktadır. Çizelge 3.7'de bazı bitkilerin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları verilmektedir (Başçetinçelik ve arkadaşları, 2005).

Çizelge 3.7. Türkiye'deki bahçe bitkilerinin yıllık toplam üretimi ve atık miktarları

Ürünler	Atıklar	Üretim (ton)	Ağaç Sayısı	Toplam Atık (ton)		Kullanılabilir Atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)	Birim Isıl Değeri (MJ/kg)	Toplam Isıl Değeri (GJ)
				Teorik	Gerçek				
Kayısı	Çekirdek	467903	11288357		154573				
	Budama			1328846	86964	69571	80	19.3	1342719
Vişne	Çekirdek	114466	4446680		39916			21.75	
	Budama			137359	21400	17120	80	19	325279
Zeytin	Pirina	1496630	90208994	673484	829816	746834	90	20.69	15451997
	Budama				441254	220627	50	18.1	3993345
Antepfıstığı	Kabuk	42926	29600005		14007	4202	30	19.26	80932
	Budama				209611	167688	80	19	3186080
Ceviz	Kabuk	115698	3737868	173546	75792	60633	80	20.18	1223584
	Budama				50480	25240	50	19	479563
Badem	Kabuk	46701	3631622	44366	25784	23205	90	19.38	449716
	Budama			13076	28500	22800	80	18.4	419521
Fındık	Kabuk	652803	286697887	698499	566437	453150	80	19.3	8745790
	Budama				2177986	1742389	80	19	33105388
Limon	Budama	475159	5529038	236852	88465	70772	80	17.6	1245582
Portakal	Budama	1180851	11884275	3424439	237686	190148	80	17.6	3346612
Mandarin	Budama	592884	8619163	918970	103430	82744	80	17.6	1456294
Greyfurt	Budama	126285	894293		14309	11447	80	17.6	201466

3.3.2. Hayvansal üretim sonucunda arta kalan atıklar

Çoğu ülkede tarımın yanı sıra hayvancılığın da önemi yüksektir. Türkiye'de inek, koyun ve kümes hayvanları yetiştiriciliğinin büyük bir yer kapsamaktadır. Bu alandan sağlanan atıkların yeni biyokütle teknolojileri ile enerjiye dönüştürülme olanağı bulunmaktadır.

Biyogaz elde etmek için kullanılan temel hayvansal kaynaklar, büyük ve küçükbaş hayvanlarla kümes hayvanlarının atıklarından oluşmaktadır. Teorik olarak domuz ve sığır ile kümes hayvanlarının en yüksek biyogaz üretme kapasitesine sahip olduğu kabul edilmektedir. Genel olarak hayvansal atıkların samanla karıştırılıp kurutularak yakıt olarak ve tarımsal gübre olarak kullanılmaktadır. Bu gübrenin fermantasyonu ile elde edilen biyogazın dünyada kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal atıkların küresel anlamda enerji potansiyelinin 20 Exajoule (EJ) olduğu tahmin edilmektedir (OECD/IEA, 2007). Küresel anlamda hayvansal atıklardan elde edilen biyoenerji özellikle Çin ve Hindistan'ın kırsal bölgelerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.3. Kentsel ve endüstriyel atıklar

Belediye atıkları olarak da adlandırılan şehir ve endüstri atıkları, her türlü evsel organik atıkları ve sanayide fabrikasyona uğramış organik atıkları kapsamaktadır. Bu atıkların elde edilmesi kolaydır ve neredeyse sınırsız arza sahiptir. Geçmişte büyük oranda ihmal edilen bu atıklar büyük miktarlara ulaşabilmekte ve önemli çevresel problemlere yol açabilmektedir. Bu atıklardan biyoenerji üretimi sayesinde hem çevresel sorunlar giderilebilmekte hem de ekonomik faydalar elde edilebilmektedir.

Çöplerin depolandığı yerlerde bunun yanı sıra kanalizasyon atıklarının arıtıldığı istasyonlarda oluşan arıtma çamur birikintileri önceden stabilizasyon işlemine tabi tutulmamış ve biyokimyasal etkinliğine son verilmemiş ise organizmaların aerobik ayrıştırmasına maruz kalır ve CH_4 gazına dönüşümü gerçekleşecektir. Metan gazından faydalanmak için, çöp toplama alanlarında oluşan gazları toplayacak sondaj borularının inşa edilmesi gerekmektedir. Sondaj boruların yerleştirilmesi belirli şekillerde yapılırsa bu alanlarda oluşan gazlar toplanarak BE üretilebilmektedir (Karaman, 2006).

3.4. Odun Talaşı

Hemen hemen her ülkede olduğu gibi Türkiye'de de enerji kaynağı olarak odun ve odun ürünlerinin kullanılması çok eskiye dayadığı bilinmektedir. 1800'lü yılların başlarına kadar, Türkiye'de üretilen ve kullanılan enerjinin neredeyse tamamına yakını odundan elde edilmiştir.

Dünya genelinde 1900'lü yıllarda petrol ve petrol ürünlerinin ucuzlamaya başlamasının ardından petrol kullanımında oldukça fazla artış meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra sıvı olarak üretilen petrolün taşınması ve kullanımı kolay olması dolayısıyla kullanım açısından tercih edilmeye başlanmıştır. Fosil kaynaklardan meydana gelen yakıtların ısıl değerlerinin yüksek olması, oduna olan talebin azalmasına neden olmuştur. Kömürden elde edilen elektrik maliyetinin düşük olması ve alt yapısının daha geniş alana yayılması kömür tüketimini artırırken yerleşim yerlerinde odunun kullanımı büyük ölçüde azalmasına sebep olmuştur. 1970'li yıllarda odunlardaki tüketim enerji kaynakları arasında kullanım oranı oldukça gerilemeye başlamış ve ortalama %30 seviyelerine kadar gelmiştir gerilemiştir. Çizelge 3.8'de yıllara göre orman ürünlerinin üretim miktarları sunulmaktadır (Bergman ve Zerbe, 2008).

Çizelge 3.8. 1990 -2008 yılları arasında Türkiye'deki orman ürünlerinin üretim miktarları

Yıllar	Tomruk (m^3)	Tel direği (m^3)	Maden direği (m^3)	Sanayi odunu(m^3)	Kağıtlık odun (m^3)	Yapacak toplamı (m^3)	Lif-yonga odunu (m^3)	Sırık (m^3)	Endüstriyel odun toplamı (m^3)	Yakacak odun (ster)
										X1000
1990	3.310	60	513	639	923	5.445	1.113	23	6.581	12.145
1991	3.159	99	465	624	1.043	5.390	1.104	19	6.513	11.503
1992	3.353	124	453	687	1.082	5.699	1.177	21	6.897	11.146
1993	3.199	129	396	789	1.466	5.979	1.001	30	7.010	10.846
1994	2.939	113	449	683	1.577	5.761	925	26	6.712	8.379
1995	3.578	134	498	936	1.558	6.704	1.320	22	8.046	9.539
1996	3.172	88	436	883	1.568	6.147	1.362	19	7.528	10.402
1997	2.845	53	444	834	1.369	5.545	1.406	23	6.974	9.246
1998	2.817	36	483	826	1.588	5.750	1.278	23	7.051	8.372
1999	2.833	90	456	804	1.610	5.793	1.252	21	7.066	8.167
2000	3.007	155	413	830	1.533	5.938	1.371	20	7.329	7.861
2001	2.738	85	380	776	1.525	5.504	1.255	19	6.778	7.577
2002	3.297	29	607	776	1.460	6.168	1.821	16	8.005	7.587
2003	2.827	39	422	778	1.169	5.235	2.073	12	7.320	7.816
2004	3.065	44	447	742	1.610	5.908	2.330	15	8.253	8.120
2005	2.936	77	405	726	1.528	5.672	2.409	19	8.100	7.667
2006	3.480	73	491	750	1.514	6.308	2.965	26	9.299	7.004
2007	3.732	77	522	734	1.703	6.768	3.265	20	10.053	6.834
2008	3.946	75	522	755	2.407	7.705	3.817	19	11.541	7.304

Odun doğrudan yakılarak kullanılabildiği gibi çeşitli işlemler sonucunda pelet, briket gibi formlara dönüştürülerek konutlarda ve iş yerlerinde kullanılabilmektedir. Odun tek başına veya fosil yakıtlar ve diğer biyokütle yakıtlarıyla birlikte ısıtmada, elektrik üretiminde ve gazlaştırma proseslerinde yakıt olarak kullanılabilir. Gelişmiş teknolojiler aracılığıyla odundan verimli bir şeklide enerji alınmasını mümkün kılmaktadır. Yeni teknolojilerle işlenebilen odunun artıkları motorlarda, yakıt hücrelerinde ya da doğalgaz tesislerinde kullanılmak üzere sentez gazı üretilmesine olanak sağlamak üzere bir çok çalışma yürütülmektedir. Odunda bulunan selülozik maddelerden gelişmiş yakıt üretim teknolojileri sayesinde biyobenzin, biyodizel gibi çeşitli sıvı yakıtlar üretilebilmektedir. Odun, çevreye etkisi bakımından fosil yakıtlara göre birçok avantaja sahiptir. Başlıca avantajı, sürdürülebilir, güvenli sağlayan yenilenebilir bir kaynak olmasıdır. Yandığında açığa çıkan karbon dioksit miktarı, fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan CO_2'den %90 daha azdır. Bu yakıtlar az miktarda kükürt ve ağır metal içerir. Asit yağmuru riski oluşturmaz ve parçacık emisyonları kontrol edilebilir özelliktedir (Bergman ve Zerbe, 2008). Odun daha kısa süreli yanma ve hızlı ısınma özelliklerinden dolayı diğer yakıtlara göre üstünlük taşımaktadır. 1 kg kömür veya linyit için 15-17 m^3 hava gerekir, 1 kg kuru odun için ise 7- 9 m^3 havaya gerekmektedir. Yanma sonunda, odunun bıraktığı kül miktarı kütlesinin % 1'inden azdır (Türkoğlu ve Gökoğlu, 2017).

Ağaç türü, özgül ağırlık, rutubet, kül ve ekstraktif madde miktarları odunun ısıl değerini belirleyen en önemli parametrelerdir. Odunda rutubet yüzdesi arttıkça kalori değeri azalır, bunun sebebi odun içeresindeki suyun buharlaşmasına harcanan yanma ısısının bir kısmıdır.

Odunun kalori değerini artıran faktör ekstraktif madde miktarının artmasıdır. Bunun dışında uçucu madde olması ve basit karbonların bulunması nedeni ile odunun yanma derecelerini etkilemektedir (Saraçoğlu ve Gunduz, 2009). Katı yakıt ve atık odunların tutuşma, enerji ve gaz salınımı özelliklerinin incelendiği birçok çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda odun ve odunun kabuğunda kül miktarı arttıkça kalori değeri azaldığı görülmüştür. Deneysel yöntem, çalışma koşulları ve verilerin analizi gibi faktörlerin yanında her çalışmada kullanılan maddenin kimyasal içeriği de bu farklılıkların oluşmasına önemli rol oynamaktadır. Çizelge 3.9' da odunsu biyokütlenin özellikleri yer almaktadır. (Sözen ve arkadaşları, 2017).

Çizelge 3.9. Odunsu biyokütle yakıtlarının temel özellikleri

YAKIT	Net ısıl değeri ($q_{net, d}$)	Nem (M_{ar})	Hacim yoğunluğu	Kabul edilen net ısıl değeri ($q_{net, d}$)	Kabul edilen Enerji Yoğunluğu
	[Gj/t]	[%]	[kg/m^3]	[Gj/t]	[Gj/m^3]
ORMAN ARTIKLARI					
Yongalar-son kesim	18,5-20,0	50-60	250-400	6,0-9,0	2,5-3,2
Yongalar- sıklık bakımı	18,5-20,0	45-55	250-350	7,0-10,0	2,5-3,2
Yongalar-küçük ağaççıklar-çalılar	18,5-20,0	40-55	250-350	7,0-11,0	2,5-3,2
ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER VE ARTIKLARI					
Testere talaşı	19,0-19,2	45-60	250-350	6,0-10,0	1,6-2,5
Kabuk, kozalaklar	18,5-20,0	10-50	250-350	5,0-9,0	1,8-2,5
Yongalar	18,5-20,0	50-65	150-300	6,0-15,0	1,8-1,9
YAKMALIK ODUN					
Yakmalık kütükler	18,5-19,0	20	240-320	13,4-14,5	4,9-5,7
Kesilmiş yakmalık odun	18,5-19,0	20	240-320	13,4-14,5	9,3
ODUN ARTIKLARI/ KULLANILMIŞ TAHTA					
	18,0-19,	15-35	150-250	12-16	2,2-2,9
İŞLENMİŞ ODUN YAKITLAR					
Peletler	19,0-19,2	8-10	650-750	16,8	11,0
Briketler	19,0-19,2	8-10	650-750	17,3	11,0

Çizelge 3.10'da atık odunları ve farklı biyokütle kaynaklarıyla yapılan bazı çalışmalara ait sonuçlar verilmektedir (Sözen ve arkadaşı, 2017).

Çizelge 3.10. Atık odunları ve farklı biyokütle odun kaynaklarının karakteristik özellikleri

Biyokütle kaynağı	Ortalama Analiz (ağırlığa oranla %)				Ametaller (%)					Kalorifik Değer (Mj/kg)
	Rutubet	Sabit karbon	Uçucu madde	Kül	C	H	N	O	S	
Masif odun	7,38	17,64	72,98	2,00	46,16	5,77	0,80	37,87	-	-
Mobilya	3,79	17,55	77,46	1,20	44,59	6,32	1,57	42,83	-	-
Pelet	2,59	15,03	79,98	2,40	45,37	5,69	0,07	43,88	-	-
Kağıt fabrikası atıkları	5,0	6,2	73,06	15,2	45,5	5,7	0,4	33,2	-	-
Çam odunu	5,1	10,1	82,2	2,6	53,5	7,4	0,1	40,6	-	-
Yonga levha	4,5	20,4	69,9	4,0	48,3	6,0	2,3	39,5	-	-
Çam	-	11,29	88,02	0,62	53,28	6,35	0,16	40,21	-	19,72
MDF	-	11,06	86,68	2,29	49,57	6,33	4,44	39,66	-	19,31
Yonga levha	-	14,38	83,82	1,22	46,26	5,83	2,36	45,51	0,04	17,51
Kontrplak	-	13,40	85,79	0,80	47,12	5,92	1,19	45,72	0,05	18,64
Monteri çamı (*Pinus radiata)*	-	-	-	-	53	6	-	41	0,01	-
Boyalı çam*	-	-	-	-	51	6	40	0,01	0,01	-
Yonga levha	-	-	-	-	50	6	41	2,6	0,04	-
Yonga levha (melamin kaplı)	-	-	-	-	50	6	41	2,6	0,03	-
MDF	-	-	-	-	50	6	40	3,8	0,01	-
Odun peleti	7,6	-	-	0,5	50,2	5,9	0,08	43,2	<0,01	19,0
Kabuk peleti	7,8	-	-	3,7	52,1	5,9	0,48	37,8	0,03	20,1
Odun briketi	7,5	-	-	0,3	50,6	6,4	0,05	42,7	<0,01	18,9
Çam cipsleri	4,0	14,6	81,3	0,1	52,0	6,2	0,12	41,59	0,08	20,23
Söğüt	6,96	16,31	75,70	1,03	51,62	5,54	0,38	42,42	0,03	18,68
Zeytin atıkları	6,40	19,27	65,13	9,20	54,42	6,82	1,40	37,29	0,05	19,67
Lignin	9,0	1,5	73,5	16	72,0	6,6	0	21,34	0	25
Selüloz	4,1	0,2	94	1,7	44,4	6,17	0	49,3	0	18,6
Orman gülü (pelet)	6,33		79,85	1,08	53,37	4,89	0,27	33,89	0,04	19,8
Defne (pelet)	6		78,52	1,4	51,15	4,94	0,32	35,12	0,06	18,5
Kestane (pelet)	6,08		78,79	1,37	49,45	4,60	0,34	38,08	0,07	18

(*) % 100 akrilik, kendinden emilebilen, dış ortamlar için beyaz boya.
(-) Yapılan çalışmada ilgili değer belirlenmemiştir.

3.5. Fındık Kabuğu

Tarımsal olarak fındık üretim bakımından badem sonra dünyada üretimi en fazla yapılan meyve olarak bilinmektedir. Türkiye'de ekonomik anlamda oldukça önemli yere sahip olan fındık özellikle Giresun, Samsun, Ordu ve Trabzon illerinde yaygın olarak üretimi yapılmaktadır (Duman, 2008).

Fındık, bitkiler aleminde Fagales takımının Betulaceae familyasına ait olan, Corylus cinsine giren 4–5 metre boyunda, uzun ömürlü ve sert kabuklu meyvesi olan bir bitkidir.

Fındık üretimine en uygun ve en geniş ekolojik alan Anadolu'da Doğu Karadeniz Bölgesinde yer almaktadır. Fındık Tarım Satış Kooperatifleri Birliği tarafından 2007 yılında yapılan bildiri de fındık, sert kabuklu meyveler içinde dünyada en fazla tüketilen meyve olduğunu, fındık tüketiminin ise diğer sert kabuklular içinde % 55 gibi çok yüksek bir paya sahip olup dünyada

tüketilen üç sert kabuklu meyveden birisinin de fındık olduğunu belirtmişlerdir. Ülkemiz dünya fındık üretiminin yaklaşık % 75'ini, dünya fındık ihracatının ise % 70- 75'ini gerçekleştirmektedir. 2012 yılında dünya fındık üretimi 932 bin ton olarak gerçekleşmiş olup, bu rakamın 660 bin tonu Türkiye tarafından karşılanmıştır. Fındık dünya pazarında ülkemizin lider ve tek başına hâkim olduğu tek alan olarak bilinmektedir (Hacı İbrahimoğlu, 1992).

Dünya'da 2018 yılı için Türkiye en fazla fındık üretimi yapan ülke olmuştur. En çok fındık üretimi yapan ülkeler Çizelge 3.11'de, Türkiye'de fındık üretim durumu Çizelge 3.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.11. Dünya fındık üretimi (Ton) (TMMOB, 2018)

ÜLKELER	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
TÜRKİYE	**600.000**	**430.000**	**660.000**	**549.000**	**412.000**	**646.000**	**420.000**	**675.000**
İTALYA	107.000	140.000	84.000	132.000	100.000	125.000	130.000	100.000
A.B.D.	24.500	35.000	32.000	35.000	36.300	43.500	32.000	34.000
AZERBAYCAN	39.000	55.000	40.000	30.000	25.000	50.000	35.000	45.000
GÜRCİSTAN	40.000	30.000	28.000	35.000	35.000	40.000	40.000	60.000
İSPANYA	20.000	22.000	16.000	19.500	19.500	20.000	21.000	19.000
DİĞER	27.000	27.000	25.000	25.000	25.000	45.000	42.000	44.500
TOPLAM	**857.500**	**739.000**	**885.000**	**825.500**	**660.773**	**969.500**	**720.000**	**997.500**

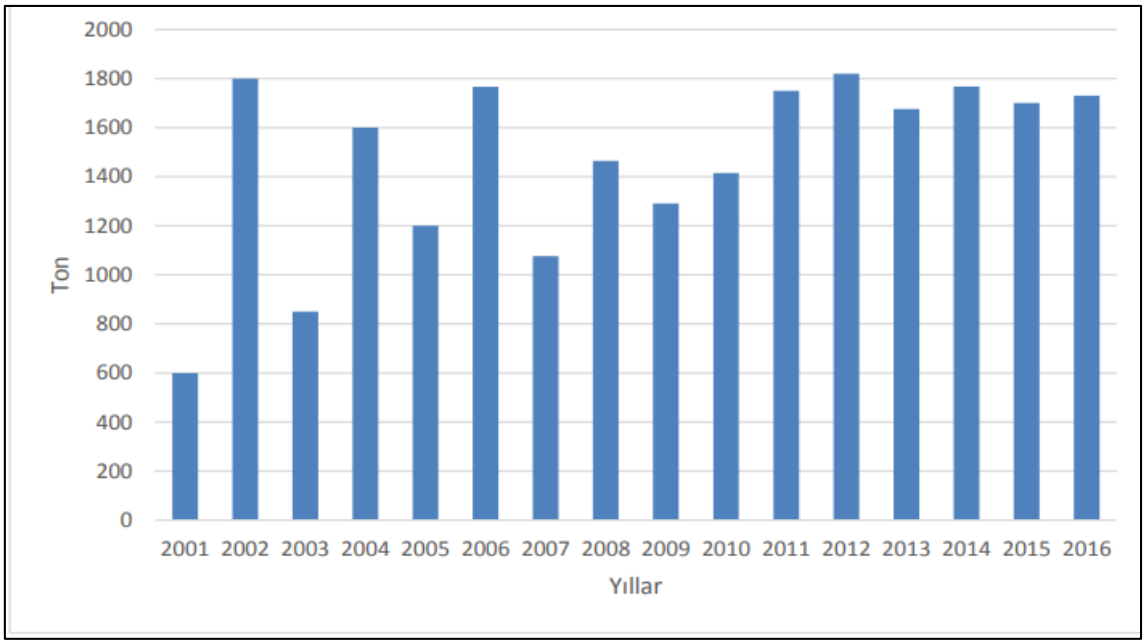
Çizelge 3.12. Türkiye'de fındık üretim alanı ve miktarı (TMMOB, 2018)

Yıllar	Üretim alanı (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Ka/da)
2001	555.000	625.000	113
2002	560.000	600.000	107
2003	600.000	480.000	80
2004	650.000	350.000	54
2005	655.000	530.000	81
2006	666.226	661.000	99
2007	661817	530.000	80
2008	661192	800.791	121
2009	642.867	500.000	78
2010	667.865	600.000	90
2011	696.964	430.000	62
2012	701.407	660.000	94
2013	702.144	549.000	78
2014	701.141	412.000	59
2015	702.627	646.000	92
2016	705.445	420.000	60
2017	706.667	675.000	96

Fındık kabukları özellikle fındık üretiminin yapıldığı Karadeniz bölgesinde oldukça değerli ve ısıl değeri yüksek olan bir yakıt olarak karşımıza çıkmakta ve oldukça fazla kullanılmaktadır. Fındık kabukları, özellikle teknolojik anlamda çok gelişim göstermiş olan ABD, İtalya ve Almanya boya sanayiinde ve kontralit, üretiminde fazlaca kullandıkları bilinmektedir. Bunun yanı sıra, furfural ve furfuril maddelerinin elde edildiği pentosan da fındık kabuğunda % 25- 30 oranında bulunmaktadır. Fındık kabukları kömürleşmesi sonucu briket kömürü, sınaî kömür ve aktif kömür elde edilmektedir. Günümüzde yakılmak üzere kullanılan fındık odunundan küfe ve sepet gibi insanların hayatlarını kolaylaştıran malzemeler üretilmektedir. Fındıkta fazlaca kabuk bulunmakta olup yaklaşık olarak 1 kg fındığın yarısı kabuk olarak çıkmaktadır. Buralardan meydana gelen atıklar genel olarak katı yakıt biçiminde kullanımı yapılmaktadır (Dogru ve arkadaşları, 2002).

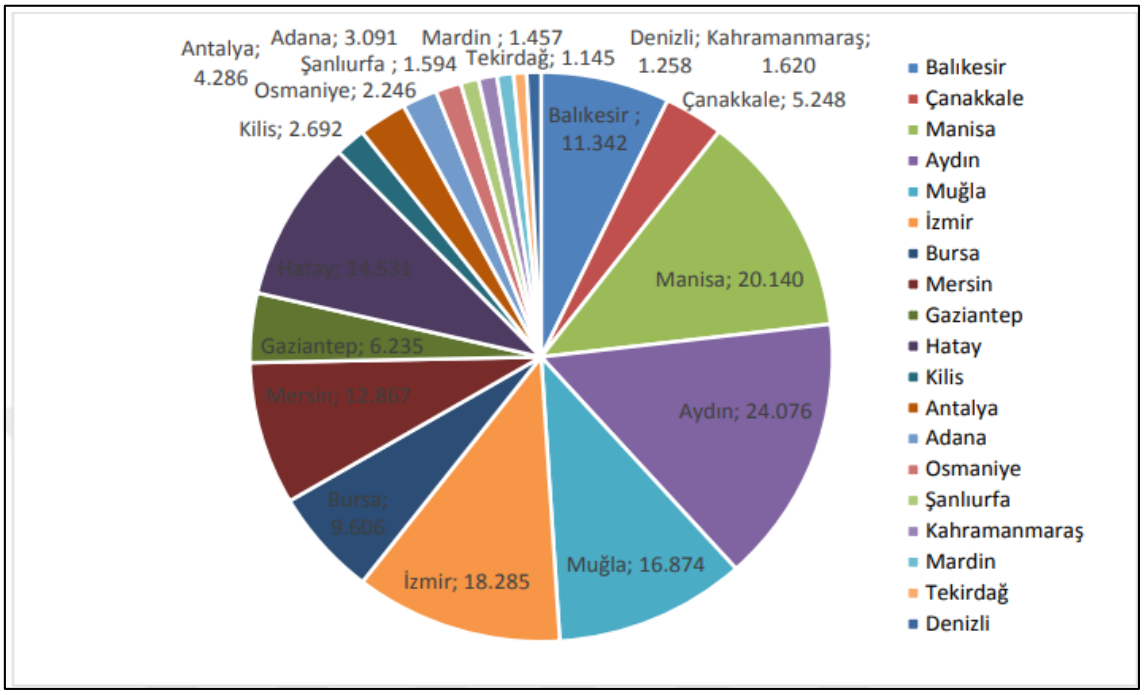
3.6. Pirina

Ülkemiz içinde zeytin, olea Europa denilen ağaçların meyvelerine verilen bir isimdir ve özellikle ülkemizde Akdeniz, Ege, Marmara bölgelerinde yoğun biçimde üretimi yapılan bir tarım ürünüdür. Bu meyve ağaçlarının kökleri toprağın en derinlerine kadar inmekte ve bu nedenden dolayı çakıllı olan ve kumlu olan topraklar üzerinde iyi biçimde yetişmektedir. Sıcak yaz ayları ve ılıman kış ayları zeytin ağacı için en verimli iklimlerdir. Zeytin ağaçları genel olarak sıcaklıkları sever ve 15 derce sıcaklık üstünün olmasını istemektedirler. Yıllık olarak bakıldığında 220 mm yağış zeytinlerin verimli bir şekilde meyvelerini vermesi bakımından yeterli olacaktır. Yüksek olmayan denize yakın olan coğrafyalar zeytin ağacı için ideal bir yetişme ortamı sağlamaktadır. Bu meyveler her sene aynı oranda meyve vermezler genel olarak bir yıl fazla bir yıl az meyve vermektedirler. Bu ağaçların boyu en fazla 10 metre, genişlikleri ise 50 cm civarındadır. Çiçek verme mevsimi genelde kuzey yarım kürede Nisan - Haziran aylarına denk gelmektedir. Yeşil olarak hasat edilen zeytinler genelde Ağustos ayında sonunda Kasım ayı başına kadar olgunlaşma süreci vardır. Ülkemiz Dünya’da zeytin üretici ülkeler sırlamasında ağaç sayısı bakımından dördüncü sırada yer alırken, alan açısından altıncı sırada yer almaktadır. Aynı zamanda Türkiye dünya zeytinyağı üretimine %8-10 oranında karşılamaktadır. Zeytin üretiminde ise de İspanya’dan sonra ikinci, tüketimde ise birinci sırada yer almaktadır. Türkiye’de yıllara göre zeytin üretimi Şekil 3.5’te sunulmuştur (TÜİK, 2016).



Şekil 3.5. Türkiye'de yıllara göre zeytin üretimi (Ton) (TÜİK, 2016)

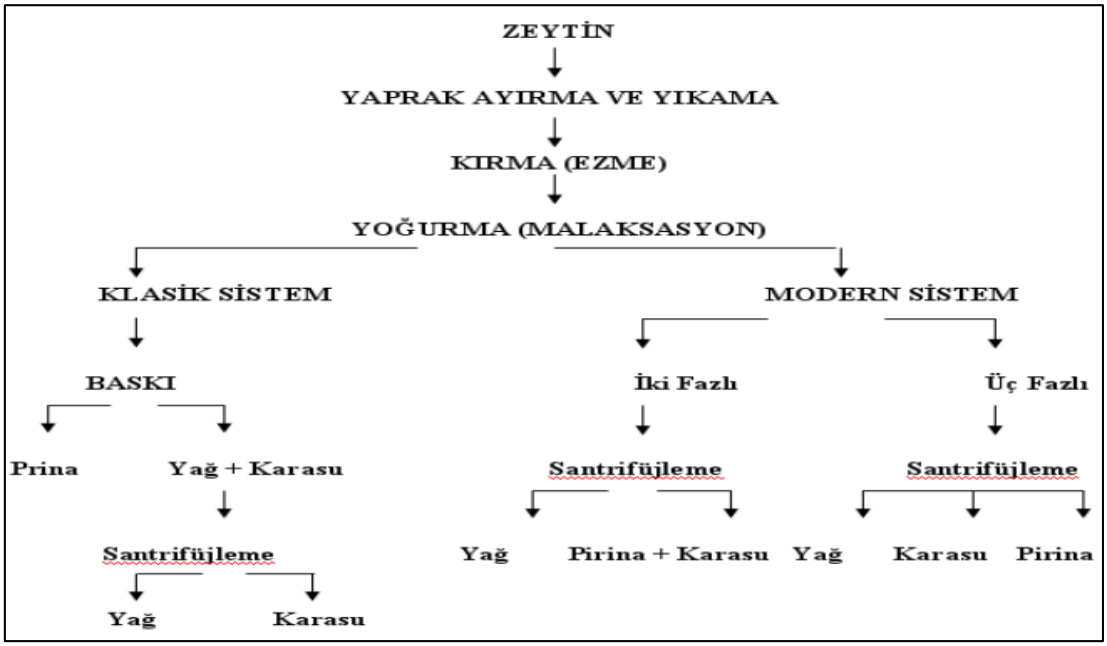
Zeytincilik sektörü, Türk ekonomisinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'de 845.541 ha alanda 173.758 adet zeytin ağacı varlığı ile dünyada dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'de illere göre zeytin ağacı sayısı Şekil 3.6'da verilmişti.



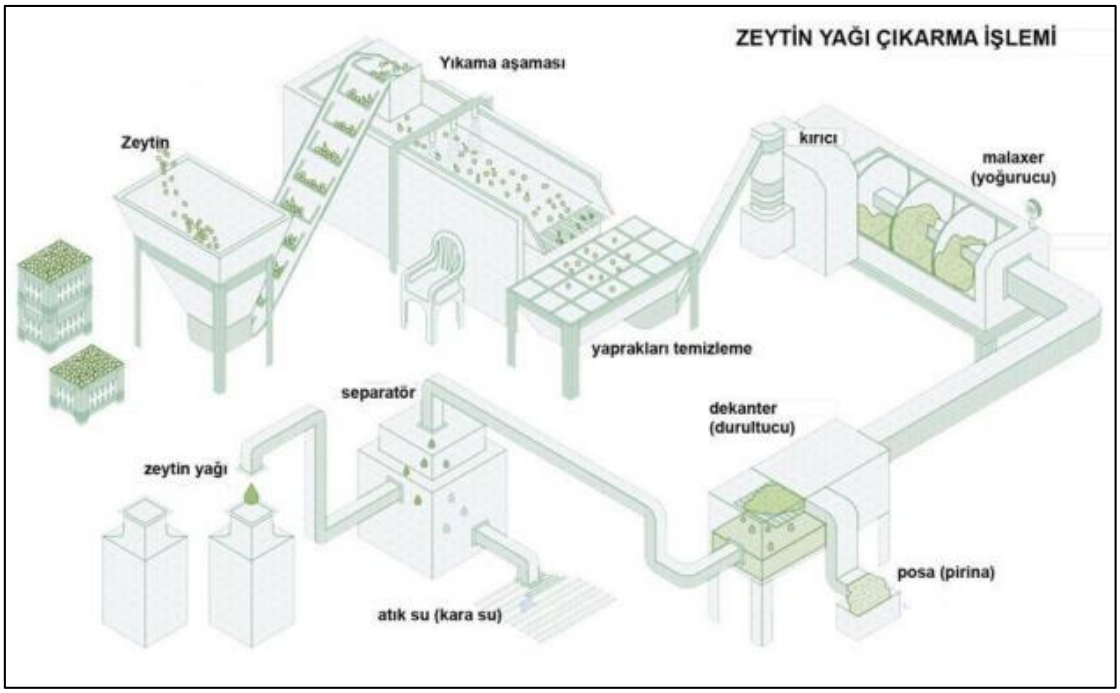
Şekil 3.6. Türkiye'de illere göre zeytin ağacı sayısı (TÜİK, 2016)

Zeytin sofralık ve yağlık zeytin olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Üretilen zeytinin %75 gibi oldukça büyük bir kısmı zeytinyağı üretmek için kullanılmaktadır. Bu büyük paya sahip zeytin, zeytinyağı fabrikasında zeytinyağına dönüşürken atıksu olarak karasu, yan ürün olarak pirina oluşmaktadır. Zeytinyağı işletmelerinde zeytinlerin sıkılmasından sonra arta kalan içinde çekirdek, kabuk ve etli kısım bulunan yağlı zeytin küspesi pirina olarak adlandırılmaktadır. Pirina, hem birçok Türk linyitinden daha yüksek ısıl değeri (20 MJ/kg (Varol, 2013). Hem de yüksek üretim potansiyeli (640000 ton/sezon) açısından enerji eldesinde değerlendirilmesi gereken bir biyoatıktır (Tübitak MAM, 2015).

Zeytinyağı üretim prosesleri, kesikli üretim prosesi ve sürekli üretim prosesleridir (iki fazlı ve üç fazlı üretim prosesi). Bu yöntemler içinde karasu, geleneksel presleme yönteminde ve üç fazlı üretim prosesinde oluşmaktadır. İki fazlı üretim prosesinde üretim boyunca proses suyu eklenmediğinden, proses sonrasında yağ ve pirina olmak üzere iki faz oluşmakta ve karasuyun büyük bir bölümü pirina ile birlikte açığa çıkmaktadır. Üç fazlı üretim prosesinde ise, üretim sisteminde proses suyu kullanıldığı için, proses sonunda yağ, pirina ve karasu olmak üzere üç faz meydana gelmektedir. Üretim şekline bağlı olarak geleneksel yöntemde hacimsel olarak daha az, ancak daha yoğun kirliliğe sahip karasu oluşumu söz konusudur (Hocaoğlu ve arkadaşları, 2018). Zeytinyağı üretim prosesleri ve üretim tesisinin şematik gösterimi Şekil 3.7 – 3.8'de verilmiştir (Karaca, Bozoğlu ve Polat, 2015).



Şekil 3.7. Üretim prosesine göre zeytinyağı üretimi ve pirina miktarı



Şekil 3.8. Zeytinyağı üretim tesisi (Karaca, Bozoğlu ve Polat, 2015)

Ülkemizde özellikle zeytinyağı fazlaca üretildiğinden dolayı bu üretim sonucunda çok miktarda pirina meydana gelmektedir. Pirina diğer yakıtlara göre maliyet açısından düşük olması, düşük yağ oranı içeriği ve kül içeriğinin düşük olması, oksidasyonu sırasında bıraktığı emisyonların fosil yakıtlara kıyasla daha az olması, stoklaması kolay olması gibi üstünlüklerden dolayı Akdeniz ülkelerinde gerçekleşen zeytin üretiminin büyük bölümü hem ekonomik değere sahip bir ürün hem de önemli bir biyoyakıt kaynağı teşkil etmektedir. Ayrıca pirina sabun sanayisinde, şeker fabrikalarında ve yağ asidi eldesinde yakıt maddesi olarak kullanılmaktadır (Öcal, 2005).

Zeytin, ortalama olarak her 100 kg işlenmesinden yaklaşık 30- 40 kg pirina elde edilmektedir. Bunun yanı sıra geleneksel yöntemler ile çalışmakta olan zeytinyağı fabrikalarında üç şekilde pirina üretimi yapılmaktadır (Başkan, 2010). Türkiye’de pirina işleyen 15 tesis bulunmaktadır Çizelge 3.13’te gözüktüğü gibi ülkemizde pirina tesisleri, zeytinin yoğun olarak bulunduğu yerler Balıkesir, İzmir, Hatay ve Gaziantep illeridir. Bu tesislerin 14’ü pirinayı yakıt olarak, bir tanesi ise yem maddesi olarak değerlendirmektedir.

Çizelge 3.13. Türkiye'de pirina işleyen tesisler

	Firma Adı	Şehir	Günlük işleme kapasitesi (ton/gün)	İşlenilen ortalama pirina miktarı (ton/sezon)	İşlenilen 3 fazlı pirina miktarı (ton/sezon)	İşlenilen 2 fazlı pirina miktarı (ton/sezon)
Hekzan ekstraksiyonu ile yağ ayıran ve kuru pirina, çekirdek vb. elde eden işletmeler	Orpir Pirina	Bergama - İzmir	700	62.000	35.000	27.000
	Girgin Pirina	Ödemiş - İzmir	600	50.000	30.000	20.000
	Ege Tarımsal Enerji	Gömeç-Balıkesir	150	30.000	20.000	10.000
	Dalan Yağ Pirina	Köşk - Aydın	240	33.200	32.000	1.200
	Uşaklı Pirina	İncirliova - Aydın	300	15.000	15.000	-
	Tirsay Pirina	Milas - Muğla	150	15.000	12.000	3.000
	Yükseller Pirina	Milas - Muğla	150	6.000	4.000	2.000
	Doğuş Pirina	Ayvalık - Balıkesir	550	55.000	35.000	20.000
	Solvent Pirina	Havran - Balıkesir	150	18.000	18.000	-
	Yeni Kurtuluş Pirina	Edremit - Balıkesir	150	-	-	-
	Alkanlar Pirina	Nizip - Gaziantep	200	13.000	13.000	-
	Zeymak Pirina	Nizip - Gaziantep	150	10.000	10.000	-
	Karagönler Pirina	Altınözü - Hatay	300	25.000	20.000	5.000
	Hatay (Asfuroğlu) Pirina	Hatay	150	15.000	15.000	-
Yem maddesi üretimi yapan işletmeler	Şenol Gıda San. A.Ş.	Atça-Aydın	250	11.000	1.000	10.000
Toplam			4.370	358.200	260.000	98.200

Pirina yakıt olarak kullanılmasının avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Birincil yakıtlara göre yakıt maliyetinin düşüklüğü,
- Pirinanın uzun süren depolanmasından sonra dahi bir sorunun olmaması,
- düşük kül miktarının (% 1.5) olması,
- Atığın tamamen değerlendirilerek ekolojik dengenin korunması,
- Yakılmasından kaynaklanan emisyonların fosil yakıtlara göre daha az olması,

Pirinanın dezavantajları ise aşağıdaki gibidir.

- Taşıma masraflarının enerji üretim maliyetine olumsuz etkisi,
- Mevsimsel bir üretime sahip olması,
- Zeytin meyvesinin “var” ve “yok” yılına bağlı olarak pirina üretiminin sürekliliğinin olmaması.

4. BİYOKÜTLEYE UYGULANAN DÖNÜŞÜM TEKNOLOJİLERİ

Biyokütle dönüşümünü sağlayan prosesler özellikle yakıt ve kimyasal madde üretimini hedeflemektedirler. Biyokütlenin yoğunluk ve enerji içeriği düşüklüğü ile taşıma zorlukları gibi dezavantajları, bu prosesler sayesinde ortadan kaldırılmış olacaktır.

Biyokütleye uygulanan prosesler doğrudan yanma, termokimyasal prosesler, biyokimyasal prosesler ve kimyasal tarım prosesleri olmak üzere dört temel gruba ayrılmaktadır. Bu proseslerin çıktısı olarak biyogaz, biyoetanol, biyodizel, gibi temel ürünlerin yanı sıra H_2 gibi yan ürünler de elde edilmektedir.

Çizelge 4.1'de farklı biyokütle dönüşüm prosesleri ile elde edilen ürünler ve kullanım alanları yer almaktadır (Saz, 2015).

Çizelge 4.1. Biyokütle dönüşüm teknolojileri, elde edilen ürünler ve kullanım alanları

Biyokütle	Dönüşüm teknolojileri	Elde edilen ürün	Kullanım alanları
Orman atıkları	Havasız Çürüme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon, Havasız çürüme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz		Sentetik yağ, Roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, Isınma, seracılık

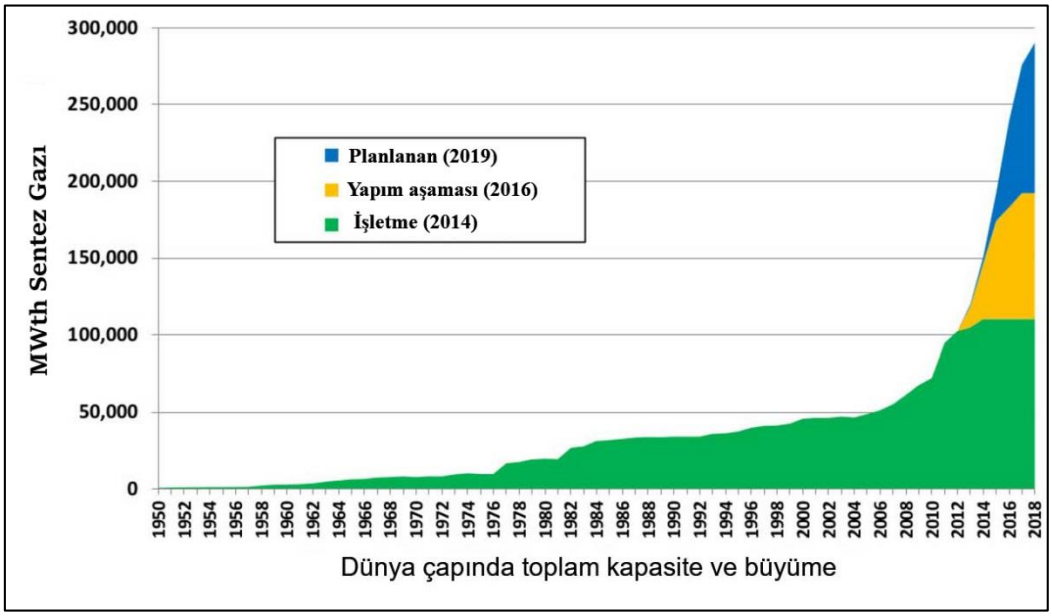
4.1. Gazlaştırma

Gazlaştırma katı ya da sıvı materyalin doğrudan ısıtılarak kısmi oksidasyonu ile yakıt gazlarına (kullanılan üretim yöntemine bağlı olarak genellikle CO, H_2, CH_4, CO_2, N_2) dönüşmesi işlemidir. Biyokütlenin gazlaştırılması, kullanılan gazlaştırma ajanına (hava, buhar-oksijen, hava-oksijen karışımları, oksijenle zenginleştirilmiş hava) göre sınıflandırılabilir.

4.2. Gazlaştırma Teknolojisinin Tarihçesi

Gazlaştırma 18. yüzyılın sonlarından bu yana gelişen bir teknolojidir. 1798'de William Murdoch bir binayı aydınlatmak için kömür gazını kullanmıştır. 1815 ve sonrası yıllarda İngiltere'nin birçok şehri aydınlatılmıştır. 1820-1940 yılları arasında evlerin ısıtılması ve sokakların aydınlatılması için kömürden yapılan gaz istihdam edilmiştir. Ayrıca 1920 yılında Carl Von Linde'nin yaptığı hava ile yapılan gazlaştırma prosesinde oksijenin eşliğinde sentez gazı ve hidrojen üretimi gerçekleştirilmiştir. Winkler'in 1926 yılındaki akışkan yataklı gazlaştırıcı, Lurgi'nin 1931'deki sabit yataklı gazlaştırıcı ve Koppers-Totzek'in sürüklenme akışlı gazlaştırıcı tipleriyle gazlaştırma teknolojisinin İlk ticari uygulamaları olmuştur. Daha sonraki yıllarda Almanya, Fischer-Tropsch ve Bergius proseslerini kullanarak kömür gazından sıvı yakıt üretimini gerçekleştirmiştir (Basu, 2006a).

Günümüzün en hızlı gelişen teknolojileri arasında yer alan gazlaştırma, enerji alanında çok sık kullanılmaktadır. Şekil 4.1'de yıllar itibarıyla gazlaştırmanın gelişme süreci görülebilir.



Şekil 4.1. Gazlaştırma kapasitesinin birikimli toplamı (Higman ve Burgt 2008)

Grafikten son 15 yılda önemli ölçüde bir gelişmenin hasıl olduğu söylenebilir. Bunun temel nedeni ise, artan enerji maliyetleri ve gazlaştırma teknolojisinin diğer teknolojilerle kıyasla çevresel üstünlüklerinin bilimsel çalışmalarla ortaya çıkarılmış olması olduğunu

söylenebilir. Bundan gazlaştırma teknolojilerinin daha da gelişeceğini ve yaygınlığının artacağını anlaşılmaktadır.

4.3. Gazlaştırma Kinetiği

Gazlaştırma, biyokütlenin, gazlaştırma ajanı olarak hava, oksijen veya buhar kullanılarak kısmi oksidasyonuyla başlayan birçok temel reaksiyonu içerir. Gazlaştırmada birçok reaktif kullanılmasının yanı sıra oluşan reaksiyonlar da çok çeşitlidir. Bu reaksiyonlar, bünye neminin hızlı buharlaşması, yüksek karbonlu organik bileşiklerin uzaklaşması, ağır hidrokarbonların parçalanması, piroliz ve buhar reforming işlemi olarak sıralanabilir. Bu işlemler genellikle 800-1800°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Oluşan temel gaz ürünlerin (CO, H_2, CH_4, CO_2, H_2O) yanı sıra diğer gaz ürünler (CHs), katran, katı ürünler, inorganik bileşikler ve kül oluşmaktadır. Gazlaştırma işleminde elde edilen gazın bileşimi gazlaştırma prosesine, gazlaştırma ajanına ve hammaddenin tipi ve boyutuna bağlıdır (Nadirov, 2016).

Organik içerikli biyokütle atığının gazlaştırılması sürecinde aşağıdaki temel kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir (Basu, 2006b).

Yanma Reaksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO \qquad -111 \text{ MJ/kmol} \qquad (4.1)$$

$$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2 \qquad -238 \text{ MJ/kmol} \qquad (4.2)$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O \qquad -242 \text{ MJ/kmol} \qquad (4.3)$$

Bu yanma reaksiyonları sonucunda üretilen ısı endotermik reaksiyonların gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. H_2, CO, CH_4 gibi yanıcı gazlar aşağıda verilen dört temel gazlaştırma reaksiyonlarını oluşturmaktadır.

Boudouard reaksiyonu: karbon ve karbon dioksit reaksiyonu sonucunda karbon monoksitin oluşum reaksiyonudur.

$$CO_2 + C \leftrightarrow 2CO \qquad +172 \text{ MJ/kmol} \qquad (4.4)$$

Su gazı reaksiyonu: karbon ve su buharının reaksiyonu sonucu hidrojen ve karbon monoksit oluşum reaksiyonudur.

$$C + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO \qquad +131\ MJ/kmol \qquad (4.5)$$

Metanlaşma reaksiyonu: karbon ve hidrojenden metanın oluşumu reaksiyonu

$$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4 \qquad -75\ MJ/kmol \qquad (4.6)$$

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

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \qquad -42\ MJ/kmol \qquad (4.7)$$

Metan-buhar reform reaksiyonu

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2 \qquad +206\ MJ/kmol \qquad (4.8)$$

4.4. Gazlaştırma Prosesleri

Gazlaştırma, biyokütle atıklarının su buharı ve oksijen gibi oksidantlar ile gazlaştırıcı adı verilen reaktörler içerisinde gerçekleşmektedir. Gazlaştırıcı tipi seçimi, kullanılacak olan yakıtın türüne, kullanım amacına, kapasite ve işletme zorlukları gibi kriterlere göre yapılmaktadır. Karbon dönüşümü, elde edilecek son ürünün kalori değeri ve bileşimi ile reaktör boyunca sıcaklık dağılımlarının seçilecek olan reaktör türüne doğrudan etkilenmektedir. Gazlaştırıcı türleri temelde sabit yataklı, akışkan yataklı ve sürüklemeli tip gazlaştırıcılar olarak üçe ayrılmaktadır. Bunun yanında döner fırın gazlaştırıcılar ile plazma gazlaştırıcı reaktörleri son yıllarda geliştirilen teknolojiler arasında yer almaktadır (Nayır, 2012).

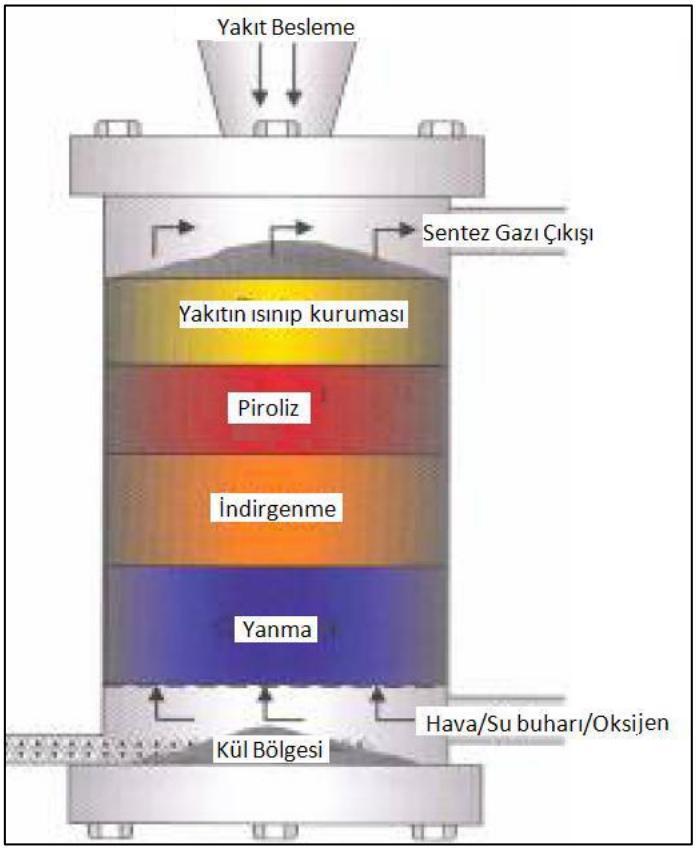
<u>Sabit yataklı gazlaştırıcı</u>

Sabit yataklı gazlaştırma reaktörlerinde beslemesi yapılan yakıtın desteklenmesi ve reaksiyon bölgesi oluşturmak için dayanıklı malzemeden yapılmış bir ızgara

yerleştirilmektedir. Havanın ve gazın akış yönüne göre sabit yataklı gazlaştırıcılar, yukarı akışlı, aşağı akışlı ve karşıt akışlı gazlaştırıcılar olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

Yukarı akışlı (Updraft) sabit yataklı gazlaştırma prosesleri

Bu proses en basit gazlaştırma prosesi olarak bilinmektedir. Gazlaştırıcının üst bölgesinden beslenen yakıtın nemi alt kısımdan gelen sıcak gazın ısısıyla buharlaşarak piroliz bölgesinde bünyesindeki uçuculara ve çara ayrılmaktadırlar. Izgaranın üzerinde olan ocak bölgesinde yanma ve gazlaştırma reaksiyonları gerçekleşir ve sıcak gaz ürünleri burada oluşmaktadır. Bu tip sistemlerde oksitlenme bölgesine pirolizden çıkan ürünlerin girememeleri nedeniyle ve sıcaklıkların düşüklüğü nedeniyle oluşan katranın tam olarak parçalanamaz ve katran bakımından yoğun bir sentez gazı üretilir. Bundan dolayı bu tip gazlaştırıcılarda uçucu madde oranı yüksek olan yakıtların gazlaştırılması yapıldığında elde edilen gazın katran içeriği yüksek olmaktadır. Gazlaştırma proseslerinin borularında yoğuşan katranın tıkanmalara neden olduğu gibi enerji veriminin düşmesine yol açmaktadır (Marcio ve Souza, 2004). Şekil 4.2'de yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcının şematik resmi görülmektedir.

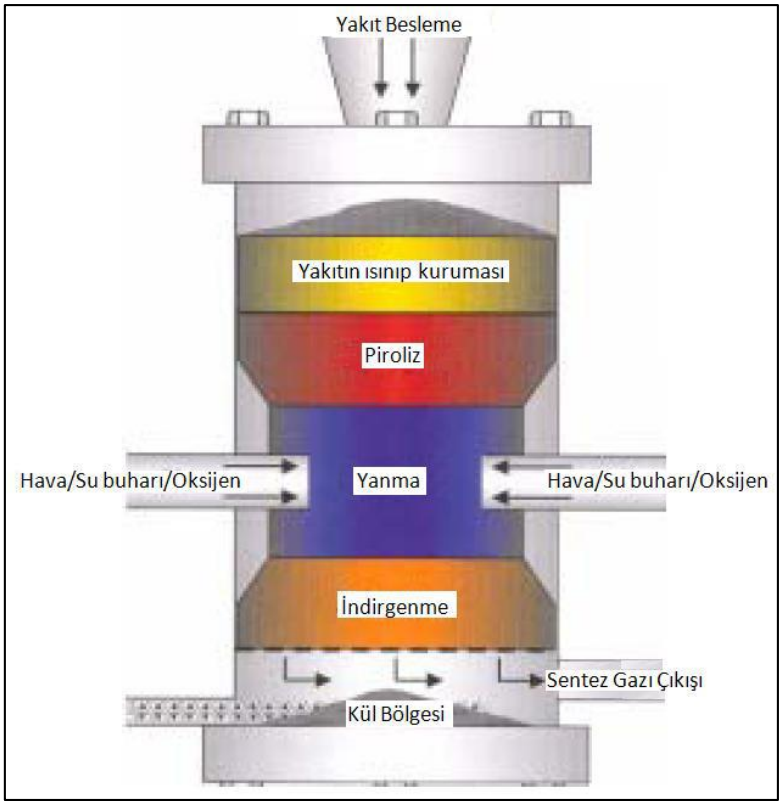


Şekil 4.2. Yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Yinesor (2008)

Aşağı akışlı (Downdraft) sabit yataklı gazlaştırma prosesleri

Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırma sisteminde yakıt ve oksidantlar sistemin üst kısmından beslemesi yapılırken proses ürünleri ise sistemin alt bölgesinden alınmaktadır. Piroliz bölgesinden çıkan ürünler sıcak yatak bölgesinden geçtiği için oluşan katranın çoğu bu bölgede parçalanmaktadır. Bu sistemler, biyokütle gazlaştırılmasında en yaygın prosesler arasındadır.

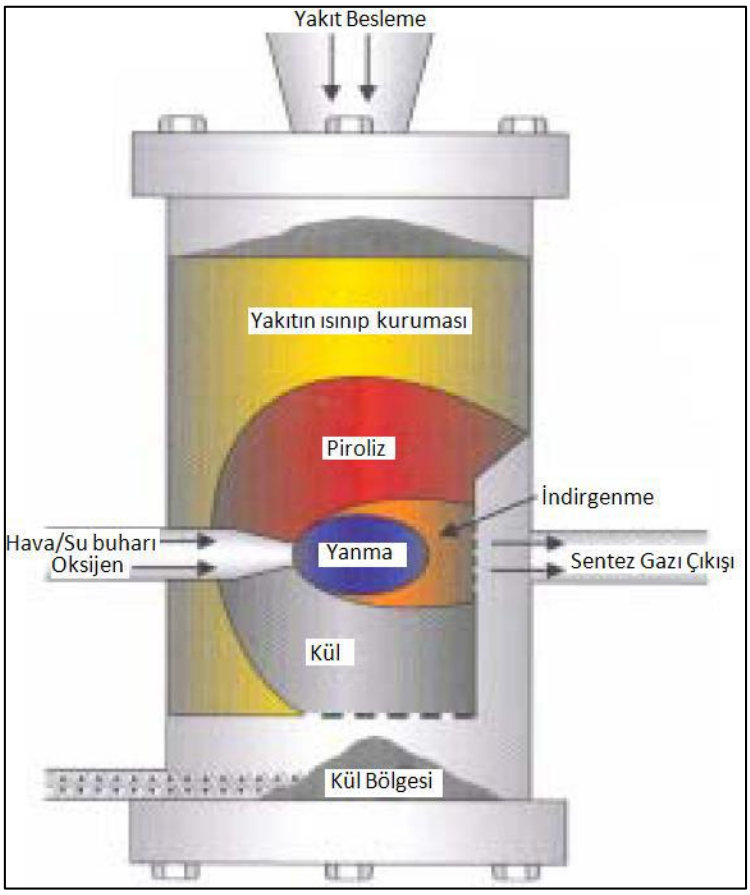
Aşağı yönlü gazlaştırmalarda sıcaklığın yüksek olması tıkanmalara sebep olmaktadır. Bunun yaşanmasını engellemek için öncelikle hareketli olan ızgaraların kullanılması gerekir. bu tip sistemlerde reaksiyonların sonucu meydana gelen yüksek sıcaklıkların ek bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulabilmektedir. Ayrıca bu sistemin en büyük dezavantaj, yoğunluğu düşük olan hammaddeleri işleme zafiyetidir (Breault, 2010). Şekil 4.3'te aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcının yapısı görülmektedir.



Şekil 4.3. Aşağı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Yinesor (2008)

Karşıt akışlı (Crossdraft) sabit yataklı gazlaştırma prosesleri

Bu sistemlerde üst kısımdan beslenen yakıt aşağı doğru inerken gazlaştırıcı gazlar reaktörün yanından beslenir. ürün gazlar ise diğer taraftan sistemden çıkmaktadır. Reaktörün alt bölgesinden kül alınmaktadır. Katran ve partikül miktarı gaz ürünlerde yoğundur. Bu sebepten dolayı bu tip proseslerde kullanılacak yakıtın katran ve nem açısından düşük bir yüzde sahip olması tavsiye edilmektedir. Bu sisteme ait resim Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Karşıt akışlı sabit yataklı gazlaştırıcı Yinesor (2008)

Akışkan yataklı gazlaştırıcı

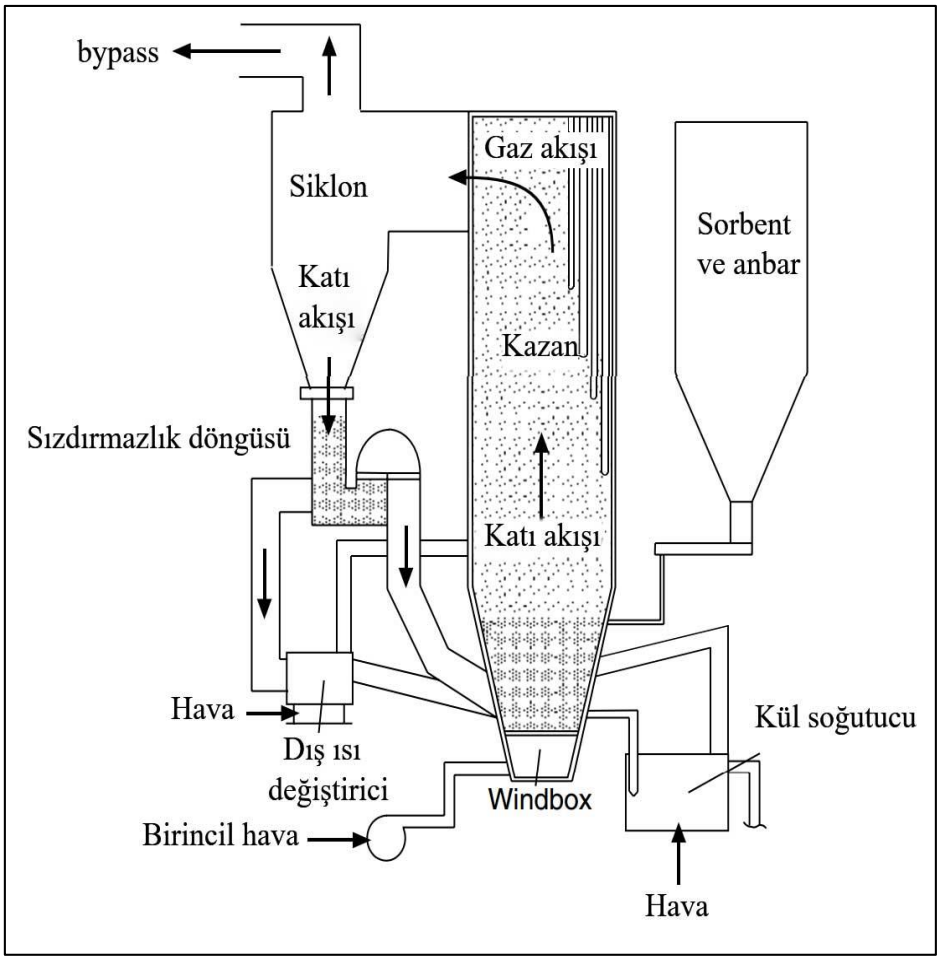
1920'li yıllarda Almanya'da bu sistemler geliştirişmiş ve ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan gazlaştırma sonucu elde edilen gazlar motorlarda kullanılmıştır (Basu, 2006a).

Uygun parçacık boyutlarına getirilmiş yakıtlar akışkan yataklı gazlaştırma sistemlerinde akışkan duruma getirilerek gazlaştırılmaktadır. Bu sistemlerde tanecik boyutu ortalama 0.5-5 mm çapında olan kömür ve biyokütlenin gazlaştırılması mümkündür. Sistemde kireç taşı, kum ve yakıtın kendi külü yatak malzemesi olarak kullanılıyor. Biyokütlelerin gazlaştırılması sırasında inert yatak malzemesi olarak silika kum da kullanılmaktadır. Bu sistemlerde uygun bir karışım ortamı sağlamak, reaktör boyunca homojen bir sıcaklık dağılımı ve yüksek ısı transferi elde etmek için akışkanlaşma hızının üzerine çıkılması gerekmektedir.

Dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırıcı

Bu prosesler içeresinde sistem bileşenleri sıcak bir ortamda karışmaktadır. Yoğun katı - gaz karışımı gerçekleştiği bu tip sistemler reaktörün farklı bölgelerinde kuruma, piroliz, indirgenme ve oksidasyon reaksiyonları gerçekleşmektedir. Sistemde bulunan dağıtıcı plaka aracılığıyla reaktöre beslenen gazlar verilerek homojen bir karışım ortamı oluşturulmaktadır.

Reaktör içi sıcaklık dağılımının homojen olabilmesi için reaktör boyunca yatak malzemesi yerleştirilmiştir. Akışkanlaşma hızı 5-10 m/s mertebelerindedir. Dolaşımlı sistemlerde gazlaştırıcı ortamın yüksek hızından dolayı beslenen yakıtın reaksiyona girme süresi kabarcıklı sistemlere göre daha kısadır. Bu da reaksiyon veriminin düşmesine sebebiyet verebilir. Sonuç olarak reaktöre beslemesi yapılacak yakıt bu tür sistemlerde boyutta daha küçük olması gerekmektedir. Hava/yakıt oranı sabit yataklı gazlaştırıcılara kıyasla daha kolayca değiştirilebildiği için yatak sıcaklığı kolayca kontrol edilebilmektedir. Sisteme ait şematik resim Şekil 4.5’te görülmektedir.

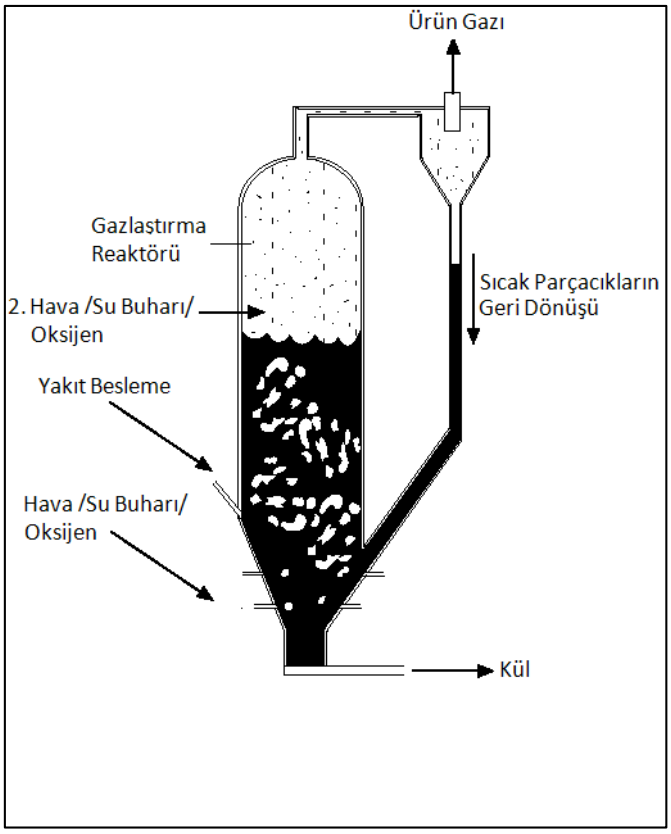


Şekil 4.5. Dolaşımlı akışkan yataklı gazlaştırma prosesi

<u>Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı</u>

Bu sistemlerde, beslenen yakıtın akışkanlaşmaya başlaması için gazlaşma ortamı hızının belli bir seviyede olması gerekmektedir. Bu hıza akışkanlaşma hızı olarak tanımlanmaktadır. Bu tip reaktörler için bu hız genellikle 2 – 3 m/s derecesinde tutulmaktadır. Akışkanlaşma hızının daha yüksek hıza ulaşması yatağın genişlemesine ve dolaysıyla yatak malzemesinin reaktör dışına çıkarıp siklonda birleşmesine neden oluyor. Bu sebeple kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcıları işletirken yüksek hızlara çıkmamaya dikkat edilmelidir. Bu sisteme ait şematik resim Şekil 4.6'da verilmiştir (Nayır, 2012).

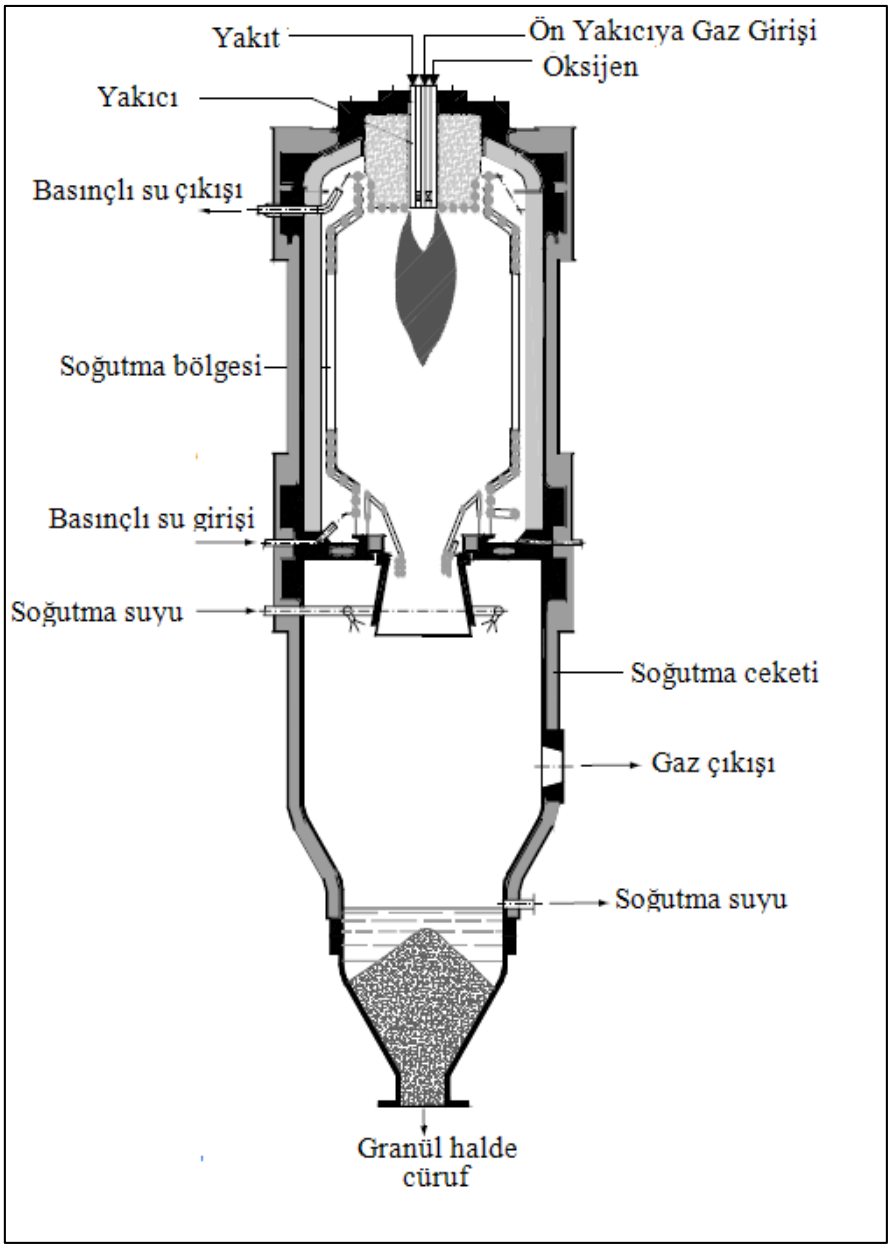
.



Şekil 4.6. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma prosesi (Nayır, 2012)

<u>Sürüklemeli akışlı gazlaştırıcı</u>

Bu tip gazlaştırıcılarda çalışma sıcaklıkları 1000- 1600 ºC mertebesinde olduğundan yatak içerisindeki kül ergimiş halde sistemden çıkmaktadır. Bu yüksek yatak sıcaklıklarından dolayı katran gibi istenmeyen maddelerin neredeyse tamamı parçalanarak gaz ürünlerde rastlanmamakta ve böylece yüksek saflıkta sentez gazı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Karbon dönüşümü bu tip sistemlerde % 99 mertebesindedir. Bu tip gazlaştırma sistemlerinde daha çok kömürlerin gazlaştırılması yapılmaktadır. Şekil 4.7'de Noell tipi sürüklemeli akışlı gazlaştırıcının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 4.7. Sürüklemeli akışlı gazlaştırma prosesi (Basu, 2006b)

Plazma gazlaştırma prosesleri

Plazma gazlaştırma prosesi özellikle evsel ve diğer katı atıkların gazlaştırılmasında kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemde en temel öğe plazmanın ateşlendiği kısımdır. Elektrodların arasında oluşan yüksek elektrik arkı sonucunda yüksek sıcaklıklara ulaşılmaktadır. Prosese beslenen atık maddelerin yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek gazlaştırma işlemi gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıkların etkisiyle katranlı yapılar ayrışmakta ve dioksin ile furan gibi gazlar parçalanmaktadır.

5. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Gazlaştırma, biyokütlenin termal dönüşüm teknolojileri arasında en düşük proses atığı olan prosestir. Bu prosesleri daha ayrıntılı incelemek, prosesi etkin olarak kullanabilmek ve işletim sırasında önemli olan parametrelerin tespiti için bu alandaki çalışmalar sürdürülmektedir. Gazlaştırma biyokütle atığı olarak çeşitli maddeler denenmektedir. Bu tür proseslerin yüksek sıcaklık ve basınçta çalıştıkları için güvenlik açısından riskli olmalarının yanı sıra küçük ölçekli deney sistemlerinin kurulması ve işletilmesi epeyce maliyetlidir. Genelikle deneysel çalışmalar daha fazla laboratuvar ölçekli gazlaştırıcılarda yapılmaktadır. Bu kapsamda, biyokütlenin gazlaştırılmasına yönelik yürütülen kaynak araştırmasında en önemli makaleler aşağıda ele alınmıştır.

Rajvanshi (1986), çalışmasında çeltik kavuzunun gazlaştırılması sonucunda, içereği %16.1 CO, %9.6 H_2, %0.95 CH_4'den oluşan sentez gazı elde edilmiştir. Aynı zamanda ürün gazın, gazlaştırıcı çıkışındaki sıcaklığı ortalama 350˚C civarında olduğunu ve ve ısıl değeri 3.25 MJ/m^3 olduğunu ifade edilmiştir.

Warren, Poulter ve Parfitt (1995), dar boğazlı tip sabit yataklı gazlaştırma reaktörü kullanarak odun talaşına gazlaştırma işlemi uygulamışlardır. Bu tip sistemlerde tanecik boyutunun etkileri incelenmiştir. Prosesin boğaz bölgesindeki hava akışı tanecikler tarafından engellediğini görülmüştür. Bu da boğaz bölgesindeki sıcaklığın düşmesine neden olmuştur. Yakıt karıştırıcısı kullanarak sorunun giderilmeye çalışıldığını fakat bu çözüm yetersiz kaldığını dolayısıyla talaşı daha yoğun hale getirilerek ve ızgaradaki açıklıkların genişliği küçültüp, açıklık yüksekliği artırılmasıyla çar toplanma sorunu giderilmiştir.

Chopra ve Jain (2007), yukarı akışlı gazlaştırma reaktörlerinin içeriğinde yüksek kül ve nem bulundran biyokütle için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Fakat çıkan sentez gazının içeriğinde fazla katran bulunduğunu, sıcaklığın arttırılması katranın azalmasına yardımcı olduğunu fakat bu artış ürün gazın ısıl değerinde azalmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşağı akışlı reaktörlerde daha temiz gaz ürün elde edilmektedir. Sabit yataklı (boğazsız) sistemlerde odun talaşı, çeltik kavuzu ve hindistan cevizi kabuğu gibi farklı bitkisel biyokütle atığı sorunsuz gazlaştırılmaktadır. Bu tür sistemlerde

gazlaştırıcının yalıtımı, ürün olarak elde edilen gazı yakmak suretiyle ortaya çıkan ısının kullanılması sonucu, verimin ve performansın yükselmesinin yanı sıra katran oranının düşmesini ve hava dağılımının homojen olmasına yardımcı olduğunu saptanmıştır.

Tinaut ve arkadaşları (2008), aşağı akışlı sabit yataklı bir gazlaştırma reaktörü kullanılarak parçacık boyutu ve hava akış hızının gazlaştırma işlemi üzerine etkilerini incelenmiştir. Bu inceleme hem deneysel hemde modelleme şeklinde iki çalışma olarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyler farklı hava hızı (6 - 18 l/dk) ve biyokütle tanecik boyutu 2–6, 6–12 ve 12–19 mm şeklindedir. küçük tanecik boyutu ve düşük hava akış hızı koşullarında en yüksek verimi bulunduğunu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, gazlaştırıcıda daha yüksek ısıl değerli gaz elde edilmesi için yüksek yakıt/hava oranı sağlanmasıyla elde edilebileceğini ifade edilmiştir.

Simone ve arkadaşları (2012), aşağı akışlı küçük ölçekli bir gazlaştırma reaktöründe pelet şekline getirildikten sonra, tek başına odun talaşını ve %50 ayçiçeği çekirdeği ile %50 odun talaşını gazlaştırmışlardır. Örneklerde birim biyokütle başına gaz üretiminin 2,2 ile 2,4 Nm^3/kg arasında, alt ısıl değerinin 5,7 MJ/Nm^3 ve ısıl verimin %67,5 ile %70 arasında farklılık gösterdiğini saptamışlardır.

Galindo ve arkadaşları (2014), ısıl değeri 18,06 MJ/kg olan okaliptüs odunlarını 6 cm boyutlarında küp şeklinde hazırlayarak aşağı akışlı gazlaştırma reaktöründe gazlaştırmışlardır. Araştırmacılar, gaz ürünün alt ısıl değeri 4,12 MJ/Nm^3 - 5,11 MJ/Nm^3 arasında değiştiği belirlemişlerdir.

Uysal ve arkadaşları (2011a), laboratuvar ölçekli sabit yataklı gazlaştırma reaktöründe su buharı ortamında üç farklı yöreye ait kömürleri (Çanakkale-Çan, Kütahya Tunçbilek ve Konya-Ilgın-Gölyaka) gazlaştırarak hidrojen üretmeye çalışmışlardır. Gazlaştırma, 1-1,5 mm partikül boyutlarındaki kömürlere 600°C – 800°C sıcaklık aralığında ve hacimsel akış hızı 10 g/dk su buharı atmosferinde yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimum gazlaştırma sıcaklığı 700°C tespit edilmiş ve gaz ürünün hidrojen içeriği % 56-74 aralığında değiştiği saptanmıştır.

Demirtaş ve Danışmaz (2016), yaptıkları çalışmada atık biyokütlelerden fındık kabuğu, çam kozalağı ve çay atığı ile düşük kalorili kömürlerin doğrudan gazlaştırma ve pelet

yakıtı haline getirilerek gazlaştırılması yapılarak ısıtma ve pişirme sistemlerinde kullanımı irdelemişlerdir. Gazlaştırma aşamaları olan kurutma, piroliz, oksidasyon ve indirgeme işlemlerinde gaz kalitesini artırmak için reaktör gaz ile dolu hazne içinde tutulmuş ve piroliz bölgesinden sentez gazı takviyesi yapılmıştır. Deney numuneleri odun için 2x1x1 cm^3 hacimdeki bloklar, kömür için 2 cm^3 parçacıklar ve pelet için 1 cm çapında 2 cm uzunluğunda parçalar kullanılmıştır. Çalışma boyunca ürün gazının kalitesinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Biyokütle gazlaştırılmasında kömüre göre daha az katran oluşumu gözlemlenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli yer tutan Pirina biyokütle atığı büyük miktarlarda ve düşük maliyetlerle sağlanması mümkündür. Zeytinyağı fabrikalarının atığı olarak yeniden değerlendirilmesi ve temiz enerji üretimi yapılabilmesi, son yıllarda çok ülkede birçok çalışma yapılmasına sebep olmuştur. Literatürde, pirinanın gazlaştırlımasıyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Topal, Atimtay ve Durmaz (2002), çalışmalarında akışkan yataklı fırında, ülkemizin farklı bölgelerinden aldıkları pirinanın özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın devamında aynı deney düzeneğinde kömürün yakılması suretiyle yakıtları karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri pirina yanma verimi %82,24 ile 98,65 arasında değişlik gösterdiğini gözlenmiştir. Tam yanma durumuna ulaşmamış C oranları pirina için %1,4 iken kömür için %1,85 olarak bulunduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda baca gazı analizi yaparak analiz sonucunda SO2 konsantrasyonunun sıfıra yakın olduğu bulunmuştur. CO ve C_mH_n konsantrasyonlarının yanma sırasında beslenen hava miktarındaki artış ile ters orantılı olduğunu ve CO ile C_mH_n konsantrasyonlarının düşmesine neden olduğunu görülmüştür. Havanın artırılması halinde tam yanma gerçekleşmediği ve CO ile NO_X konsantrasyonlarında artış gözlendiği ifade edilmiştir.

Al-Widyan, Tashtoush ve Khdair (2006), dikey bir tüp fırında 0,2 mm ve daha küçük tanecik boyutuna sahip olan pirinayı yakma işlemine tabi tutarak yanma verimini %82 ve termal verimini %69 olarak tespit etmişlerdir. Alev sıcaklığının maksimum değeri 975^oC olarak bulunurkan su soğutma sıcaklığı 21^oC dolaylarında olduğunu bulmuşlardır.

Sert ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışma kapsamında pirinadan hidrojen üretimi araştırılmıştır. Deneyler, kesikli otoklavda 300°C ila 600°C sıcaklıklar arasında ve 200 atm

- 425 atm aralığında bir basınçta gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada (Trona, K_2CO_3 ve KOH) katalizörlerinin etkisi de incelenmiştir. Ürün gaz bileşiminde (H_2, CO, CO_2, CH_4) ve az miktarda C_2-C_4 hidrokarbonları içermektedir. Çalışmalar ayrı ayrı hem Katalizörsüz hem de katalizör eşliğinde yürütülmüştür. Katalizör olmadan yapılan çalışmada gaz ürünlerinin üzerine sıcaklık etkisi incelenirken, sıcaklığın 300°C'den 400°C'ye yükseldiğinde, gaz veriminin %19.7'den % 33.8'e yükseldiği gözlenmiştir. Ayrıca 600°C sıcaklıkta en yüksek gaz verimi %64.6 olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, hidrojen verimini arttırmak amacıyla üç farklı katalizör kullanılmıştır. Katalizörsüz çalışma ile karşılaştırıldığında, gaz veriminin katalizör ortamında yapılan çalışmada artığı gözlenmiştir. 600°C sıcaklıkta katalizör olarak K_2CO_3 kullanıldığında, gaz ürününün verimi % 64.6'dan % 78.5'e yükselmiştir. Basıncın metan ve su gazı reaksiyonu üzerinde etkisini incelenirken, basınç 200 atm'den 425 atm'a yükseltildiğinde, gaz ürünündeki metan bileşimi K_2CO_3 katalizli çalışmada 600°C'de %15.3'ten %25.1'e yükseldiğini saptanmıştır.

Vural, Uysal ve Doğan (2014), çalışmalarında sabit yatak dolaylı ısıtmalı gazlaştırma reaktöründe Soma Eynez Havzası'na ait linyiti su buharı ortamında gazlaştırma işlemine tabi tutmuşlardır. Gazlaştırma sonucunda hidrojen bakımından zengin sentez gazı elde etmişler. Deneysel çalışmalarında yakıtın tane boyutu, su buharı akış hızı ve sıcaklık parametrelerinin etkilerini incelemişler. Deneysel çalışmalar sonucunda optimum koşullar 1,2 mm partikül boyutu, 700°C sıcaklık ve 10 ml/dk su buharı akış hızı olarak belirlenmiştir. Elde edilen ürün gazın analizi sonucunda hidrojen, karbon monoksit, metan ve karbon dioksit gazlarının konsantrasyonları sırasıyla %63, %3, %2 ve %32 olarak bulunmuştur. Ayrıca, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, potasyum karbonat gibi katalizörlerin gazlaştırma sürecine katalitik etkisi de incelemişler. Yapılan katalitik gazlaştırma işlemi neticesinde en yüksek hidrojen verimi kalsiyum oksit katalizörü ile yapılan deney çalışmasında bulmuşlar, H_2 %73, CO %10, CH_4 %5 ve CO %12.

Uysal ve arkadaşları (2011b), linyiti laboratuvar ölçekli sabit yataklı gazlaştırma reaktöründe su buharı ortamında gazlaştırma işlemine tabi tutarak sentez gazı üretilmesi denemişler. Kullanılan linyitin partikül boyutu 2–3 mm arasında, 600°C – 800°C sıcaklık aralığında ve 5 – 15 g/dk su buharı atmosferinde gazlaştırmışlardır. Deneyler sonucunda sıcaklığın ve su buharı akış hızının elde edilen sentez gazı bileşimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sentez gazı analizi sonucunda gaz karışımında hidrojenin konsantrasyonu %9 - %76 aralığında, CO konsantrasyonu ise %16 - %84 aralığında

değiştiğini saptanmıştır. En uygun gazlaştırma sıcaklığı 700°C olarak tespit edildiğini ve su buharı akış hızı için uygun koşul 10 g/dk olarak bulunmuştur.

Khan ve arkadaşları (2014), Entegre katalitik absorpsiyon (ICA) sistemi kullanarak su buharı ortamında hurma çekirdeği kabuğunu gazlaştırılması ile H_2 ile zengin gaz üretiminin geliştirilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Deneyler pilot ölçekli akışkan yataklı gazlaştırma sisteminde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sıcaklık etkisi (600-750°C) ve kütlece su buharı/biyokütle oranının (1,5-2,5) H_2 konsantrasyonu üzerine etkilerini, ürün gazı bileşimi, gaz verimliliği, gazlaştırma ve karbon dönüşümü verimi ile alt ısıl değeri parametreleri incelemişler. Deneyler soncunda elde etmiş oldukları verilere göre 675°C sıcaklıkta ve 2,0 su buharı /biyokütle oranında gaz karışımında H_2 konsantrasyonunun en iyi değerinin hacimce %82,11 olduğunu gözlemlemişler. Ayrıca, 750°C sıcaklıkta ve 2,0 su buharı /biyokütle oranında maksimum hidrojen veriminin 150 g/kg biyokütle olarak belirlemişler. Elde edilen ürün gazının en iyi ısıl değeri ise 600°C sıcaklıkta ve 2,0 su buharı /biyokütle oranında 14,37 MJ/Nm^3 olarak bulmuşlar.

Nadirov ve arkadaşları (2016), ceviz kabuğu ve polietilen plastik atığı ayrı ayrı ve birlikte kütlece farklı karışım oranlarında laboratuvar ölçekli sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırma işlemine tabi tutmuşlar. Çalışmalar kütlece farklı atık karışım oranlarında, farklı sıcaklıklarda (600°C - 850°C) ve üç farklı su buharı akış hızında (5 g su/dk, 10 g su/dk ve 15 g su/dk) yapılmıştır. Ayrıca, ceviz kabuğu için üç farklı (CaO, MgO ve K_2CO_3) katalizörle de çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda atık karışım oranının, sıcaklığın, su buharı akış hızının ve katalizörün sentez gazı içeriğine etkileri incelemişler. Deneyler sonucunda, gaz ürün içerisinde bulunan H_2 ve CO hacimce yüzdeleri katalizörsüz çalışmalarda H_2: %13 – %69, CO: %14 –76, katalizörlü çalışmalarda ise H_2: %2 – %70, CO: %18 - %64 aralığında ve H_2/CO mol oranı ise 0,05 – 4,6 aralığında değiştiğini gözlemlemişler.

Literatürde yapılan bu çalışmalar ışığında Türkiye'de önemli ölçüde bulunan biyokütle atığı olan fındık kabuğu, odun talaşı ve pirinanın gazlaştırma teknolojisi vasıtasıyla hem çevre kirliliğine neden olan atıkların değerlendirilmesine hem de enerji sektöründe yenilenebilir kaynak kullanımını yaygınlaştırarak ithal edilen enerji yüzdesinin azaltılmasını amaçlanmıştır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Hammadde

Deneysel çalışmalarda hammadde olarak biyokütle atığı olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı kullanılmıştır. Deney öncesi pirina ve fındık kabuğu öğütülerek elekten geçirilmiştir. Elekten geçen ortalama partikül boyutu 1 – 1.5 mm olan pirina (P) ve fındık kabuğu (FK) ile odun talaşı (OT) kullanılmıştır. Bu işlemler dışında P,FK ve OT atığına hiçbir ön işlem yapılmadan orijinal numune olarak kullanılmıştır. İlk önce P,FK ve OT atığının kaba analizi ‘‘Leco CHN 1000’’ markalı elementel analiz cihazı ile elementel analizi yapılmıştır. Pirina, fındık kabuğu ve odun talaşına ait kaba ve elementel analizi sonuçları Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.1. 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 6.2. Fındık kabuğunun kaba ve elementel analiz verileri

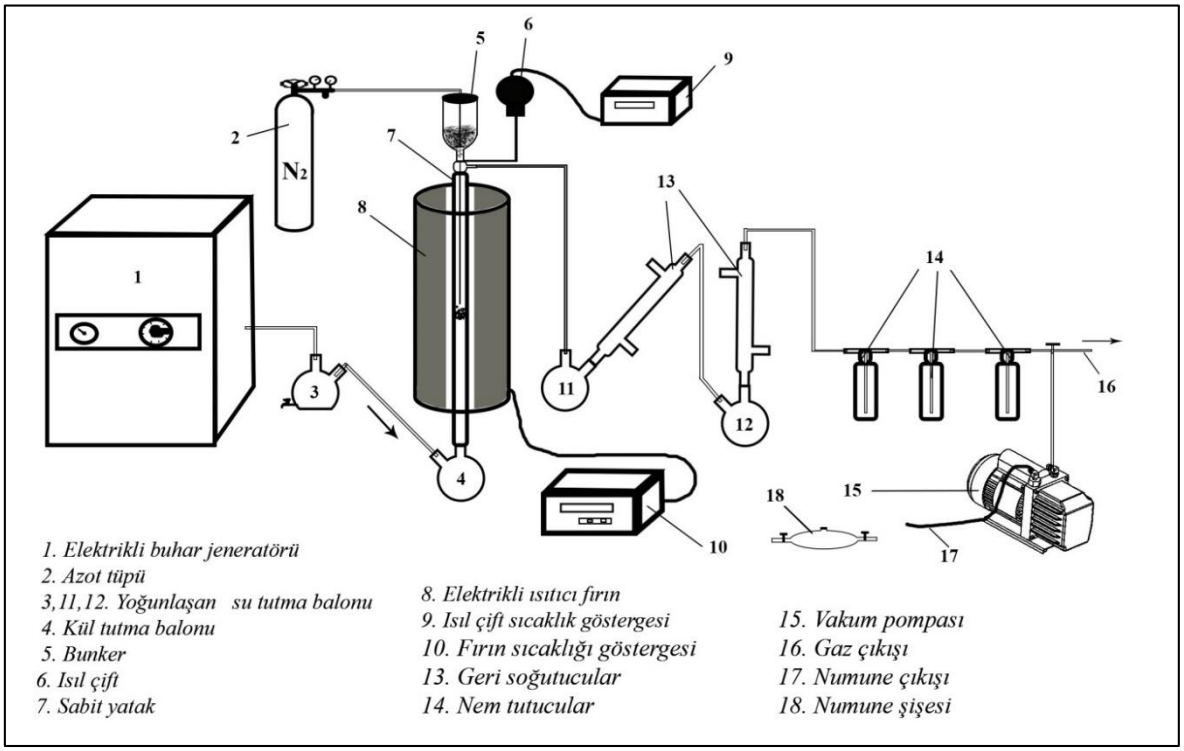
Fındık kabuğu					
Kaba analiz	% Nem	% Uçucu madde	% Kül	% sabit C	
	8,4	62,7	1,3	27,6	
Elementel analiz	% v/v				
	C	H	N	O	S
	46,4	5,7	1,4	45,83	0,67

Çizelge 6.3. 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

6.2. Deney Sistemi ve Deneylerin Yapılışı

Gazlaştırma işlemi 110 cm boyunda ve 4 cm çapında kuartzdan yapılmış silindirik bir cam kolonda gerçekleştirilmiştir. Reaktör kolon içeresinde elek yerleştirilmiş ve işlem sabit yatakta yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan gazlaştırma sistemine ait akış şeması Şekil 6.1'de, "Gazlaştırma Deney Düzeneği" ve gaz analizlerinin gerçekleştirildiği "Gaz Kromatografi" cihazının resimleri Resim 6.1 ve Resim 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Deney düzeneği şeması

Resim 6.1. Deney düzeneği

Gazlaştırma reaktörüne gönderilen buhar, elektrikli buhar jeneratörünün vanalı çıkışından kontrollü bir şekilde sağlanmaktadır. Vananın çıkışı ile gazlaştırıcı arasında jeneratörden gelen yoğunlaşmış buhar suyunu toplamak için yoğunlaşma kabı bulunmaktadır. Böylece buhar, sudan ayrılarak doğrudan gazlaştırma ortamına beslenmektedir. Su buharı akış hızı bir vana yardımıyla kontrol edilmiştir ve akış hızı ölçümleri süre tutulurken, su buharının yoğuşturulması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda sisteme yapılan katı beslemesinin akışını kolaylaştırmak ve reaktör içeresinde inert ortam oluşturmak için azot gazı geçirilmiştir.

Katı ve su buharı beslemelerinin yapıldığı kolon, istenilen reaksiyon sıcaklığının sağlanabilmesi amacıyla dikey silindirik fırın içerisine yerleştirilmiş ve su buharlı gazlaştırma prosesini oluşturan endotermik reaksiyonların gerçekleşmesi için gereken ısı yalnızca harici ısıtma ile sağlanmıştır, hammaddelerin bileşiminde bulunan oksijenin dışında ortamda oksijen bulunmamaktadır. Ayarlanan fırın sıcaklığı, fırına ait kontrol sistemi tarafından kontrol edilirken, reaksiyon ortamı sıcaklığı, kolon içerisine yerleştirilen ısıl çift ile ölçülmüştür.

Her deney için en az 15 g olmak üzere reaktörün üst kısımdan motorlu besleyici aracılığıyla 5 g/dk sabit besleme hızında Katı atıklar beslemesi yapılmıştır. Biyokütle

atıklarının gazlaştırılması sonucunda reaktörün alt kısmında oluşan kül, yerleşilen kap içeresinde biriktirilmiştir. Kolonun besleme ve çıkış bölmelerini temizlemek ve kolona yerleştirilen eleğin tıkanmadığından emin olmak için her iki deneyden sonra sistem soğutularak temizleme ve kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir.

Su buharlı gazlaştırma sürecinin sonucunda alınan ham sentez gazının çıkışı kolonun üst kısmındadır. Sentez gazı bileşimi, silikajel dolgulu kolon, termal iletkenlik dedektörü (TCD) ve taşıyıcı gaz olarak argon içeren gaz kromatografi cihazı ile belirlenmiştir. Gaz kromatografi cihazına beslenecek numunenin uygun koşullara getirilmesi için, kuartz kolon çıkışına, ham sentez gazının soğutulması amacıyla spiralli geri soğutucu ve soğutucu çıkışına, numune neminin tutulması amacıyla, silikajel dolgulu tuzaklar bağlanmıştır. Tuzak çıkışında gaz ürün çıkışı yer almıştır ve numuneler bu çıkıştan alınmıştır.

Resim 6.2. Gaz kromatografi cihazı

6.3. Gaz Kromatografi Cihazı Sıcaklık Programı

Çizelge 6.4. Gaz kromatografi (GC) sıcaklık programı

Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Sabit kalma süresi (dk)	Son sıcaklık (°C)
50	3,2	80
80	8,0	120
120	4,5	200
200	8,0	240

6.4. Deney Planı

Deneysel çalışma kapsamında, sıcaklık ve su buharı akış hızı parametrelerinin, P, FK ve OT gazlaştırma işlemi sonunda alınan ürün sentez gazı içeriğindeki H_2, CO, CH_4 ve CO_2 konsantrasyonları ve H_2/CO hacimsel oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca CaO, MgO ve K_2CO_3 katalizörlerinin (%10 katalizör - %90 atık) olacak şekilde atıklar ile olan fiziksel karışımlarının, her bir hammadde için en iyi verimin elde edildiği deney koşullarında katalitik etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma Çizelge 6.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 6.5. Gazlaştırma deney parametreleri

Biyokütle türü	Miktarı, g	Ortalama partikül boyutu, mm	Su buharı akış hızı, g su/dk	Sıcaklık, ^oC	Kullanılan katalizör
Pirina	15	1 – 1.5	5	600^oC, 650^oC, 700^oC, 750^oC, 800^oC, 850^oC	CaO
			10		MgO
			15		K_2CO_3
Fındık kabuğu	15	1 – 1.5	5	600^oC, 650^oC, 700^oC, 750^oC, 800^oC, 850^oC	CaO
			10		MgO
			15		K_2CO_3
Odun talaşı	15	1 – 1.5	5	600^oC, 650^oC, 700^oC, 750^oC, 800^oC, 850^oC	CaO
			10		MgO
			15		K_2CO_3

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada biyokütle atığı olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı sabit yataklı gazlaştırıcıda su buharı ortamında gazlaştırma işlemi tabi tutulmuştur. Çalışmanın amacı hidrojen bakımından zengin sentez gazı üretmektir. Bu çerçevede, biyokütle besleme hızı ve partikül boyutu sabit tutularak, sıcaklık, su buharı akış hızı ve katalizörlerin gazlaştırma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sentez gazı gaz kromatografi cihazında analiz edilmiş ve elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 7.1-7.3'te verilmiştir. Elde edilen değerler, azot ve oksijen gazları hariç H_2, CO, CH_4 ve CO_2 gazlarının hacimce toplam yüzdeleri olarak verilmiştir.

Çizelge 7.1. Pirina ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler

Su buharı akış hızı, g su/dk	Gaz içeriği / Sıcaklık, °C	H_2 %(v/v)	CO %(v/v)	CH_4 %(v/v)	CO_2 %(v/v)
5	600	6,86	38,76	11,35	43,03
	650	10,31	37,40	20,50	31,80
	700	12,74	35,64	20,60	31,02
	750	34,15	22,11	24,73	19,01
	800	19,43	32,94	27,59	20,04
	850	19,78	32,67	29,63	17,92
10	600	2,11	36,22	8,58	53,0
	650	4,22	36,15	16,02	43,61
	700	14,92	31,94	20,11	33,02
	750	37,94	23,05	15,49	23,51
	800	16,57	34,25	26,85	22,34
	850	27,82	27,91	29,52	14,74
15	600	8,06	37,54	12,15	42,25
	650	17,35	25,74	27,54	29,37
	700	42,13	23,53	11,85	22,49
	750	65,93	15,21	6,54	12,32
	800	43,76	22,17	17,24	16,83
	850	38,31	24,74	21,72	15,22

Çizelge 7.2. Fındık kabuğu ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler

Su buharı akış hızı, g su/dk	Gaz içeriği / Sıcaklık, °C	H_2 %(v/v)	CO %(v/v)	CH_4 %(v/v)	CO_2 %(v/v)
5	600	14,69	28,79	13,44	43,06
	650	16,18	34,30	26,45	23,06
	700	17,99	36,21	31,22	14,58
	750	32,30	34,26	26,23	7,21
	800	63,37	14,16	14,73	7,73
	850	58,59	18,94	13,27	9,20
10	600	9,21	30,68	19,98	40,12
	650	29,44	30,74	28,39	11,43
	700	33,51	28,05	26,65	11,80
	750	43,13	32,96	20,27	3,63
	800	43,86	31,58	20,70	3,86
	850	41,62	33,23	22,79	2,36
15	600	11,45	30,39	17,67	40,49
	650	14,54	21,32	16,27	47,87
	700	22,16	35,11	32,10	10,63
	750	25,91	47,24	23,35	3,50
	800	44,57	30,21	23,22	2,00
	850	52,86	28,31	16,83	2,00

Çizelge 7.3. Odun talaşı ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler

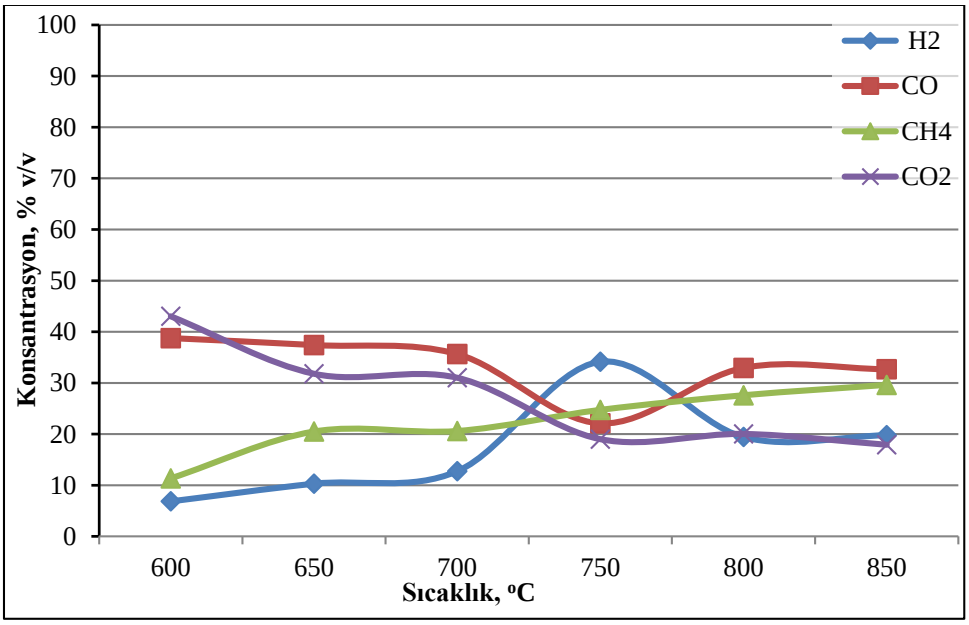
Su buharı akış hızı, g su/dk	Gaz içeriği / Sıcaklık, °C	H_2 %(v/v)	CO %(v/v)	CH_4 %(v/v)	CO_2 %(v/v)
5	600	14,69	28,79	13,44	43,06
	650	16,18	34,21	26,45	23,06
	700	17,99	36,21	31,22	14,58
	750	32,30	34,26	26,23	7,21
	800	63,37	14,16	14,73	7,73
	850	58,59	18,94	13,27	9,20
10	600	9,21	30,68	19,98	40,12
	650	29,44	30,74	28,39	11,43
	700	33,50	28,06	26,65	11,80
	750	43,13	32,96	20,27	3,63
	800	43,86	31,58	20,70	3,86
	850	41,62	33,23	22,79	2,36
15	600	11,45	30,39	17,67	40,49
	650	14,54	21,32	16,27	47,87
	700	22,16	35,11	32,10	10,63
	750	25,91	47,24	23,35	3,50
	800	44,57	30,21	23,22	2,00
	850	52,86	28,31	16,83	2,00

7.1. Sıcaklığın Etkisi

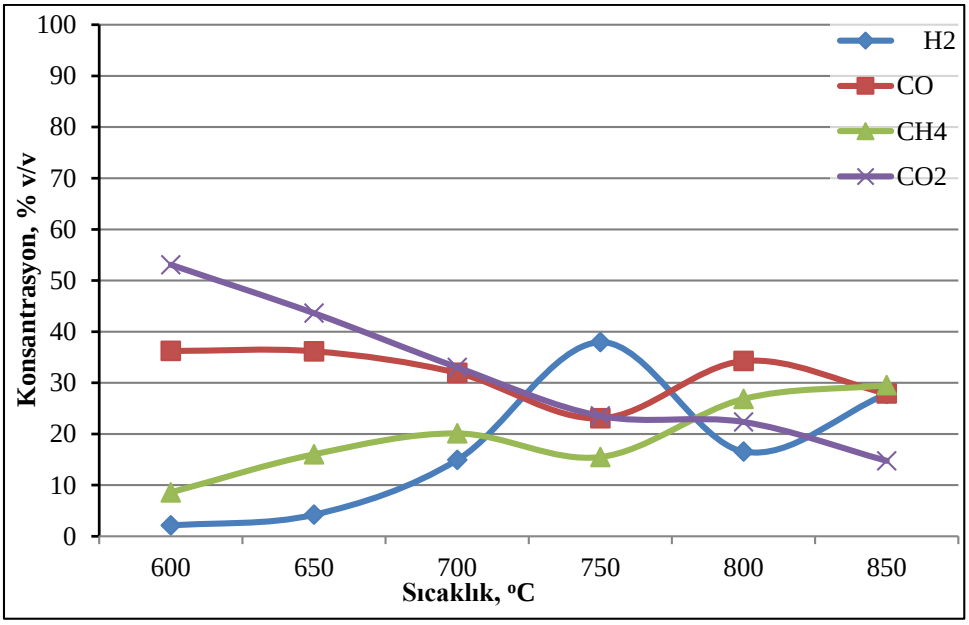
Deneysel çalışmalar altı farklı sıcaklıkta (600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C ve 850°C) yürütülmüştür. Çizelge 7.1-7.3'de, P, FK ve OT atıklarının üç farklı su buharı akış

hızlarındaki katalizörsüz ortamda yapılan gazlaştırma sonucunda elde edilen verileri göstermektedir. Bu verilere göre elde edilen gaz ürün konsantrasyonlarının sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Şekil 7.1-7.9'de gaz ürün konsantrasyonlarının sıcaklıkla değişimi verilmiştir.

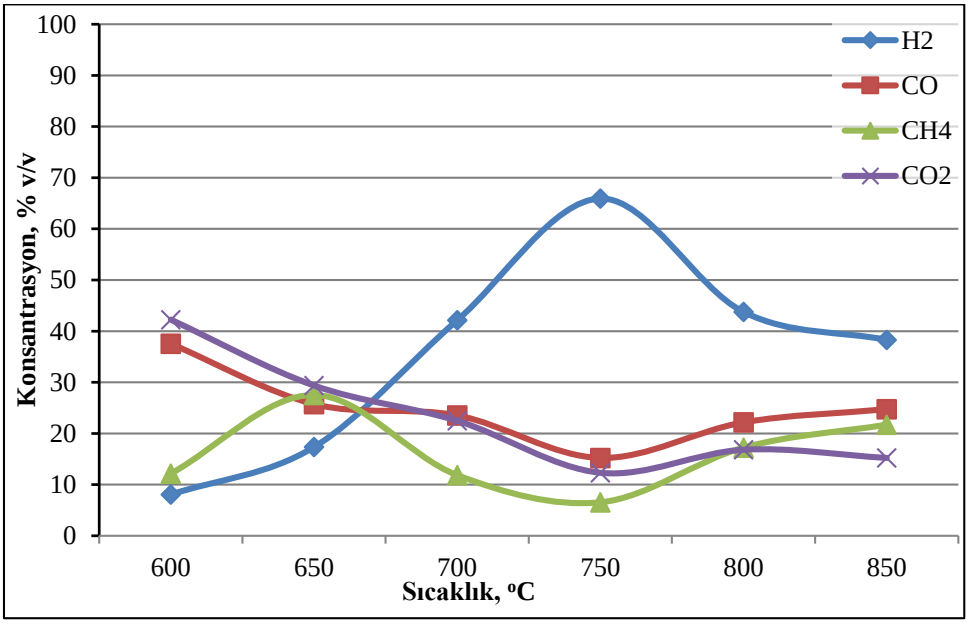
Şekil 7.1-7.3'te Pirina ile yapılan deneylerde üç farklı su buharı akış hızının gazlaştırma işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde elde edilen gaz ürünün bileşimindeki H_2 miktarının sıcaklık ile doğru orantılı bir şekilde artmıştır. En yüksek H_2 konsantrasyonu her üç su buharı akış hızı ile yapılan deneylerde 750°C sıcaklığında elde edilmiştir. 15 g su/dk buhar akışı hızı ile yapılan deneyin Şekil 7.3'de gösterilen grafiği incelendiğinde H_2 konsantrasyonun 750°C sıcaklıkta kayda değer bir artış gösterdiği görülmektedir. Her üç grafikte CO ve CO_2 miktarında sıcaklığın artmasıyla çok az bir azalma yaşanırken CH_4 konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Ayrıca CO konsantrasyonu 600°C sıcaklıkta en yüksek değere ulaşırken 750°C sıcaklıkta en düşük konsantrasyonu elde edilmiştir. Normal şartlarda CO konsantrasyonu su gazı yönlendirme reaksiyonunun etkisi ile artması beklenmektedir. Ancak deneysel çalışma sonuçlarına bakıldığı zaman az miktarda bir düşüş görülmektedir. Bu sonuçlar, literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında çok yakın verileri elde edildiğini tespit edilmiştir (Topal ve arkadaşları, 2002).



Şekil 7.1. P'nın 5 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



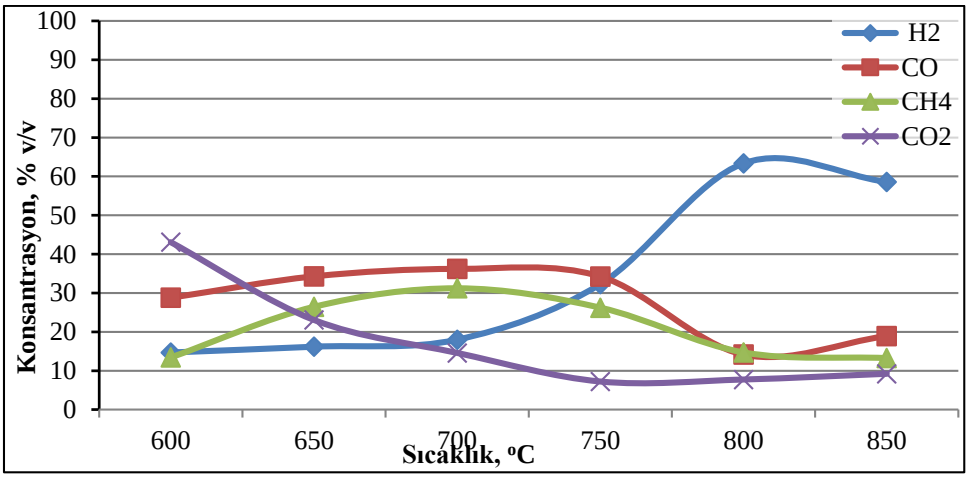
Şekil 7.2. P'nın 10 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



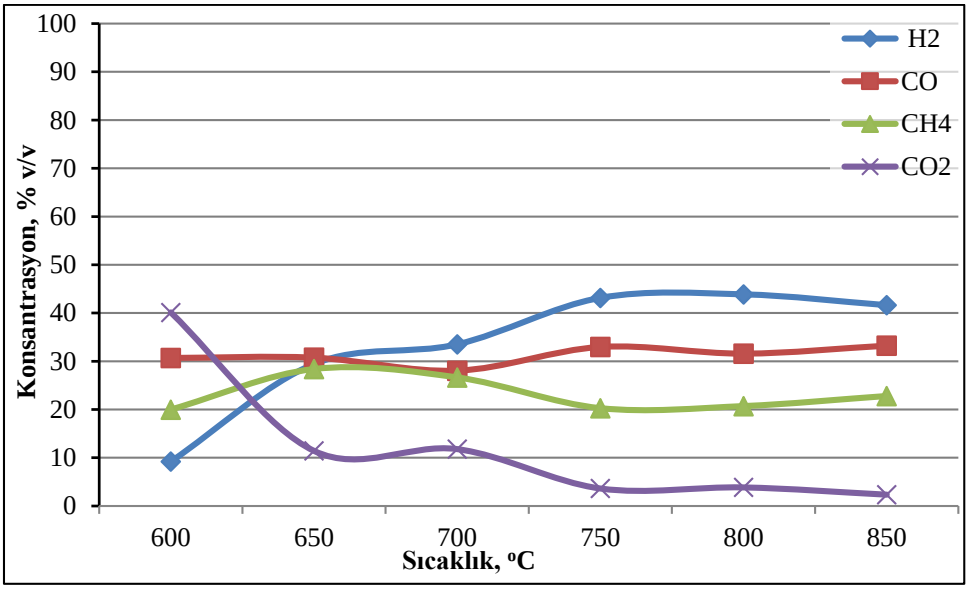
Şekil 7.3. P'nın 15 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

Şekil 7.4-7.6'da fındık kabuğu ile yapılan deneylerde üç farklı su buharı akış hızının gazlaştırma işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde elde edilen gaz ürünün bileşimindeki H_2 miktarının sıcaklık ile doğru orantılı bir değişim gösterdiğini görülmektedir. H_2 konsantrasyonu 5 g su/dk buhar akışı hızı ve 800ºC sıcaklıkta ile yapılan deneyde en yüksek değere ulaşırken 10 g su/dk ve 15 g su/dk buhar akışı hızlarında sabit kaldığı görülmüştür.

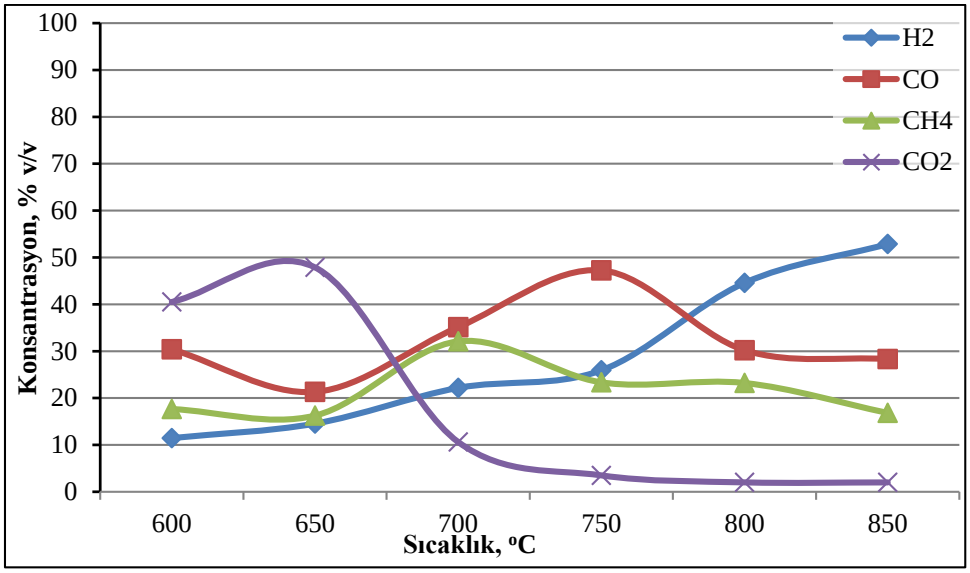
Dolayısıyla fındık kabuğundan hidrojence sentez gazı üretimi için 5 g su/dk buhar akışı hızı ve 800ºC sıcaklığı optimum gazlaştırma koşullarıdır. Su gazı yönlendirme reaksiyonunun etkisi ile karbon monoksit konsantrasyonun artması beklenirken her üç deney için aynı koşullarda karbon monoksit konsantrasyonunda çok önemli bir değişim görülmemiştir. CO konsantrasyonu 15 g su/dk buhar akışı hızında ve 750ºC sıcaklıkta en yüksek değere ulaşırken 5 g su/dk buhar akışı hızında ve 800ºC sıcaklıkta en düşük konsantrasyonu elde edilmiştir. Metan oluşumu beklendiği gibi diğer bileşen konsantrasyonlarından daha azdır. Dolayısıyla CH_4 değerlerinde ise öngörülenin aksine büyük değişimler yaşanmamıştır.



Şekil 7.4. FK'nun 5 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

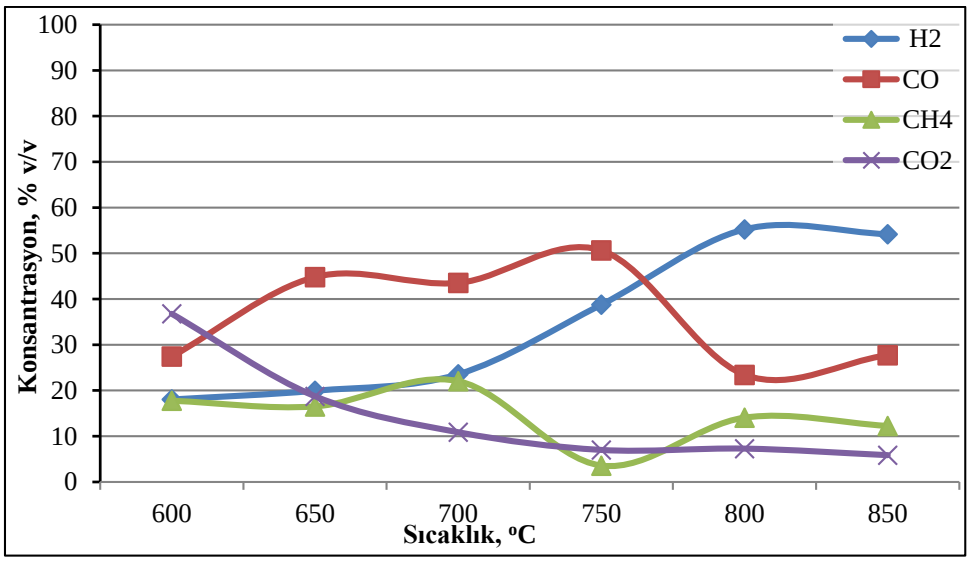


Şekil 7.5. FK'nun 10 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

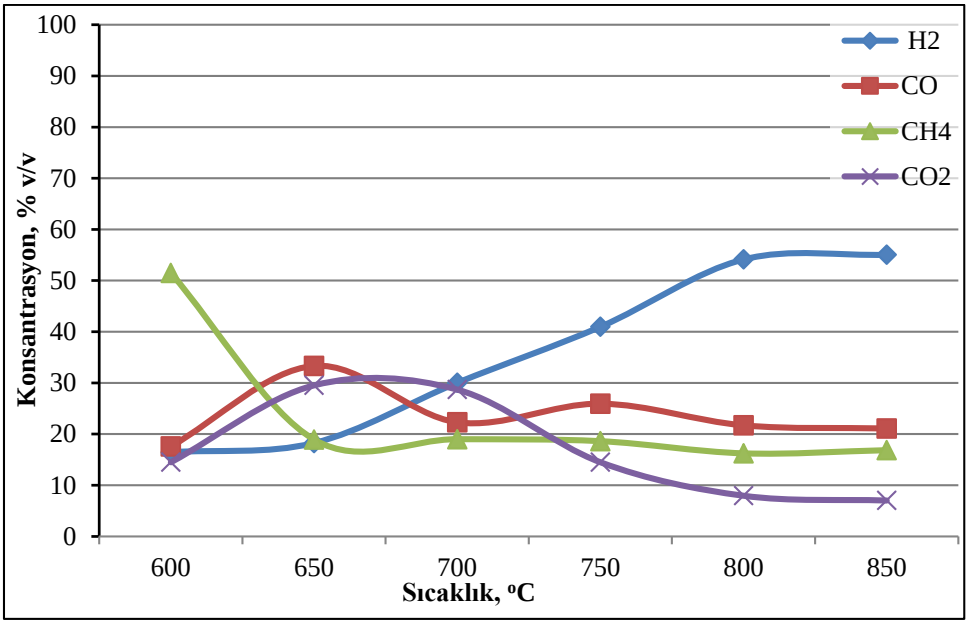


Şekil 7.6. FK'nun 15 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi

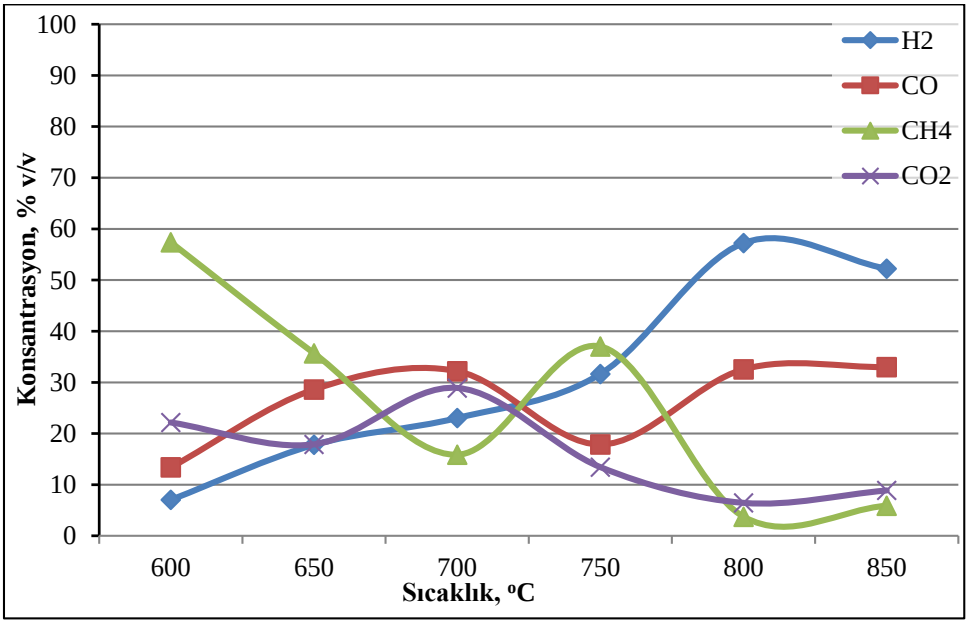
Şekil 7.7-7.9'da odun talaşı ile yapılan deneylerde üç farklı su buharı akış hızının gazlaştırma işlemine sıcaklığın etkisi gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde elde edilen gaz ürünün bileşimindeki H_2 miktarının yine sıcaklık ile doğru orantılı bir değişim gösterdiğini görülmektedir. H_2 konsantrasyonu 15 g su/dk buhar akışı hızında yapılan deneyde en yüksek değere ulaşırken 5 g su/dk ve 10 g su/dk buhar akışı hızlarında yakın değerler elde edilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere CO_2 konsantrasyonu buhar akışı hızı ile ters orantılı değişim göstermektedir. Metan oluşumu beklendiği gibi diğer bileşen konsantrasyonlarından daha azdır.



Şekil 7.7. OT'nun 5 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



Şekil 7.8. OT'nun 10 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz konsantrasyonu üzerine etkisi



Şekil 7.9. OT'nun 15 g su/dk buhar akışı hızında gazlaştırılması sonucu sıcaklığın gaz üzerine etkisi

7.2. Su Buharı Etkisi

Bu bölümdeki deneysel çalışma kapsamında, su buharı akış hızının sentez gazı bileşimindeki H_2 konsantrasyonunu üzerine etkisini incelenmiştir. Su buharı akış hızı

etkisinin incelendiği deneylerde 5, 10 ve 15 g/dk su buharı akış hızlarında, 600-850 ^{o}C sıcaklık aralığında çalışılmıştır. Deney verileri Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3'te sunulmuştur.

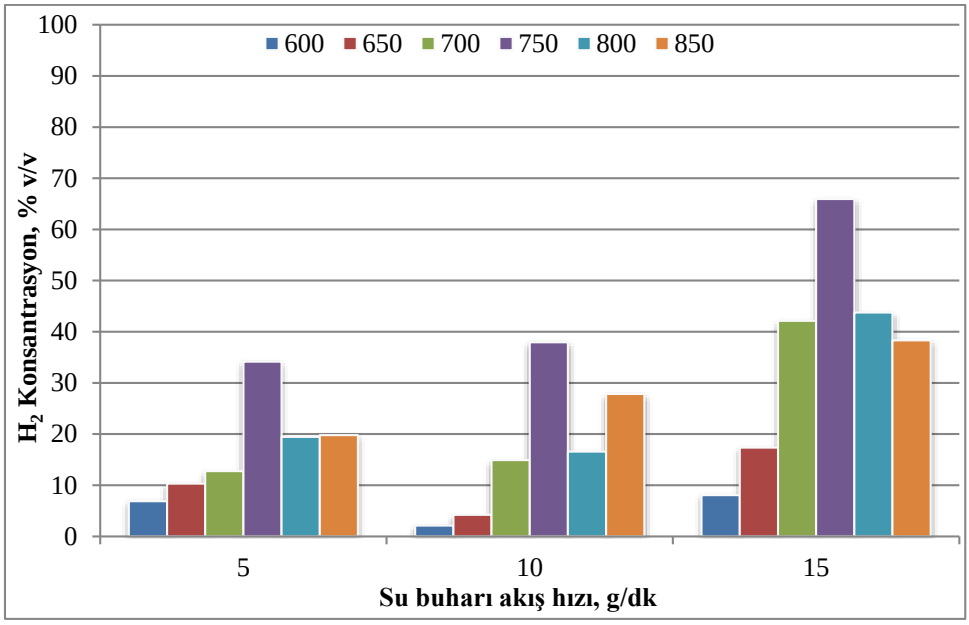
Bu amaçla Şekil 7.10-7.12 grafikler çizilmiştir. Bu şekiller her bir biyokütle için katalizörsüz yapılan deneylerde buhar akış hızlarının H_2 konsantrasyonuna karşı grafiğini göstermektedir.

Deneysel hata payı çerçevesinde, Şekil 7.10 incelendiğinde, su buharı akış hızı 5 g/dk iken H_2 konsantrasyonunda, yüksek sıcaklıklarda az da olsa bir düşüş görülmüş, su buharı akış hızı 10 g/dk olduğunda, sıcaklık 600°C'den 700°C ve daha yüksek derecelere arttırıldığında H_2 konsantrasyonu çok az da olsa artmış ve su buharı akış hızı 15 g/dk olduğunda ise sıcaklık ile çok az da olsa H_2 konsantrasyonunun düzenli olarak arttığı saptanmıştır.

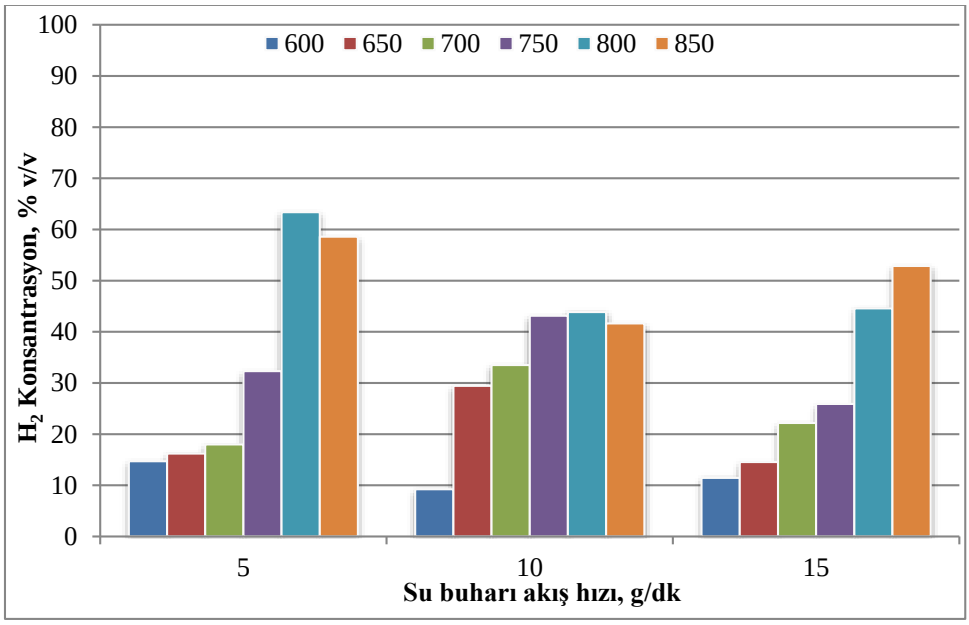
Şekil 7.11'de ise, su buharı akış hızı 5 g/dk iken H_2 konsantrasyonunda, yüksek sıcaklıklarda düzenli olarak artış görülmüş, su buharı akış hızı 10 g/dk olduğunda H_2 konsantrasyonuda çok fazla değişim görülmemiş ve su buharı akış hızı 15 g/dk olduğunda ise sıcaklık ile H_2 konsantrasyonunun düzenli olarak arttığı tespit edilmiştir.

Odun talaşı atığına ait Şekil 7.12 incelendiğinde, bütün su buharı akış hızlarında H_2 konsantrasyonunun düzenli bir şekilde arttığı görülmüştür. Aynı zamanda odun talaşı için elde edilen grafiğe bakıldığında H_2 konsantrasyonunun su buharı akış hızına çok fazla bağlı olmadığı ifade edilebilir.

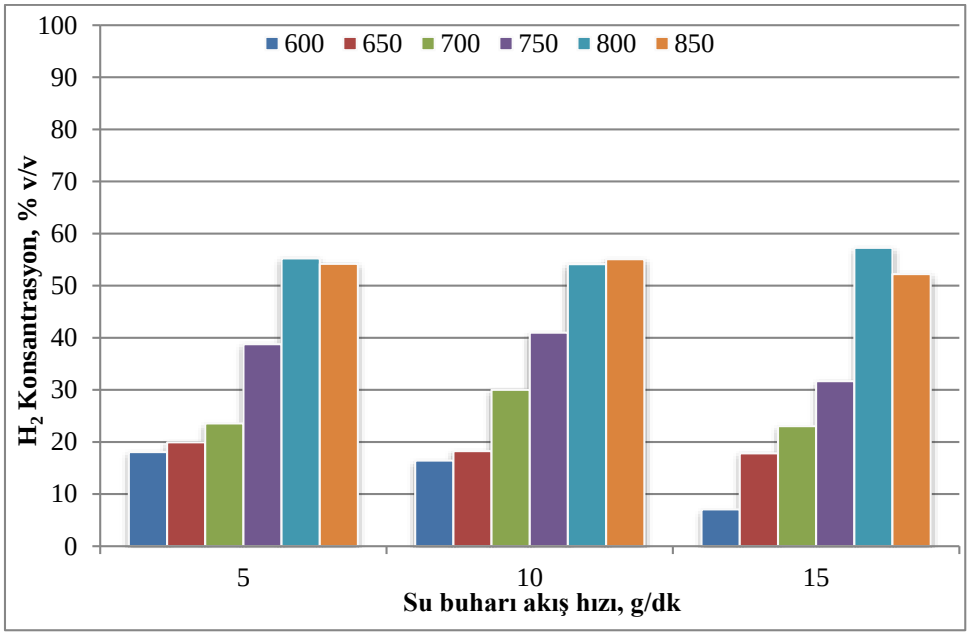
Sentez gazının enerji alanında kullanılması arzu edildiğinde, H_2 konsantrasyonunun yüksek olmasının önemli olduğu dikkate alınırsa; Şekil 7.10–7.12'da verilen değerler incelendiğinde, pirina için sunulan Şekil 7.10'da su buharı akış hızının 15 g/dk olduğu ve sıcaklığın da 750 ^{o}C olduğu çalışma koşulları, fındık kabuğu için sunulan Şekil 7.11'da su buharı akış hızının 5 g/dk olduğu ve sıcaklığın da 800°C olduğu çalışma koşulları ve odun talaşı için verilen Şekil 7.12'da su buharı akış hızının 15 g/dk olduğu ve sıcaklığın da 800°C olduğu çalışma koşulları en uygun koşullar olarak belirlenmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere, sıcaklığı 800°C'den daha yüksek bir sıcaklığa arttırılmasının faydalı olmadığı görülmüştür. Bu bulgular, literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında çok yakın verileri elde edildiğini tespit edilmiştir (D. Uysal ve diğerleri, 2011a; D. Uysal ve diğerleri, 2011b).



Şekil 7.10. P ile yapılan deneylerde su buharı akış hızının H2 konsantrasyonu üzerine etkisi



Şekil 7.11. FK ile yapılan deneylerde su buharı akış hızının H_2 konsantrasyonu üzerine etkisi



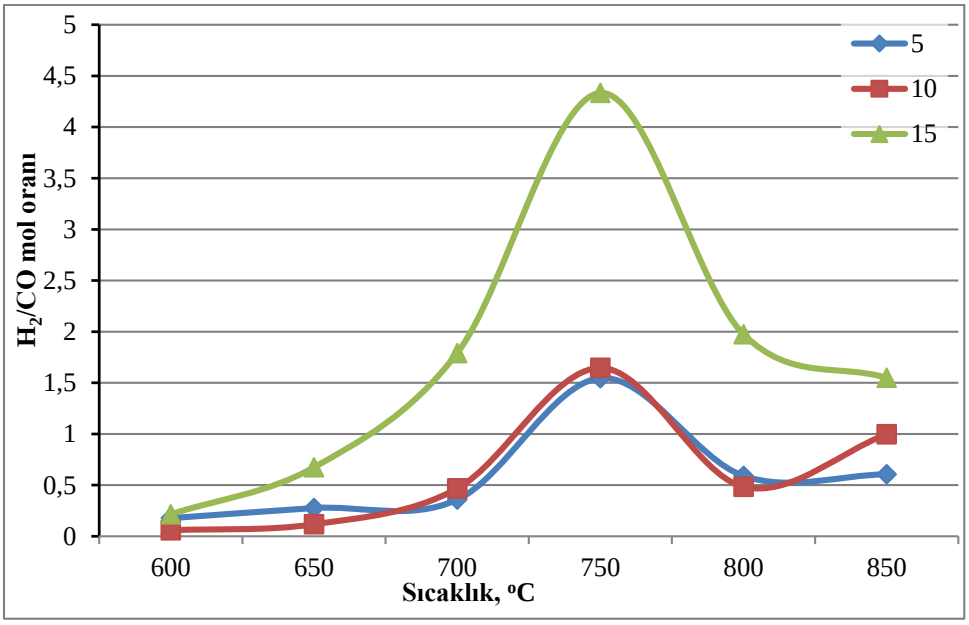
Şekil 7.12. OT ile yapılan deneylerde karışımında su buharı akış hızının H_2 konsantrasyonu üzerine etkisi

Sentez gazından çeşitli kimyasalların üretimi amaçlandığında, önem arz eden H_2/CO konsantrasyonunun arttırılması olduğundan, Şekil 7.13-7.15 hazırlanmıştır.

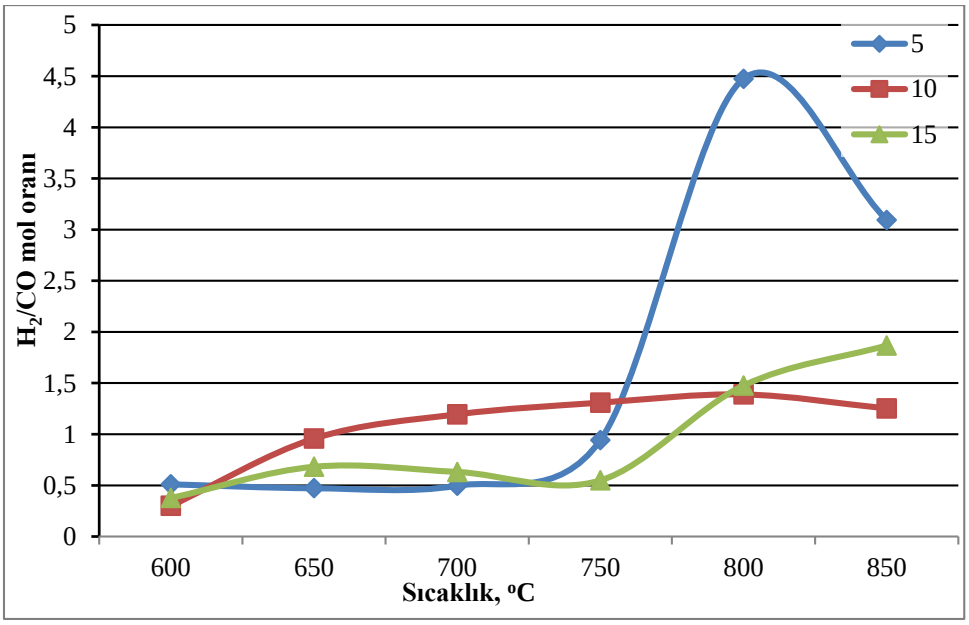
Pirina için elde edilen Şekil 7.13 incelendiğinde, su buharı akış hızı 15 g/dk olduğunda; 750 ºC'de en yüksek H_2/CO oranı elde edilmiştir

Fındık kabuğu için elde edilen Şekil 7.14 incelendiğinde, su buharı akış hızı 5 g/dk olduğunda; 800 ºC'de en yüksek H_2/CO oranları elde edilmiştir. H_2/CO oranının en yüksek olduğu eğri 5 g/dk akış hızında elde edilmiştir ve bu koşul hidrojence zengin sentez gazı eldesinde su buharı yönlendirme reaksiyonunun en yüksek dönüşüm oranıyla gerçekleştiği optimum akış hızı olarak belirlenmiştir.

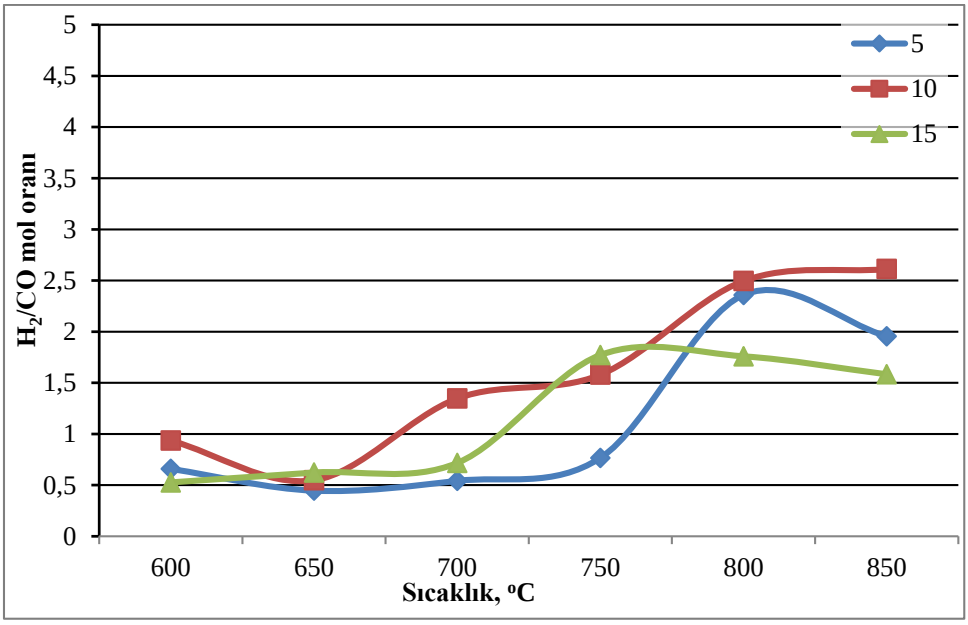
Odun talaşı için çizilen Şekil 7.15 incelendiğinde, su buharı akış hızı 10 g/dk olduğunda; 800ºC ve 850ºC'de en yüksek H_2/CO oranları elde edilmiştir.



Şekil 7.13. P için su buharı akış hızı etkisi, sıcaklık-H_2/CO oranı ilişkisi



Şekil 7.14. FK için su buharı akış hızı etkisi, sıcaklık-H_2/CO oranı ilişkisi



Şekil 7.15. OT için su buharı akış hızı etkisi, sıcaklık-H_2/CO oranı

7.3. Katalizör Etkisi

Bu bölüm çalışmalarında, biyokütle atıklarının (%10 katalizör - %90 atık) olacak şekilde CaO, MgO ve K_2CO_3 ile hazırlanmış fiziksel karışımları su buharı ile gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney verileri Çizelge 7.4'te verilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki amaç, CaO, MgO ve K_2CO_3 bileşiklerinin, P, FK ve OT 'nın katalizörsüz çalışmada en yüksek H_2 verimi elde edilen deney koşullarında gazlaştırma işlemine tabi tutulması ve işlem sonunda elde edilen sentez gazı bileşimi üzerindeki etkisinin araştırılmıştır. Deney sonucunda elde edilen gaz ürün bileşimleri katalizör kullanılmadan gerçekleştirilen deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen ürün sentez gazı bileşimleri Şekil 7.16-7.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Katalizörlerle ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler

Atık / Su buharı akış hızı, g su/dk	Gaz içeriği / Sıcaklık, °C	Katalizör (%10)	H_2 %(v/v)	CO %(v/v)	CH_4 %(v/v)	CO_2 %(v/v)
P / 15	750	MgO	36,82	16,77	16,33	30,08
		CaO	45,14	15,52	20,04	19,30
		K_2CO_3	58,01	21,82	17,11	3,05
FK / 5	800	MgO	27,43	43,88	23,83	4,85
		CaO	22,34	46,23	26,57	4,86
		K_2CO_3	33,04	37,35	24,92	4,68
OT / 5	800	MgO	56,70	26,14	14,93	2,23
		CaO	41,16	33,09	15,23	10,51
		K_2CO_3	61,02	16,36	8,22	14,40

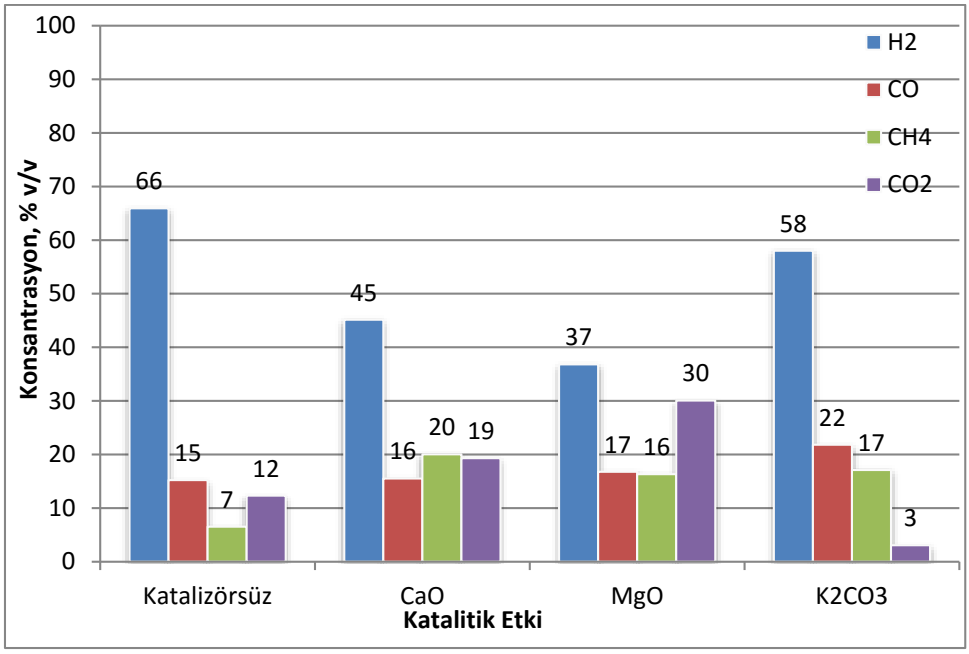
Şekil 7.16 – 7.18'den görüldüğü gibi H_2, CO, CH_4 ve CO_2'nin değerleri, önceki bulgularla uyum içindedir. Özellikle H_2 konsantrasyonu dikkate alındığında ise; bu üç şeklin verileri dikkate alındığında K_2CO_3'in katalizör olarak kullanıldığı durumda en yüksek H_2 konsantrasyonuna ulaşıldığı görülmüştür ve bu durumda odun talaşı için Şekil 7.18'dan görüldüğü gibi %61 değerine ulaşılmıştır.

Şekil 7.16 incelendiğinde 15 g/dk su buharı akış hızı ve 750°C sıcaklıkta MgO ve CaO katalizörleri ile yapılan deneylerde elde edilen H_2 konsantrasyonu, katalizörsüz yapılan deneylerle karşılaştırdığında, daha düşük elde edildiği, K_2CO_3 ile yapılan deneylerde ise daha yüksek değerler elde edildiği görülmüştür.

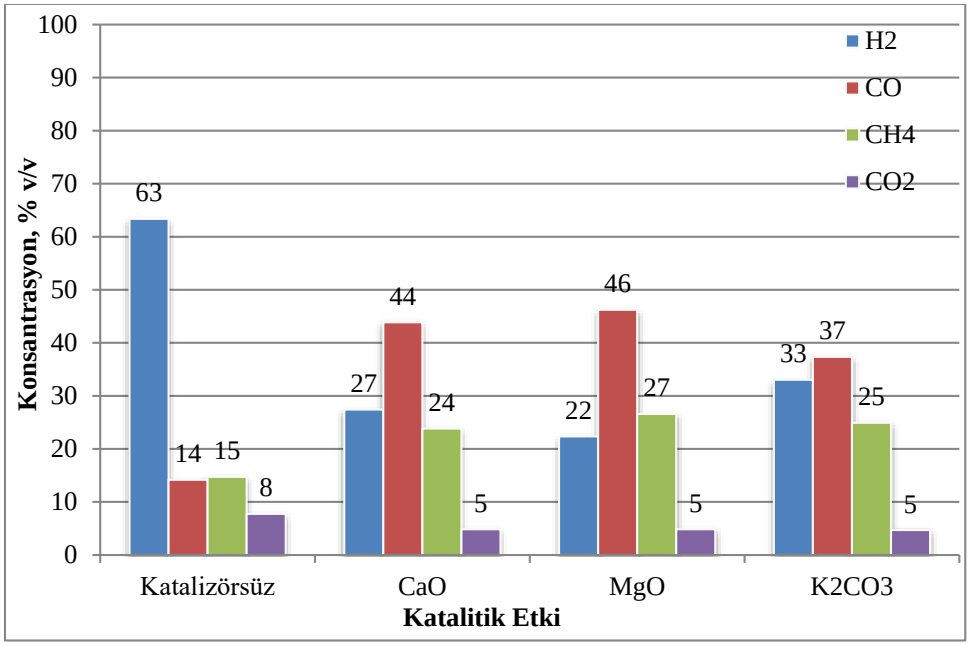
Şekil 7.17'de ise, 5 g/dk su buharı akış hızı ve 800°C sıcaklıkta her üç katalizör ile yapılan deneylerde elde edilen H_2 konsantrasyonunun çok değişmediği saptanmıştır. katalizörsüz yapılan deneylerle karşılaştırdığında, daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür.

Şekil 7.18 incelendiğinde 5 g/dk su buharı akış hızı ve 800°C sıcaklıkta K_2CO_3 katalizörü ile yapılan deneylerde elde edilen H_2 konsantrasyonu, katalizörsüz yapılan deneylerle karşılaştırdığında, daha yüksek değerler elde edildiği, MgO ve CaO ile yapılan deneylerde ise daha düşük değerler elde edildiği görülmüştür.

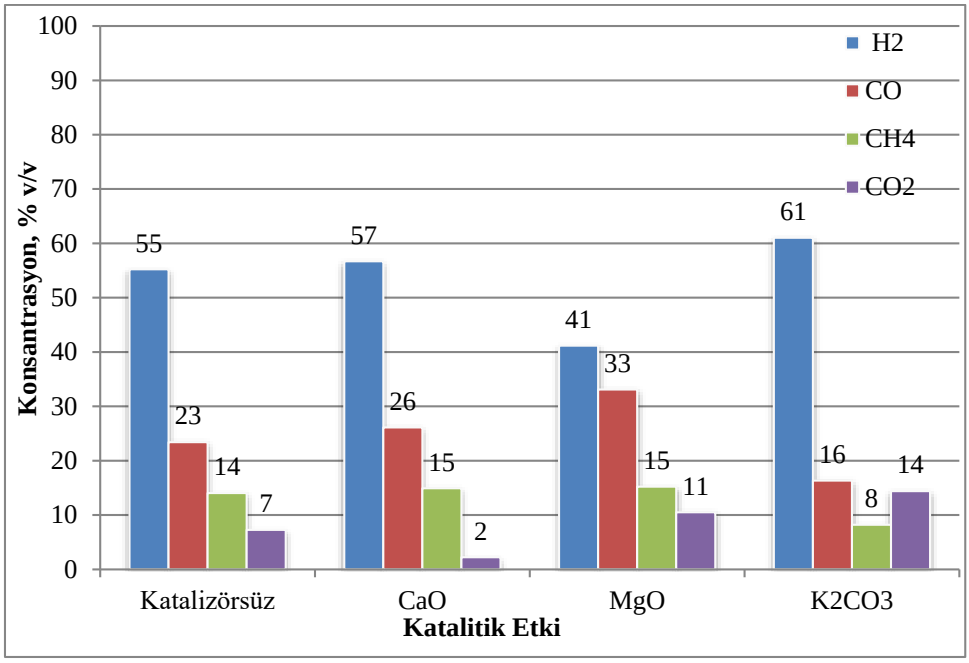
Bütün bu koşullar göz önüne alındığında, hidrojence zengin sentez gazı üretimi için gazlaştırma işleminde en iyi katalitik aktivite gösteren katalizörün K_2CO_3 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.16. P'nin 15 g/dk su buharı akış hızı ve 750°C sıcaklıkta katalizörlerin konsantrasyon üzerine etkisi



Şekil 7.17. FK'nun 5 g/dk su buhar akış hızında ve 800°C sıcaklıkta katalizörlerin konsantrasyon üzerine etkisi



Şekil 7.18. OT'nın 5 g/dk su buhar akış hızında ve 800°C sıcaklıkta katalizörlerin konsantrasyon üzerine etkisi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kapsamında sabit yataklı gazlaştırıcıda biyokütle atığı olan pirina, fındık kabuğu ve odun talaşı su buharı gazlaştırması deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında öncelikle su buharı akış hızının ve sıcaklığın etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek H_2 verimi pirina gazlaştırılmasında bulunmuştur. Pirina ile yapılan deneylerde en yüksek H_2 konsantrasyonu (%66) 15 g/dk su buharı akış hızı ve 750 ^oC sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir.

Sentez gazının diğer bileşenleri (CO, CH_4 ve CO_2) dikkate alındığında su buharlı gazlaştırma sisteminde su gazı yönlendirme reaksiyonunun etkin olduğu ve bunun sonucunda H_2 konsantrasyonunun artığını gözlenmiştir. Fakat yüksek sıcaklıklarda su gazı yönlendirme reaksiyonunun etkisinin az olduğu görülmektedir.

Deneysel çalışmalardan, kullanılan her biyokütle atığı için, sıcaklığın artmasıyla H_2/CO oranı artığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca fındık kabuğu ve odun talaşı için su buharı akış hızının artması H_2 konsantrasyonu üzerine çok fazla etkisi olmadığını söylenebilir.

Sentez gazı bileşimindeki H_2 konsnatrasyonunu arttırmak amacıyla farklı katalizörler kullanılmıştır. Bu amaçla, 15 g/dk su buharı akış hızı ve 750 ^oC sıcaklığı koşullarında katalizörsüz çalışmalarda en yüksek H_2 verimi elde edilen pirina için aynı koşullar altında CaO, MgO ve K_2CO_3 katalizörler ile deney yapılmıştır. Denenen CaO, MgO ve K_2CO_3 arasında en iyi katalizörün K_2CO_3 olmasına rağmen katalizörün H_2 konsantrasyonu üzerine etkisi olmadığı bulunmuştur.

Odun talaşı ve katalizör kullanılarak yapılan çalışmalarda ise katalizörlerin yüksek sıcaklıklarda etkili olduğu, en uygun katalizörün ise K_2CO_3 olduğu belirlenmiştir. K_2CO_3 katalizörü ile yapılan deneylerde H_2 verimi için en uygun koşulların 800^oC sıcaklıkta ve 5 g su/dk buharı akış hızı olduğu görülmüştür. 800^oC sıcaklıkta elde edilen H_2 veriminin hacimce %61, H_2/CO mol oranı ise 3,72 olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında su buharı ortamında gazlaştırma işlemi uygulanan Fındık kabuğu atığının katalitik ortamda gazlaştırma işlemine tabi tutulmaması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Al-Widyan, T. G. and Khdair, A. (2002). Briquettes of olive cake as a potential source of thermal energy. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 28-30.

Balat, M. (2005). Use of Biomass Sources for Energy in Turkey and A View to Biomass Potential. Biomass and Bioenergy, 29, 32-41.

Basu, P. (2006a). *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*. New York, Taylor and Francis Group, 10-25.

Basu, P. (2006b). *Biomass Gasification and Pyrolysis: practical design and theory.* Burlington USA: Academic Press, 1-19.

Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komıttı, N., Barnes, I. and Nıemınen, M. (2005). Türkiye'de tarımsal atıkların değerlendirilmesi raporu, 20-45. Adana.

Başkan, A.E. (2010). *Zeytinyağı işletmelerinin atıkları ve değerlendirilme yolları*. Denizli, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, 10-40.

Bergman, R. D. and Zerbe, J. I. (2008). *Primer on wood biomass for energy*. USDA Forest Service, State and Private Forestry Technology Marketing Unit, Forest Products Laboratory.

Breault, R. W. (2010). Gasification processes old and new: A basic review of the major technologies. *Energies,* 3, 215-245.

Chopra, S. and Jain, A. (2007). A review of fixed bed gasification systems for biomass. *Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal*. *Invited Overview,* 5(9), 55-60.

Çapik, M., Yılmaz, A.O. ve Çavuş, İ. (2012). Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy,* 46,1-13.

Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass convesion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management,* 1357-1378.

Demirtaş, C. ve Danışmaz, M. (2016). Gazifikasyon yöntemiyle sentez gazı üretimi ve gaz yakma sistemlerinde kullanımı. *International Journal of Nuclear and Radiation Science and Technology,* 1(2), 14-19.

Dogru, M., Howarth, C. R., Akay, G., Keskinler, B. ve Malik, A. A. (2002). Gasification of hazelnut shells in a downdraft gasifier. *Energy,* 27(5), 415-427.

Duman, M. (2008). *Fındık kitabı.* İstanbul:Kitabevi Yayınları.

Elektrik Üretim Anonim Şirketi, (EÜAŞ) (2012). *2012 Yılı elektrik üretim sektör raporu.* Ankara.

Galindo, A.L., Lora, E.S., Andrade, R.V., Giraldo, S.Y., Jaen, R.L. and Cobas, V.M. (2014). Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of Operating conditions on gas quality. *Biomass and Bioenergy*, 61, 236-244.

Güzide Yinesor (2008). *Design and Operation of a Bench Scale Fixed Bed Gasification System*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 26-50.

Hacı ibrahimoğlu A.(1992). Fındığın Ekonomik Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,Yayınlanmamış Doktora Tezi, Trabzon.

Higman, C. and Burgt, B. (2008). *Gasification*. (2nd edition). United States of America: Gulf Professional Publishing/Elsevier, Chapter 2, 11.

Hocaoğlu, S., Baştürk, İ., Aydöner, C. ve Gursoy, H. (2018). Türkiye'deki Zeytinyağı İşletmelerinin 3 Fazlıdan 2 Fazlı Üretime Geçişi Durumunda Pirina Tesislerinin Yeterliliğinin CBS Destekli Analizi. *Ufuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 32(1), 43-58.

Huber, G.W., Iborra, S. and Corma, A. (2006). Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering. *Chemical Reviews*, 106, 4044-4098.

Karaca, C., Bozoğlu, B. ve Polat, O. (2015). Hatay ili pirina atık miktarının ve enerji potansiyelinin haritalanması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 29(2), 55-60.

Karaman, S. (2006). Hayvansal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm olanakları. *Fen ve Mühendislik Dergisi,* 9(2), 134-135.

Khan, Z., Yusup, S., Ahmad, M. M. and Rashidi, N. A. (2014). İntegrated catalytic adsorption (IGA) steam gasification system for enhanced hydrogen production using palm kernel shell. *Department of Chemical Engineering International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 3286-3293.

Klass, D.L. (1998). *Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals.* NewYork. Academic Press.

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*,56(668), 36-47.

Koç, E. ve Şenel, M.C. (2013). Dünya'da ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 54(639), 32-44.

Kumar, S. (2013). *Sub- and supercritical water technology for biofuels*. Advanced Biofuels and Bioproducts (Ed: Lee, J.W.), New York: Springer Science+Business Media.

Madenoğlu, T.G., Sağlam, M., Yüksel, M. ve Ballice, L. (2013). Simultaneous effect of temperature and pressure on catalytic hydrothermal gasification of glucose. *Journal of Supercritical Fluids*, 73, 151-160.

Maraş, D. (2005). *Hidrojenin elektroliz ve gazlaştırma yöntemiyle üretiminin incelenmesi.* Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Marcio L. and Souza, S. (2004). *Solid fuels combustion and gasification modeling, simulation, and equipment operation's book*. State University at Campinas São Paolo, Brazil.

Nadirov, E. (2016). *Polietilen atığın ve ceviz kabuğunun birlikte su buharı gazlaştırmasıyla hidrojence zengin sentez gazı üretimi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara.

Nadirov, E., Hammad, A. E. A., D., Uysal, Ö. M., Doğan, B. ve Uysal, Z. (2016). *Polietilen atığın ve ceviz kabuğunun birlikte su buharı gazlaştırmasıyla sentez gazı üretimi.* 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Nayır, T. (2012). *Kömür ve biyokütle karışımlarının gazlaştırılması ve ASPEN HYSYS® programı ile simülasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

OECD/IEA, (2007). Bioenergy project development and biomass supply. *Biyoenerji Proje Gelişimi ve Biyokütle Arzı,* 13.

Öcal, A. (2005). *Zeytinyağı atık suyu ve pirinanın bitki yetiştirilmesinde kullanım olanaklarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Rajvanshi, A.K. (1986). Alternative energy in agriculture. Vol. II, *CRC Press*, 2(4), 83-102.

Resende, F.L.P. (2009). *Supercritical water gasification of biomass.* PhD Thesis, University of Michigan, Michigan, ABD.

Saraçoğlu N, Gunduz, G (2009). Wood pellets—tomorrow's fuel for Europe. *Energy Sources,* Part A, 31(19), 1708-1718.

Saz, S. (2015). *Biyokütle enerjisi ve yararlanma yöntemleri*. Bitirme Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun.

Sert, M., Gökkaya, D. S., Cengiz, N., Ballice, L., Yüksel, M. ve Sağlam, M. (2018). Hydrogen production from olive-pomace by catalytic hydrothermal gasification. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers,* 83, 90-98.

Simone, M., Barontini, F., Nicolella, C. and Tognotti, L. (2012). Gasification of pelletized biomass in a pilot scale downdraft gasifier. *Bioresource Technology,* 116, 403-412.

Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. ve Güngör, E. (2017). Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* 19(1), 148-160.

Tarım ve Orman Bakanlığı, (2018). *2018 yılı Faaliyet Raporu,* Ankara.

Tekin, K., Karagöz, S. ve Bektaş, S. (2014). A review of hydrothermal bomass processing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 40, 673-687.

Tinaut, F.V., Melgar, A., Perez, J.F. and Horrillo, A. (2008). Effect of biomass particle size and air superficial velocity on the gasification process in a downdraft fixed bed gasifier. An experimental and modelling study. *Fuel Processing Technology,* 89(11), 1076–1089.

Toklu, E. (2013). Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey. *Renewable Energy,* 50, 456-463.

Topal, H., Atimtay, A.T. ve Durmaz, A. (2002). *Olive cake combustion in a circulating fluidized bed.* 7th International Conference on Circulating Fluidized Beds, Canada.

Topal, M. ve Arslan, E.I. (2008). *Biyokütle Enerjisi ve Türkiye*. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES'2008), İstanbul, 241-248.

Tutar, F. ve Eren, M.V. (2011). Geleceğin enerjisi: hidrojen ekonomisi ve Türkiye. *International Journal of Economic and Administrative Studies,* 6, 1-26.

Tübitak, MAM. (2015). *Zeytin sektörü atıklarının yönetimi.* Kocaeli: ZeytinAY.

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

Türk Mühendisleri ve Mimar Odaları Birliği, (*2018*). *TMMOB Fındık Raporu 2018,* Ankara.

Türkiye İstatistik Kurumu, (2016). *TÜİK Bitkisel Üretim İstatistikleri Verileri,* Ankara.

Türkoğlu, T. ve Gökoğlu, C. (2017). Kızılçam ormanları hasat artıklarından yapılan odun peletinin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 21(1), 58-63.

Uysal, D., Doğan, Ö. M. ve Uysal, B. Z. (2011a). *Kömürün gazlaştırılması ile hidrojen üretimi üzerine kömür türünün ve sıcaklığın etkisi*. ULIBTK'11 18. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak.

Uysal, D., Doğan, Ö.M. ve Uysal, B.Z. (2011b). *Soma linyitinin su buharı gazlaştırmasıyla sentez gazı üretimi.* ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Zonguldak.

Varol, M. (2013). *Investigation of combustion characteristics of biomass and coal mixtures in a circulating fluidized bed combustor*. PhD Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

Vural, E. S., Uysal, B. Z. ve Doğan, Ö. M. (2014). *Soma-eynez linyitinden su buharı gazlaştırmasıyla hidrojen içeriği yüksek sentez gazı üretimi*. UKMK-11 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir.

Warren, T.J.B., Poulter, R. and Parfitt, R.I. (1995). Converting biomass to electricity on a farm-sized scale using downdraft gasification and a spark-ignition Engine. *Bioresource Technology*, 52, 95-98.

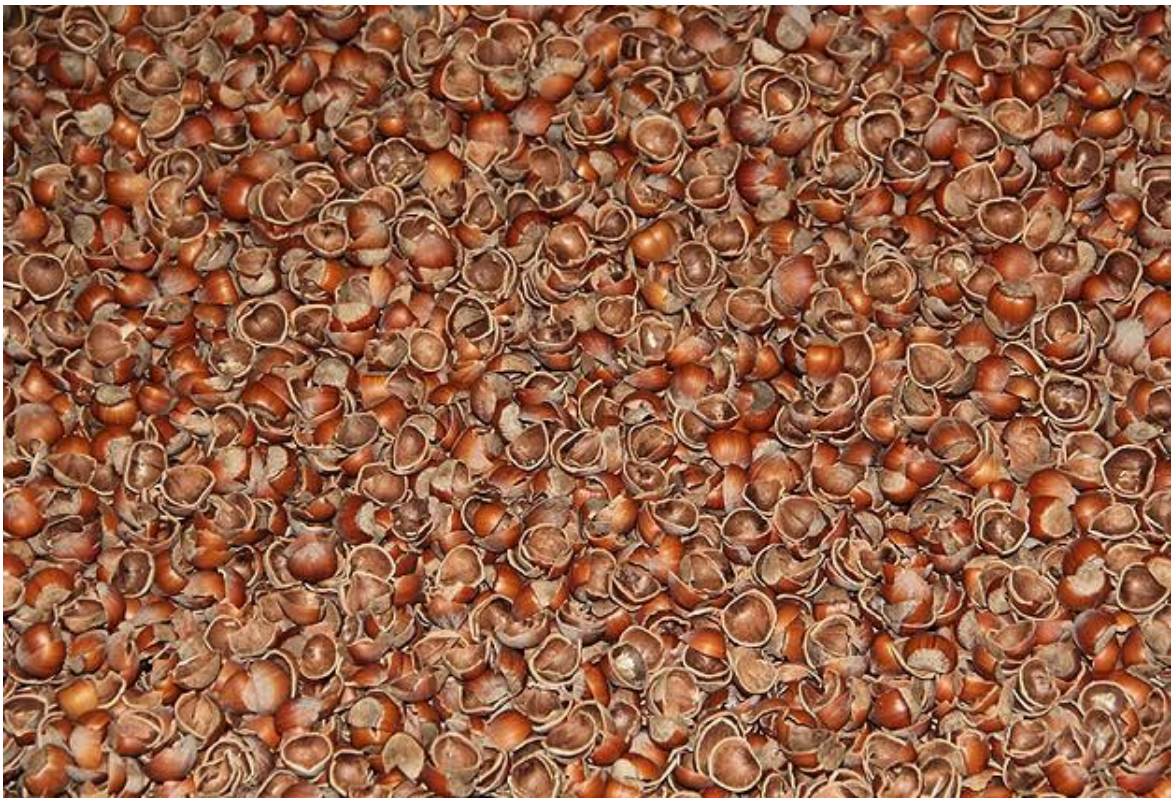
Yapraklı, S. (2013). *Enerjiye dayalı büyüme, Türk sanayi sektörü üzerine uygulamalar*. İstanbul, Beta Yayınevi.

Zhao, X.Q., Zi, L.H., Bai, F.W., Lin, H.L., Hao, X.M., Yue, G.J. and Ho, N.W.Y. (2012). Bioethanol from lignocellulosic biomass. *Biochem Engin/Biothecnol*, 128, 25-51.

EKLER

EK-1. Pirina

EK-2. Öğütülmemiş fındık kabuğu



EK-3. Odun talaşı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: HAMMAD, Agieb E. A.
Uyruğu	: Sudan
Doğum tarihi ve yeri	: 01.01.1991, Karari
Medeni hali	: Bekâr
Telefon	: +90 553 878 31 90
E-posta	: agieb.elnazir@gmail.com

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Ankara Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği	2015

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2013	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü	Stajyer Mühendis

Yabancı Dil

Arapça, Türkçe, İngilizce

Yayınlar

Hammad, A. E. A., Nadirov, E., Uysal, D., Doğan Ö. M. ve Uysal, B. Z. (2016-23-26 Ağustos). *Pirinadan Su Buharı Gazlaştırmasıyla Sentez Gazı Üretimi.* 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Nadirov, E., Hammad, A. E. A., Uysal, D., Doğan, Ö. M. ve Uysal, B. Z. (2016-23-26 Ağustos). *Polietilen atığın ve ceviz kabuğunun birlikte su buharı gazlaştırmasıyla sentez gazı üretimi.* 12. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Hobiler

Tenis, Kitap Okuma, Dil Öğrenme, Programlama

GAZİ GELECEKTİR...