



Gedik Üniversitesi

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORMAN ÜRÜNLERİ ATIKLARININ
GAZLAŞTIRILMASI İLE
YAKIT ÜRETİMİ**

SALİH ÇAMUR
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. SUNULLAH ÖZBEK

2016-İSTANBUL

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Salih ÇAMUR

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi, konunun seçilmesi, sırasında desteğini esirgemeyen, danışmanım, aynı zamanda hayat tecrübesinden çokça istifade ettiğim çok değerli Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK'e, yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana güzel yemekleri ile destek veren eşim Esra'ya, çalışmalarım sırasında bana izin verdiği ve için küçük kızlarım Nimet ve Saadet'e, maddi ve manevi desteklerini eğitim hayatım boyunca hiç esirgemeyen, aldığım kararları destekleyen, yolda kaldığım zaman yol gösteren, Babam ve Anneme, çalışmalarım sırasında, yardımlarını hiç esirgemeyen TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Yakma Gazlaştırma Grubu'na, özellikle deneylerim esnasında yardımlarını hiç esirgemeyen Dr. Alper Ünlü, Ufuk Kayahan, Ertuğrul Gazi KIYIKCI, Enstitü Müdür YRD. Dr. Osman Okur grup sorumlumuz Namık Ünlü, bana güvenen ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Haydar LİVATYALI beye, deneylerim sırasında teknik desteklerini hiç esirgemeyen Bilgin Saraç, Erdal GÜGÜK ve çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan diğer tüm çalışanlara çok teşekkür ederim.

2016

Salih ÇAMUR

İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER.....	viii
RESİMLER.....	ix
TABLolar.....	x
ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	3
GİRİŞ.....	5
1. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
1.1. Gazlaştırma.....	8
1.2. Gazlaştırma Tarihi Gelişimi.....	9
1.3. Gazlaştırmanın Prosesi.....	11
1.3.1. Kurutma.....	12
1.3.2. Piroliz.....	12
1.3.3. Oksidasyon.....	12
1.3.4. Gazlaştırma.....	13
1.4. Gazlaştırıcı Tipleri.....	13
1.4.1. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar.....	14
1.4.1.1. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı.....	14
1.4.1.2. Dolaşimli akışkan yataklı gazlaştırıcı.....	15
1.4.2. Sabit yataklı gazlaştırıcı.....	16
1.4.2.1. Yukarı akışlı gazlaştırıcı.....	18
1.4.2.2. Karşıt akışlı gazlaştırıcı.....	20
1.4.2.3. Aşağı akışlı gazlaştırıcı.....	21

2. AKIŞKAN YATAK VE SABİT YATAK GAZLAŞTIRICI SİSTEMLERDE VERİM VE PERFORMANAS KIYASLANMASI	23
2.1. Akışkan Yatak Gazlaştırıcılar	23
2.1.1.1. Akışkan yatak avantajları.....	23
2.1.1.2. Akışkan yatak dezavantajları	23
2.2. Sabit yatak gazlaştırıcılar	24
2.2.1.1. Yukarı akışlı gazlaştırıcı avantajları.....	24
2.2.1.2. Yukarı akışlı gazlaştırıcı dezavantajları	24
2.2.1.3. Aşağı akışlı gazlaştırıcı avantajları	24
2.2.1.4. Aşağı akışlı gazlaştırıcı dezavantajları.....	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
3.1. Gazlaştırma Proses Adımları	33
3.1.1. Yakıt seçimi ve analizi.....	34
3.1.2. Yakıt besleme kapasitesinin belirlenmesi	36
3.1.3. Optimum yükün seçilmesi	36
3.1.4. Boğaz çapının hesaplanması	37
3.1.5. Bunker (Yakıt Bölmesi) çapı hesaplanması	37
3.1.6. ER hesaplanması	38
3.1.7. Gazlaştırma için hava ihtiyacının hesaplanması	39
3.1.8. Hava giriş hızı hesaplanması.....	40
3.1.9. Nozül sayısı.....	41
3.1.10. Nozül çapı hesaplanması.....	41
3.1.11. Gazlaştırmada gaz akış hızı hesaplanması	42
3.1.12. Gazlaştırıcı verimliğinin hesaplanması.....	43
3.1.13. Kütle ve enerji dengesinin belirlenmesi.....	43
3.1.14. Siklon tasarımı	44
3.2. Deneysel Yöntem.....	46

3.3. Deneysel Çalışma.....	52
4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER	53
4.1. Sabit Yatak Gazlaştırıcı Optimizasyonu	53
4.2. Gazlaştırma Deneylerinin Sonuçları	56
4.2.1.1. Biyoyakıt karakterizasyonu.....	58
5. SONUÇLAR VE İRDELEMELER.....	59
6. GELECEGE YÖNELİK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ	62
ÖZGEÇMİŞ	66



SEMBOLLER

S : Kükürt

CO : Karbon monoksit

CO₂ : Karbon Dioksit

H₂ : Hidrojen

SO₂ : Sülfür dioksit

H₂O : Su

CH₄ : Metan

O₂ : Oksijen

NO₂ : Azot Dioksit

KISALTMALAR

ORM :ORMAN ATIKLARI

YBH: YAKIT BESLEME HIZI (Kg/ Saat)

RY: REAKTÖR YÜKÜ

G.D. : GAZIN DEBİSİ

BBYA: BOĞAZ BÖLGESİ YÜZEY ALANI

BÇ: BOĞAZ ÇAPI

YBO: YAKIT BESLEME ORANI

m_a : GAZLAŞTIRMA İÇİN GEREKLİ OLAN HAVA

Q_a : HAVA AKIŞ ORANI

ρ_a : HAVA YOĞUNLUĞU

ŞEKİLLER

ŞEKİL 1: TÜRKİYE’NİN KURULUŞ VE YAKIT CİNSLERİNE GÖRE ELEKTRİK ENERJİSİNDEKİ MEVCUT DURUMU (WWW.TEİAS.GOV.TR, 2016).....	6
ŞEKİL 2: TİPİK BİR GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ (WWW.AZOCLEANTECH.COM, 2016)	9
ŞEKİL 3: DÜNYA GENELİ GAZLAŞTIRMA KAPASİTESİ VE BÜYÜME ORANLARI (WWW.GASIFICATION-SYNGAS.ORG, 2016)	11
ŞEKİL 4: KABARCIKLI AKIŞKAN YATAKLI GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ (STREZOV & EVANS , 2014)	15
ŞEKİL 5: DOLAŞIMLI AKIŞKAN YATAKLI GAZLAŞTIRICI (STREZOV & EVANS , 2014)	16
ŞEKİL 6: SABİT YATAK GAZLAŞTIRICI TİPLERİ (WWW.EİE.GOV.TR, 2016).....	17
ŞEKİL 7: YUKARI AKIŞLI GAZLAŞTIRICI (WWW.EMS.PSU.EDU, 2011).....	19
ŞEKİL 8: SABİT YATAKLI GAZLAŞTIRICI SİSTEMİ (WWW.EİE.GOV.TR, 2016)	19
ŞEKİL 9: KARŞIT AKIŞLI GAZLAŞTIRICI (WWW.EMS.PSU.EDU, 2011).....	20
ŞEKİL 10: AŞAĞI AKIŞLI GAZLAŞTIRICI (WWW.EMS.PSU.EDU, 2011)	22
ŞEKİL 11: AŞAĞI AKIŞLI REAKTÖR DETAYI (WWW.EMISPEC.CA)	22
ŞEKİL 12: GAZLAŞTIRICININ ŞEMATİK GÖSTERİMİ	28
ŞEKİL 13: REVİZYONU YAPILAN REAKTÖRÜN SOLİDWORKS GÖRÜNTÜSÜ.....	29
ŞEKİL 14: GAZLAŞTIRMA PROSES ADIMLARI	33
ŞEKİL 15: SIKLON TASARIM ÖRNEĞİ (WWW.AEROSOL.EES.UFL.EDU)	46
ŞEKİL 16: SİSTEMDE KULLANILAN TERMOKUPULLAR POZİSYONLARI	48
ŞEKİL 17: ISI DEĞİŞTİRİCİ.....	49
ŞEKİL 18: CHEMCAD PROGRAMI ARA YÜZÜ	49
ŞEKİL 19: GAZ ANALİZ CİHAZININ ŞEMATİK ÇALIŞMA SÜRECİ	51
ŞEKİL 20: SİSTEMİN GİRDİ VE ÇIKTI DENGESİ	54
ŞEKİL 21: SIKLON REVİZYON ÇİZİMLERİ VE YAPILAN SIKLON	55
ŞEKİL 22 :ZAMANA BAĞLI SICAKLIK	56
ŞEKİL 23: ALT ISIL DEĞERLERİNİN ZAMANA GÖRE DEĞİŞİMİ (LHV)	57
ŞEKİL 24: GAZ BİLEŞİMLERİ ORTALAMASI	57

RESİMLER

RESİM 1: 1930'LU YILLARDA ALMANYA'DA GELİŞTİRİLEN, BİYOKÜTLE YAKIT KULLANAN ADLER DİPLOMAT MARKA OTOMOBİL (OSWALD, 2001).	10
RESİM 2: REVİZYON SONUCU ÜRETİLEN SİKLON	30
RESİM 3: SOĞUTMALI SU BANYOSU.....	31
RESİM 4: ATEŞLEYİŞİ VE İSİTİCİ BRÜLÖR.....	32
RESİM 5: ELEMENTEL ANALİZ CİHAZI	35
RESİM 6: DEBİMETRE.....	41
RESİM 7: REAKTÖR HAVA BESLEME CİHAZI	47
RESİM 8: EJEKTÖR	50
RESİM 9: ÇEVİRİMİÇİ GAZ ANALİZ CİHAZI.....	51
RESİM 10: PROJEDE KULLANILAN ORMAN ATIKLARI.....	54

TABLolar

TABLO 1: GAZLAŖTIRICI SİSTEMLERİN TEKNİK VERİLERİ (NAYIR, 2012).....	25
TABLO 2: GAZLAŖTIRICI SİSTEMLERİNİN GAZ ÖZELLİKLERİ (NAYIR, 2012).....	26
TABLO 3: GAZLAŖTIRICI SİSTEMLERİNİN KARŖILAŖTIRILMASI (NAYIR, 2012)	26
TABLO 4: REAKTÖRLERİN KARŖILAŖTIRILMASI (NAYIR, 2012)	27
TABLO 5: GAZLAŖTIRICI VERİMLERİ (NAYIR, 2012).....	27
TABLO 6: ANALİZ SONUÇLARI.	35
TABLO 7: ELEMENTEL ANALİZİ SONUÇLARI	36
TABLO 8: ER HESAPLAMA EXCEL SAYFASI.....	38
TABLO 9: HESAPLANAN ER SONUÇLARI	39
TABLO 10: SİKLON TASARIM VE REVİZYON TABLOSU (WWW.AEROSOL.EES.UFL.EDU)	45
TABLO 11: DENEY SONUÇLARI	60
TABLO 12: TOPLAM ÜRETİLEN ELEKTRİK GÜCÜ (WWW.EİE.GOV.TR, 2016).....	61
TABLO 13: MALİYET VE KAR HESAPLAMA.....	61

ÖZET

Biokütleden elde edilen yakıtlar çevresel etkisi bakımından, fosil yakıtlar ile kıyaslandığında çevreye daha duyarlıdır. Gazlaştırma sistemlerinde yakıt olarak atıkların değerlendirilmesi süreçlerinde (evsel ve endüstriyel atıklar, arıtma çamuru, talaş vb) çevreye negatif bir etki oluşturmadığı gibi, çevreye zararlı olan bu tür atıkların pozitif olarak geri dönüşümünü sağlar. Günümüz dünyasında enerji kaynaklarının önemi çok büyüktür. Bu ihtiyaç savunma sistem araçlarının örneğin tank, panzer, kamyon gibi araçların enerji gereksinimleri stratejik açıdan önem arz etmektedir. Savaş halinde bu araçların nakli ve kullanılması için yakıt gereklidir. Bu yakıtın temini gerek ekonomik gerekse güvenlik zafiyetleri doğabilmektedir. Yakıt ihtiyacının bu tarz sistemler ile temininin sağlanması ile gerek ekonomik gerekse güvenlik zafiyetleri azaltılmış olacaktır.

Gazlaştırma, biokütleden sentez gazı elde edilen termo-kimyasal bir yöntemdir ve günümüzün en yaygın teknolojilerden biri haline gelmiştir. Bu süreçte sentez gazı karbon içerikli biyokütle kaynağının sınırlı oksijen ile gazlaştırma odasında yakılması ile oluşturulmaktadır. Bu süreç piroliz olarak da adlandırılmaktadır. Gazlaştırma tesislerinde atıkların (biyoyakıt) kimyasal yapılarında belirli oranlarda metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), sülfür dioksit (SO_2), etilen (C_2H_4), CH_4 , H_2 , ve CO , gibi maddeler bulunabilmektedir.

Bu çalışmada orman ürünleri atıklarının gazlaştırılması ve bundan yakıt üretimi için aşağı akışlı gazlaştırıcı (downdraft gasifier) sistemi ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda geliştirilmiş bir aşağı akışlı gazlaştırıcı sistemi kullanılarak gazlaştırma çalışmaları gerçekleştirilmiş ve optimum çalışma koşulları belirlenmiştir. Gazlaştırma hammaddesi olarak orman atıkları değerlendirilerek gazlaştırma gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılmış ve kurulmuş olan bir sistem bu çalışmaya özgün olarak revize edilerek deneme çalışmaları yapılmıştır. Sistemde bulunan reaktör $400^\circ C$ ye kadar ısıtılmış ve bunu takiben orman atığı yakıt beslemesi yapılmıştır. Sisteme orman atığı olarak 3 cm ile 5 cm boyut aralığında ve nem oranının %15 olan 10kg odun talaşı yüklenerek gazlaştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince sıcaklık, basınç ve çıkan gazların ölçümleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda sistemden CO , H_2 , CO_2 ve CH_4 gazlarının oluştuğu belirlenmiştir.

Verimin maksimum ve çevreye verilen zararın minimum olması için, sistem parametreleri (yakıt/hava oranı gibi) optimize edilmiştir. Sonuç olarak biokütlenin gazlaştırılması ile elde ettiğimiz gaz ile elektrik enerjisi, ısı enerjisi gibi enerji türlerine uygun jeneratörlerle dönüşüm sağlanabileceği görülmüştür.



ABSTRACT

Fuels produced from biomasses are more environmentally-friendly comparing with fossil fuels. In the process of waste-usage as fuels (household or industrial wastes, sewages, woodchips etc.) in gasification systems, environment is not only protected from negative effects of the wastes but also provide positive effects by recycling them. The importance of energy in today's world is very tremendous. Strategically energy need for defence system utilities such as tank, truck, and armoured car are also very important. In case of war the transfer or the use of these vehicles requires fuel. Supplying fuels with such systems may prevent adverse situation that may arise from economic or security reasons.

Gasification, one of the most widely used technologies of today, is a thermo-chemical process that producing syngas from biomasses. In this process, pyrolysis of carbon-containing biomass sources is carried out under limited oxygen combustion to generate syngas in the gasification chamber. The process consists of combusting carbon-based biomasses with limited oxygen in a reactor. This process is also called as pyrolysis. The chemical content of biofuels produced from gasification are mainly; methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), sulphur dioxide (SO_2), ethylene (C_2H_4), H_2 , and CO which exist in different ratios.

In this study, experimental studies are performed with downdraft gasifier system to produce fuel from wastes of forest products. In this content, optimum operating conditions are determined. A pyrolysis set-up constructed before was utilised for the present work. For the purpose of this study some reconstruction were made on this set-up and experimental studies are performed.

In these experiments, the system was preheated to 400°C and then 10 kg of woodchips with sizes between 3 cm to 5 cm and have 15% humidity are loaded to the system and started to produce syngas. The temperature, the pressure and the amount of gases are monitored and measured during experimental runs. Gases of CO , H_2 , CO_2 and CH_4 are detected while monitoring the experiments. The required parameters are calculated and optimised to make the system work smoothly with maximum output and minimum damages to environment by changing the air/fuel

ratio. As a result, it is seen that syngas produced from biomass gasification can be converted to heat and electricity using suitable generators.



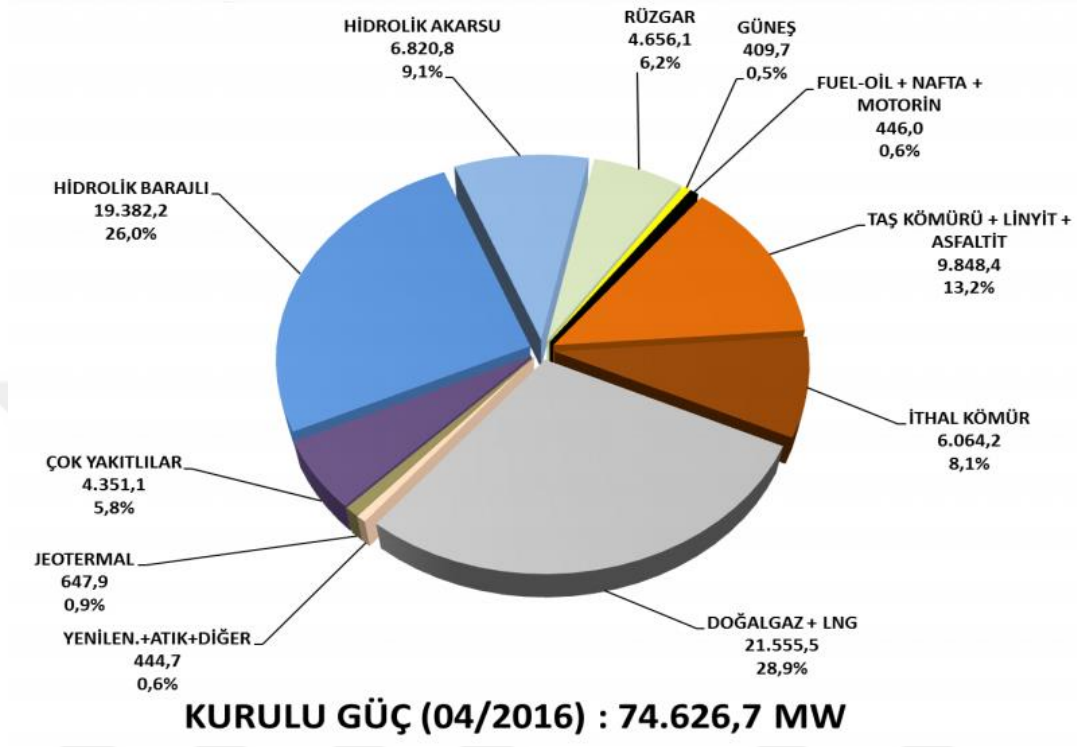
GİRİŞ

Enerjinin tüm canlılar için olmazsa olmaz bir yaşam kaynağı olması ve artan Dünya nüfusu karşısında günümüzde enerji problemleri sık sık yaşanmaya başlanmıştır. Gelişen teknolojinin ihtiyacı olan enerji gereksinimini karşılamada yetersiz kalan fosil yakıtlar, rezervlerin azalmasının da etkisi ile alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu durum bilim insanlarını yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına yönlendirmiştir. Sürdürülmekte olan çalışmalar özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması kapsamında yoğunlaşmış ve hızla devam etmektedir. Fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zararlar göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının alternatif enerji kaynağı olarak tercih edilmesi önem kazanmıştır.

Günümüz dünyasında enerji kaynakları için savaşlar verildiği hepimiz tarafından bilinmektedir. Askeri operasyonlarda kullanılan araçların hareketinin sağlanmasında, iklimlendirmede, yemek pişirilmesinde, temizlik yapılmasında, haberleşmede vb. hepsinde kullanılan ortak bir tema vardır oda enerji ihtiyacıdır. Enerji olmadığı zaman haberleşme yapılamaz, enerji olmadığında, ısıtma veya soğutma yapılamaz, enerji olmadığında askeri personel ve silahlar nakil edilemez, bunlar için enerji kaynaklarının olduğu merkezlerden sürekli yakıt transferleri yapılmaktadır. Bu transferler ekonomik olarak çok pahalı olduğu gibi en önemlisi enerji nakil araçlarına yapılan saldırılarda enerji kaynaklarının imha edilmesi ve ciddi zararların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Operasyonlar esnasındaki enerji ihtiyacının şu an tamamı olmasa bile bir kısmının, operasyon yapılan bölgedeki orman atıkları vb. biyokütle kaynakların gazlaştırılması ile elde edilmesi ile oluşabilecek olumsuzluklar minimize edilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları biokütle ve biokütleden arta kalan ürünlerin değerlendirilmesi sonucu enerji açığa çıkarması sonucunda çevreye, fosil yakıtlara kıyas ile çok fazla duyarlıdır. Enerji ihtiyacımızın büyük çoğunluğunu fosil yakıtlar vb. çevreye duyarlı olmayan sistemler ile elde ettiğimiz düşünüldüğünde, gezegenimizin geleceğinin karanlık ve sisli olduğunu görmemek için gözlerimizi ve kulaklarımızı kapatmamız yeterli olmayacaktır. TEİAŞ'nin verilerine göre 2016 yılı itibariyle Türkiye'nin kuruluş ve yakıt cinslerine göre elektrik enerjisindeki mevcut

durumu Şekil 1’de görülmektedir. Bu veriden de anlaşılacağı gibi biyokütle atıklarından elde edilen enerjinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.



Şekil 1: Türkiye'nin kuruluş ve yakıt cinslerine göre elektrik enerjisindeki mevcut durumu (www.teias.gov.tr, 2016)

Katı biyokütlenin gazlaştırılması termo-kimyasal bir yöntem ile gerçekleştirilmektedir ve işlem sonucunda sentez gazı elde edilmektedir. Günümüzde en yaygın teknolojilerden biri haline gelen biyokütlenin gazlaştırılması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde genel olarak karbon içerikli biyokütle kaynağı bir gazlaştırma reaktörü içerisinde sınırlı miktarda oksijen ile yakılması sonucunda elde edilmektedir. Bu işleme genel olarak piroliz işlemi de denilmektedir. Gazlaştırma reaktörüne giren biyokütle özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre belirli miktarlarda piroliz sonucu metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), sülfür dioksit (SO_2), etilen (C_2H_4), H_2 ve CO , gibi maddeler açığa çıkar. Elde edilen sentez gazı temizlemeden sonra, motorlarda, türbinlerde veya genel ısı enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere yakılarak değerlendirilirler.

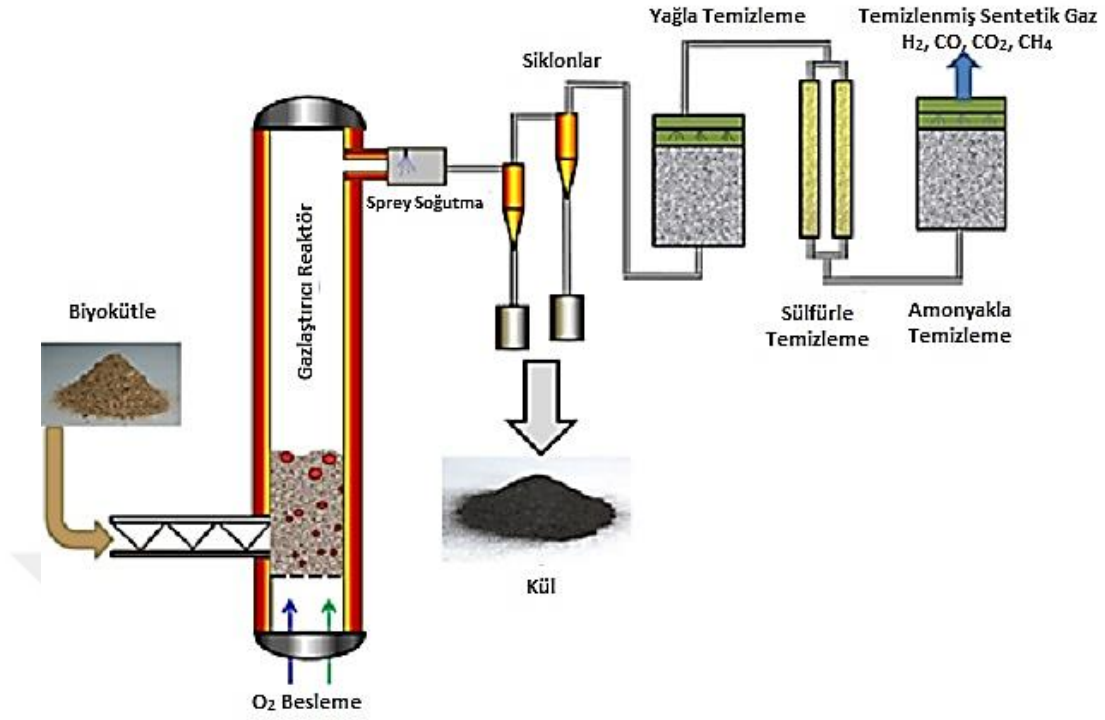
Biokütle kaynaklarının bazıları kullanım alanları olmadığı için doğaya atılarak çevre kirliliğine sebebiyet vermekte, bazılarının ise geri dönüşümü (tekrar hammaddeye çevrilmesi) zor ve maliyetli olmaktadır, bu kriterlerin hepsi toplandığında biokütlenin gazlaştırılması ile tekrardan doğaya kaynak sağlandığı ve sürdürülebilir olması ile tercih sebebidir. Ayrıca dünya üzerindeki sera gazı etkisini azaltmakta büyük bir faktördür. Gelişmekte olan tarım ve hayvancılık ile geçimini sağlaya ülkeler bazında değerlendirildiğinde bu tür yörelerin enerji ihtiyacı karşılanmasında ve doğal yaşamı desteklemede büyük faydası vardır.

Orman atıklarından elde edilen gaz, gaz motorlarında, gaz türbinlerinde ve gazlaştırma tesisine enerji dönüşüm sistemleri eklenerek elektrik veya ısı enerjisi elde edilebilir. Orman atıklarının enerjiye dönüştürülmesi ile bu atıkların depolaması gibi sorunların giderilmesini sağlar. Fosil yakıtlara olan bağımlılık minimize edilir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olmakla beraber, kurulan sistemin büyük olması elde edilecek enerji veriminin artmasına da neden olmaktadır. Bu tür sistemlerde verimi ve sistemin düzenli çalışmasını sağlayabilmek için gazlaştırma yapılacak süreç detayları belirlenmelidir. Örneğin; gazlaştırıcı rektör tipi, biyokütle boyutu ve biyokütlenin kimyasal analiz sonuçları gibi değerler daha sonra sorun yaşanmaması için belirlenmelidir.

1. LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Gazlaştırma

Gazlaştırma katı yakıtların veya atıkların termokimyasal çevrim ile sentez gazına dönüştürülmesi işlemidir. Gazlaştırma işleminin başlaması için ilk enerjiyi dışarıdan vermek gereklidir, buda ilk anda tutuşturma ile sağlanır, daha sonra orman atıkları yanmaya başlar. Reaktöre yüklenen orman atıklarının yaklaşık %5'i kontrollü olarak sağlanan oksijen ile yanarak oluşan ısısından faydalanılır, %95'lik kısmı gazlaştırma sürecinde, piroliz işleminde, kullanılır. Gazlaştırma 'da orman atıklarının yaklaşık %85'i gaza dönüştürülebilmektedir. Reaktör ısısının yükselmesi ile reaktöre beslenen orman atıklarından, katran açığa çıkar. Oluşan katranın bir kısmının yanması ile istenilen sıcaklıklara ulaşılır. Gazlaştırıcı reaktör içinde atıklar, hava, oksijen ve buhar ile yüksek sıcaklıkta reaksiyon gerçekleştirilir ve sentez gazları (syngas) elde edilir. Reaktör içerisinde gerçekleşen piroliz sonucu karbon içeren atıklardan H₂, CO, CO₂, CH₄ gibi gazlar oluşur. Reaksiyon sonucu ortaya çıkan ürünler soğutma, temizleme, gibi işlemlerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilir, Tipik bir sistem şematik olarak Şekil 2'de görülmektedir (www.azocleantech.com, 2016). Elde edilen ürün bilahare elektrik üretiminde veya ısı üretiminde değerlendirilebilir (Klein & Themelis , Gasification: An Alternative Process, 2002).



Şekil 2: Tipik bir gazlaştırma sistemi (www.azocleantech.com, 2016)

1.2. Gazlaştırma Tarihi Gelişimi

Gazlaştırma eskiden beri bilinen bir teknoloji olmakla beraber, günümüze kadar geçen süreç içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda önemli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar aşağıda kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

İlk defa sentez gazını İskoç mühendis Murdoch'un yanlışlıkla keşfetmiştir. Daha sonra 1812'de ilk gazlaştırma şirketi Londra'da kuruldu ve kömürden gaz üreterek aydınlatmada kullanıldı. 1826 yılına gelindiğinde Amerika Birleşik Devletleri'nde kömürden sentez gazı üretimi üzerine ilk şirket kuruldu. 1826 yılında ise büyük şehirlerin aydınlatılmasında bu sistem kullanılmaya başlandı. Petrol temininde güçlük çekilen 1930'lu yıllarda otomobil üreticisi Adler tarafından Almanya'da üretilen Adler Diplomat tipi araçlar modifiye edilerek biyokütleden (odun) gaz elde eden bir sistem eklenmiş ve kullanıma sunulmuştu, bu aracın resmi Resim 1'de görülmektedir (Oswald, 2001) .

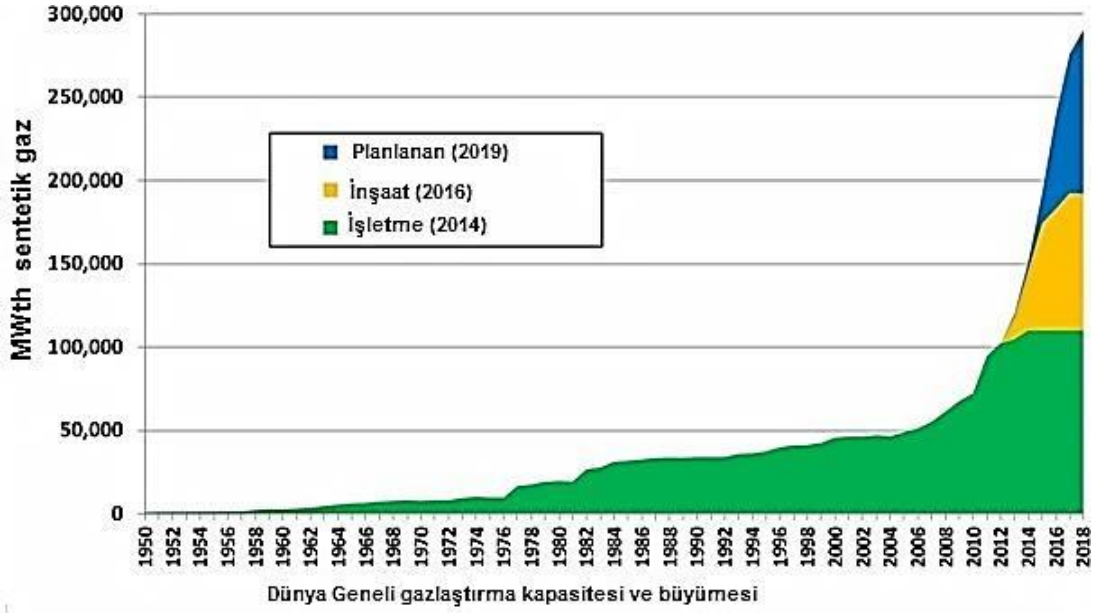


Resim 1: 1930'lu yıllarda Almanya'da geliştirilen, biyokütle yakıt kullanan Adler Diplomat marka otomobil (Oswald, 2001).

1931'li yıllara gelindiğinde ise gazlaştırma sistemlerinin gelişimi hız kazanmış ve akışkan yatak teknolojisi gün yüzüne çıkmıştır. Gazlaştırma teknolojisinin bu kadar hızlı gelişmesine rağmen uygulanma alanının en iyi örneği II. Dünya Savaşı sırasında görülmüştür. Almanya'nın gazlaştırma ile yakıt üretim programı ve dünyada ise amonyak üretim endüstrisi ile istenen hız ve gelişim sağlamıştır. II Dünya Savaşı'ndan sonra ise doğalgaz rezervlerinin keşfi ile gazlaştırma sistemine olan ilgi azalmıştır. 1960 ile 1970 li yıllarda rezervlerde görülen azalma ve enerji ye olan ihtiyacın artması ile gazlaştırma sistemlerine olan ilginin tekrar canlanmasına neden olmuştur.

Türkiye'de gazlaştırma tarihine bakacak olursak Dolmabahçe gazhanesinde kullanıldığı görülmektedir. Dolmabahçe Gazhanesinin inşası 1853 yılında tamamlanmış ve sarayın aydınlatılmasında kullanılmıştır (Mazak)

Günümüze kadar olan sürece bakıldığında gazlaştırma sistemleri büyük bir ivme ile yoluna devam etmektedir, Şekil 3'de gösterildiği üzere dünya genelinde gazlaştırma sistemlerine olan ilginin arttığı gözükmektedir.



Şekil 3: Dünya Geneli Gazlaştırma kapasitesi ve büyüme oranları (www.gasification-syngas.org, 2016)

1.3. Gazlaştırmanın Prosesi

Doğada çok çeşitli enerji kaynağı bulunmaktadır, bunların içerisinde katı yakıt diye tabir ettiğimiz yakıt kaynaklarının özünü karbon elementi oluşturmaktadır. Bu proje kapsamında geliştirilen sistemde ise orman atıkları katı yakıtını aşağı akışlı gazlaştırıcı ile yüksek ısılarda, kısıtlı hava oranı ile kontrollü bir şekilde yakarak gazlaştırmayı sağlamaktır.

Genel olarak gazlaştırma işlemi 4 ayrı safhadan oluşur; (www.eie.gov.tr, 2016)

- Kurutma
- Piroliz
- Oksidasyon
- Gazlaştırma

1.3.1. Kurutma

Genellikle biyokütle doğasına göre farklı oranlarda nem içerirler. Nem oranının yüksek olması biyokütlenin termokimyasal dönüşümünü olumsuz etkilemektedir, bu nedenle nem oranının istenen seviyeye kadar düşürülmesi gerekir. Bu işlemede kurutma işlemi denir. Bu nemin mümkün olduğu kadar sisteme beslemeden önce kurutulması tercih edilir. Bunun için çeşitli kurutma yöntemleri uygulanmaktadır. Kurutma genellikle güneşte, vakumla sağlanmakla birlikte rotary ve mikrodalga gibi daha gelişmiş yöntemlerde kullanılmaktadır (Üçgül & Akgül, 2010).

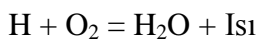
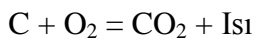
Bu çalışma kapsamında yapılan ön denemelerde elde edilen sonuçlara göre, kurutma işleminde orman atıklarının gazlaştırma sürecinin sağlıklı olabilmesi için, atıkların parça boyutlarının 3-5 cm aralığında ve içerisinde bulunan nem oranının %15 civarlarında olması gerekmektedir.

1.3.2. Piroliz

Piroliz gazlaştırıcı reaktöründe ısı ile kütlenin kimyasal ayrışmanın başladığı aşamadır. Organik maddeler oksijensiz ortamda 350-500°C civarında uçucu maddeler ortaya çıkarmaya başlar. Piroliz ürünleri katı, sıvı, gaz ürünlerin açığa çıktığı safhadır. Ortaya çıkan gaz ve sıvı (katran) oranının artırılması reaktör içindeki sıcaklık ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yüksek sıcaklığa gelindiğinde oluşan gaz ve katranın pirolizi sonucu gaz bileşenleri de ortaya çıkar.

1.3.3. Oksidasyon

Biyokütlenin yapısındaki organik moleküller karbon ve hidrojen kısıtlı olarak verilen oksijenle aşağıdaki reaksiyonda verildiği gibi okside olarak ortaya ısı enerjisi çıkarırlar. Bu sıcaklık 1200°C'lere kadar çıkabilir. Açığa çıkan bu ısı orman atığının kurutulması ve pirolizi sürecinde kullanılır. Buna ekzotermik reaksiyon denir. Bu reaksiyon sonucunda karbondioksit ve su buharı oluşur.

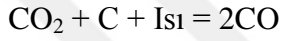


1.3.4. Gazlaştırma

Orman ürünlerinin gazlaştırılmasında 500°C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olarak değerlendirilir. Karbon ve katran ortaya çıkar. Reaktör içerisindeki sıcaklık 1000°C ulaştığında karbon, su buharı ile tepkimeye girerek CO ve H₂ ortaya çıkar.

Gazlaştırma işlemi sırasında atığın nem oranının iyi tayin edilmiş olması gerekmektedir. Nem oranı daha önceki bölümde bahsedildiği gibi yaklaşık olarak %15 olması gerekmektedir. Gazlaştırma denklemi aşağıdaki gibi gerçekleştirirler.

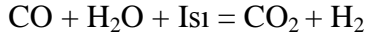
Karbondioksit reaksiyonu;



Su buharı ile oluşan reaksiyon;



Yukarıda görüleceği gibi ortaya çıkan karbondioksit ve su buharı indirgenerek, karbon monoksit ve hidrojene dönüşür;



1.4. Gazlaştırıcı Tipleri

Gazlaştırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan genel olarak iki tip reaktör vardır. Bunlar; akışkan yataklı gazlaştırıcı ve sabit yataklı gazlaştırıcılardır. Her iki tip reaktörde atığın geçireceği kimyasal süreç aynı olmakla birlikte, reaktör ve sistemlerde farklılıklar bulunması nedeniyle bu iki ana gruba ayrılmışlardır.

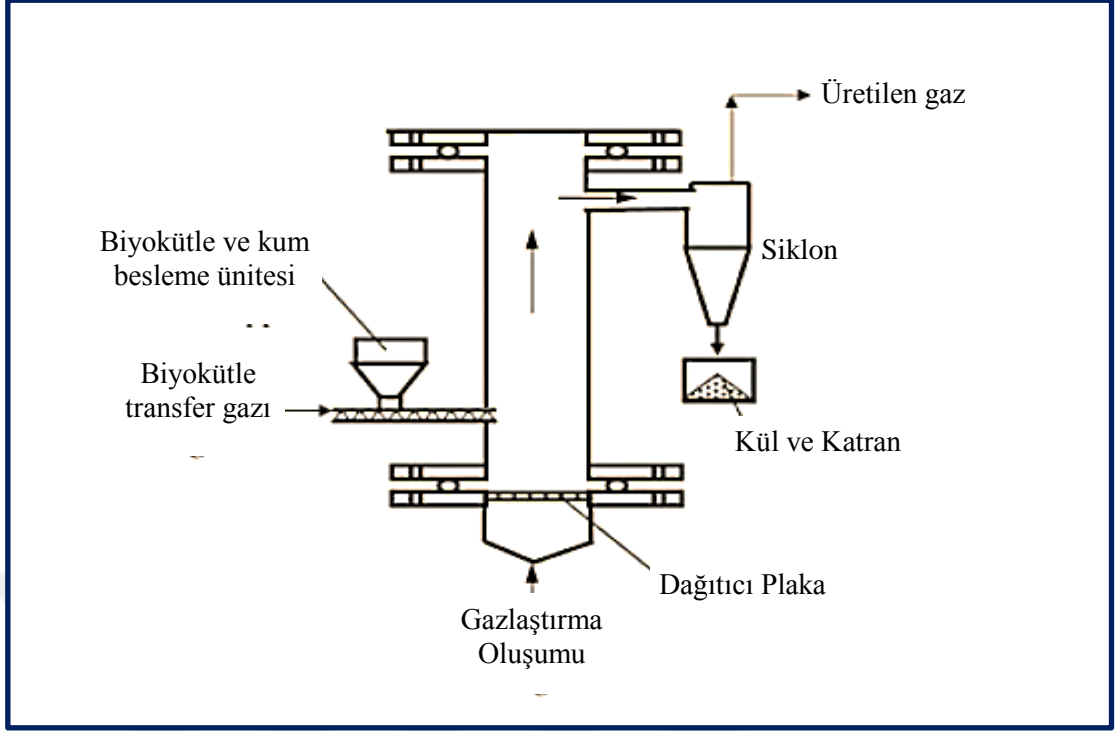
Sabit yatak gazlaştırıcıların reaktör içerisinde daha önceden bahsedilen dört ana kimyasal değişim gerçekleşirken akışkan yatakta bu biraz daha farklıdır. Akışkan yatak reaktörde dört ana kimyasal değişim reaktör içerisine dağılmış bir şekilde gerçekleşir. Bu da bu sistemler arasındaki en büyük farklardan birisidir (Highman & vander Burgt, 2006). Ayrıca seçilen reaktör tipi yakıtın cinsini, sistemin kapasitesini ve işletme zorluklarını belirler (Rezaiyan & P., 2005).

1.4.1. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar

Akışkan yatak gazlaştırma sistemlerinde reaktör içerisinde bulunan biyokütle, tasarım parametreleri gereğince uygun parçacık boyutuna getirilmelidir. Genelde bu tarz reaktörlerde boyutları 0,5-7 mm arasında biokütle gazlaştırmada kullanılır (Strezov & Evans , 2014). Yatak malzemesi kullanılması gerektiğinden genelde kum ya da kireç taşı gibi malzemeler kullanılır. Kireçtaşı eklenmesi durumunda ayrıca sistemde oluşan sülfür minimize edilebilmektedir. Akışkan yatak sistemi çalıştırıldığında yüksek ısısında yardımı ile sistem içerisindeki ısı transferi reaktör içerisinde homojen olarak dağılmaktadır. Sistem çalışması esnasında reaktör içerisindeki sıcaklığın, yatak sıcaklığının külün ergime sıcaklığının üstüne çıkılmaması gerekmektedir, yoksa kül eriyerek cüruf oluşumu başlar. Oluşan bu cüruflar zaman ile akışkan yatağı tıkayarak sistemin verimini düşürür. Sistem üzerinde önemli parçalardan biride dağıtıcı plakadır, bu plaka sistem içerisine katı parçacıkların gitmesine engel olarak, reaktör içerisinde iç hidrodinamiğinin homojen olmasına destek verir. Ayrıca sistemin hava kanallarına biyokütle ve kum karışımının, gitmesini engelleyerek verimi artırır. Akışkan yatak sisteminde değişik dağıtıcı plaklar olmakla beraber reaktörün boyutu ve yakıt cinsine göre tasarımında değişiklikler gösterebilir. Akışkan yatak gazlaştırıcılar kendi içinde; kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı ve dolaşımli akışkan yatak olmak üzere iki ayrı süreç vardır (Strezov & Evans , 2014).

1.4.1.1. Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcı

Kabarcıklı akışkan yatak sistemlerinde biokütleyi gazlaştırmak için reaktör içerisine beslenen biyokütlenin akışkan hale gelmesi(reaktör içerisinde hareket etmesi) için gazlaşma ortamının, tasarım değerleri ile orantılı olarak belirli bir hıza ulaşması gereklidir. Bu hız sistemin minimum hızıdır. Yatak hızı, hesaplanan maksimum hız değerlerini geçecek olursa yakıt sistem içerisindeki siklon tarafında yığılma yapacağından gazlaştırma olmayacaktır. Bu nedenle sistemin minimum ve maksimum hızlarını iyi tespit edilmesi gerekir. Şekil 4: Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma sistemi şematik olarak gösterilmektedir.

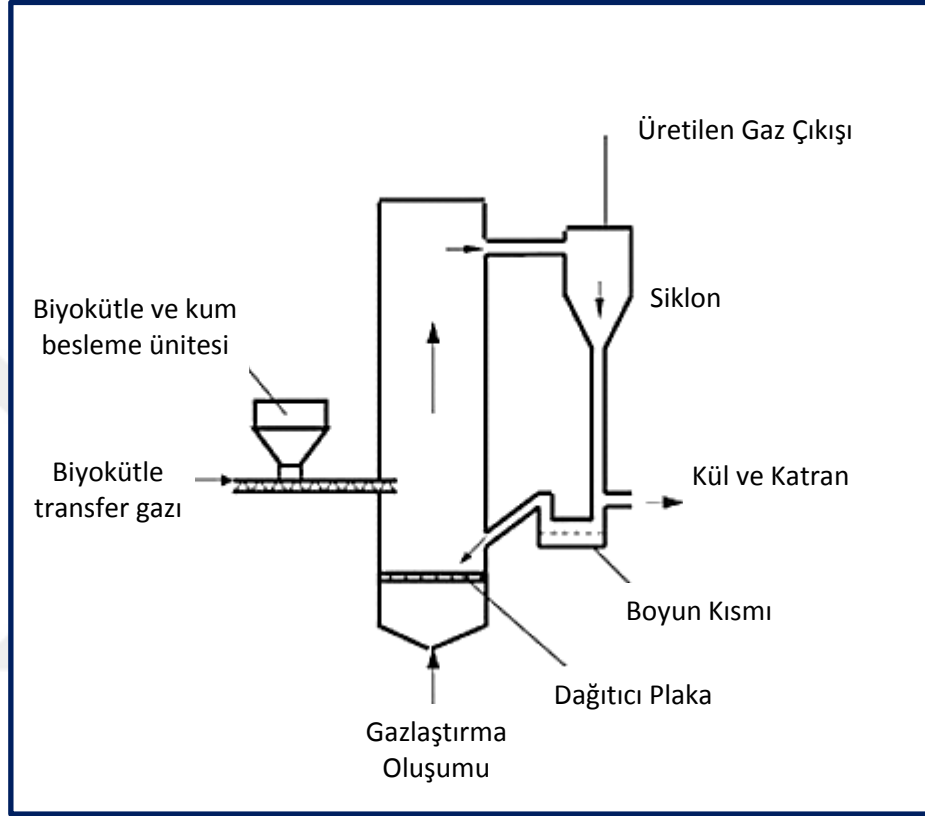


Şekil 4: Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırma sistemi (Strezov & Evans , 2014)

1.4.1.2. Dolaşımli akışkan yataklı gazlaştırıcı

Dolaşımli akışkan yatak gazlaştırıcılarda, sistemin tasarım özelliği nedeni ile reaktör içerisine beslenen yakıt ve yatak malzemesi sistemde sürekli dolaşmaktadır. Adını da buradan almaktadır. Bu dolaşma sonucunda yakıtın daha verimli gazlaşması sağlanmakla birlikte sistem içerisinde oluşan gazlarda kısmi olarak dolaşmaktadır. Dolayısıyla kuruma, oksidasyon ve piroliz reaksiyonları farklı bölgelerde oluşmaktadır. Reaktör altında bulunan dağıtıcı tabakadan sisteme verilen gazın yardımıyla karışım sistemde homojen olarak dolaşır. Homojen dağılma sayesinde sisteme içerisindeki sıcaklık farkları minimize edilmiş olur. Biyoyakıtın akışkan hale gelmesi için gerekli gaz debisi reaktör ve sistem tasarımına ve yakıt cinsine göre değişiklik gösterebilir. Dolaşımli akışkan yatak teknolojisinde yakıtın reaksiyona girme süresi diğer sistemlere göre daha kısa sürede başlar, dolayısı ile sistem verimine olumlu yönde katkısı olur. Bununla birlikte biyoyakıtın tanecik boyutunun diğer sistemlere nazaran daha küçük olması gerekmektedir.

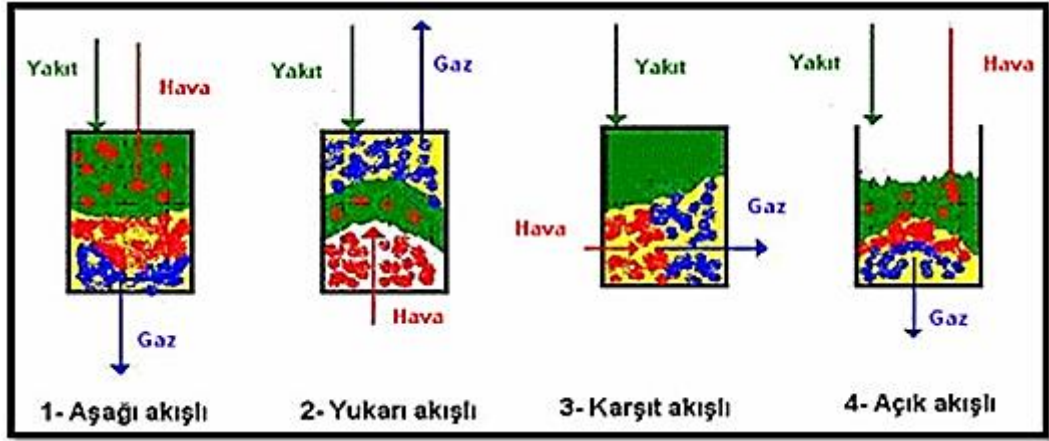
Dolaşımli akışkan yatak teknolojisinin bir diğ er avantajı ise hava/yakıt oranının daha rahat bir şekilde kontrol edilmesine olanak sağlamasıdır. Şekil 5: Dolaşımli akışkan yataklı gazlaştırmacı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5: Dolaşımli akışkan yataklı gazlaştırmacı (Strezov & Evans , 2014)

1.4.2. Sabit yataklı gazlaştırmacı

Sabit yataklı gazlaştırmacıların çalışma prensibi genel olarak reaktör içerisine beslenen biyoyakıtın bir reaksiyon bölgesi oluşturarak gazlaştırmacı işlemi başlatılır ve dengeye ulaştığında gazlaştırmacı bölgesinde verim optimum seviyelere ulaşır. Reaktör içinde istenilen proses parametreleri uygulandığında biyoyakıt tepkimeye girer. Bu tepkimeler reaktör içerisinde farklı bölgelerde farklı reaksiyonlar gerçekleştirir. Bu oluşan farklı reaksiyon bölgeleri sabit yatak gazlaştırmacılarının temel prensiplerini oluşturur. Genel olarak sitemlerde akışın yönüne göre isimlendirilirler. Bunlar Şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 6: Sabit yatak gazlaştırıcı tipleri (www.eie.gov.tr, 2016)

Sabit yatak gazlaştırıcıların en büyük avantajlarından birisi de kolay tasarımı ve imal edilebilmesidir. Kullanım ve devreye alma aşaması diğer sistemlere nazaran daha basittir. Bu nedenlerle sabit yataklı gazlaştırıcı sistemler araştırma amaçlı çalışmalarda veya düşük enerji istenen yerlerde tercih edilirler. Sistemlerde genelde sıcaklık ve hava oranlarını belirlemede sıkıntılar olduğundan, reaksiyon verimleri değişiklik gösterebilir, dolayısıyla üretilen gazın kalitesi ve miktarı tasarımlarında yapılan hesaplamalarda elde edilen değerlere ulaşamayabilirler (Klein, www.seas.columbia.ed, 202).

Sabit yataklı reaktörlerin yakıtın reaksiyon bölgesinde tutunması ve külün akması için metal ızgara kullanılabilir. Bu da sistemin sürekliliği ve yanmamış Biyoyakıt oranının azalmasına olanak sağlamaktadır. Sisteme yukarıdan yakıtın beslenmesi esnasında yakıt üzerindeki nem oranının düşürülmesine yardımcı olmak için, sistemin atık ısılarından faydalanılır.

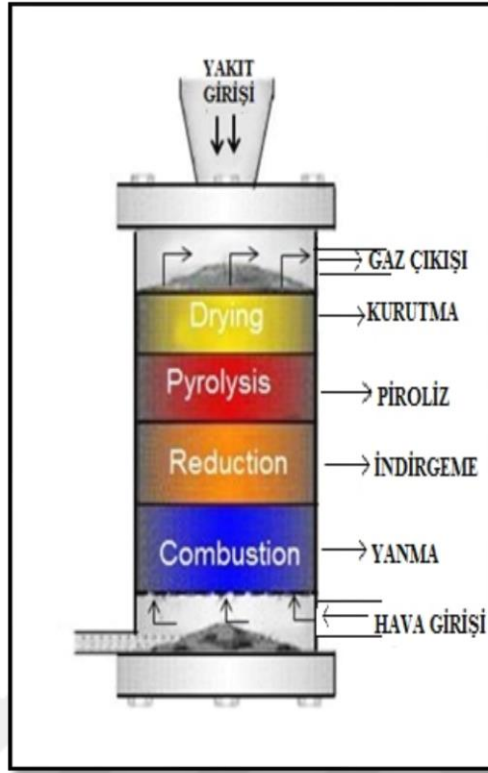
Sabit yataklı sistemlerde katran ve parçacık tutma (siklon ve filtreler), sistemin karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Bu tarz sistemler aynı zamanda maliyete olumsuz etkisi olmaktadır. Gaz temizlenmesi ve parçacık tutulması, üretilen gazın kullanım yerine göre, temizlenmesi değişiklik gösterebilir (Klein, www.seas.columbia.ed, 202).

1.4.2.1. Yukarı akışlı gazlaştırıcı

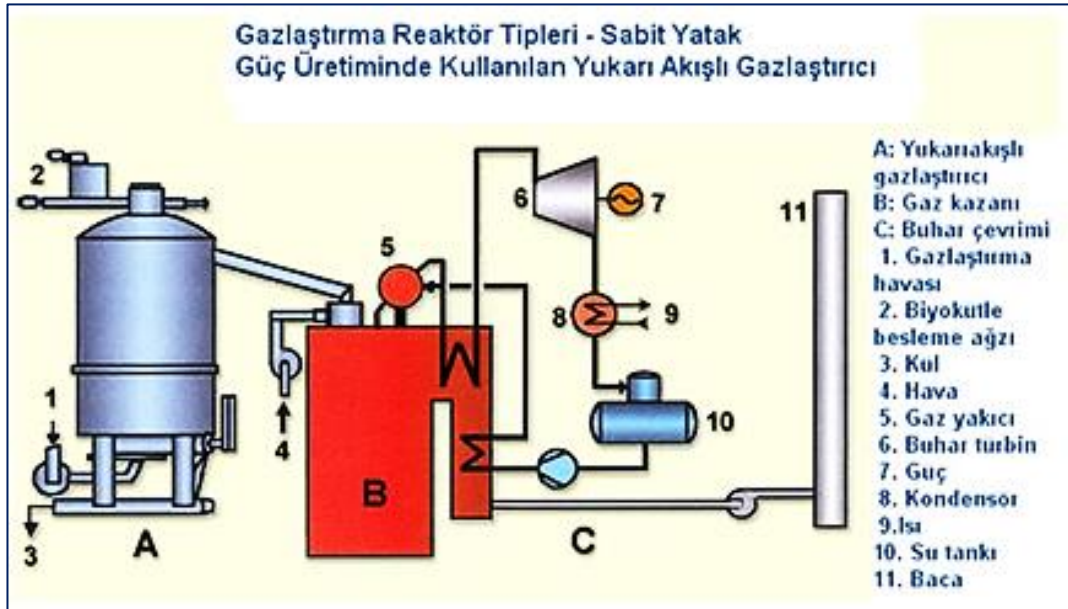
Reaktör içerisine beslene hava reaktörün alt kısmından beslendiği için bu ismi almıştır. Dolaysı ile bu sistemde yakıt ve hava akımı ters yöndedirler. Reaktör içerisinde meydana gelen reaksiyon sonucu ortaya çıkan gaz ise reaktörün üst kısmından alınarak kullanılır. Şekil 7'de yukarı akışlı (updraft) gazlaştırıcı görülmektedir. Yukarı akışlı sistemler genelde sıcak gazların reaktör içerisinden yukarı doğru çıkarak sistemi terk etmesinden dolayı verimleri yüksektir, gaz yukarı doğru çıkarken kendi üzerinde barındırdığı ısıyı reaktör içerisindeki biokütleyle aktararak yakıtın ön ısıtılması için harcanan enerji buradan karşılanmış olur. Ayrıca soğuyan gazın daha sonradan soğutulması gerekmebilir. Sistemde damıtma ve kurutma kısımlarında ortaya çıkan ürünler; su, katran oluşur. Bunlar oksitlenme bölgesini geçemezler. Uçucu madde bakımından zengin bioküteller gazlaştırıldığında, üretilen gaz yüksek oranda katran barındıracaktır. Gaz kalitesinin artışı sağlamak ve külün ergime sıcaklığı altında tutmak için, nemli hava kullanılabilir.

Yukarı akışlı reaktör tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Reaktör içerisine giren hava giriş sistemi, üretilen gazın çıkış yönü, yakıt yatağının yüksekliği gibi parametrelerdir.
- Dezavantajları ise; çok yüksek oranda katran oluşur. Gaz motorları vb. sistemlerinde kullanılması sakıncalı olabilir.



Şekil 7: Yukarı akışlı gazlaştırıcı (www.ems.psu.edu, 2011)

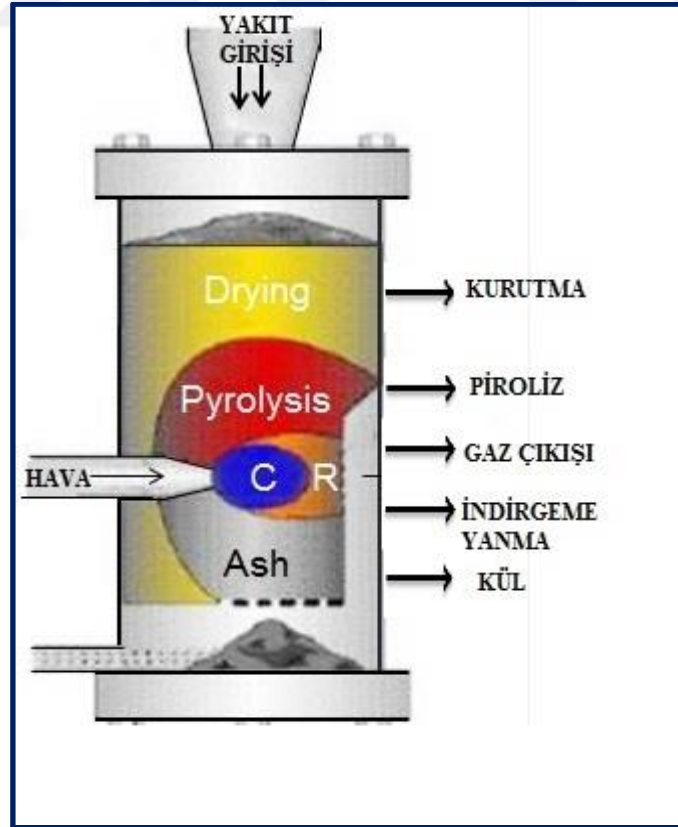


Şekil 8: Sabit yataklı gazlaştırıcı sistemi (www.eie.gov.tr, 2016)

1.4.2.2. Karşıt akışlı gazlaştırıcı

Bu tarz reaktörler yukarı ve aşağı akışlı reaktörlerden farklı olarak bazı avantajları olmasına rağmen çok fazla kullanılmamaktadır. Şekil 9' karşıt akışlı bir gazlaştırıcı şematik olarak görülmektedir. Bu tür gazlaştırıcı sistemlerde; gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması, yüksek gaz çıkış hızı olması, CO indirgemesinin zayıf olması gibi dezavantajları nedeniyle çok fazla tercih edilmezler (Olgun, Doğru, & Howarth, 2010).

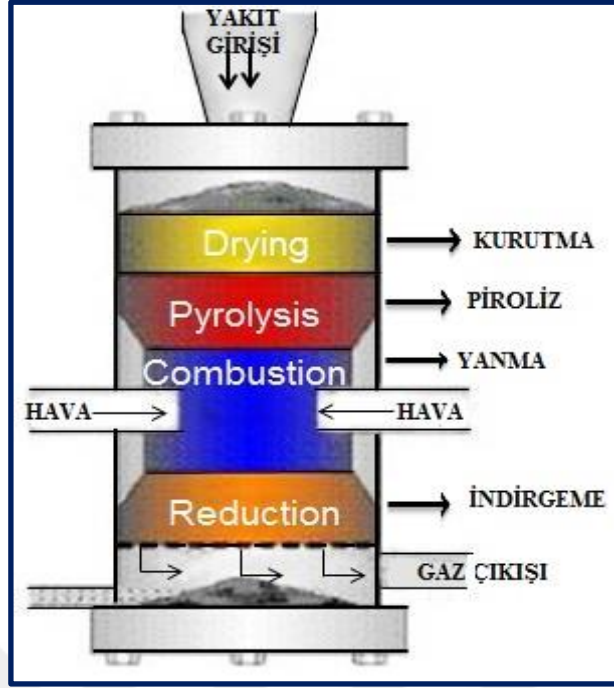
Yukarıdaki detaylar incelendiğinde, bu tarz reaktörlerin kullanımının odun kömürü yapımına daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma prensibi kısaca aşağıda verilmiştir. Yakıt aşağı doğru inerken hava yan taraftan beslenir ortaya çıkan gaz yan taraftan çekilir, dolayısı ile gaz sıcaklığı çok fazla yüksek olur (700-900°C). Yakıt seçeneklerinde katran oranı düşük yakıt kullanılacak ise bu tarz reaktörler tercih edilebilir. Çok küçük ölçeklerde üretim imkânı sağlaması avantaj olarak değerlendirilebilir. Şekil 9: Karşıt akışlı gazlaştırıcı sistem şematik olarak gösterilmiştir.



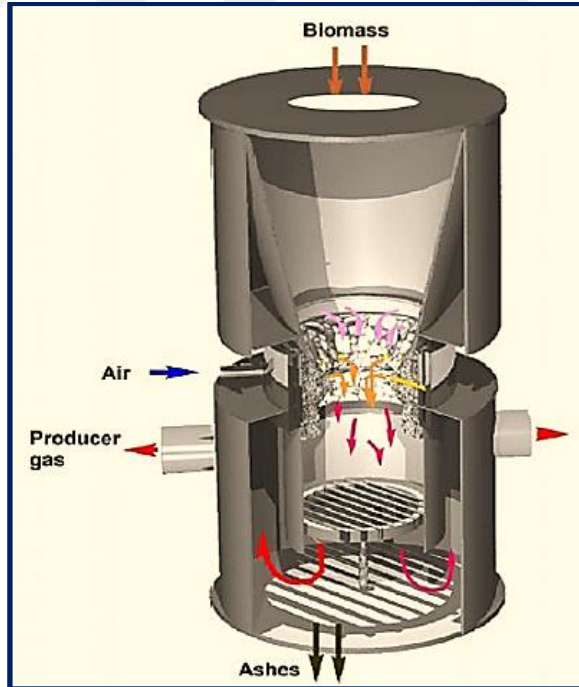
Şekil 9: Karşıt akışlı gazlaştırıcı (www.ems.psu.edu, 2011)

1.4.2.3. Aşağı akışlı gazlaştırıcı

Aşağı akışlı reaktörlerde sisteme hava reaktörün orta kısmı yani yanma bölgesinden beslenmektedir. Üretilen gazın çıkışı da aşağıdan olmaktadır. Şekil 10'de bu tip bir gazlaştırıcı görülmektedir. Bu şekilde bir tasarım yapmaktaki amaç damıtma ünitesinde ortaya çıkan katran, yağlar ve buhar yüksek sıcaklığa sahip olmadığı için, sistemin tasarımı gereği oluşan gaz öncelikle yanma bölgesinden geçecektir. Yanma bölgesinde biyokütle yüksek sıcaklıktan geçerken parçalanarak önemli bir kısmı gaza dönüşür. Bu sayede üretilen gaz içerisindeki katran oranı düşürülmüş olur. Tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisi yanma bölgesi, hava girişi, boğaz tasarımı ve ızgara tasarımlarıdır. Aşağı akışlı gazlaştırıcılarda kullanılan yakıtın, kül, nem cüruf oranlarının yüksek olması, gazlaştırma için çok uygun değildir. Kullanılacak biyokütle yakıtın nem oranının tasarımda öngörülen değerlerin üzerinde olması durumunda bu gazlaştırıcının kullanılmaması gerekir. Yakıtın kül oranının yüksek olduğu durumlarda uygun ızgara tasarımının yapılması ve mevcut ile değiştirmesi gereklidir. Bu tür bir reaktörün detayları şematik olarak Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 10: Aşağı akışlı gazlaştırıcı (www.ems.psu.edu, 2011)



Şekil 11: Aşağı akışlı reaktör detayı (www.emispec.ca)

2. AKIŞKAN YATAK VE SABİT YATAK GAZLAŞTIRICI SİSTEMLERDE VERİM VE PERFORMANAS KİYASLANMASI

2.1. Akışkan Yatak Gazlaştırıcılar

2.1.1.1. Akışkan yatak avantajları

- Reaktörde biyoyakıt hava karşım oranının uygun değerlerde tutulması oluşacak reaksiyonun istenilen yüksek sıcaklıkların gerçekleşmesini sağlayarak gaz üretim verimini artıracaktır.
- Bazı biyoyakıtlar, nem ve kül oranları yüksek olmasına rağmen, reaktörde revizyon yapmaya gerek kalmadan gazlaştırılabilir.
- Akışkanlığın artırılması için biyokütleyle kireç taşı ve kum gibi maddeler ilave edilir. Bu da kül ergime sıcaklığına etki eder ve düşürür. Kül erime sıcaklığı düşük olduğundan, sistemin bakımı ekonomik olarak avantajlıdır.

2.1.1.2. Akışkan yatak dezavantajları

- Akışkan yataklı sistemlerde, akışkanlığı sağlamak için sistem, içerisine kum vb. maddeler konduğundan elde edilen gaz içeriğinde toz ve katran bulunmaktadır.
- Biyoyakıtın reaktör içerisinde fazla kalması nedeniyle istenilenden daha fazla yanma gerçekleşir.
- Akışkan yataklı sistemler kontrol açısından diğer sistemlere nazaran daha karmaşık ve fazla donanım barındırdığından sistem arızaları sorunları vardır.

2.2. Sabit yatak gazlaştırıcılar

2.2.1.1. Yukarı akışlı gazlaştırıcı avantajları

- Sabit yataklı sistemlerin tasarımı, imal edilmesi ve devreye alınması diğer sistemlere nazaran çok kolaydır.
- Sabit yataklı sistemlerin ısı verimi yüksektir.
- Bu tarz sistemler basittir. Donanımları azdır. Geliştirilmesi ve basite indirgenmesi kolaydır.
- Sabit yataklı sistemlerde biyoyakıtın tanecik boyutu akışkan yataklı sistemlere nazaran büyüktür ve tolerans değerleri yüksektir.
- Reaktör içerisinde kurutma bölgesi vardır. Nem oranı fazla olan biyoyakıtlar kullanılabilir (Sharma, 2012).

2.2.1.2. Yukarı akışlı gazlaştırıcı dezavantajları

- Sabit yataklı sistemlerde katran oranının fazla olması büyük bir dezavantaj olarak sayılabilir.
- Sistem kapasiteleri küçüktür, deneysel veya küçük işletmeler için daha uygundur.

2.2.1.3. Aşağı akışlı gazlaştırıcı avantajları

- Donanım sayısı azdır. Tasarımı ve imal edilmesi kolaydır.
- Değişik biyoyakıtlar kullanılabilir.
- Elde edilen gazda, katran ve parçacık oranları azdır.
- Reaktör içerisine giren biyoyakıtın, karbon yanma oranının yüksektir.
- Elde edilen gazın verimi yüksektir.

2.2.1.4. Aşağı akışlı gazlaştırıcı dezavantajları

- Bu tarz sistemlerde reaktör içerisindeki yakıtın homojenliği çok önemlidir, aksi durumlarda reaksiyon verimliliği açısından sıkıntılar oluşur.
- Sistem boyutları küçüktür.
- Ticari kullanımlarda tercih edilmez.
- Reaktör içerisinde külün tutunduğu elek kısmında, külün erimesi ile sistem veriminin ve kapasitesi düşer.

Biyoyakıtın enerji döngüsünde farklı tip gazlaştırıcı sistemlerin kullanılması sonucu birçok farklı değer elde edilmiştir. Tablo 1: Gazlaştırıcı Sistemlerin Teknik Verileri ile ilgili bazı değerler aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Gazlaştırıcı Sistemlerin Teknik Verileri (Nayır, 2012)

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

Çeşitli gazlaştırıcı sistemlerin kullanılması sonucunda elde edilen biyoyakıtın enerji döngü özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Bilindiği üzere elde edilen gazın özelliklerine göre ve kalitesine göre sistemler tasarlanmaktadır. Bu veriler ışığında ihtiyaç olan gazın özelliklerine göre sistem seçilebilir.

Tablo 2: Gazlaştırıcı Sistemlerinin Gaz Özellikleri (Nayır, 2012)

	Sabit yatak			Akışkan yatak	
	Yukarı akışlı	Aşağı akışlı	Karşıt akışlı	Kabarcıklı	Dolaşımli
Katran içeriği	Çok yüksek	Çok düşük	Çok yüksek	Orta	Düşük
Partikül içeriği	İyi	Orta	Yüksek	Çok yüksek	Çok yüksek

Tablo 3: Gazlaştırıcı Sistemlerinin Karşılaştırılması (Nayır, 2012)

	Sabit yatak			Akışkan yatak	
	Yukarı akışlı	Aşağı akışlı	Karşıt akışlı	Kabarcıklı	Dolaşımli
Yakıt besleme özellikleri	Sınırlı	Özel	Sınırlı	Esnek	Esnek
Yakıtın karıştırılması	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi
Yakıt boyutu esnekliği	Çok iyi	İyi	İyi	Orta	Orta
Yakıtın nem esnekliği	Çok iyi	Orta	İyi	İyi	İyi
Kül besleme esnekliği	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi

Tablo 4: Reaktörlerin Karşılaştırılması (Nayır, 2012)

	Sabit yatak			Akışkan yatak	
	Yukarı akışlı	Aşağı akışlı	Karşıt akışlı	Kabarcıklı	Dolaşımli
Geri dönüş oranı	+	+	+	++	+
Ölçeklendirme	+	-	-	+	++
Çalıştırma kolaylığı	-	-	-	+	+
Kontrol kolaylığı	++	++	++	+	+
Güvenlik maliyeti	++	-	-	+	+

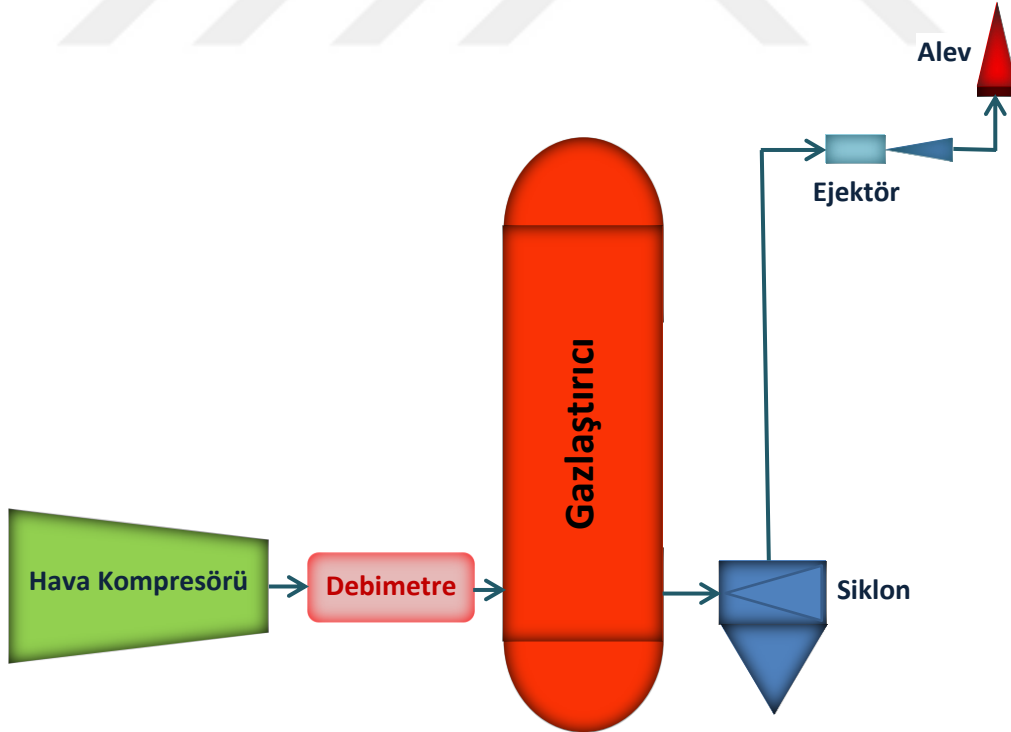
Tablo 5: Gazlaştırıcı Verimleri (Nayır, 2012)

	Sabit yatak			Akışkan yatak	
	Yukarı akışlı	Aşağı akışlı	Karşıt akışlı	Kabarcıklı	Dolaşımli
Karbon dönüşümü	++	++	-	+	++
İsıl verim	++	++	+	+	++
Gaz alt ısıl değeri	-	-	-	-	+

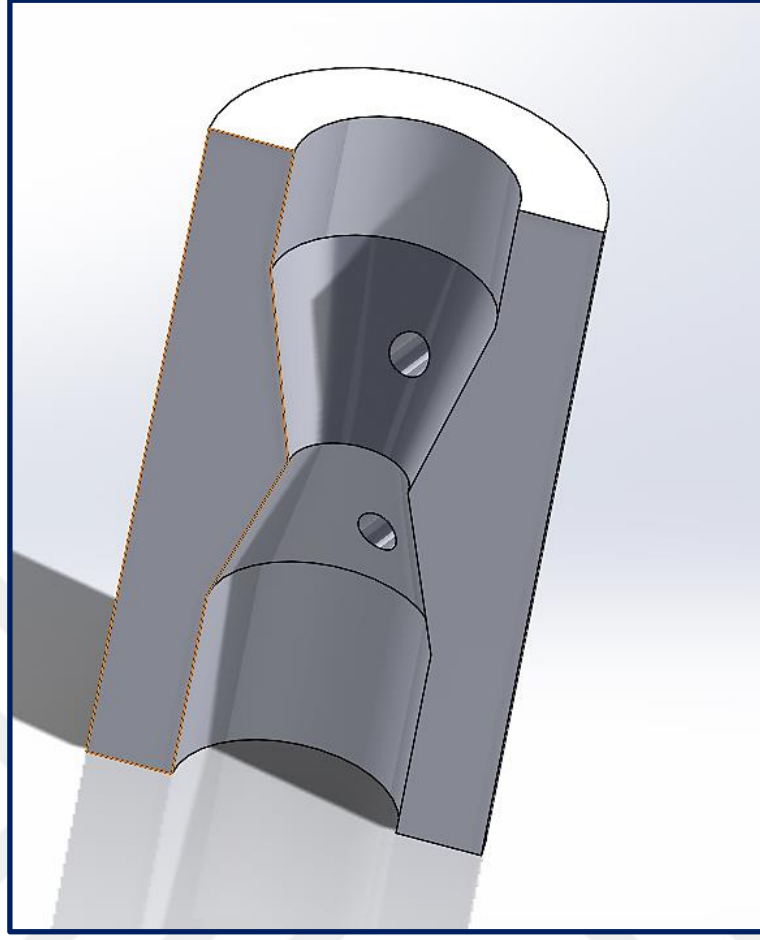
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmamızda kullanılan aşağı akışlı gazlaştırıcı sistemi daha önce çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada sistemde revizyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Revizyon işlemleri yapılmadan önce sistemin düzenli çalışmasını sağlamak için çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir.

Sistemin çalışma prensibi Şekil 12’de gösterilmiştir. Sistemimiz genel olarak hava, hava besleme cihazı, debimetre, reaktör, siklon, ejektör, bacadan oluşmaktadır. Hava besleme cihazından beslenen hava reaktör içerisine, debimetre ile kontrol edilerek gönderilir. Reaktör 400°C kadar ısıtılmıştır. Reaktör içerisindeki orman atıkları, gazlaşmaya başlar. Oluşan gaz siklondan geçerek partiküller tutulur. Katran oluşumu nedeniyle meydana gelebilecek tıkanmaların önlenmesi ejektör ile vakum yapılır. Analizi yapılan gaz bacada yakılır (Galindo & Silva, 2013), (Margariti & Grammelis, 2012).



Şekil 12: Gazlaştırıcının Şematik Gösterimi



Şekil 13: Revizyonu yapılan reaktörün Solidworks görüntüsü

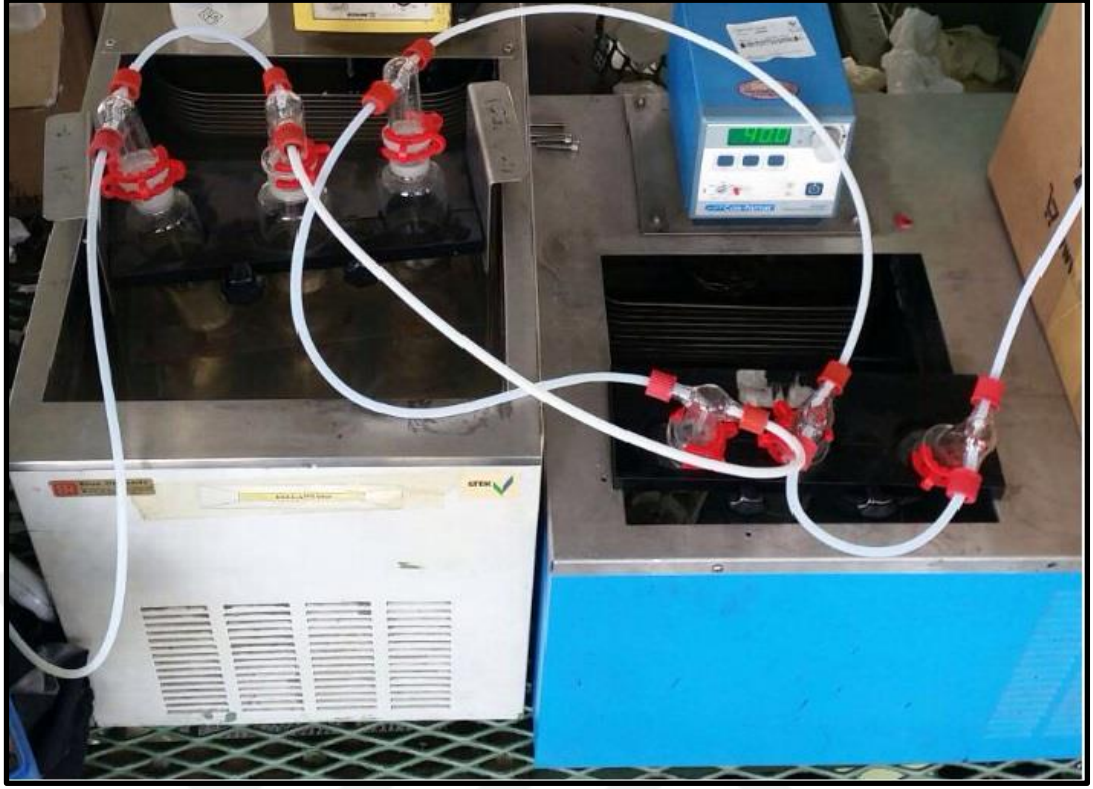
Revizyonu yapılan kurulu sistemde bulunan gazlaştırıcı reaktörün şematik görüntüsü Şekil 13’de verilmiştir. Sistem yakıt kapasitesi 10 kg/saat olarak tasarlanmıştır. Reaktörün ölçüleri; yüksekliği: 420 mm, çapı: 70 mm’dir. Reaktörün imal edildiği malzeme; 3 mm kalınlığında AISI 310S kalitesinde paslanmaz çeliktir. Reaktör içerisinde 6 adet püskürtücü başlık aracılığı ile hava beslenecek şekilde tasarlanmıştır. Gazlaştırıcının boğaz bölgesinin sıcaklığını ölçmek için K tipi 6 mm kalınlığında ısı çifti (termokupul) seçilmiştir.



Resim 2: Revizyon sonucu üretilen siklon

Reaktör içerisinde çıkan gazın içerisinde bulunan partikülleri yakalamak için bir siklon üzerinde revizyonlar yapılmıştır. Siklon malzemesi 3 mm kalınlığında AISI 310S kalitesinde paslanmaz çelikten yapılmıştır. Revizyonu yapılarak üretilen siklonun görüntüsü Resim 2’de verilmiştir.

Siklondan çıkan gazın sıcaklığını düşürmek için bir adet soğutucu kullanılmıştır. Soğutucu iki parçadan oluşmaktadır. Parçalardan biri sıcak gaz, diğeri ise soğuk su içindir. Gazı soğutmak için 1°C sıcaklığındaki su dolaşımı sağlayan bir düzeneğe sağlanmıştır. Resim 3’de görüldüğü gibi sıcak gaz su sıcaklığı kontrollü olarak sağlanan cam beherlerden oluşan su banyosu içinden geçerek istenilen sıcaklığa düşürülmüştür.



Resim 3: Soğutmalı su banyosu

Soğutmalı su banyosundan çıkan gaz perlit-yatak sütununa girer. Perlit-yatak gaz içerisinde bulunan katran ve nemi emmek üzere kullanılır. Sütun 50 mm çapında 1,5 mm et kalınlığında cam kullanılarak yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce sistemin soğutulması için soğutucu düzenek çalıştırılmıştır.

Reaktör Resim 4’de görüldüğü gibi LPG yakıtla çalışan brülör kullanılarak 400°C ye kadar ısıtılmıştır.

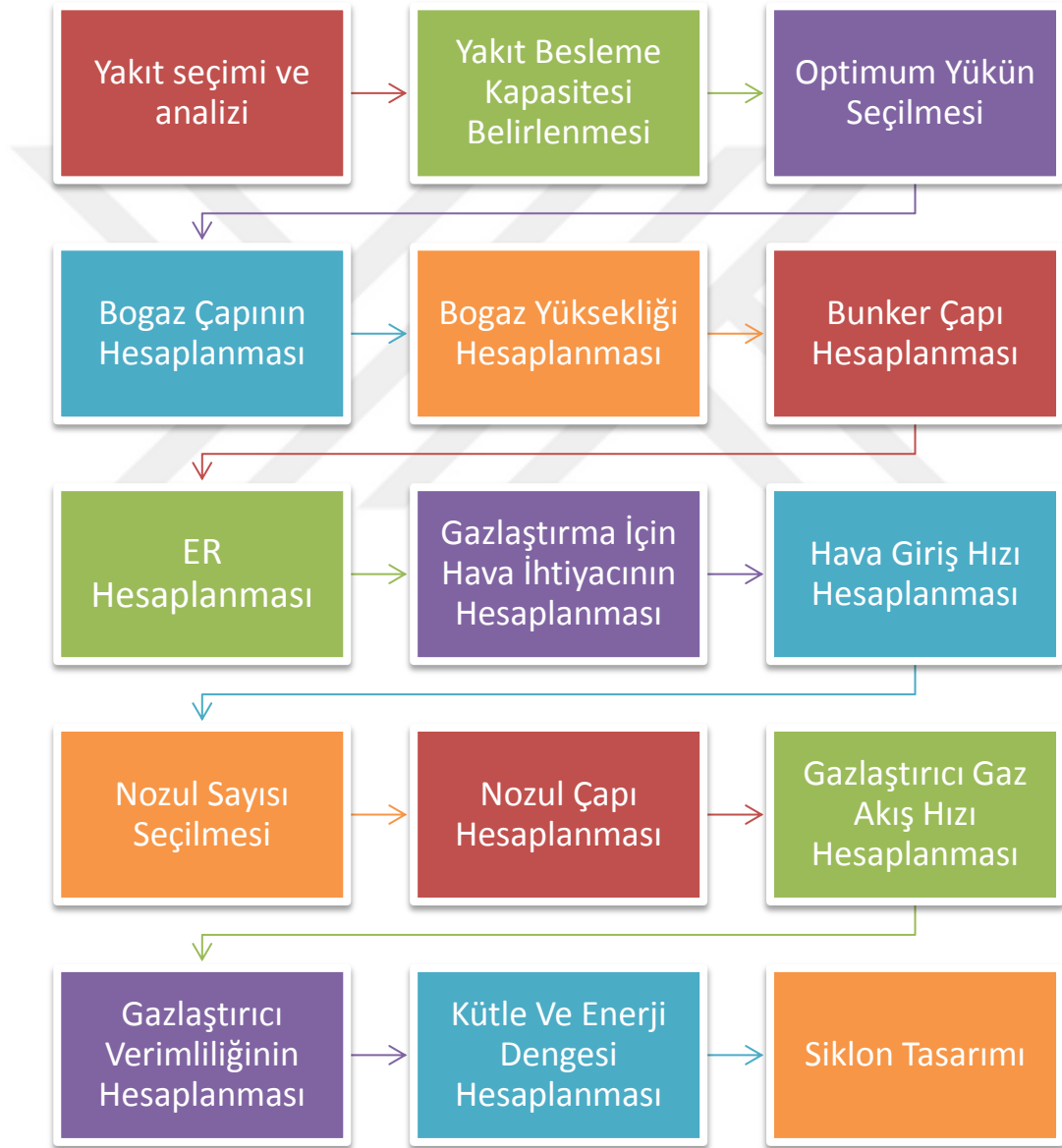


Resim 4: Ateşleyişi ve Isıtıcı Brülör

Yukarıda bahsedilen çalışmaları takiben reaktörün üstündeki küresel vana açılarak içeriye 10 kg orman atığı beslenmiştir. Bu esnada sisteme hava beslenmeye devam edilmiştir. Bu işlemlerin gerçekleşmesi esnasında sistem kararsız bir yapıya sahip olduğundan sistemin çökmemesi için hava ve biyoyakıt besleme oranlarına dikkat edilmiştir. Bu işlem sıcaklık takip edilerek kontrol sağlanmıştır.

3.1. Gazlaştırma Proses Adımları

Bu projede uygulanan gazlaştırma proses adımları aşağıda Şekil 14’de verilmiştir. Süreçteki her adımın yani proses parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin uygun yapılması ve optimizasyonu elde edilecek gazın kalitesini ve verimini de belirleyecektir.



Şekil 14: Gazlaştırma proses adımları.

3.1.1. Yakıt seçimi ve analizi

Orman atıkları ve biyoyakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı olması nedeniyle yakıt seçimi ve dolayısıyla bunların analizi sistem seçiminde önem arz etmektedir. Bunlara bağlı olarak biyoyakıtın türü hava oranı ve reaksiyon süresinde değişiklik yapabilir (Liu & Fan, 2016).

Bu çalışmada orman atıkları biyoyakıt olarak seçildiği için sistem revizyonu da buna göre yapılmıştır. Önce orman atıklarının elementel analizi gerçekleştirilerek yakıtın kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Sitemde kullandığımız orman atıklarının analizlerin TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elementel analiz için kullanılan cihazı Resim 5’de görülmektedir ve çalışma prensibi aşağıda verilmiştir.

Yakma, kromatografik ayırma ve ısı iletkenlik detektörü ile ölçüm yapılır. Sıcaklıkları 1100°C ve 800°C ‘de iki fırından oluşmaktadır. Fırınların içindeki kuvarz yakma tüpleri vardır. Numunelerin, tartılarak, ağırlıkları kaydedilir, tartılma işlemi otomatik gerçekleşir. Örnekleyiciye koyulan kalay kapsülde bulunan örnekler, otomatik olarak yakma reaktörlerinin içine yollar. Bu işlemde önce bir miktarda oksijen gazı oksidatif ortamı sağlamak için içeriye gönderilir. Analizi yapılacak numunede bulunan C, H, N, S elementleri, CO₂, N₂, H₂O ve SO₂ gazlarına dönüşür. Gazlar bir detektöre ulaşması için, helyum gazı kullanılır. Gazlar 2 m’lik bir kromatografi kolonu ile ayrılır. Sırayla ısı iletkenlik detektöründe ölçülür. Yanma ürünleri, seyreltme yapmadan detektöre gönderilir. Bunun nedeni ise katalizörün durumunu belirlemektir (www.terralab.com.tr, 2016).



Resim 5: Elementel Analiz Cihazı

Nem, kül, uçucu madde, sabit karbon ve toplam kükürt ağırlık oranları ASTM standartlarına (www.astm.org) göre belirlenmiş ve sonuçları aşağıda Tablo 6'da verilmiştir. Ayrıca elementel analiz sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6: Analiz sonuçları.

ANALİZLER	BİRİMİ	ANALİZ SONUÇLARI		YÖNTEM
		(Orijinal Bazda)	(Kuru Bazda)	
NEM	% ağı.	10,33	-	ASTM E 1755
KÜL	% ağı.	8,5	9,47	ASTM E 1755
UÇUCU MADDE	% ağı.	65,56	73,1	ASTM E 1755
SABİT KARBON	% ağı.	15,63	17,42	*
TOPLAM KÜKÜRT	% ağı.	0,18	0,2	ASTM D 4239
ALT ISIL DEĞER	cal/g	3671	4158	ASTM D 5865 ISO 1928
ÜST ISIL DEĞER	cal/g	3976	4433	ASTM D 5865

Tablo 7: Elementel analizi sonuçları.

ANALİZLER	BİRİMİ	ANALİZ SONUÇLARI (Kuru Bazda)	YÖNTEM
C (Karbon)	%	43,02	ASTM D 5373
H (Hidrojen)	%	4,44	ASTM D 5373
N (Azot)	%	0,48	ASTM D 5373
S (Kükürt)	%	0,2	ASTM D 4239
Kül	%	9,47	ASTM D 7582
O (Oksijen)	%	42,39	**

3.1.2. Yakıt besleme kapasitesinin belirlenmesi

Gazlaştırıcının kapasitesi (biyokütle besleme miktarı) 10 kg olarak tasarlanmıştır. Besleme yapıldıktan sonra gazlaştırma işlemi bir saat sürede tamamlanmıştır. Yüksek besleme oranlarının sıcaklığa etkisi ile cüruf ve klinker (sertleşmiş cüruf) oluşumu meydana gelir. Bu durum piroliz bölgesini etkiler ve hava yakıt oranının artmasına ve piroliz bölgesinde sıcaklığın artmasına neden olur. Böylece yatakta gereğinden fazla yanma gerçekleşir. Bu istenmeyen bir durumdur. Yani, gazlaştırma beklenirken fazladan yanma oluşur.

3.1.3. Optimum yükün seçilmesi

Aşağı akışlı gazlaştırıcı tasarımın önemli parametrelerden biride reaktör kapasitesi seçimidir (Yinesor, 2008). Reaktör kapasitesi, yakıt besleme oranının boğaz bölgesindeki yüzey alanına bölümü ile elde edilir. Alternatif olarak normal koşullarda gaz üretim oranının boğaz yüzey alanına oranı ile de tarif edilebilir (Mendibur & Carvalho Jr, 2014). Bu çalışmada sistem tek yüklemeyle yapılmış olmakla beraber, sürekli besleme yapılmış olsaydı aşağıda verilen veriler kullanılarak biyokütle miktarı ve hızı hesaplanır.

Reaktör yükü	: RY (kg)	
Boğaz bölgesi yüzey alanı	: $BBYA = \pi(BÇ)^2/4$, (cm ²)	(1)
Boğaz Çapı	: BÇ (mm)	
Yakıt Besleme Oranı	: YBO	
Reaktör Yükü	: $RY = YBO/BBYA$ (kg/cm ² ·h)	(2)

Bu çalışmada kullanılan sistemin maksimum reaktör yükü değeri 0.36 kg/cm²·h (0,9 Nm³/cm²·h) olarak belirlenmiştir. Reaktör yükü için daha yüksek değerler seçmek redüksiyon bölgesi üzerinde yüksek basınç düşüşüne neden olur. Minimum reaktör kapasitesi 0.06 kg/cm²·h (0.15 Nm³/cm²·h)'den daha düşük bir değer seçmek, üründe yüksek katran oluşumuna neden olur.

3.1.4. Boğaz çapının hesaplanması

Temel gazlaştırma reaksiyonları boğaz bölgesinde gerçekleştiğinden çapının doğru belirlenmesi önemlidir. Düşük boğaz çapları yanma ve redüksiyon bölgelerinde gaz hızlarının yüksek olmasına neden olur. Bu durum katranı azaltırken sistem içerisindeki partiküllerde artış meydana gelir. Büyük boğaz çapı ise daha derin bir biyokütle yatağına neden olur. İndirgeme bölgesinde sıcak bölgeler oluşumuna neden olan aşırı basınç düşüşleri gözlenir. Boğaz bölgesi yüzey alanı (BBYA) kullanılarak boğaz çapı hesaplanır.

3.1.5. Bunker (Yakıt Bölmesi) çapı hesaplanması

Yükün düzgün olarak akışını sağlamak için bunker çapı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiş ve boğaz bölgesinin çapından 3 kat fazla olması gerektiği belirlenmiştir. Bu sonuca revizyon aşamalarında yapılan denemeler sonucunda ulaşılmıştır.

3.1.6. ER hesaplanması

ER (Equivalence Ratio) stokiyometrik olarak 1 kg biokütle için gerekli olan oksijen oranıdır. ER gazlaştırmanın gerçekleşmesi için gerekli olan hava oranını belirler. Gazlaştırma için uygun değer ER 0,21 olarak hesaplanmıştır. ER Tablo 9’ da verilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır.

Stokiyometrik oksijen miktarı bulunduğundan sonra sisteme beslenen oksijen ve yakıt debileri bilindiği için ER değeri aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$ER = \frac{m_{\text{oksijen}}}{m_{\text{yakıt}} \cdot m_{O_2}} \quad (3)$$

m_{oksijen} = Beslenen kütleli oksijen debisi (kg/s)

$m_{\text{yakıt}}$ = Beslenen yakıt debisi (kg/s)

m_{O_2} = Stokiyometrik oksijen miktarı (kg oksijen/kg yakıt)

Hesaplama ile ilgili excel sayfası Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: ER Hesaplama excel sayfası

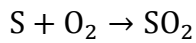
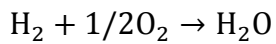
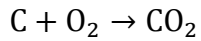
Element	Orijinal analiz (% ağırlık)	İndirgenmiş Analiz (% ağırlık)
C	x	$\frac{x}{(100 - k)/100}$
H	y	$\frac{y}{(100 - k)/100}$
O	z	$\frac{z}{(100 - k)/100}$
N	v	$\frac{v}{(100 - k)/100}$
S	w	$\frac{w}{(100 - k)/100}$
Nem	z	$\frac{z}{(100 - k)/100}$
Kül	k	0

Tablo 9: Hesaplanan ER sonuçları

	% Ağırlık	
	Kurutulmuş	Orijinal
C	43,02	38,6
H	4,44	4
O	42,39	38
N	0,48	1,3
S	0	0
Nem	10,33	10,3
Kül	8,5	7,62
Stokiyometrik O₂	0,97	Kg/kg yakıt
Toplam oksijen debisi	9,67	Kg/kg yakıt
Toplam Hava debisi	42,05	Kg/kg yakıt
Verilen Hava Debisi	9	Kg/h hava
ER	0,21	

3.1.7. Gazlaştırma için hava ihtiyacının hesaplanması

Nozüllerin çaplarını bulmak için, biokütleyi gazlaştırmak için gerekli olan hava miktarını bilmemiz gerekmektedir. Buna göre nozül çapları bulunur. Gerekli oran hava miktarı için öncelikle ER =1 iken gerekli hava miktarını bulmalıyız (Jaojaruek, 2014), (Hayati & Ulku, 1998).



Stokiyometrik hava miktarı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$8,89 C + 26,7 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 3,34 S \quad (4)$$

Bu formülde C, H, O ve S de karbon, hidrojen, oksijen ve sülfürün, kütle akış oranlarıdır.

Gerekli bilgiler formüle konulduğunda;

Stokiyometrik hava ihtiyacı = kg hava/kg yakıt şeklinde bulunur.

Yanma için toplam hava ihtiyacı = (YBO) x (stokiyometrik hava ihtiyacı)

YBO= yakıt besleme oranı (kg/h)

Sonuç olarak seçilen ER'ye göre gazlaştırma için gerekli olan hava akış oranı aşağıda verilen eşitlik kullanılarak belirlenir (Sheth, 2015).

$$Q_a = m_a / \rho_a \quad (5)$$

Q_a = hava akış oranı

m_a = Gazlaştırma için gerekli olan hava (kg/h)

m_a = Yanma için gerekli olan toplam hava X seçilmiş olan ER oranı

ρ_a = hava yoğunluğu 25 °C (kg/m³)

3.1.8. Hava giriş hızı hesaplanması

Hava hızı 10-30 m/sn aralığındadır. Bu değere revizyon aşamasında yaptığımız denemeler ile ulaşılmıştır. Sonuçların ölçülmesinde Resim 6'daki debimetre kullanılmıştır. Eğer yüksek hava hızı seçilir ise yatak da aşırı basınç farkı oluşmaktadır. Bu da, hot spot oluşumuna neden olur. Eğer düşük hız seçilir ise hava biokütle yatağının içerisine nüfus edemez. Hava hızı V_a simgesi ile gösterilir.



Resim 6: Debimetre

3.1.9. Nozül sayısı

Yanma bölgesinin etrafı hava nozülleri ile çevrelendiği için nozüllerin tasarımı çok önemlidir. Çıkıntılı nozüller tehlike arz eder, yakıt yüklenirken reaktör içerisinde engel teşkil eder ve yükleme sorunlarını doğurur. Nozül sayısı genelde 1-10 arası değişiklik göstermektedir, nozül sayısı sistemin kapasitesi ve biyoyakıtın cinsine göre değişiklik gösterebilir (Olgun, Doğru, & Howarth, 2010), (Zhong, Lan, & Gao, 2014).

3.1.10. Nozül çapı hesaplanması

Nozül çapı önce toplam nozül alanı belirlenerek, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Wei, 2005).

$$TA_n = Q_a / V_a \quad (6)$$

TA_n = Nozül orifisinin toplam alanı (m²)

Q_a = Hava debisi (m³/s)

V_a = Reaktör içerisindeki hava hızı (m/sn)

Q_a ve V_a formülde yerlerine konarak hesaplandığında, nozüllerin iç çapı toplam alanları bulunmuş olur.

Nozül çapı ise aşağıda verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$A_n = TA_n / n_n \quad (7)$$

A_n = nozül alanı

n_n = nozül sayısı

Sistemimizde kullanılan nozül sayısı 6 adettir ve çapları 2 mm olarak belirlenmiştir.

3.1.11. Gazlaştırmada gaz akış hızı hesaplanması

Gaz debisi, kütle balasını ve gazlaştırıcı verimliliğini tahmin etmek için hesaplanır.

Gaz debisinin nitrojen balansı üzerinden hesaplaması yapılır. Ürün olarak çıkan gazın içerisindeki kütleli nitrojen debisi, biyokütle içerisindeki nitrojen kütlesi ve hava içerisindeki toplam kütleli nitrojen debisine eşittir.

$$m_{N_{2gaz}} = m_{N_{2air}} + m_{N_{2biokütle}} \quad (8)$$

Biokütle içerisindeki nitrojen oranı % 0,2 den azdır. Bu nedenle şu şekilde varsayım yapılabilir;

$$m_{N_{2biokütle}} \approx 0$$

Böylelikle;

$$m_{N_{2gaz}} = m_{N_{2hava}}$$

$$m_{N_{2hava}} = n_{N_2} * M_{hava} * Er \quad (9)$$

n_{N_2} =Hava içerisindeki molar nitrojen

M_{hava} =Havanın moleküler ağırlığı

$$V_{N_2} = m_{N_2\text{gaz}} / \rho_{N_2} \quad (10)$$

Varsayım = Sisteme giren havanın %78 si N2 olarak kabul edilir.

GD = Gaz debisi (Nm³/h) (normal m³ / h)

3.1.12. Gazlaştırıcı verimliliğinin hesaplanması

Gazlaştırıcının, verimliliği aşağıda gösterildiği hesaplanır.

η = gazlaştırıcı verimliliği

$$\eta = \frac{GD \times H_g}{YBO \times H_f} \quad (11)$$

GD Hava (gaz) debisi

H_g = LHV gaz için

YBO = yakıt besleme oranı

H_f = LHV (lower heating value, alt ısı değer) biyokütle için;

3.1.13. Kütle ve enerji dengesinin belirlenmesi

Bir sistemin kütle balansı, girdiler ve çıktılardan oluşur. Oluşturulan bu kütle balans bilgisi gazlaştırma deneyinin bir parçası olarak kullanılır. Kütle balansı şunları içerir; gazlaştırıcı hava debisi, yakıt debisi ve süreç çıktısı olan kül debisinden oluşur. Ek olarak reaktörde %3 -10 arası ısı kaybı oluşur. Çıkan kütledeki ısı ve reaktör de oluşan ısı kaybından, varsayım yapılarak bu şekilde bir sonuca varılmıştır.

- Enerji girdisi;

$$Q=YBO \times H_f \text{ (MJ)}$$

- Enerji çıktıları;

Gaz enerji çıktısı,

$$Q_{\text{çikti}} = GD \times H_g \text{ (MJ)}$$

Kül ve katran ile atılan enerji;

$$m_c = \text{kül ağırlığı (kg)}$$

Varsayım; Beslenen biokütlede % 1 oranında kül oluşur.

$c_c = \text{LHV kül için}$

$c_c = \text{LHV (MJ/kg)}$

$c_c = 25 \text{ MJ/kg}$

LHV = Lower Heating Value (alt ısıl değeri)

3.1.14. Siklon tasarımı

Siklon sistem içerideki gazdan partikülleri temizlemek için kullanılan bir sistemdir. Siklon tasarımı aşağıdaki adımlar izlenerek yapılır (Yinesor, 2008) , (Patil & Huhnke, 2011).

- a) Siklon içerisindeki gaz hızını tahmin etmek için içerdeki gaz hızı genelde 20-30 m/sn alınır.
- b) Tablo 10'dan yararlanarak siklon tipi seçilir ve tasarım tipine göre katsayılar belirlenir.
- c) Katsayılar göre aşağıdaki formüllerde kullanılarak siklon tipi oluşturulur.

Siklonun şematik görüntüsü ve tasarımda kullanılan boyutları Şekil 15'de verilmiştir. Siklon iç alanı aşağıda verilen formülle hesaplanır (Yinesor, 2008).

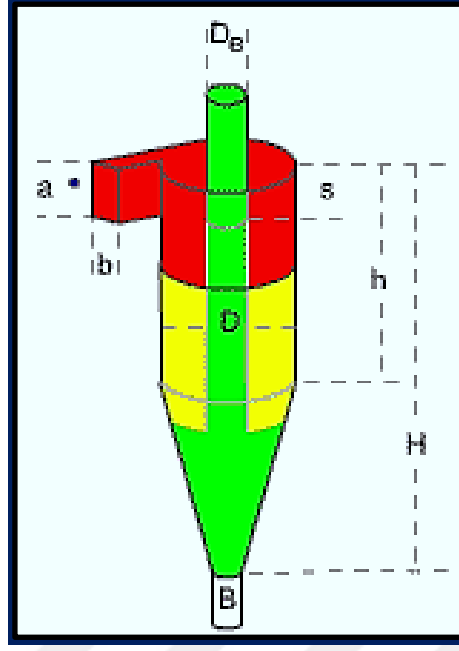
$$H \times W = GD / V \tag{12}$$

GD = gaz debisi (Nm³/h)

V= içerdeki gaz hızı (m/sn)

Tablo 10: Siklon Tasarım ve Revizyon Tablosu (www.aerosol.ees.ufl.edu)

			Yüksek verim		Orta Verimlilik	Genel Amaçlı	
Sembol	Çeşit		Stairmand	Swift	Shephard & Lapple	Swift	Peterson & Whitby
D	Gövde çapı		1	1	1	1	1
a	Giriş yüksekliği	$K_a = a/D$	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	Giriş genişliği	$K_b = b/D$	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
s	Çıkış uzunluğu	$K_s = S/D$	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
D_e	Gaz çıkış çapı	$K_{de} = D_e/D$	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	Silindir yüksekliği	$K_h = h/D$	1,50	1,40	2,00	1,75	1,33
H	Toplam yükseklik	$K_H = H/D$	4,00	3,90	4,00	3,75	3,17
B	Toz çıkış çapı	$K_B = B/D$	0.375	0,40	0.25	0,40	0,50
K	Bıçım No		551,30	699.2	402.9	381,80	342,30
N_H	Girişi hızı (kafa kısmı)		6,40	9,24	8,00	8,00	7,76
surf	Yüzey parametresi		3,67	3,57	3,78	3,65	3,20
K/N_{Hsurf}			23,50	21,20	13,30	13,10	13,80



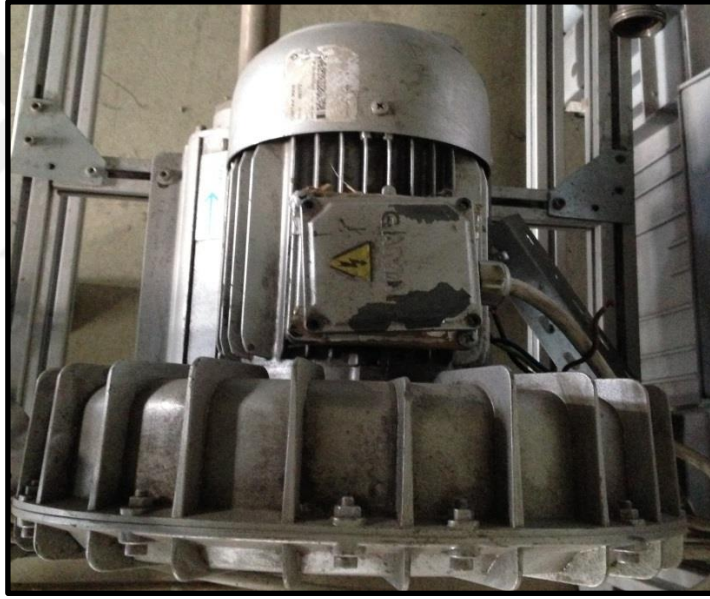
Şekil 15: Siklon tasarım örneği (www.aerosol.ees.ufl.edu)

3.2. Deneysel Yöntem

Sabit yatak gazlaştırıcı sistemi genel olarak reaktör, siklon ve gaz temizleme sisteminden ibarettir.

Sitemin maksimum termal kapasitesi Tablo 11’de gösterildiği gibi 42,62 kWt/h olarak tayin edilmiştir. Çalışmaların ilk etabında yapılan deneylerde istenmeyen partiküllerin siklonda tutulmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle sistemde kullanılan siklon yeniden tasarlanarak yukarıda verilen bilgilere de dayanarak revize edilmiştir.

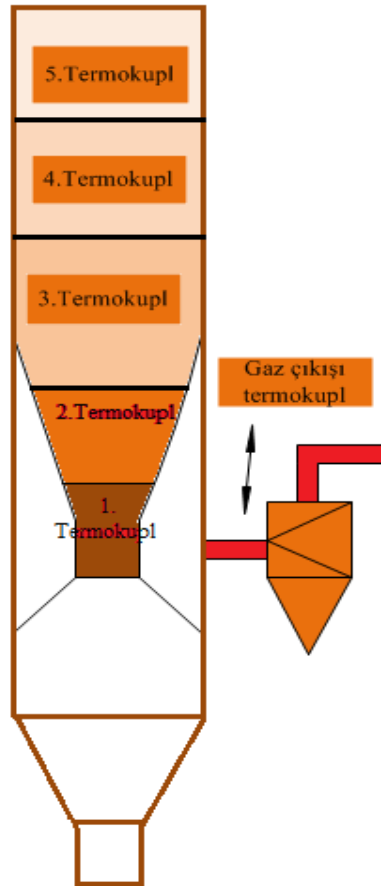
Reaktörde üretilen gazın bu sistemin içinden geçmesi ve akışın devam ettirebilmesi için sisteme beslenen hava 0.25 kW gücünde elektrik motoru ile 60 mbar basınçta ve 100 m³/saat hava akışı sağlanır. Resim 7: Reaktör hava besleme Cihazı görülmektedir.



Resim 7: Reaktör hava besleme cihazı

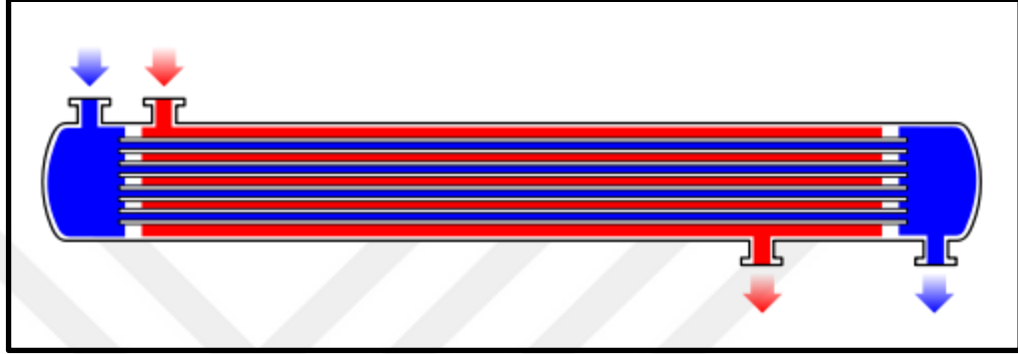
Sistemim ısı geçişi olan her yeri (reaktörde dâhil) 60 mm kalınlıkta taş yünü ile kaplanmış ve ısı kayıplarının önüne geçilmiş ve sistemin istikrarlı çalışması sağlanmıştır. Reaktörde ilk ateşleme işlemini gerçekleştirmek üzere özel tasarlanan ve Resim 4’de görülen bir ateşleme sistemi kullanılmıştır. Bu sistem LPG ile çalışır ve 2,5 kW kapasiteli bir brülördür.

Ateşleyici reaktörün içerisinde iken alevin sönmesine karşı güvenlik önlemleri alınmış bir sistemdir, alevin sönmesi anında reaktörün içerisine gaz birikmesinden oluşabilecek patlamaların önüne geçmek için sistem otomatik olarak LPG tankından gazı keserek olası patlamalar önlenmiş olur. Sistem üzerinde sıcaklık ölçmek için termokupullar kullanılır. Reaktöre yerleştirilmiş olan K tipi termokupullar 5 ayrı noktada sistemin içerisindeki sıcaklıkları göstermektedir. T5 ve T4 kurutma bölümü sıcaklığını ölçmek için, T3 piroliz bölgesini, T2 oksidasyon bölgesi sıcaklığını ve T1 indirgeme bölgesi sıcaklığını ölçmek için kullanılır. Veri kaydedicileri ile sistem üzerinde bulunan sıcaklık anlık olarak ölçülmüştür. Veri kaydedici de ölçtüğümüz değerleri çevrimiçi olarak bilgisayarda görmekte ve kayıt altına almaktayız. Şekil 16: Sistemde kullanılan gösterilmiştir.

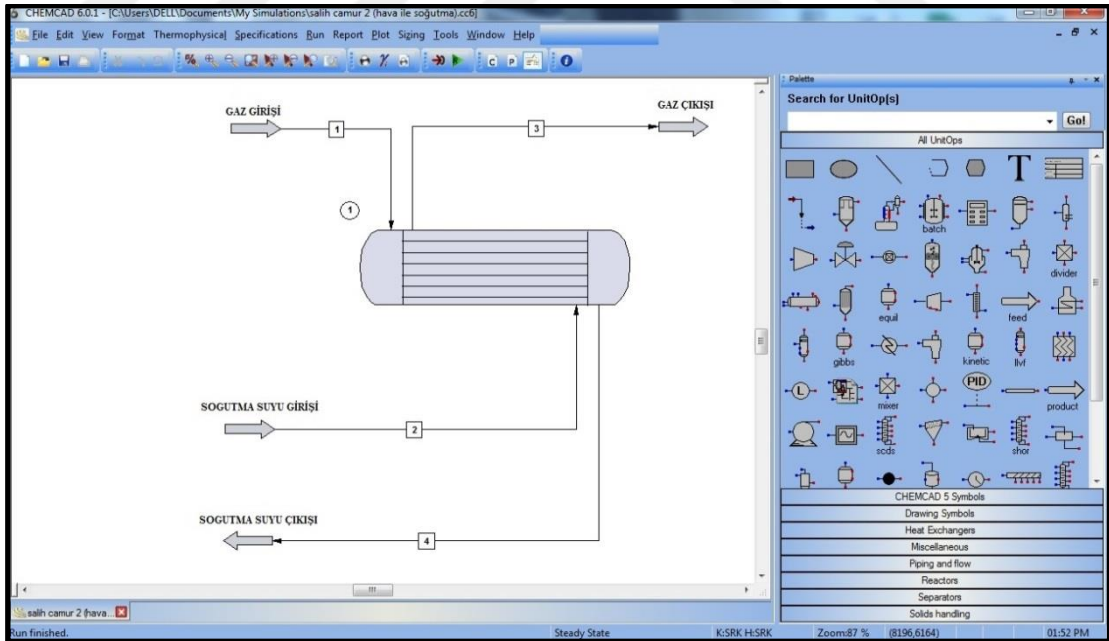


Şekil 16: Sistemde kullanılan termokupullar pozisyonları

Bu çalışmada aşağı akımlı reaktörde sistemi kullanıldığından üretilen gaz önce siklonda içerisindeki partiküllerden temizlenir. Arıtılan gazın soğutulması için Şekil 17’de görülen ısı değiştiriciden geçirilir ve 400°C, dan 40°C, kadar soğuması sağlanır. Gazın soğutulması için gerekli olan ısı değiştirici değerlerinin hesaplanmasında chemcad programı kullanılmıştır. Şekil 18: Chemcad programı ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 17: Isı değiştirici



Şekil 18: Chemcad programı ara yüzü

Daha sonra gaz temizleme sistemine girerek, akım yönünde ilerler, içerisindeki istenmeyen katranın ayrıştırılması için perlit kolonundan geçirilir ve buradan

temizlenmiş gaz çevrimiçi gaz analiz cihazına yönlendirilerek gaz içeriği tayin edilmiştir.

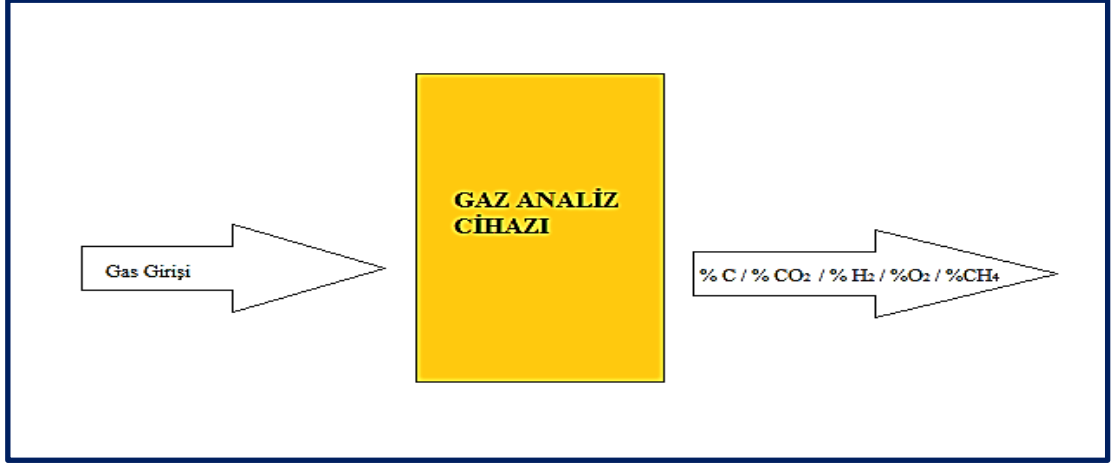
Bu sistemin reaktör tarafında debi ölçer ve debi kontrolü için vana bulunmaktadır, bu sayede havanın debisi ayarlanmaktadır. Resim 6: 'da görülmektedir. Ayrıca sistemin baca tarafında vakum yapması için Resim 8: Ejektör kullanılır.



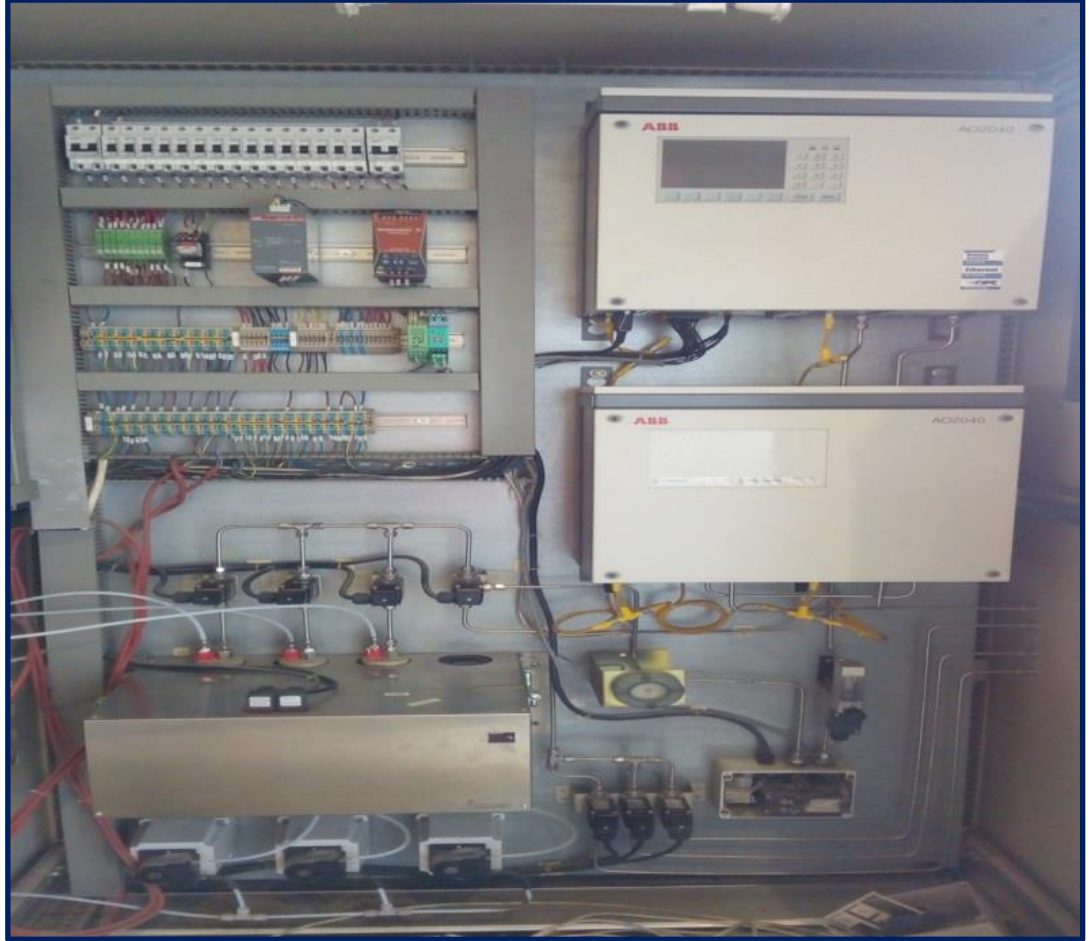
Resim 8: Ejektör

Sistemde üretilen gazın analizi ABB AO2000 çevrimiçi gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Gaz analiz cihazı CO, CO₂, CH₄, H₂ gazlarını ölçmektedir. ABB AO2000 çevrimiçi gaz analiz cihazı kendi içerisinde soğutma sistemi barındırmaktadır, cihaza gaz beslemeden önce cihazın çalışma sıcaklığı olan 6°C kadar düşürülmesi gereklidir.

Sistemde ölçülen tüm değerler kuru bazda olup sistem kendi içerisinde nem değerlerini ölçer. Şekil 19: Gaz analiz cihazının şematik çalışma süreci gösterilmiştir. Resim 9'da ise çalışmalarımızda kullandığımız çevrimiçi gaz analiz cihazı gösterilmiştir.



Şekil 19: Gaz analiz cihazının şematik çalışma süreci



Resim 9: Çevrimiçi gaz analiz cihazı

3.3. Deneysel Çalışma

Deney esnasında ortaya çıkan değerler göz önüne alınarak sistemin istenilen değerlerde çalışması için optimizasyon yapılmıştır. Sistem içerisine beslenecek yakıt miktarı 10 kg olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra sisteme verilen hava ve yakıt oranından ER değerinin hesaplanması ve hava debisi değerleri optimize edilmiştir. 0,21 olarak hesap edilen ER oranı 10 kg yakıt sistemimiz için en uygun oran olarak çalışmalarda kullanılmıştır. ER oranının fazla olması sistemde aşırı yanma gerçekleştireceğinden bu sonuca optimizasyon çalışmaları ile ulaşıldı. Elde edilen gaz çevrimiçi gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür ve kayıt altına alınmıştır. Resim 9'da çevrim içi gaz analiz cihazı gösterilmiştir.

Deneysel süreçte oluşabilecek hasar vb. durumlardan dolayı sistem yeni deneye başlamadan önce kontrol edilmiştir. Reaktöre yakıt beslemesi gerçekleştirilmeden önce reaktör içerisi göz ile kontrol edilir içerisinde deneyi riske edebilecek herhangi bir şey olmadığı kontrol edilmiştir. Her deneyden önce kullanılan yakıt tartılır. Reaktör içerisi 400°C ye kadar Resim 4'de gösterilen ateşleyici sistem ile ısıtılmıştır. Yakıt yüklemesi tamamlandıktan sonra reaktör kapağı kapatılır. Bunu takiben reaktör içerisine hava beslenmeye başlanır. Oksidasyon bölgesi (550°C-600°C) ulaşması beklenir. Bu sıcaklıklara ulaşmaz ise ateşleyici ile sistem tekrar istenilen ısıya ulaşması için yaklaşık 20 dakika ısıtılmıştır. Bu süreçten sonra gaz üretimi başlamıştır. Daha sonra sistem çalışmaya devam etmiş ve zamanla reaksiyon sonlanmaya başlamıştır. Oksidasyon bölgesi sıcaklığı 400°C civarlarında olduğunda reaksiyonun artık tamamlandığı anlaşılmıştır. Veri kaydedicide bu değerleri gördüğümüzde sisteme beslenen hava kesilir, çevrimiçi gaz analizörüne beslenen gaz kesilir. Daha sonra sistemin soğutulması için reaktör alt kapağı açılır 2 saat içerisinde reaktör soğur. Reaktör içerisinde kalan kül alınır.

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER

Bu çalışmamızda daha önce kurulmuş olan sabit yatak gazlaştırma sisteminde bu çalışma için gerekli olan revizyonlar gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada sabit yatak sisteminde sentez gazı elde edilmiş olup bu gazların analizi deney sonuçları kısmında verilmiştir. Sistemin istikrarlı ve verimli bir çalışmasını sağlamak için gerekli olan optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

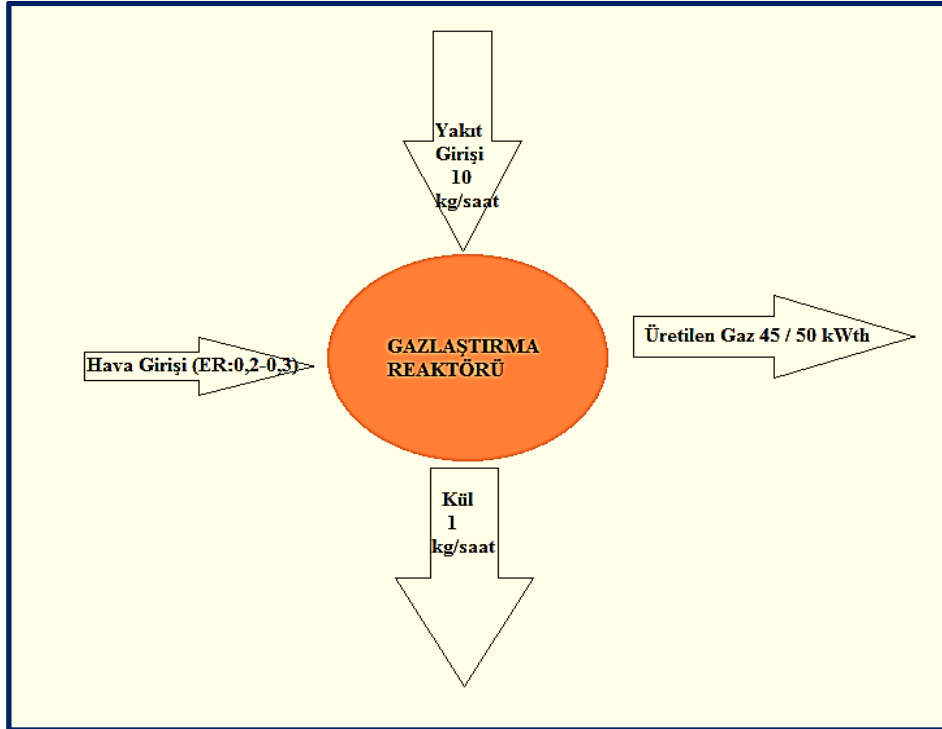
Deney esnasında oluşan katrandan nedeniyle, sistemde kullanılan ölçüm cihazlarında olumsuz etkilenmeler meydana gelmiştir. Bu durumu düzeltmek için gaz temizleme ve soğutma işlemleri yukarıda Bölüm 3'de verilen süreçle optimize edilmiştir. Böylece sabit yatak gazlaştırıcı sisteminde yapılan revizyonlar ve kullanılan yöntemler ile sistemin daha dengeli çalışması sağlanmıştır.

4.1. Sabit Yatak Gazlaştırıcı Optimizasyonu

Sabit yatak gazlaştırıcı sisteminin son haline yukarıda Bölüm 3'de verilen hesaplamalar ve deneyler sonucunda ulaşılmıştır. Revizyonun başından sonuna kadar sistemde orman atıkları gazlaştırılması düşünülmüş ve tasarım parametreleri orman atıklarına göre seçilmiştir. Sistemde kullanılan orman atıkları boyutları 2-3 cm olarak belirlenmiştir. Resim 10'da çalışmalarda kullanılan orman atıkları gösterilmiştir. Reaktörün yakıt besleme hızı ve kapasitesi belirlenirken reaktör verileri kullanılmış ve 10 kg/saat saptanmıştır. Reaktör içerisinde yakıt miktarının fazla ya da daha düşük olması tüm verileri değiştireceğinden yakıt beslenmeden önce tartılmıştır. Örneğin yakıtın az olması sistemin istikrarlı çalışması için gerekli olan ısıya ulaştıramayacak ve zamanla yakıt tükeneceğinden reaktördeki reaksiyon da son bulacaktır. Sisteme beslenen hava 20 m/sn olarak optimize edilmiştir. Bu verileri kullanılarak sistemin verimi %75 olarak hesaplanmıştır. Şekil 20'de sistemin girdi ve çıktı dengesi gösterilmiştir. Sistemin yapımında kullanılan malzemeler 3 mm kalınlığında AISI 310S paslanmaz çelikten yapılmıştır.

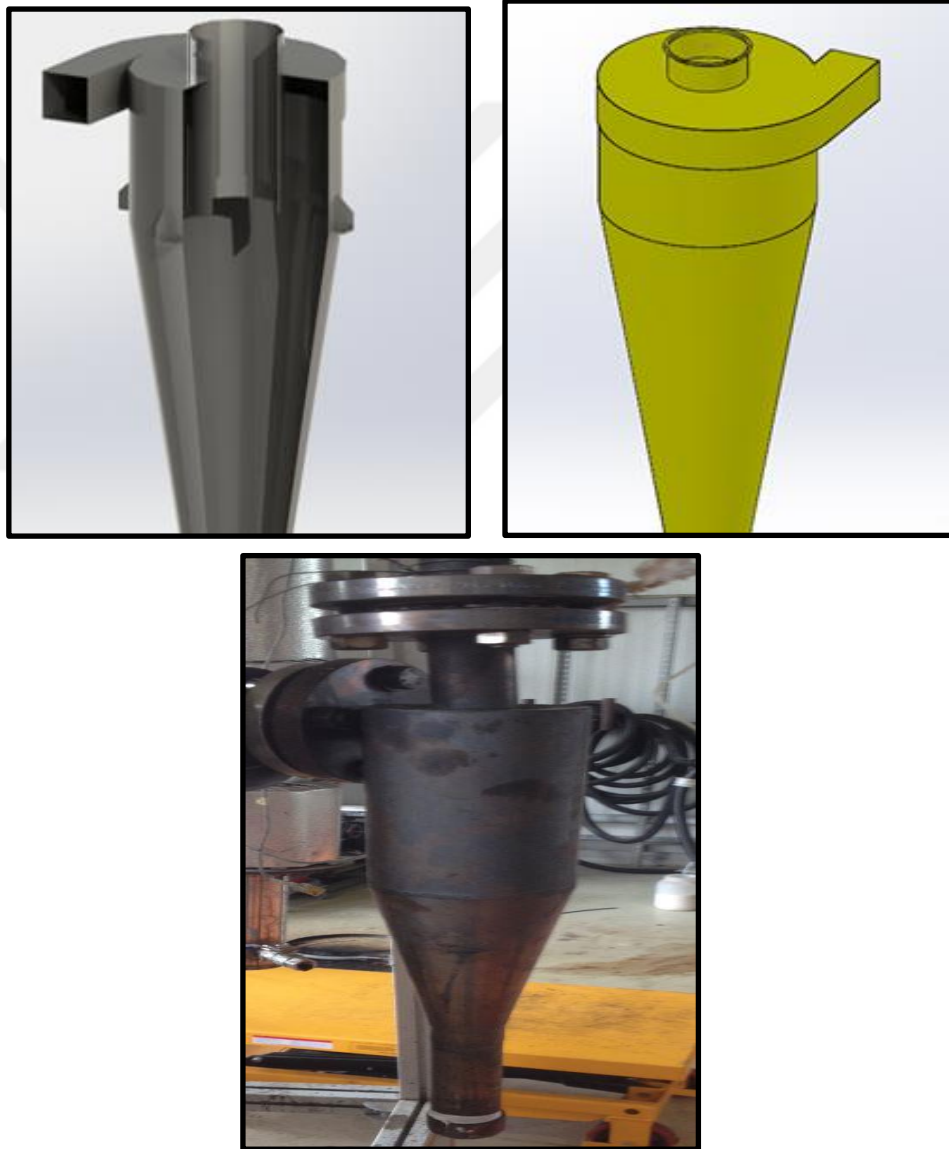


Resim 10: Projede kullanılan orman atıkları



Şekil 20: Sistemin girdi ve çıktı dengesi

Sistemde gaz içerisindeki partiküllerin uzaklaştırılması için siklon kullanılmıştır. Siklonun tasarım verileri Tablo 10'da verilmiştir. Siklon revizyonu esnasında, dikkat edilmesi gerekli olan önemli parametrelerin başında kullanılan yakıt ve gaz sıcaklığı, gazın debisi gibi değişkenlerdir ve revizyon bunlar göz önüne alınarak yapılmıştır. Deney sisteminde revize edilerek kullanılan siklonun parametreleri sırasıyla; gaz sıcaklığı 400-500 °C, gaz akış hızı 25 Nm³/saat, olarak belirlenmiştir. Siklon imalatında 316 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Siklonun revizyon çizimleri ve yapılan siklon Şekil 21'de verilmiştir.

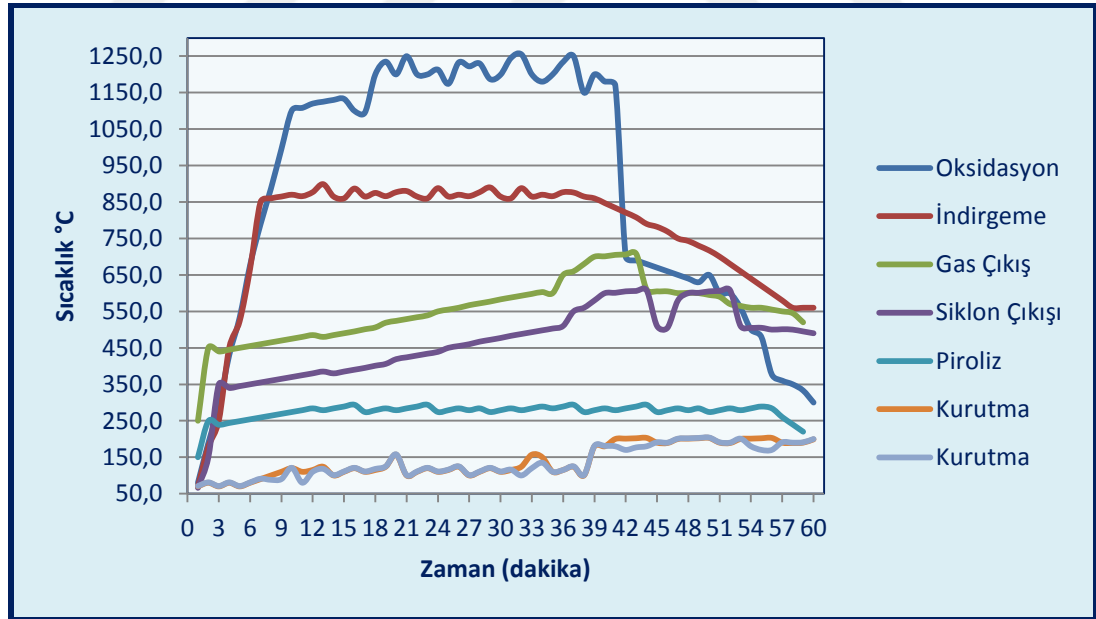


Şekil 21: Siklon revizyon çizimleri ve yapılan siklon

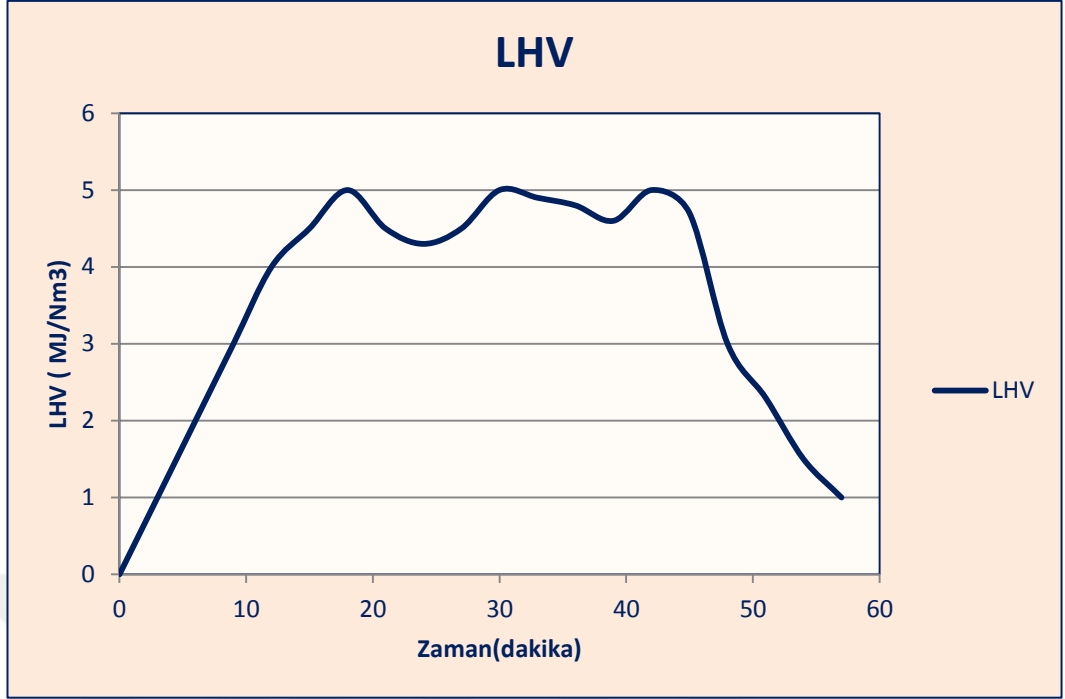
4.2. Gazlaştırma Deneylerinin Sonuçları

Sabit yatak gazlaştırma sisteminde orman atıklarının gazlaştırılması sonucunda ER oranlarının, alt ısıl değerlerinin ve ortaya çıkan gazın içeriğinin araştırılması yapılmıştır. Reaktör içerisine 10 kg orman atığı yüklenmiştir. Yapılan hesaplamalar ve deneysel çalışmalar sonucunda ER oranı 0,2-0,5 arasında değişmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda optimum ER değeri 0,21 olarak belirlenmiştir

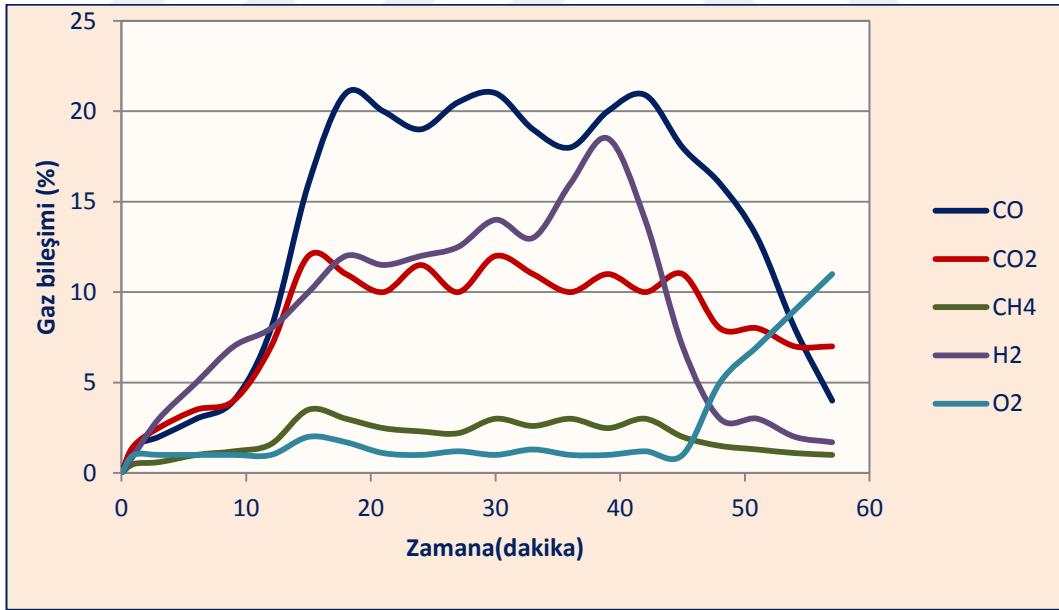
Reaktör içerisine beslenen havanın debisi, debi ölçer ile çevrimiçi kontrol edilerek ayarlanmıştır. Reaktör içerisindeki sıcaklıkları ölçmek için özel 5 adet termokupul kullanılmıştır. T5 ve T4 kurutma bölümü sıcaklığını ölçmek için, T3 piroliz bölgesini, T2 oksidasyon bölgesi T1 indirgeme bölgesi sıcaklığını göstermektedir. Şekil 16'de bu termokupullar gösterilmiştir. Sistemdeki termokupullar çevrim içi olarak kayıt altına alınmıştır. Şekil 22'de sistemin çalışması sürecinde zamana bağlı sıcaklık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 22 :Zamana bağlı sıcaklık



Şekil 23: Alt ısı değerlerinin zamana göre değişimi (LHV)



Şekil 24: Gaz bileşimleri ortalaması

Gerçekleştirilen tüm hesaplamalar, deneyler Tablo 11’de gösterilen veriler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ER değeri 0,21 olarak belirlenmiştir.
- Hava akış 100 m³/saat olarak saptanmıştır.
- Gaz 40 dakikalık bir zaman diliminde verimli bir şekilde elde edilmiştir.
- Toplam deney süresi 60 dakika olarak gerçekleşmiştir.
- Orman atıklarının reaktör içerisinde azalması ile sistemin gaz üretiminin yavaşladığı görülmüştür.
- Sisteme beslenecek yakıt nem oranlarına % ağırlıkça 10-15 oranında olmasına dikkat edilmelidir. Nem oranı yüksek olması kurutma ve reaksiyon sürecini uzatır verimi düşürür.

4.2.1.1. Biyoyakıt karakterizasyonu

Sistemde yapılan revizyon ve deneyde kullanılan hava oranı, biyoyakıt kalitesine ve sonuç özelliklerine önemli etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle biyoyakıt özelliklerinin iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. Biyoyakıt içerisindeki kül, nem, uçucu madde, enerjisi, kimyasal bileşimi gibi özelliklerine göre belirlenmiştir. Uçucu madde miktarının yüksek olması kül ve katran oluşumunu etkiler. Literatürde de belirtildiği gibi, orman atıkları içerisinde bulunan uçucu oranlarının yüksek olmasına rağmen, sistem içerisinde tıkanma ve katran oluşumu meydana gelmemiştir (Barman, 2011).

Biyoyakıt içerisindeki nemin giderilmesi gerekmektedir. Nemin azaltılması için ısı kullanıldığında verim düşer. Reaksiyonun gecikmesine veya başlamamasına neden olabilir. Isı kayıpları sistemde katran oluşumuna neden olabilir. Isıda meydana gelecek azalma aynı zamanda sistemde katran oluşumuna neden olabilir. Orman atıklarının nem oranının düşük olması verimi olumlu etkilemektedir. Bu çalışmada kullanılan biyoyakıt karakterizasyon sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE İRDELEMELER

Deney esnasında siklonu ve su soğutmalı bir sabit yatak gazlaştırma sistemi kullanılmıştır. Deney 10 kg orman atığı ile yapılmıştır. Orman atıkları sistemde kullanılabilen boyutlara getirildikten sonra içerisindeki nem oranları reaksiyonu etkilemeyecek oranlara kurutulmuş azaltılmıştır. Daha sonra reaktör ateşleyici sistem yardımıyla ısıtılmıştır. Bu ısıtma işlemi yaklaşık 10 dakika sürmüştür ve 400°C ulaşılmıştır. Orman atıkları içerisindeki uçucu madde oranı (%70-80) olarak belirlenmiştir. Bu da katran oluşumuna etki yapmasına rağmen deney esnasında ciddi bir tıkanma ve olumsuzlukla karşılaşılmemiştir. Gazlaştırma işlemi başladığında oksidasyon bölgesinde sıcaklıkların 1200°C ulaştığı gözlemlenmiştir. Reaktör içerisindeki yakıtın hava ile karışımını sağlamak için nozüller yardımı ile reaksiyon bölgesine hava beslenmiştir. Sisteme hava besleme esnasında sistemin homojen olarak ısıtılması sağlanmıştır. Sistemde üretilen gaz öncelikle sistem içerisinde bulunan gaz soğutma işlemine tabi tutularak gazın sıcaklığı düşürülmüştür. Gaz içerisinde oluşan pürtlüklüler siklon ve perlit kolonlarda tutularak sistemden uzaklaştırılarak oluşturulan gazdan arındırılmıştır. Yapılan deneylerde ER etkisi incelenmiş ve verimli bir çalışma için değerler belirlenmiştir. ER oranı 0,21 ile 0,5 arasında değişiklik göstermesine rağmen optimum oran 0,21 bulunmuş ve yakıt oranını 10 kilo olarak sabit tutulmuştur. Yakıt kalitesi için ER oranlarına dikkat etmek gerekmektedir. Sistemde CO oranının (%23) gazın alt ısıl değerleri (5,3MJ/Nm³) ER oranının da (0,2-0,3) arasında olduğu saptanmıştır ve bunlar

Tablo 9'da verilmiştir. Bu deneyde üretilen gazın analizinde çevrimiçi gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre üretilen gazın içeriği sırasıyla; %21,16 CO, % 11,89 CO₂, %2,53 CH₄, %12,56 H₂, %0,98 O₂, 3671 LHV olarak belirlenmiştir. Sistemde ilk ısıtma ve hava besleme motoru enerjileri hariç reaksiyona dışarıdan sürekli bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmamıştır. Bu da, orman atıkları gibi atıklar ile kombine bir sistem tasarımı yapılması halinde sürekli bir enerji üretimi sağlanabileceği görülmüştür. Acil durumlarda sistemde kullanılmak üzere böyle bir sistemin kullanılabilmesi ve elektrik veya başka amaçlar için enerji ihtiyacının orman atıkları ile sağlanabileceği söylenebilir. Sistemde üretilen gazın elektriksel gücü Tablo 12'de verilmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin satılması durumunda, maliyetler çıkarılarak Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Deney Sonuçları

Stokiyometrik O ₂	0,97	Kg O ₂ /kg yakıt
Stokiyometrik hava	4,21	Kg hava /kg yakıt
Hava hacimsel debi	3,27	Nm ³ /kg yakıt
Yakıt debisi	10,00	Kg/saat
Toplam yakıt için gerekli hava hacimsel debisi	32,65	Nm ³ /10 kg yakıt
Yakıt alt ısı değeri (LHV)	3671,00	kcal/kg
Yakıt Kütleli Debi	10,00	Kg/saat
Termal Kapasitesi	42,62	kWt/saat
CO	21,16	%
CO ₂	11,89	%
CH ₄	2,53	%
H ₂	12,56	%
O ₂	0,98	%

Tablo 12: Toplam Üretilen Elektrik gücü (www.eie.gov.tr, 2016)

Biyokütleyle Dayalı Elektrik Üretim Tesisi	Uygulanacak Fiyatlar
1 kWh (cent)	13,3
Yerli Üretim Katkı İlavesi	
Gazlaştırma Ve Gaz Temizleme Grubu	0,6
Kojenerasyon Sistemi	0,4
Jeneratör Ve Güç Elektroniği	0,5
Toplam (ABD Doları cent/kWh)	14,8
Toplam (TL/kWh) (1 dolar =2,94 TL)	0,43512

Tablo 13: Maliyet ve Kar hesaplama

Termal Kapasitesi Kwt/Saat	42,62
Elektrik Kapasitesi Kwe/Saat	8,524
Reaktör Hava Besleme Cihazı (Tüketimi) kWe/Saat	0,25
Net Üretim kWe/Saat	8,274
1 Saatta Üretilen Elektrik Satış Fiyatı (TL)	4
10 Kilo Orman Atığı (TL)	2,5
Net Kar TL (10kg/Saat)	1,5
1 Ayda Net Kar TL (10kg/Saat)	1080

6. GELECEGE YÖNELİK ÇALIŞMA ÖNERİLERİ

Gazlaştırma sistemlerinden orman atıkları ile gaz üretimi gibi çalışmalar uzun yıllardan beri devam eden bir çalışmadır. Yakıt elde edilmesi ve yakıtın kullanılacağı sistemler nerede ise hiç yok denecek kadar azdır. Bu çalışmanın devamı olarak yine sabit yatak gazlaştırma sistemi ile entegre elektrik üretimi kombinasyonu küçük ölçekli hatta mobil bir sistem tasarlanarak üretilebilir. Bu amaçla tasarımda konteyner büyüklüğünde bir sistem olması ve bu sayede askeri ve acil/afet durumlarda olay bölgesine taşınabilecektir (kamyon kasasında sabit bir sistem). Özellikle askeri operasyonlarda yakıt temininde güçlük çekilen durumlarda alternatif olarak kullanılabilir. Böylece askeri personelimizin elektrik ve ısıtma, haberleşme gibi ihtiyaçlarının karşılanabileceği enerjiyi ve aynı zamanda kritik bölgelere yakıt taşıma riski giderilmiş olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Galindo, A., & Silva, E. (2013). *Biomass gasification in a downdraft gasifier with a two-stage air supply: Effect of operating conditions on gas quality* .
- Mendibur, A., & Carvalho Jr, J. (2014). *Thermochemical equilibrium modeling of a biomass downdraft gasifier: Constrained and unconstrained non-stoichiometric models*.
- Barman, N. S. (2011). *Gasification of biomass in a fixed bed downdraft gasifier – A realistic model including tar*.
- Hayati, O., & Ulku, A. (1998). The Effect of the inner nozzle and runner geometry on the efficiency of radially loaded cross-flow turbine.
- Highman, C., & vander Burgt, M. (2006). *Gasification Second Edition*.
- Jaojaruek, K. (2014, 03 16). Mathematical model to predict temperature profile and the air-fuel equivalence ratio of a Downdraft gasification process. *sciencedirect*.
- Klein , A., & Themelis , P. (2002). *Gasification: An Alternative Process*. Columbia University.
- Klein, A. (202, mayıs 01). www.seas.columbia.edu. 06 16, 2016 tarihinde <http://www.seas.columbia.edu/earth/kleinthesis.pdf> adresinden alındı
- Liu, Y., & Fan, W. (2016, 05). Numerical investigation of air -staged combustion emphasizing char gasification and gas temperature deviation in a large- scale, tangentially fired pulverized -coal boiler. *sciencedirect*.
- Margariti, N., & Grammelis, P. (2012). *Assessment of Operational Results of a Downdraft Biomass Gasifier Coupled with a Gas Engine*.
- Mazak, M. (tarih yok). www.emo.org.tr. 06 16, 2016 tarihinde www.emo.org.tr/ekler/94a988102edcd4b_ek.pdf adresinden alındı
- Nayır, T. (2012). *Kömür Ve Biyokütle Karışımlarının Gazlaştırılması Ve Aspen Hysys® Programı İle Simulasyonu*. istanbul.
- Olgun, H., Doğru, M., & Howarth, C. R. (2010). *Katı Atıkların Enerji Dönüşümünde Kullanılması ve Gazlaştırılması*.
- Oswald, W. (2001). *Deutsche Autos 1920-1945*. German.

Patil, K., & Huhnke, R. (2011). *Biomass downdraft gasifier with internal cyclonic combustion chamber: Design, construction, and experimental results.*

Rezaiyan, J., & P., N. (2005). *Gasification Technologies Modelling: A Primer for Engineers and Scientists Taylor.*

Sharma, A. K. (2012). *Experimental study on 75 kWth downdraft (biomass) gasifier system.*

Sheth, P. N. (2015). *Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review.*

Strezov, V., & Evans , T. (2014). *Biomass Processing Technologies.*

Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). *Biyokütle Teknolojisi. YEKARUM DERGİ(11).*

Wei, L. (2005). *Experimental study on the effects of operational parameters of a downdraft gasifier.* Mississippi,.

www.aerosol.ees.ufl.edu. (tarih yok). 06 16, 2016 tarihinde

www.aerosol.ees.ufl.edu/cyclone/section06.html adresinden alındı

www.astm.org. (tarih yok). 06 16, 2016 tarihinde

<http://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E1755-01.htm> adresinden alındı

www.azocleantech.com. (2016, 06 16). 06 16, 2016 tarihinde

www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=377 adresinden alındı

www.eie.gov.tr. (2016, 06 16). 06 16, 2016 tarihinde

www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme.aspx adresinden alındı

www.eie.gov.tr. (2016). (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun) 06 28, 2016 tarihinde www.eie.gov.tr adresinden alındı

www.emispec.ca. (tarih yok). 06 16, 2016 tarihinde www.emispec.ca/en/gaseous-fuel-production.php adresinden alındı

www.ems.psu.edu. (2011, 05 01). 06 16, 2016 tarihinde

www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2011/Final%20Reports/coal_igcc_report.pdf adresinden alındı

www.gasification-syngas.org. (2016, 06 16). 10 16, 2016 tarihinde www.gasification-syngas.org/resources/the-gasification-industry adresinden alındı

www.teias.gov.tr. (2016, 06 16). 06 15, 2016 tarihinde www.teias.gov.tr/yukTevziRaporlari.aspx adresinden alındı

www.terralab.com.tr. (2016). (Terrab lab.) 06 16, 2016 tarihinde http://www.terralab.com.tr/costech/Costech_Analytical_ECS-4010.html adresinden alındı

Yinesor, G. (2008). *Design and Operation of a Bench Scale Fixed Bed Gasification System*. istanbul.

Zhong, H., Lan, X., & Gao, J. (2014, 12 20). Numerical simulation of pitch–water slurry gasification in both downdraft single-nozzle and opposed multi-nozzle entrained-flow gasifiers: A comparative study. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.

ÖZGEÇMİŞ

Adı	Salih	Soyadı	Çamur
Doğum Yeri	Ankara	Doğum Tarihi	1980
Uyruğu	TC	Tel	0553 356 66 64
E-Mail	salih.camur@tubitak.gov.tr		

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Lisan	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Müh.	2013
Lisans	AÖF İşletme Fakültesi	2013
Lise	Yenimahalle Teknik Lisesi	1999

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre(yıl-yıl)
Araştırmacı	TÜBİTAK	3

Yabancı Diller	Okuduğunu Anlama	Konuşma	Yazma
İngilizce	İyi	İyi	İyi

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
Ales Puanı	61,71	59,94	55,44

Bilgisayar bilgisi

Program	Kullanma becerisi
Solidworks	İyi
Autocad	İyi
Microsoft Ofis	İyi