



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK GAZLAŞTIRMA PROSESİ İLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU

Nazlıcan KARABAĞ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

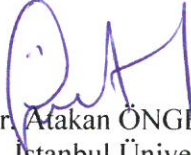
**DANIŞMAN
Doç. Dr. Atakan ÖNGEN**

Haziran, 2018

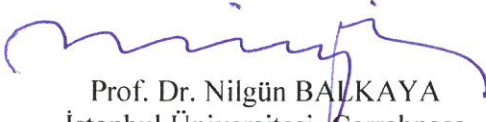
İSTANBUL

Bu çalışma, 18.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Atakan ÖNGEN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Nilgün BALKAYA
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Alpaslan EKDAL
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi



Doç. Dr. Serdar AYDIN
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Emine ELMASLAR ÖZBAŞ
İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden bu yana hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan, yüksek lisans eğitimim boyunca da bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan, yol gösteren, olaylara farklı bakış açılarıyla bakmayı, asla umudunu kaybetmemeyi bana öğreten çok kıymetli hocam Doç. Dr. Atakan ÖNGEN' e teşekkürlerimi bir borç bilirim, desteğinizi anlatmaya kelimeler kifayetsiz kalır.

Aspen Plus programı ile ilgili bilgilerini paylaşan ve program kullanımını öğreten, hiçbir zaman sorularımı cevapsız bırakmayan değerli Araştırma Görevlisi Dr. Sertaç SEYİTOĞLU'na yardımları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

Her zaman bana destek olan, yardım eden lisans eğitimimden bu yana bana çok kıymetli bilgiler öğreten, mesleğimi sevdiren saygıdeğer İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine,

Arkadaşlarım, dostlarım olan manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her sorumu cevaplayan çok kıymetli İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlilerine, bilhassa her sıkıntılı anımda yanımda olan yardımcı olan kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Zülal SÖNMEZ'e,

Yüksek lisans sürecimin son döneminde tanıştığım ve tez yazım sürecinde olduğum stresli günlerimde yüzümü güldüren ve ellerinden geldiğince bana yardımcı olmaya çalışan bölümümüz lisans öğrencilerinden Esra VARBİL ve Rabia ARDIÇ'a,

Can dostum Naciye KURTULUŞ'a,

Bana mutluluk ve enerji kaynağı olan, sevgi dolu kalabalık aileme,

Beni bugünlere getiren, okumama her zaman destek olan, aldığım her kararda yanımda olan, her başarımda benden çok mutlu olan, duaları her daim benimle olan canımdan çok sevdiğim kıymetli anneme ve beni okutmak için gece gündüz demeden zor koşullarda çalışan, sevgi dolu kolları her daim bana açık olan, canımdan çok sevdiğim, kıymetli babama,

Ve her zaman yanımda olan en büyük destekçim, can yoldaşım Kaan YEŞİLOVA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Nazlıcan KARABAĞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. ATIK KAVRAMI	3
2.1.1. Atık Yönetimi	3
2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi	4
2.1.3. Sıfır Atık Yaklaşımı	5
2.2. ENERJİ KAVRAMI	6
2.2.1. Global Enerji	6
2.2.2. Türkiye’de Enerji.....	8
2.2.3. Atıktan Enerji (Waste to Energy)	10
2.3. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI	10
2.3.1. Güneş Enerjisi	10
2.3.2. Rüzgar Enerjisi	11
2.3.3. Jeotermal Enerji.....	11
2.3.4. Biyokütle ve Biyogaz	12
2.3.5. Su Enerjisi- Hidroelektrik.....	12
2.3.6. Hidrojen Enerjisi	12
2.3.6.1. Hidrojen Enerjisi Kaynakları	14
2.3.6.2. Hidrojen Gazı Üretim Yöntemleri	14
2.3.6.3. Hidrojen Enerjisi Kullanım Alanları	23
2.4. GAZLAŞTIRMA	23
2.4.1. Gazlaştırma Prosesinin Mekanizması.....	23
2.4.2. Gazlaştırmayı Etkileyen Önemli Parametreler	27

2.4.2.1. Kömürün Özellikleri	27
2.4.2.2. Çalışma Sıcaklığı	27
2.4.2.3. Gazlaştırma Ajanı Türü	27
2.4.2.4. Basınç	27
2.4.3. Gazlaştırıcı Türleri.....	27
2.4.3.1. Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar	28
2.4.3.2. Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar	28
2.4.4. Gazlaştırma ve Aspen Uygulamaları.....	29
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. MATERYALLERİN KARAKTERİZASYONU VE ÖN İŞLEMLER.....	32
3.1.1. Tavuk Gübresi	32
3.1.2. Pirina.....	34
3.2. DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLER	35
3.2.1. Deneysel Yöntemler	35
3.2.1.1. Nem Miktarının ve Kuru Madde Miktarının Tayini.....	35
3.2.1.2. Yanma Kaybı ve Kül Miktarının Tayini	36
3.2.1.3. Uçucu Madde Tayini.....	38
3.2.1.4. Sabit Karbon.....	39
3.2.2. Analitik Yöntemler	39
3.2.2.1. Elementel Analiz	39
3.2.2.2. Isıl Değer Analizleri	40
3.2.3. Gaz Analizleri.....	41
3.2.4. Isıl Değer Hesabı	42
3.2.5. Reaktör Dizaynı.....	43
3.2.6 Modelleme Çalışmaları ve Simülasyon.....	45
3.2.6.1. Aspen Plus Modelleme Programı	45
3.2.6.2. Aspen Plus Programı ile Modelleme ve Simülasyon	47
3.2.7. İstatistiksel Veri Analizi	50
4. BULGULAR.....	51
4.1. LABORATUVAR BULGULARI	51
4.1.1. Atık Karakterizasyonu.....	51
4.1.2 Atık Gazlaştırma Deneyleri	52
4.1.2.1 Tavuk Gübresi Numunesi Gazlaştırması Sentez Gaz Analiz Sonuçları.....	52
4.1.2.2. Pirina Numunesi Gazlaştırması Sentez Gaz Analiz Sonuçları	54

4.2 BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI.....	56
4.2.1 Tavuk Gübresi Gazlaştırma Modeli Bulguları	56
4.2.2 Pirina Gazlaştırma Modeli Bulguları.....	60
4.2.3 Tavuk Gübresi ve Pirina Karışımı Gazlaştırma Modeli Bulguları.....	64
4.2.4 Sonuçların İstatistiksel Analizi.....	68
4.2.4.1 Korelasyon Analizi.....	68
4.2.4.2 Regresyon Analizi	69
4.2.4.3 ANOVA Testi.....	70
4.2.4.4 Parametre Değişkenlerinin Etkisi.....	72
4.2.5 Laboratuvar Sonuçları ile Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması	92
4.2.6 Sonuçların Literatür Çalışmaları ile Karşılaştırılması	95
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	96
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Sürdürülebilir atık yönetimi hiyerarşisi.	5
Şekil 3.1: Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma öncesi hali.	32
Şekil 3.2: Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma sonrası hali.	33
Şekil 3.3: Pirina numunesinin gazlaştırma öncesi hali.	34
Şekil 3.4: Pirina numunesinin gazlaştırma sonrası hali.	35
Şekil 3.5: Nem analiz cihazı.	36
Şekil 3.6: Kül analiz cihazı.	38
Şekil 3.7: Elementel analiz cihazı.	40
Şekil 3.8: Bomba kalorimetre cihazı.	41
Şekil 3.9: Gaz analiz cihazı.	42
Şekil 3.10: Laboratuvar reaktör düzeneği.	44
Şekil 3.11: Reaktör sisteminin tanıtımı.	45
Şekil 3.12: AspenPlus programı ile oluşturulmuş gazlaştırma modeli.	47
Şekil 4.1: Tavuk gübresi gazlaştırmasının zamana ve sıcaklığa bağlı sentez gaz analizi.	52
Şekil 4.2: Pirina gazlaştırmasının zamana ve sıcaklığa bağlı sentez gaz analizi.	54
Şekil 4.3: Tavuk gübresi gazlaştırma deneyi modeli.	56
Şekil 4.4: Pirina gazlaştırma deneyi modeli.	60
Şekil 4.5: Tavuk gübresi ve pirina karışımı gazlaştırma deneyi modeli.	64
Şekil 4.6: Gazlaştırma ajan debisi değişiminin CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.	73
Şekil 4.7: Ajan debisi değişiminin ısıl değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.	74
Şekil 4.8: Sıcaklık değişiminin CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.	75
Şekil 4.9: Sıcaklık değişiminin ısıl değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.	76

Şekil 4.10: Basınç değişiminin CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.	77
Şekil 4.11: Basınç değişiminin ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.....	78
Şekil 4.12: Yakıt türü değişiminin CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.	79
Şekil 4.13: Yakıt türü değişiminin ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.	80
Şekil 4.14: Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi.....	81
Şekil 4.15: Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum H_2 gazı hacimsel yüzdesi ve ısı değeri değişimleri.....	82
Şekil 4.16: Yakıt türlerine göre gazlaştırma ajan debileri ve ısı değerler.....	83
Şekil 4.17: Yakıt türlerine göre gazlaştırma sıcaklıkları ve ısı değerler.....	84
Şekil 4.18: Yakıt türlerine göre gazlaştırma basınçları ve ısı değerler.	85
Şekil 4.19: Gazlaştırma ajanının türünün CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.....	86
Şekil 4.20: Gazlaştırma ajanı türünün ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.....	87
Şekil 4.21: Gazlaştırma ajanı türüne göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi.....	88
Şekil 4.22: Yakıt miktarının gaz kütlesi dağılımına etkisi.....	89
Şekil 4.23: Sıcaklığın gaz kütlesi dağılımına etkisi.	90
Şekil 4.24: Yakıt miktarının gaz yüzdesi dağılımına etkisi.	91
Şekil 4.25: Sıcaklığın gaz yüzdesi dağılımına etkisi.....	92
Şekil 4.26: Tavuk gübresi ve pirina için AspenPlus modelleme gazlaştırması ve laboratuvar gazlaştırması sonuçlarına göre gaz hacimleri yüzdeleri.....	93
Şekil 4.27: Tavuk gübresi ve pirina için AspenPlus modelleme gazlaştırması ve laboratuvar gazlaştırması sonuçlarına göre ısı değeri verileri.....	94

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Ham numunelerin elementel analizi ve kalorifik değeri.	51
Tablo 4.2: Ham numunelerin kimyasal analizi.	51
Tablo 4.3: Tavuk gübresi numunesinin kuru hava ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.	52
Tablo 4.4: Referans çalışmaların elementel analiz ve ısı değeri analiz sonuçları.	53
Tablo 4.5: Referans çalışmaların kimyasal analiz sonuçları.	53
Tablo 4.6: Tavuk gübresi numunesinin saf oksijen ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.	53
Tablo 4.7: Pirina numunesinin kuru hava ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.	54
Tablo 4.8: Referans çalışmaların elementel analizi.	55
Tablo 4.9: Referans çalışmaların kimyasal analizi.	55
Tablo 4.10: Pirina numunesinin saf oksijen ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.	55
Tablo 4.11: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırma modeli sonuçları.	56
Tablo 4.12: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.	57
Tablo 4.13: Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.	57
Tablo 4.14: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.	57
Tablo 4.15: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	57
Tablo 4.16: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.	58
Tablo 4.17: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	58

Tablo 4.18: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	59
Tablo 4.19: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	59
Tablo 4.20: Tavuk gübresi gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.....	59
Tablo 4.21: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan pirina gazlaştırma modeli sonuçları... ..	60
Tablo 4.22: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan pirina gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.....	60
Tablo 4.23: Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	61
Tablo 4.24: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	61
Tablo 4.25: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.....	61
Tablo 4.26: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	62
Tablo 4.27: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	62
Tablo 4.28: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	62
Tablo 4.29: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	63
Tablo 4.30: Pirina gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.....	63
Tablo 4.31: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modeli sonuçları.	64
Tablo 4.32: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.	65
Tablo 4.33: Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	65
Tablo 4.34: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	65
Tablo 4.35: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.....	66
Tablo 4.36: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.....	66

Tablo 4.37: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	66
Tablo 4.38: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.	67
Tablo 4.39: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.	67
Tablo 4.40: Tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.	67
Tablo 4.41: Korelasyon analizi.	68
Tablo 4.42: Regresyon analizi.	69
Tablo 4.43: Regresyon analizi.	69
Tablo 4.44: Isıl değer < 600 °C ve >=600 °C şartlarına göre ANOVA testi sonuçları.	71
Tablo 4.45: Isıl değer < 750 °C ve >=750 °C şartlarına göre ANOVA testi sonuçları.	71
Tablo 4.46: ANOVA testi.	72
Tablo 4.47: Tavuk gübresi ve pirina için laboratuvar sonuçları ile modelleme sonuçlarının karşılaştırılması.	93
Tablo 4.48: Çalışma sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması.	95

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

C	: Karbon
CH ₄	: Metan Gazı
CO	: Karbonmonoksit Gazı
CO ₂	: Karbondioksit Gazı
H ₂	: Hidrojen Gazı
N ₂	: Azot Gazı
O ₂	: Oksijen Gazı
S ₂	: Kükürt Gazı
H ₂ O	: Su
NO _x	: Azot Oksit

Kisaltmalar	Açıklama
-------------	----------

AsP	: Aspen Plus Modelleme Programında Çalıştırılmış Pirina Gazlaştırması
AsTG	: Aspen Plus Modelleme Programında Çalıştırılmış Tavuk Gübresi Gazlaştırması
AsTG+P	: Aspen Plus Modelleme Programında Çalıştırılmış Pirina Ve Tavuk Gübresi Karışımı Gazlaştırması
LabP	: Laboratuvarında Çalıştırılmış Pirina Gazlaştırması
Lab TG	: Laboratuvarında Çalıştırılmış Tavuk Gübresi Gazlaştırması
P	: Pirina
TG	: Tavuk Gübresi
TG+P	: Tavuk Gübresi ve Pirina Karışımı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATIK GAZLAŞTIRMA PROSESİ İLE HİDROJEN GAZI ÜRETİMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU

Nazlıcan KARABAĞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Atakan ÖNGEN

Bu çalışmanın amacı, termodinamik denge prensibi esasına göre çalışan Aspen Plus yazılım programı ile çeşitli atık türlerinin farklı işletim şartlarında optimum gazlaştırma koşullarının belirlenmesidir. Çalışmada, üretilen sentez gazın içeriğini oluşturan ve ısı değerce zengin gaz formları izlenmiş ve hidrojen gazı üretimini artırabilmek için en uygun işletme şartları belirlenmiştir. Bunun yanısıra, laboratuvar ölçekli, gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen sonuçlar modellenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. En uygun işletme şartları altında, sentez gazın hidrojen içeriği hacimsel olarak %60 seviyesine ve ısı değeri de yaklaşık 3000 kcal/m³ seviyesine ulaşmıştır. Aspen Plus programının mühendislik uygulamalarında kullanımının ilerleyen çalışmalara da ışık tutabileceği kanaatine varılmıştır.

Haziran 2018, 125 sayfa.

Anahtar kelimeler: Atık gazlaştırma, hidrojen gazı üretimi, modelleme.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

COMPUTER-AIDED MODELLING AND SIMULATION OF HYDROGEN GAS PRODUCTION VIA WASTE GASIFICATION PROCESS

Nazlıcan KARABAĞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Atakan ÖNGEN

The purpose of this work is to determine the optimal gasification conditions for different waste types under different operating conditions with the Aspen Plus software program working on thermodynamic equilibrium principle. In the study, hydrogen gas is optimized and the gas form of the heat value which is the content of the produced synthesis gas is observed. Besides, the results obtained from laboratory-scale experiments were compared with the modeled results. It has been determined that H₂ content can reach volumetric 60% levels and the thermal value can reach to about 3000 kcal / m³ in all working lights. The use of Aspen Plus in engineering applications has also been proven to be an effective tool for future engineering works.

June 2018, 125 pages.

Keywords: Hydrogen gas production, modelling, waste gasification.

1. GİRİŞ

Enerji insanoğlunun varlığını sürdürmeye başladığı ilk andan itibaren önemini hissettiren ve hayatı sürdürmek için ilk sıradaki ihtiyaçlardan olan, temel ihtiyaçların karşılanmasında büyük rol oynayan bir kavramdır. Global olarak artan şehirleşme ve endüstrileşme hali enerji ihtiyacının artışına sebep olmuştur. Kontrolsüzce kullanılan kaynaklar, küresel ısınma ve çevre kirlilikleri mevcut enerji kaynaklarında azalmaya sebep olmuş, bu durum da yeni enerji kaynağı arayışlarına yol açmıştır.

Enerji tüketiminin artmasıyla termal işlemler, tüm dünyada uygulamaları hızla artan ve teknolojileri geliştirilen yöntemler olarak değer kazanmıştır. Mevcut teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak, bilgisayar destekli modelleme uygulamaları da tüm dünyada yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, termodinamik denge prensibi esasına göre çalışan ASPEN Plus yazılım programı ile çeşitli atık türlerinin farklı işletim şartlarında optimum gazlaştırma koşullarının belirlenmesidir. Üretilen sentez gazın içeriğini oluşturan, ısıl değerce zengin gaz formlarının izlenmesi ve özellikle hidrojen gazının değişiminin incelenmesi tezin önemli basamaklarından. Bu bulguların yanısıra, laboratuvar ölçekli, siklon ayırıcılı, sabit yataklı çelik reaktörde gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen sonuçlar modellenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada sınırlayıcı unsur, laboratuvar ölçekli gazlaştırma reaktörünün teknolojik ve termodinamik tabanda Aspen Plus yazılımında kullanılan Gibbs gazlaştırma reaktörü ile çok az benzerlik göstermesidir. Bir diğer husus ise modelleme esnasında yapılan kabullere dayalı çalıştırılan yazılımın gerçek şartlardaki pek çok sınırlayıcı unsuru ihmal etmesinden kaynaklanan uyumsuzluktur.

Bu çalışmalara bağlı olarak seçilen atık türlerinin gazlaştırılması sonucunda, elde edilebilecek ürün çeşitliliği ve bu ürünlerin kompozisyonları incelenerek, elde edilen sentez gazın ısıl değeri hesaplanmıştır. Atık yönetimi kapsamında büyük önem taşıyan enerji geri kazanımı ve atıktan enerji (waste-to-energy) çalışmaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve atık minimizasyonu açısından söz konusu prosesin girdi ve çıktıları irdelenmiştir.

Çalışmanın kapsamında, seçilen atıklar Aspen Plus yazılımında farklı koşullarda gazlaştırılmış, bu gazlaştırma sonucunda oluşan ürünler, ürün verimleri ve ısıl değerler incelenmiş, bu değerlerin farklı koşullar altındaki değişimleri araştırılmıştır. Ayrıca, laboratuvar ölçekli, siklon

ayırıcılı, sabit yataklı çelik reaktörde gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen sonuçlar modellenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma ile günümüzde bir çok mühendislik modellerinin ve gerçek ölçekli sistemlerin modellenmesinde kullanım alanı bulunan bilgisayar destekli mühendislik yazılımı kullanılmış, laboratuvar ortamında mevcut olan reaktör tipinin dışında, farklı reaktör tiplerinin de irdelenebilmesine olanak sağlanmıştır.

Ayrıca bu çalışma ile deneysel çalışmaların çok vakit alması ve maliyet açısından pahalı olmalarının önüne geçilmiştir. Termal işlemlerde etkin olarak kullanılan Aspen Plus programı ile deneysel veriler kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu çalışma yeni yapılacak gazlaştırma çalışmalarına ışık tutmuştur, hem endüstriyel açıdan hem de bilimsel açıdan yeni çalışmalar için ön ayak olmuştur.

Yapılan bu çalışmada İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Isıl İşlemler Laboratuvarı etkin şekilde kullanılmış, laboratuvar çalışmaları ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait bilgisayarlara Aspen Plus programının kurulumu sağlanmış ve analizler, değerlendirme, sonuçlar ve sistem oluşumu bu program üzerinden oluşturulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ATIK KAVRAMI

Atık, üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu oluşan, insan ve çevre sağlığına zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesi sakıncalı olan, her türlü maddedir. Ekonominin hızla büyümesi, kentleşme ve nüfustaki artış ve refah seviyesinin yükselmesi ile birlikte atık üretim miktarı giderek artmaktadır. Artan atık miktarı; sıfır atık, atık azaltımı, atık geri kazanımı ve atık bertarafı kavramlarının uygulanmasını gerektirmektedir(Öngen, 2011).

2.1.1. Atık Yönetimi

Entegre atık yönetimi, belirli bir atık yönetimine yönelik gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanmasıdır. Entegre atık yönetimi atık önleme, azaltma, yeniden kullanım/ geri dönüşüm/ geri kazanım ve bertaraf adımlarından oluşmaktadır. Atık yönetimi çevresel riskleri önlemek ve sürdürülebilir bir çevre yönetimi sağlamak için önemlidir(Öngen vd., 2016).

Atık yönetimi, sağlıklı bir çevre için gerekli olan ve toplumun karşı karşıya olduğu en önemli küresel bazlı sorunlardan biridir. Atık miktarındaki artış, atık malzemelerin hammadde olarak yeniden kullanımını ve enerjiye dönüştürülmesini zorunlu kılmaktadır. Küresel enerji güvenliği ve enerjinin sürdürülebilirliği için, fosil yakıt tüketimi azaltılmalı ve temiz enerjiye yönelim arttırılmalıdır. Atıkların enerji üretiminde kullanımı sürdürülebilir enerji üretiminin ve atık bertarafının anahtarıdır(Burra vd., 2016).

Entegre atık yönetimi, belirli bir atık yönetimine yönelik gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde, entegre atık yönetimi, atık önleme, azaltma, yeniden kullanım / geri dönüşüm / geri kazanım ve bertaraf adımlarından oluşmaktadır. Avrupa Birliği Çevre Direktiflerine göre, çevresel riskleri önlemek ve sürdürülebilir bir çevre yönetimi sağlamak için Atık Yönetimi de bir alt başlık olarak belirlenmiştir. Termokimyasal yöntemler, atık yönetimi kapsamında geniş bir uygulama alanına sahip alternatifler arasındadır. Organik içeriği içeren organik maddeler veya atık formları, hem endüstriyel hammaddeler hem de enerji geri dönüşümüyle, yakma alternatifleri olan piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal yöntemlerle faydalanarak ekonomiye yeniden entegre edilebilir. Biyokütleden faydalanmak için tasarlanan sistemler oldukça güvenilir

sonuçlar sunar. Piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal işlemler bu amaçla uygulanan güvenli yöntemler arasındadır. Bu sayede atık miktarı ve ağırlığı azaltılabilir, depolama alanlarına aktarılan atık miktarı en aza indirilebilir ve atıkların mikrobiyal stabilizasyonu yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir(ngen vd., 2016 ; ngen ve Arayıcı, 2015).

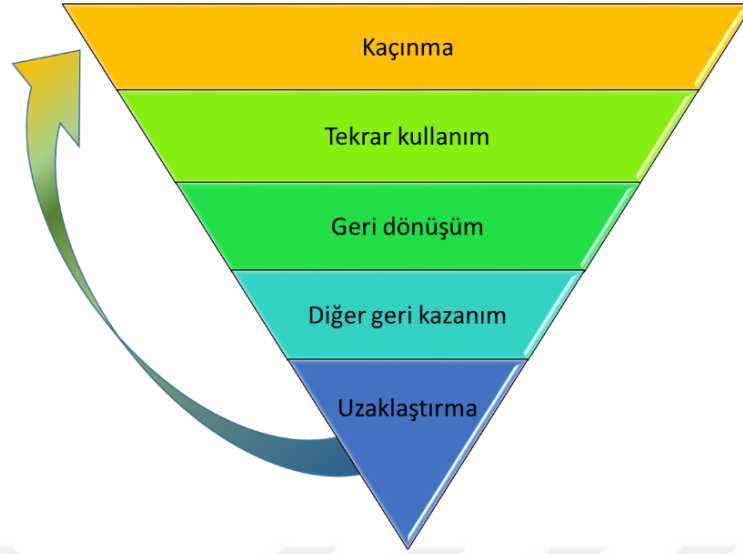
2.1.2. Sürdürülebilir Atık Yönetimi

Atık yönetiminin en temel amacı insanı, çevreyi ve kaynakları korumaktır. Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir atık yönetimi bağlamında, mevcut atık bertaraf seçeneklerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerinin değerlendirilmesini tanımlamaktadır. Atık ve zararlı maddelerin üretimi minimize edildiğinde, tekrar kullanıldığında , geri dönüştürülmüş veya geri kazanılan materyaller en st düzeye çıkarıldığında ve atık bertarafı en aza indirildiğinde, sürdürülebilir atık yönetimi somut bir hal almaktadır.

Sürdürülebilir atık yönetimini değerlendirebilmek için önerilen yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında; ekserji analizi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, eksternal yaşam döngüsü değerlendirmesi, analitik hiyerarşik süreç , yaşam döngüsü maliyeti ve indirgenmiş nakit akışı gibi yöntemler bulunmaktadır. Sürdürülebilir atık yönetimi hem enerji üretimi için hem de yenilenebilir enerji kaynaklarına ve iklim değişikliği ile mücadeleye katkı sağladığı için önemli bir kavramdır(Cucchiella vd., 2017).

Sürdürülebilir atık yönetimi, beraberinde sürdürülebilir kalkınmayı da getirmektedir. Her yönden avantajlar sağlayan bu kavramda, sürdürülebilir atık yönetimi uygulamalarının oluşturulması için, mevcut kaynakların kullanımı ve korunması , yönetim ve kurumların sürdürülebilirlik bilinciyle hareket etmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir atık yönetimi evre, insan ve kaynak koruması için bir tercih değil bir zorunluluk olmuştur(Max vd., 2018).

Günümüzde sürdürülebilir atık yönetimi için 6 esas strateji uygulanmaktadır. Bu stratejiler en öncelikli istenen şekilde sırasıyla ; nleme, azaltma, tekrar kullanım, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraftır. Bu stratejiler birbirlerinden bağımsız değillerdir ve doğru bir sürdürülebilir atık yönetimi için hem çevresel hem de ekonomik kriterler dikkate alınmalıdır(ztrk vd., 2007).



Şekil 2.1: Sürdürülebilir atık yönetimi hiyerarşisi.

2.1.3. Sıfır Atık Yaklaşımı

Sıfır atık kavramı, atık yönetimini sağlamak ve atık sorununu azaltmak için ortaya çıkmış çevre dostu bir kavramdır. Sıfır atık yaklaşımı, atık yönetimi ve arıtma, madencilik, imalat ve kentsel gelişim dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Sıfır atık kavramı sürdürülebilir üretim ve tüketimi, optimum geri dönüşüm ve kaynak geri kazanımını teşvik etmektedir. Sıfır atık, gerçek bir sürdürülebilir atık yönetim sistemi için gerekli olan en bütüncül inovasyondur. 1990'ların sonlarından beri dikkat çeken bu kavram, dünya çapında birçok kuruluş tarafından benimsenmiştir.

Konvansiyonel atık yönetim sistemlerinde atık, tüketimin son aşamasında üretilen “yaşam sonu” ürün olarak kabul edilir. Bu sebeple yönetim teknikleri genellikle esas olarak “boru sonu” çözümlerine dayanmaktadır. Sıfır atık çalışmalarının çoğu geri dönüşüm, bertaraf ve gelişmiş atık arıtma teknolojilerini entegre ederek bütünsel bir yönetim sistemi uygulamaktadır (Zaman, 2015).

Termal prosesler sıfır atık yaklaşımını benimseyen ve sıfır atık hedefine sahip olan proseslerden biridir, termal prosesler aracılığı ile hem atıktan “atıktan enerji” kapsamında ekonomik değeri olan ürünler elde edilir hem de atık geri kazanımı sağlanarak katı, sıvı ve gaz formunda kullanılabilen değerli ürünler elde edilebilmektedir. Sıfır atık teknolojileri denilen bu süreçler daha çevre dostu atık yönetim sistemleri oluşturmaktadır (Öngen ve Arayıcı, 2015).

2.2. ENERJİ KAVRAMI

Enerji, fizikte çalışma ve depolama işi yapma kabiliyeti olarak tanımlanır ve mekanik (kinetik ve potansiyel), termal, kimyasal, ışın, nükleer ve fisyon enerjisi gibi farklı ölçütlere göre yedi gruba ayrılır. Yenilenebilir ve yenilenemez olarak sınıflandırılan enerjinin, yenilenebilirliği veya yenilenemezliği, enerji depolama veya döngü süresine bağlı olarak ayırt edilir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları başlıca; biyokütle, güneş, hidrolik, rüzgar, jeotermal, gel git, dalga enerjisi şeklinde sınıflandırılmakta olup bu enerji kaynaklarının büyük bir kısmı dünyada yaygın bir kullanım alanı bulmuştur(Haktanırlar Ulutaş, 2005 ; Kılıç, 2011).

Enerji, ekonomik faaliyetin ve insan hayatının kalitesini koruyan gerekli hizmetleri sağlayan ekonomik kalkınmanın önemli bir parçasıdır. Değerli enerjinin, sanayi, ulaşım ve tarım gibi ekonomik önemi olan kilit sektörlerin geliştirilmesinde yaşamsal rolü birçok araştırmacıyı enerji yönetimine üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir(Unakıtan vd., 2010).

Enerji, yaşam standartlarını yükseltmek ve yoksulluğu azaltmak suretiyle bir ekonomik gelişme aracıdır(Büyüközkan ve Karabulut, 2017). Enerji, insanlar için kaçınılmaz bir zorunluluktur. Enerji kaynaklarının önümüzdeki yıllarda nüfus artışının bir sonucu olarak azalması öngörülmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir, temiz ve düşük maliyetli enerji kaynaklarına yönelim artmıştır(Haktanırlar Ulutaş,2005). Nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte enerji ihtiyacı da sürekli olarak artış göstermektedir. Enerji kaynaklarının azalması, fosil enerji kaynaklarının sınırlı halde olması ve bu enerji kaynaklarının tükenebilme olasılığı alternatif enerji kaynaklarına olan yönelme talebini arttırmaktadır. Bu yönelme ile yeni, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından yararlanma olanakları da artış göstermiştir(Kılıç, 2011).

2.2.1. Global Enerji

Enerjinin tarihine bakıldığında, sanayi devrimi yıllarında kömür en popüler enerji kaynağı olmuştur. 1860-1910 yılları arasında alternatif bir kaynak olarak petrol oluşmuştur. Ekonomiyi etkileyen nükleer enerji ise 1910-1970'li yıllarda tartışılmıştır. 21. yüzyıla gelindiğinde ise daha fazla enerji kaynağı vardır. Artan dünya nüfusu artışı ile birlikte alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır(Haktanırlar Ulutaş,2005).

Yirmi birinci yüzyılın en büyük zorluklarından biri, artan nüfus ve yükselen yaşam standartlarına bağlı olarak küresel enerji talebindeki artışa ayak uydurmaktır. Son yıllarda, küresel çevre sorunları, artan nüfus, sınırlı yenilenemez enerji kaynakları ve küresel iklim değişiklikleri, enerji ile çevre arasındaki bağlantının çok güçlü ve alakalı olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, enerji maliyeti, ülkelerin ve şirketlerin küresel ekonomik pozisyonları göz önünde bulundurulduğunda bir başka önemli sorundur. Bu düşünceyle, enerji üretim maliyetlerini düşürmek ve çevre koruma emisyonlarını azaltmak için çeşitli girişimler yapılmaktadır. Enerji tasarruflu cihazlar ve sistemler inşası, toplam enerji tüketimini azaltma girişimleri, ucuz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretimi, günümüzde enerjiye yönelik çalışma konularıdır. Toplam enerji üretiminin % 51'inin sanayide, % 20'sinin ulaşırmada, % 18'i konutta ve % 12'sinde ticari sektörlerde kullanıldığı tespit edilmiştir. Küresel olarak, toplam enerji tüketiminin % 50'si ve toplam su tüketiminin % 42'si binaların inşaat ve kullanım döneminde gerçekleşir. Ayrıca, sera gazlarının % 50'si, su kirliliğinin % 40'ı ve hava kirliliğinin % 24'ü, yapılı çevredeki faaliyetlerden kaynaklanmaktadır(Mert ve Saygın,2016).

Yenilenebilir enerjinin aşırı dönüştürülmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması jeopolitik bir mesele olan enerji bağımlılığını hafifletebilir. tedbirler arasında, Hidrojen, enerjiyi yönetmek ve enerji sistemlerinde yaşanan sorunları çözmek için en iyi çözümdür(Nastasi ve Basso,2016).

Küresel ekonomi, ekonomik büyümesini sürdürmek için artan miktarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Enerji, yalnızca bir ekonomik gelişme aracı değildir; yaşam standartlarını yükseltmek ve yoksulluğu azaltmak için hayati bir unsurdur, zira 1.1 milyar insan halen elektriğe erişememektedir(World Bank, 2017). Dünya nüfusu ve ekonomisi arttıkça, elektrik talebi ve dünya ekosistemleri ve toplumları üzerindeki baskılar artmaktadır. 2040'a kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının Avrupa Birliği'nde % 50, Çin ve Japonya'da % 30, ABD ve Hindistan'da % 25'in üzerinde bir paya ulaşması beklenmektedir(Büyüközkan ve Karabulut, 2017 ; IEA; 2015).

Nizami ve diğ. (2017) çalışmalarında Mekke şehrindeki atık depolama sorunlarına ve yenilenebilir elektrik üretimine sürdürülebilir bir çözüm olarak atıkların geri kazanımını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Dört farklı atıktan enerji teknolojisi ekonomik, çevresel ve teknolojik avantajlarına ve yerel atık kategorilerine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Bu teknolojiler anaerobik parçalama, piroliz, transesterifikasyon ve atıktan türetilmiş yakıt(RDF) teknolojileridir. Bütün bu değerlendirmeler ve çalışmalar sonucunda atık değerlendirme ve

atıktan enerji teknolojilerinin 1.15 milyon Mt.CO₂ eşdeğeri olan küresel ısınma potansiyelini (GWP) azaltabileceği tespit edilmiştir. Nizami ve diğ. (2017) çalışmalarında Mekke şehrindeki atık depolama sorunlarına ve yenilenebilir elektrik üretimine sürdürülebilir bir çözüm olarak atıkların geri kazanımını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Dört farklı atıktan enerji teknolojisi ekonomik, çevresel ve teknolojik avantajlarına ve yerel atık kategorilerine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Bu teknolojiler anaerobik parçalama, piroliz, transesterifikasyon ve atıktan türetilmiş yakıt(RDF) teknolojileridir. Bütün bu değerlendirmeler ve çalışmalar sonucunda atık değerlendirme ve atıktan enerji teknolojilerinin 1.15 milyon Mt.CO₂ eşdeğeri olan küresel ısınma potansiyelini azaltabileceği tespit edilmiştir.

2.2.2. Türkiye’de Enerji

Türkiye Balkanlar, Orta Asya, Orta Doğu, Kuzey Afrika, Doğu Avrupa ve Rusya'nın merkezinde stratejik bir konuma sahip olduğundan büyük bir iç pazar sunmaktadır. Türkiye, dünyanın dört bir yanından ülkelerle geniş bir ikili ekonomik ilişkiler yelpazesine sahiptir. Bu bağlamda Türkiye pek çok ülke ile istikrarlı ve verimli işbirliği için sağlam bir ekonomik dayanak oluşturmuştur(Öztürk,2005). Türkiye'nin sanayileşme, şehirleşme ve hızlı nüfus artışı gibi faktörlerin bir sonucu olarak Türkiye'nin enerji talebi hızla artmaktadır(Haktanırlar Ulutaş,2005). Türkiye'de genç nüfus artışı, kişi başına düşen elektrik tüketimi, hızlı kentleşme ve güçlü ekonomik büyüme ile yaklaşık yirmi yıldır dünyanın en hızlı büyüyen enerji piyasalarından biri olmuştur(Topçu ve Ulengin, 2009).

Bir ekonominin enerji ihtiyacı, ekonomik büyüme oranına ve üreten sektörlerin enerji yoğunluğuna bağlıdır. Endüstrinin enerji yoğunluğu, teknolojik ilerlemenin bir fonksiyonudur ve sektörden sektöre değişir. Türkiye'nin enerji stratejisi, ülkedeki ekonomik büyümenin üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadan talebi karşılamaktır. Bu nedenle, enerji tasarrufu, Türkiye'de enerji politikasının önemli hedeflerinden biridir. Türkiye, enerji gereksinimlerinin yaklaşık % 50'sini ithal etmektedir. Petrol ve doğal gaz, ülkedeki enerji talebinin yaklaşık% 60'ını karşılamaktadır. Yeterli ve güvenli enerji kaynakları, Türkiye'nin enerji politikasının en büyük önceliğidir(Öztürk,2005).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2017 yılı Temmuz ayı sonu verilerine göre elektrik üretiminin, %34 'ü doğal gazdan, %31'i kömürden, %24'ü hidrolik enerjiden, %6'sı rüzgârdan, %2'si jeotermal enerjiden ve %3'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2017 Temmuz ayı sonu itibarı ile kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı ise; yüzde 33,6'ü hidrolik enerji, yüzde 28,1'i

doğal gaz, yüzde 21,5'i kömür, yüzde 7,7'si rüzgâr, yüzde 1,1'i jeotermal ve yüzde 7,4'ü ise diğer kaynaklar şeklindedir(URL1).

Türkiye, enerji konusunda birçok zorlukla karşı karşıya kalmaktadır. 2014 yılı itibariyle Gayrisafi yurt içi hasılanın 798 milyar doları aşması ve dünyanın en büyük ekonomisi olan Avrupa'da 6. sırada yer alması ile Türkiye'nin enerji talebinde hızlı orta ila uzun vadeli büyüme yaşayacağı tahmin edilmektedir(URL2).

Türkiye ekonomisi, büyüklüğüne ve büyüme oranına rağmen, ithal fosil yakıtlara büyük oranda bağımlıdır; zira enerji üretimi çoğunlukla fosil yakıtlarla yürütülmektedir ve enerji talebinin %50'sini ithal etmektedir. Bu nedenle ülke, sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak için düşük maliyetli, temiz, yerli ve güvenli enerji kaynaklarını amaçlamaktadır(Büyüközkan ve Güler,2017).

Fosil yakıt enerjisi kısıtlaştıkça, Türkiye, gelecek yıllarda, enerji kıtlığı, enerji fiyatlarında belirgin artışı ve enerji güvensizliği ile yüz yüze kalacaktır. Bu sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye' nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için giderek artan şekilde önem kazanmaktadır(Demirbaş, 2006).

Yenilenebilir ve geleneksel enerji kaynağı olarak biyokütlenin enerji değeri, 1995 yılı itibarıyla dünya enerji tüketiminin yaklaşık 8.3 katına eşittir. Günümüzde dünya nüfusu bu değerın yaklaşık %7' sini kullanmaktadır(Kılıç, 2011).

Artan enerji kaynakları, yakıtların kirlilik ve sera gazı emisyonlarına olumsuz katkısı gibi durumlarla birlikte artan enerji tüketimi, dünya enerji dengesini değiştirmektedir. Fosil yakıtlara dayalı geleneksel enerji üretimine alternatif olarak düşünülen tüm enerji kaynakları arasında, biyokütle, kullanılacak yerel bir kaynak olarak önemli bir rol oynamaktadır(Tanczuk vd., 2017).

Türkiye zengin enerji kaynaklarına rağmen enerji ihtiyacının %70' den fazlasını dışarıdan sağlayan ve enerjide büyük çapta dışa bağımlı olan bir ülkedir ve ekonomisindeki hızlı büyüme ve dolayısıyla enerji kullanımındaki yüksek artış yüzünden bu bağımlılık gittikçe pekişmektedir(Çengel, 2009). Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülke olup, enerji ihtiyacının

yarıdan fazlasını ithal etmekte ve bu da ülke ekonomisi üzerinde olumsuz etki yapmaktadır(Önal ve Yarbay, 2010).

2.2.3. Atıktan Enerji (Waste to Energy)

Atıktan elde edilen enerji, sürdürülebilir atık yönetiminin önemli bir parçasıdır. Atık yönetimi konusundaki gelişmeler son yıllarda artmakta ve enerji geri kazanımı, atıktan enerji, ikincil kaynak geri kazanımı gibi kavram ön plana çıkmaktadır.

Sürdürülebilir atık yönetiminde, atıktan enerji geri kazanımı yoluyla fosil yakıtlara olan bağımlılık azalmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının ön plana çıkması ve fosil kaynaklara rağbetin azalması ile birlikte atıktan enerji teknolojileri gittikçe daha önemli bir rol oynamaktadır(Astrup vd., 2015).

Atıktan enerji kavramı, atıkta depolanmış halde bulunan enerjinin kilidini açan termal ve biyolojik dönüşüm teknolojilerini kapsamaktadır. Atıktan enerji, atıklardan elde edilen enerjinin kullanılabilir ısıya, elektriğe ve yakıtla dönüştürülmesini ifade eder. Atıktan enerji kavramı, atık yönetimi probleminin üstesinden gelmek için ve bu atıkların potansiyel yenilenebilir enerji kaynağı olarak ümit vaat eden bir alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması için önemli bir kavramdır. Atıktan enerji yaklaşımları termal işlemler, biyolojik arıtma ve depolama olarak üçe ayrılabilir. Termal işlemlerden yakma, piroliz ve gazlaştırma uygulamaları ile elektrik ve ısı üretilir. Biyolojik arıtım ise biyogaz üretimi ile birlikte anaerobik parçalamayı içermektedir. Düzenli depolamada CH_4 gaz geri kazanımı ile türbinlerle elektrik ve ısı üretebilir. 2015 yılı verilerine göre, yaklaşık 40 ülkede 800'den fazla termal atıktan enerji tesisi işletilmektedir ve bu sayı her geçen yıl artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde atıktan enerji teknolojileri büyük ölçekli olarak uygulanmaktadır(Tan vd., 2015).

2.3. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

2.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi ve güneş enerjisi tabanlı teknolojiler, artan enerji talebini karşılamak için son zamanlarda sıkça kullanılmakta ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir(Modi vd., 2017). Güneş enerjisi ısı ve elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından dünya enerji tüketimi konusu hakkında yapılmış bir çalışma, 2050 yılında,

güneş enerjisi tesislerinin dünyadaki enerji talebinin yaklaşık % 45'ini sağlayacağını ortaya koymuştur. Güneş enerjisi endüstriyel uygulamalarda da rağbet görmeye başlamıştır. Güneş enerjisi, elektrik üretiminde, proses kimyasallarının işletiminde ve ısıtmada kullanılabilen önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Gıda, tekstil, bina ısıtma ve kimyada güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra telekomünikasyon, tarım, su arıtma ve inşaat endüstrisinde ışıklar, pompalar, motorlar, fanlar, buzdolapları ve su ısıtıcılarını çalıştırmak için güneş enerjisi kullanılmaktadır(Mehlikef vd., 2011).

Ana bileşeni güneş olan güneş enerjisi sistemleri güneş ışıyım enerjisini iç enerjiye dönüştüren özel ısı değıştiricilerdir ve güneş ev sistemleri, güneş fotovoltaik sistemleri, güneş enerjili su ısıtma sistemleri, güneş kurutucuları ve güneş ocaklarından oluşurlar. Bu sistemler, içme ve sulama için su pompalama, elektrik üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanılırlar(Demirbaş, 2005).

2.3.2. Rüzgar Enerjisi

Yüzyıllardan beri , yel değirmenleri ile üretilen rüzgar enerjisi , daha yakın zamanlardan beri büyük rüzgar türbinleri ile üretilmektedir, elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisinin bir çok alanda kullanılması, temiz enerji olması, serbestçe kaynak sıkıntısı olmaksızın kullanılması ve üretilen elektriğin maliyetinin düşük olması rüzgar enerjisinin avantajlarındandır. Rüzgâr türbinlerinin bazı yenilenebilir enerji türleri üzerindeki bir avantajı da, rüzgârın estiğı her anda, gece ve gündüz farketmeksizin elektrik üretebilmeleridir. Ancak, en rüzgarlı yerlerde bile, rüzgar her zaman esmeyebilir. Bu nedenle rüzgar santralleri, elektrik yedeklemesi için pillere ihtiyaç duymazken, küçük rüzgar sistemlerinin yedek pillere ihtiyacı vardır. Rüzgar enerjisi, coğrafya ve meteorolojiye dayanan sınırlamalara sahiptir, ayrıca politik veya çevresel problemler de (ör. ölü kuşlar) rüzgar enerjisinin dezavantajları olabilir(Demirbaş, 2005).

2.3.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, 1900'lü yıllardan beri elektrik üretiminde kullanılan bir enerji türüdür ve kullanımı hızla artmaktadır. Jeotermal enerji temiz, ucuz ve yenilenebilir bir enerji türüdür, ısı pompaları, sera ısıtması, elektrik üretimi, ısıtma ve kullanım sıcak suyu temini, endüstriyel prosesler gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Düşük sıcaklıklı jeotermal enerji, birçok ülkede yaklaşık 10.000 MW'lık termal bir kapasiteye sahip ısı üretmek için kullanılmaktadır. Jeotermal

enerjinin doğrudan kullanımının teknoloji, güvenilirlik, ekonomi ve çevresel kabul edilebilirliği tüm dünyada kanıtlanmıştır(Demirbaş, 2005).

2.3.4. Biyokütle ve Biyogaz

Biyokütle enerjisi, bitkilerde, hayvanlarda veya ürettikleri atıklarda depolanan enerjidir. Biyokütle enerjisinin ortalama çoğunluğu odun ve odun atıklarından (% 64) üretilmekte, bunu sırasıyla katı atık (% 24), tarımsal atıklar (% 5) ve çöplük gazları (% 5) takip etmektedir. Bu enerji, yakıt olarak biyokütlenin termokimyasal, biyolojik veya kimyasal işlemlere uğraması ile geri kazanılabilir. Bu işlemler doğrudan yanma, piroliz, gazlaştırma, sıvılaştırma, süperkritik sıvı ekstraksiyonu, anaerobik parçalama, fermentasyon, asit hidrolizi, enzim hidrolizi ve esterifikasyon gibi kategorilere ayrılabilir. Biyokütle, düşük maliyetli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak, hem dünya ekonomisine hem de çevreye katkıda bulunabilen bir enerji türüdür. Biyokütle enerjisi, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilir, sıvı yakıt ya da sentez gaz üretiminde kullanılabilir(Demirbaş, 2005).

2.3.5. Su Enerjisi- Hidroelektrik

Akarsulardaki hidroelektrik gücten kaynaklı oluşan hidroelektrik enerji, dünyanın toplam elektrik arzının yaklaşık dörtte birini karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Hidroelektrik enerji sistemleri ile hem mekanik enerji hem de elektrik enerjisi sağlanabilir(Demirbaş, 2005).

2.3.6. Hidrojen Enerjisi

21. yüzyılın enerji kaynağı olan ve evrende en bol element olarak bulunan, en hafif element olan hidrojen, en basit elementtir; bir atom, bir proton ve bir elektrondan oluşur, renksiz, tatsız, kokusuz ve zehirsizdir(Haktanırlar Ulutaş,2005).

Yirmi birinci yüzyılın en büyük zorluklarından biri, artan nüfus ve yükselen yaşam standartlarına bağlı olarak küresel enerji talebindeki artışa ayak uydurmaktır. Küreselleşen dünyada enerji ihtiyacının artması ve insanoğlunun çevre dostu enerji üretim yöntemleri arayışı, fosil yakıttan bağımsız alternatif yöntemler üzerinde çalışma eğilimini arttırmıştır. Doğada sınırlı miktarda bulunması ve bu bulunmanın homojen dağılmaması, fosil yakıtların fiyatları, erişilebilirliklerinin azalması, fosil yakıt kaynaklarına sahip ülkelerin politik belirsizlikleri gibi sebeplerden ötürü, fosil yakıtların enerji talebindeki artışa ayak uydurması beklenmemektedir.

Ayrıca çevresel bazlı bakıldığında fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonları ve bunların küresel ısınmayı olumsuz yönde etkilemesi ciddi çevresel kaygılar yaratmaktadır. Bu nedenle fosil yakıt dışında çevre dostu enerji kaynaklarının kullanılması CO₂ ile ilişkili emisyonların azalmasına ve küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin giderilmesine katkıda bulunacaktır(Dinçer ve Acar, 2015).

Hidrojen, fosil yakıtlar, su, biyokütle ve biyolojik atık gibi çeşitli hammaddelerden üretilebilen sentetik bir yakıttır. Yaklaşık sıfır emisyon üretmesi ve doğada bol bulunan kaynakları ile hidrojen ideal bir sürdürülebilir enerji kaynağı olabilir. Hidrojenin tersine, fosil yakıt kaynakları, hava kirliliği ve küresel ısınma gibi ciddi çevre sorunlarına yol açmıştır. Fosil yakıt kullanımının çevre, insan sağlığı ve iklim üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için temiz ve zengin kaynaklardan çevreye zararsız metotlarla hidrojen üretilmelidir(Levin ve Chahine, 2010 ; Awad ve Veziroğlu, 1984).

Hidrojen geleceğe dair kullanılabilecek enerji kaynakları içerisinde umut vaat eden bir kaynaktır. Temiz enerji üretimi için etkin bir çözümdür. Hidrojen çeşitli kaynaklar ile üretilebilir. Bunlar arasında fosil kaynakları, doğal gaz, kömür ve biyokütle bulunmaktadır.

Enerjinin üretimi, dönüştürülmesi ve kullanımı asit yağmuru, stratosferik ozon tüketimi ve küresel iklim değişikliği gibi bir çok çevresel konu ile bağlantılı olarak meydana gelmiştir. Hidrojen enerjisi sistemleri bu çevresel sorunlar için en etkin çözüm yönemi olarak gözükmektedir. Günümüzde büyük bir pazarı olan hidrojen, esasen yakıt yerine bir kimyasal maddedir ve kullanım alanları çoğunlukla rafinerilerde (örneğin, kükürt giderme ve petrolün yükseltilmesi için) ve kimyasal üretim işlemlerinde (örneğin, metanol, amonyak ve farmasötik maddeler) olmaktadır. Artan nüfus ile birlikte konvansiyonel ulaşım yakıtlarının, gübrelerin ve kimyasalların ihtiyaçlarını karşılamak için hidrojenin talebi de artmaktadır(Dinçer, 2012). Awad ve Veziroğlu(1984), hidrojen enerjisi fikrinin ilk ortaya çıkışından itibaren fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan çevresel hasarların giderilmesinde hidrojenin önemini vurgulamıştır.

Hidrojeni dünya ekonomisine kazandırmak için finansal, toplumsal ve politik çaba gerekmektedir. Hidrojen ekonomisine teşviği arttırmak için birçok kuruluş vardır ve bunun yanı sıra birçok hükümet hidrojen ekonomisinin gelişimine yönelik teşviklerde bulunmaktadır.

Hidrojenin bazı avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- (i) Yüksek enerji dönüşüm verimliliği,
- (ii) Emisyonsuz üretim olanağı,
- (iii) Doğada bol miktarda bulunması,
- (iv) Farklı formlarda bulunabilmesi (Gaz, sıvı veya metal hidridleri ile birlikte),
- (v) Uzun mesafe taşımacılığına uygunluğu;
- (vi) Diğer enerji biçimlerine dönüştürme kolaylığı;
- (vii) Geleneksel fosil yakıtların çoğundan daha yüksek ısı değere sahip olmasıdır(Dinçer ve Acar, 2015).

2.3.6.1. Hidrojen Enerjisi Kaynakları

Doğada bulunan birçok madde hidrojen içerir. Bunların arasında tuzlu su, nehir, yağmur veya kuyu suyu en bol miktarda bulunanlardır. Hidrojen fosil hidrokarbonlardan, biyokütle, hidrojen sülfitten elde edilebilir(Dinçer,2012). Hidrojen enerjisi en çok kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan üretilmektedir.

Hidrojen enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir hammaddelerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sudan hidrojen üretimini analiz eden ilk çalışmalardan birini gerçekleştiren, yüksek sıcaklıkta su ayrışımı, termokimyasal su ayırma, su elektrolizi ve su fotolizinin uygulanmasından bahseden Lodhi (Lodhi, 1987) bir başka bildirisinde (Lodhi, 2004) hidrojen üretmek için yeşil enerji kaynaklarını güneş ışığı, deniz / okyanus enerjisi, akan sular, rüzgarlar, parçalanabilir malzemeler,biyokütle olarak sıralamıştır. Doğal gaz, kömür, benzin ve biyokütle de hidrojen enerjisi kaynaklarındandır.

2.3.6.2. Hidrojen Gazı Üretim Yöntemleri

Hidrojen üretimi üzerine çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Hosseini ve diğ. (2015), çalışmalarında hidrojen üretiminin önemini vurgulamıştır ve elektrik üretiminde üretilen

hidrojenin kullanılmasının performans artırıcı bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Hamad ve ark. (2016) biyokütle gazlaştırması ile hidrojen bakımından zengin gaz üretimi gerçekleştirmiştir. Pamuk saplarının gazlaştırmasının yapıldığı çalışmada optimum çalışma koşulları ise şu şekilde tespit edilmiştir : Oksijen yakıt oranı 0.25, 800°C sıcaklık, 90 dakika süredir. Alstrum-Acevedo ve diğ.(2005), yapay fotosentez ile hidrojen üretimi için mevcut kimyasal yaklaşımları özetlemiştir. Levin ve Chahine(2010), doğrudan ve dolaylı fotoliz, fotofermantasyon, karanlık fermentasyon gibi hidrojen üretmek için kullanılan biyolojik yöntemleri gözden geçirmiştir. Tanksale ve diğ. (2010), gazlaştırma, piroliz ve biyokütlerdeki katalitik hidrojen üretim yöntemlerini gözden geçirmiştir.

Termal Yöntemler

Piroliz / Gazlaştırma

Biyokütle / biyolojik atıktan hidrojen üretmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Biyokütle / biyolojik atık piroliz / gazlaştırma yöntemi hidrojen üreten ileri teknolojilerden biridir(Bridgwater, 2004 ; Hosseini vd.,2015). Bu işlemlerle hidrokarbon yakıtları, oksijenli yakıtlar, elektrik ve kimyasallar gibi ikincil ürünler elde etmek mümkündür (Bridgwater,1994). Bridgwater (1994), 1980 ile 1994 yılları arasında termokimyasal işlemlerle üretilen ürünlerin herhangi bir formunun geniş bir özetini bildirdiği çalışmasında termokimyasal prosesler, ekonomi, enerji / ekserjetik verimlilik gibi farklı parametrelerle proses performansını tanımlamak için detaylı bir şekilde inceleme yapmıştır(Peduzzi vd., 2013; Arena vd., 2015).

Yüksek verimlilikte ürün oluşumu performansından dolayı, gazlaştırma en yaygın kullanılan teknolojidir. Gazlaştırmanın sonucu oluşan gaz ürün uygulanan uygulama yöntemine bağlı olarak uygulanan yöntemle ilgili olarak 5-15 MJ / Nm³ düşük ila yüksek ısıtma değeri içerir(Babu ve Chaurasia, 2004; Babu ve Chaurasia, 2004). Ham maddenin sıcaklığı ve kimyasal bileşimi biyolojik atık/biyokütle gazlaştırmasında sonuçların hem kalitesini hem de niceliğini etkilemektedir.

Organik materyalin pirolizi, orta-düşük kalorifik güce sahip bir biyo-yakıtın geri kazanımı için yapılmaktadır. Gazlaştırma, karbonlu bir malzemenin kontrollü kısmi oksidasyonu olup, tam yanma için stokiometrik gereksinimden daha az oksijen sağlayarak elde edilir. Yanma (aşırı oksijen ile termal bozunma) ve piroliz (oksijen yokluğunda termal bozunma) arasındaki

merkezi bir işlem olan gazlaştırma, 600°C ve 1500°C arasında değişen sıcaklıklarda ilerler(Öngen ve Arayıcı, 2014).

Piroliz, yakıtın uçucu bileşenlerinin oksijensiz ortamda 600°C'nin altındaki nispeten düşük sıcaklıklarda buharlaştırıldığı genel olarak gazlaştırmanın ilk adımı olarak düşünülür. Azaltma ya da gazlaştırma olarak adlandırılan ikinci aşamada, kömür oksijen, buhar ve hidrojen ile reaksiyonlarla gazlaştırılır(Suopajärvi vd., 2013). Piroliz, kendi başına, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir ve genellikle sıvı bir yakıt üretmek için kullanılır. Sıvı sıvı hidrokarbon yakıtlarına dönüştürülebilir ve genellikle "yağ" veya "biyo-yağ" veya "biyo-ham yağ" olarak anılır. Biyokütle / biyolojik atık gazlaştırma, pirolize kıyasla daha yüksek verimlilik sunması nedeniyle en çok ilgi görmektedir(Panwar vd., 2012; Dodds ve McDowall, 2012). Bununla birlikte, piroliz,yüksek oranda hidrojen verimi ile yakın dönem uygulamaları içerisinde umut verici teknolojilerden biridir(Milne vd., 2015). Termokimyasal prosesler, atık enerjisi kavramıyla enerji üretimi için organik içerikli geniş bir atık miktarını işleyebilir(Brunner ve Rechberger, 2015 ; Arena ve Di Gregorio, 2013 ; Brems vd., 2013). Katı atık fraksiyonlarının çoğu geri dönüşüm / yeniden kullanım yaklaşımları veya biyolojik arıtma alternatifleri ile yönetilebilmesine rağmen, bu rotayı takip edemeyen ve sürdürülebilir kaynakların korunmasını optimize etmek için uygun bir şekilde işleme tabi tutulması gereken bazı önemli atık fraksiyonları bulunmaktadır(Arena vd., 2015).

Piroliz ve gazlaştırma gibi termokimyasal işlemler, biyokütlenin daha yararlı bir enerjiye dönüştürülmesi için kullanılır. Yüksek sıcaklıklarda sıcaklık, basınç, ısıtma oranı, bekleme süresi ve gazlaştırma işleminden kaynaklanan piroliz oranının ve derecesinin bu termokimyasal işlemlerde etkisi büyüktür(Öngen ve Arayıcı, 2014).

Tehlikeli atıkları yönetebilmek, biyokimyasal proseslere kıyasla termokimyasal proseslerin olağanüstü avantajıdır(Öngen vd., 2017 ; Öngen vd., 2015 ; Öngen ve Arayıcı, 2014; Öngen vd., 2013; Hoffman vd., 2007). Öngen ve diğ.(2013), tabakhane atık suyunun arıtımından elde edilen sudan arındırılmış çamurun gazlaştırılmasıyla üretilen sentetik gazın kalorifik değeri hakkında bilgi verdikleri çalışmalarında, hava akış hızı 0.05-0.1 / dk arasındayken 1000-1500 kcal/ m³ ısıtma değeri ile sentetik gaz üretmeyi başarmışlardır. Öngen ve Arayıcı(2014), atık kalıntılarının tehlikeli atık olarak gazlaştırılmasını araştırdıkları çalışmalarında, 2200 kcal / m³lük bir sentetik gaz üretmek için yaklaşık 0,1 L/ dk hız aralığında bir gazlaştırma ajanı, sabit yataklı bir çelik reaktör ve hava kullanmışlardır. Ayrıca, saf oksijen kullanıldığında sentez gaz

ısıtma değeri 3000 kcal / m³'e kadar yükseldiğini tespit etmişlerdir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında gazlaştırma işlemi için çözülmesi gereken teknik ve ekonomik engeller vardır(Bridgwater, 2004). Luz ve diğ.(2015), Brezilya belediyelerinde kullanılmak üzere elektrik üretimi için belediye katı atık gazlaştırmasının tekno-ekonomik fizibilitesini analiz etmiştir. Nüfus ve ekonomik fizibilite nedeniyle üç farklı senaryo yapılmış ve ekonomik fizibilitenin daha büyük birimlerin kurulması ile arttığı ve bu nedenle kurulum kapasitesinin daha yüksek olmasının spesifik maliyetleri düşürdüğü ve faydaların daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik yönler ve teknik zorluklar, gazlaştırma için önemli faktörlerdir. Gazlaştırma esaslı WtE (waste to energy- atıktan enerji) uygulamaları, geleneksel yanma esaslı atıktan enerji dönüşümünden daha yüksek (yaklaşık % 10) işletme ve sermaye maliyeti aralığına sahiptir. Bu arada, termokimyasal proseslerde net gaz verimi, termokimyasal proseslerde sentez gaz temizleme adımı için buhar talebine bağlı olarak, biyokimyasal proseslere kıyasla daha düşüktür(Lervik Mejdell vd., 2011). Ancak, ileriki çalışmalar ve gerçek sistem uygulamalarının verileri, gazlaştırma işleminin geleneksel yakma sistemlerinin güçlü bir rakibi haline gelmesine izin verecektir.

Hamad ve diğ. (2015), farklı katalizörlerin gazlaştırma işleminin performansı üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, basitliği ve gaz halinde nispeten yüksek hidrojen içeriği nedeniyle bir sabit yataklı gazlaştırıcı kullanmıştır. Katalizör olarak kil, kalsiyum hidroksit, kalsiyum karbonat, dolomit, çimento fırını tozunu kullanılmış ve katalizör olarak kireç haline getirilmiş çimento fırın tozuyla en iyi verime ulaşıldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda kalsiyum hidroksit ile pamuk saplarının gazlaştırılmasından elde edilen sentezlerin daha yüksek H₂ ve CO konsantrasyonuna (%45 ve %33) sahip olduğu ve çimento fırın tozu ile pamuk saplarının gazlaştırılmasının, daha yüksek genel hidrojen gazı verimliliğinin yanı sıra daha yüksek hidrojen ve CO kazanımını sağladığı tespit edilmiştir.

Katalitik Gazlaştırma

Biyokütle, buhardan hidrojen çıkarmak için birincil enerji olarak kullanılabilir. Nem içeriği çok yüksekse, gazlaştırma veya süperkritik buhar gazlaştırma uygulanmadan önce biyokütle kurutulmalıdır. Ahşap talaş, şeker pancarı küspesi vs, hidrojen üretmek için kullanılabilen bazı genel biyokütle formlarıdır(Dinçer, 2012).

Biyokütle dönüşümünün katalitik gazlaştırılması halen gelişme aşamasındadır. Katalitik reformasyonu oluşturan değerli ürünler yalnızca sıvılarla sınırlı değildir, yüksek hidrojen içeriğine sahip sentetik gaz ve kararlı bir karbondan oluşabilir.

Termokimyasal proseslerde katalizör kullanılması tercih edilir, çünkü yüksek kaliteli ürünler elde etmeyi sağlar. Katalizörlerin reaksiyonları, yüksek kalitede yakıt veya kimyasal madde temin eden birincil ürünlerin elde edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır(Kudo vd., 2012; Mohanty vd., 2014). Kükürtlü kil, kalsiyum hidroksit, zirkonyum fosfat, dolomit, çimento fırın tozu, potasyum, demir, demir, rubidyum ve nikel bazlı bileşikler gazlaştırma verimliliğini arttırmak için kullanılan katalizör türleridir. Kömür ve biyokütle, katalitik gazlaştırma için yaygın olarak kullanılan besin stoklarıdır(Hamad vd., 2016; Lv vd., 2006; Ding vd., 2015; Ganesh vd.,2015).

Hidrotermal Gazlaştırma

Nem oranı yüksek biyolojik kütle ve atıktan yenilenebilir hidrojen üretmek için kullanılan yeni yaklaşımlar, hidrotermal ayrıştırma ve süper kritik su gazlaştırma uygulamalarıdır. Süperkritik su koşulları $T > 374^{\circ}\text{C}$ ve $P > 22 \text{ MPa}$ 'da sağlandığından, hidrotermal süreç genellikle suda $250\text{--}374^{\circ}\text{C}$ 'de $4\text{--}22 \text{ MPa}$ basınç altında gerçekleştirilir(Elliott, 2011; Tekin vd., 2014). Hidrotermal uygulamalar, yiyecek atıkları ve hayvan gübresi gibi su içeriği yüksek ($>80\%$ nem) biyolojik kütle / atıklara, gizli ısıdan dolayı enerji gerektiren gazlaştırma işlemlerine (Bircan vd., 2011 ; Edwards ve Daniel, 1992 ; Demirbaş, 2009) uygundur. Bu koşullar altında su, ne bir gaz ne de bir sıvıdır, süper kritik haldedir ve bir hidrojen kaynağı olarak işlev gören hidroliz reaksiyonlarına katılabilir(Tekin vd., 2014).

Süper kritik ortamdaki viskozite ve difüzivite bir gazinkine benzer. Düşük dielektrik sabiti nedeniyle yüksek hidrasyon gücüne sahip su, süperkritik hale geldiğinde elde edilmiş ve çoğu organik bileşik ve gazlar süper kritik suda her oranda tamamen karışabilir (Gidner vd., 2001; Pourali vs. 2009). Yüksek hidrojen (50 - 60 hacim%) içeriğine sahip katran, serbest sentez gaz üretimi ve düşük kirletici seviyeleri, işlemin ana avantajlarından biridir(Bircan vd., 2011). Üretilen gazın ısıtma değeri genellikle $12\text{--}18 \text{ MJ/ Nm}^3$ arasında değişir. Bununla birlikte, sürecin çözülmesi gereken bazı zorlukları vardır. Biyokütle / atık ile hidrotermal gazlaştırmada üretilen kirleticiler ve mineraller üzerinde henüz geniş çapta bir araştırma yapılmamıştır.

Plazma Gazlaştırma

Plazma teknolojisi, elektriksel bozunma olarak kabul edilen bir işlemdir ve bir proseste elektrik akımını bir gaz içerisinden geçirerek aralıksız bir elektrik arkı oluşturmayı kapsar(Topal,2015). Sistemdeki elektriksel direnç nedeniyle, elektronları gaz moleküllerinden ayıran iyonize bir gaz akımı veya plazma fazı oluşmakta, ısı çok yüksek bir sıcaklıkta serbest bırakılmaktadır. 2000 °C'de, gaz molekülleri atomlarına ayrılır ve sıcaklık 3000 °C'ye yükseldiğinde, gaz molekülleri elektron kaybeder ve iyonize olur. Bu durumda oluşan gaz, sıvılardaki gibi bir viskoziteye sahiptir ve serbest elektrik yükleri yüksek bir elektrik iletkenliği verir(DPT, 2001).

Plazma gazlaştırma teknolojisi, diğer bertaraf ve yakma yöntemlerine kıyasla salınan ürünler açısından çevre dostu bir teknolojidir. Gaz haline getirme sırasında, ağır metaller reaktörün tabanında eritilir, seramik yapıda çamur haline gelir ve ağır metal çıkışı olmaz. Yüksek sıcaklıklardan dolayı, atık yakma teknolojilerinin en önemli problemleri olan dioksin ve furan grupları, bu teknolojinin kullandığı yüksek sıcaklıklardan dolayı üretilmemektedir(Topal, 2015 ; Gomeza ve Amutha Rania, 2009).

Biyokimyasal Yöntemler

Biyokütle ve biyolojik atıklar, biyokimyasal işlemlerle hidrojen üretmek için araştırmacıların ilgisini çeken alternatif maddelerdir. Fermantasyona dayalı işlemlere, kullanılan mikroorganizma özelliklerine ve gerekli enerjiyi ürettikleri kaynağa bağlı olarak biyokimyasal yöntemler farklı isimlerle adlandırılır. Bu yöntemler; karanlık fermantasyon, termofilik parçalama, biyo-fotoliz, fotofermentasyon, suni fotosentez gibi biyokimyasal işlemlerdir.

Fermantatif Prosesler

Fermentatif proseslerle biyolojik hidrojen üretimi, biyoenerji üretmek için umut verici bir araştırma alanıdır. Organik maddede potansiyel olarak bulunan biyokimyasal enerji, ışık yokluğunda/varlığında hidrojen üretmek için kullanılabilir. Karanlık fermantasyon, organik madde içinde depolanan biyokimyasal enerjinin, ışığın yokluğunda diğer enerjilere dönüştürülmesidir(Dinçer ve Acar, 2015). Hidrojen üretimi için organik maddenin fermantasyonu geleneksel proseslere potansiyel rakip olmuştur ve diğer biyolojik metodlarla karşılaştırıldığında teknik olarak daha uygundur(Pradhan vd., 2015 ; Guo vd., 2010). Biyolojik hidrojen üretimi, organik artıkların, atıkların, atık suların hidrojene dönüştürülmesini ele

alır(Han vd., 2015 ; Show vd., 2012). Organik atıkların ucuz ve kolay erişilebilir olması nedeniyle, organik atıklardan hidrojen üretilmesi hidrojen üretim maliyetlerini azaltma potansiyeline sahiptir. Karbonhidrat ve azot bakımından zayıf olduğu için selüloz ve nişasta içeren tarımsal ve gıda endüstrisi atıkları ile bazı gıda sanayi atıkları, zeytinyağı değirmenleri ve fırıncı maya sanayi atıkları, uygun biyo-proses teknolojileri kullanılarak hidrojen üretimi için kullanılabilir(Kapdan ve Kargi, 2006). Karanlık ve fotofermantasyonla H₂ üretmek için saf ve karışık organizmalar yaygın şekilde kullanılmaktadır(Argun ve Kargi, 2010; Dinçer ve Acar, 2015).

Karanlık fermentasyon ile hidrojen üretimi, organik atıklardan hidrojen üretme ve dolayısıyla kontaminasyon potansiyeline sahip biyolojik atıkları kontrol etme ve dengeleme gibi birçok avantaja sahiptir ve daha az enerji tüketimi olması ve ışık kısıtlaması olmaması nedeniyle hidrojen için daha uygun bir biyoteknolojidir. Fermentasyon ile hidrojen gazı üretimi, daha kolay çalışma koşulları altında (30-35°C, 1 atm) gerçekleştiği için kimyasal işlemlere kıyasla önemli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, toksik maddelere duyarlılık, düşük H₂ üretim hızı ve yüksek maliyet, büyük ölçekli karanlık fermentasyonlu hidrojen üretimindeki baskın engellerdir(Han vd., 2015 ; Tawfik vd., 2011 ; Ni vd., 2006; Dinçer ve Acar, 2015).

Mezofilik ve Termofilik Parçalama

Birçok çalışmada bildirildiği üzere, organik maddeden biyogaz üretimi genellikle anaerobik parçalama ile gerçekleştirilir. Bununla birlikte, pH ve sıcaklık gibi parametreler, bu teknolojinin uygulanmasını kolaylaştıran genel işlemlerin ekonomisini etkiler(Durruty vd., 2013). Termofilik parçalamanın, mezofilik parçalama ile karşılaştırıldığında avantajları vardır. Bu avantajlar, prosese ait yüksek sıcaklığa bağlı olarak yüksek metabolizma hızı, yüksek metan verimi ve daha yüksek patojen azalımı olarak sıralanabilir(Fernandez vd., 2015 ; He vd., 2008). Bu avantajların yanı sıra, termofilik anaerobik parçalama, kontrol ve devreye sokma süreçlerinde karşılaşılan güçlüklerle ilgili sınırlı uygulamalar içerir(Golkowska ve Greger, 2013 ; Suwannoppadol vd., 2011).

Termofilik parçalama yoluyla üretilen biyogaz esas olarak metan ve karbon dioksitten oluşur.. Hidrojen metandan daha ideal bir enerji kaynağı olmasına rağmen, termofilik parçalama çalışmaları, hidrojen fermentasyonunun metan üretimi ile rekabet içinde olmadığı sonucuna

varmıştır. Dahası, hidrojen üretimi metan üretimini ve sindirim verimini arttırabileceği tespit edilmiştir(He vd., 2008 ; Cooney vd., 2007).

Fernandez ve diğ. (2015), bir termofilik reaktörde tek ve iki aşamalı bir konfigürasyon ($H_2 - CH_4$) kullanarak peyniraltı suyu püskürtme suyunun termofilik anaerobik parçalanmasını araştırmıştır. Termofilik anaerobik parçalamaya başarılı bir şekilde başlamalarına rağmen, iki aşamalı konfigürasyonda (H_2-CH_4) işlemin değerlendirilmesi literatüre kıyasla daha düşük H_2 verimi yaratmıştır. Beevi ve diğ. (2015), belediye katı atıklarının organik fraksiyonunun termofilik anaerobik parçalanmasını araştırdıkları çalışmalarında, anaerobik parçalama sisteminin kinetik çalışmalarını gerçekleştirmek için sınırlayıcı faktör olarak substratın varlığına dayanan bir birinci dereceden model kullanmıştır. Parçalama sonunda 52,9 L/kg uçucu biyogaz elde edilmiştir(Beevi vd., 2015). Lin ve ark. (2013), hamur, kağıt çamuru ve gıda atığından mezofilik anaerobik biyohidrojen üretimini ve ardından iki aşamalı termofilik koşullar altında metan üretimini gerçekleştirdikleri çalışmalarıyla atığın anaerobik parçalanması üzerine odaklanmışlardır.

Koutrouli vd. (2009), suda 1:4 oranında seyreltilmiş zeytinyağından anaerobik parçalamaya dayalı hidrojen üretimini amaçladıkları çalışmalarında, biyoreaktördeki alıkonma süresini aynı substrattan metan oluşumu için tipik olarak 7.5-30 saat belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda termofilik bakteri üretim oranının, mezofil olanlardan 1.5 kat daha fazla olduğu ve 1 ton zeytinyağı başına maksimum 320 mol hidrojen üretilebileceği tespit edilmiştir. Das ve Veziroğlu(2008), 1 mol glikoz için 7 mol hidrojenin üretildiği hidrojen verimini gösterdikleri çalışmalarında, şeker üretiminin bir yan ürünü olan pekmezlerin de anaerobik sindirimde %28 gibi dikkate değer enerji dönüşüm verimliliği gösterdiğini tespit etmiştir.

Elektriksel-Termal Yöntemler

Termo-Katalitik Kraking

Kraking yönteminin amacı; büyük molekülü ve yüksek kaynama noktalı hidrokarbonları parçalayarak küçük moleküller ve düşük kaynama noktalı hidrokarbonlar elde etmektir. Katalitik krakingte ağır petrol molekülleri, katalizörün etkisi ile ayrışır. Bu yöntemde kullanılan petrol hidrokarbonları, 350 ila 500°C arasında damıtılan ham petrol fraksiyonlarıdır. Reaktör, yaklaşık 500-600°C'lik bir sıcaklıkta ve atmosferik basınçta çalışır. Katalitik krakingin avantajı; daha düşük sıcaklık ve basınçtır(Demirbaş, 1998 ; Çağlar ve Demirbaş, 2000).

Aybek ve diğ. (2012) farklı katalizörler kullanarak atık yağların katalitik olarak parçalanmasını inceledikleri çalışmalarında iki farklı zeolit kullanılarak üç farklı sıcaklıkta 3 saatlik deneylerde farklı miktarlarda zeolitlerin verimini ve verim değişikliklerini araştırmıştır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda, katalitik krakingin hidrojen üretiminde pozitif sonuçlar veren bir süreç olduğu tespit edilmiştir.

Fosil Yakıt Reformasyonu

Buhar reformasyonu, kısmi oksidasyon ve otomatik termal reform, hidrojen üretmek için kullanılan üç ana fosil yakıt reformu teknolojisidir. Buhar reformasyonu genellikle harici bir ısı kaynağı gerektirir, ancak işlemi sürdürmek için oksijen talep etmez. Kısmi oksidasyon ve ototermal reformasyona göre daha düşük çalışma sıcaklığı ve daha yüksek H_2 / CO oranı vardır. Kısmi oksidasyonda, hidrokarbonlar kısmen oksijenle oksidize edilerek hidrojen üretilir. Kısmi oksidasyonda katalizör gereksinimi yoktur Ototermal reformasyonun basınç ihtiyacı kısmi oksidasyondan daha düşüktür. Ototermal reformasyon ve kısmi oksidasyon harici bir ısı kaynağına ihtiyaç duymaz. Bununla birlikte, bu yöntemlerin her ikisi de maliyeti arttıran saf oksijen beslemesini gerektirir. Diğer fosil yakıt reformasyon teknolojilerine kıyasla, buhar reformasyonu, hidrojen üretmek için en ucuz ve en yaygın yöntemdir(Dinçer ve Acar, 2015).

Fotonik-Biyokimyasal Yöntemler

Yapay Fotosentez

Yapay fotosentez ve biyo-fotoliz, su ve biyokütle karışımına uygulanabileceği düşünülen iki potansiyel H_2 üretim yöntemidir. Yapay fotosentez, elektrik üretimi, kuru tarım ve hidrojen üretimini gerçekleştirmek için doğal fotosentez sürecini taklit eden bir işlemdir. Yapay fotosentez, fotonik enerjiden elektrik ve hidrojen üreterek küresel su kullanımını düşürmek ve temiz enerji sistemlerini desteklemek için önemli bir potansiyele sahiptir. Yapay fotosentezde, gerekli olan enerji, fotovoltaiik bir hücrenin bir su elektroliz ünitesine bağlanmasıyla üretilir. Devam etmekte olan araştırma çalışmaları, hem fotovoltaiik hem fotokatalitik sistemleri yüksek verimlilikle nasıl bir araya getireceğinin anlaşılmasına odaklanmaktadır(Soriaga vd., 2015; Koirala vd., 2015, House vd., 2015; Dinçer ve Acar, 2015).

Bununla birlikte, araştırma faaliyetleri ağırlıklı olarak saf maddelerle ilgili olmaktadır(Amao vd., 2014). Siyanobakterler ve yeşil mikroalgler, özel koşullar altında güneş ışığı kullanarak

suyun moleküler hidrojene bölünmesinde biyofotolizin ana faktörleridir(Azwar vd., 2014). Bu iki yöntem katı biyokütle / biyolojik atık için geçerlidir, gelecekte biyokütle ve su karışımlarının yönetimi için uygulanacak potansiyelleri yüksektir.

Foto-fermantasyon

Foto fermentasyon, organik bileşiklerin hidrojen ve karbon dioksit'e dönüştürülmesi için güneş ışığı enerjisi olarak kullanılan çeşitli fotosentetik bakteriyel gruplar tarafından organik substratların fermentatif olarak dönüştürülmesidir. Bu işlem anoksik veya anaerobik koşullarda, fotosentez bakterileri ve güneş ışığı enerjisi kullanılarak gerçekleşir(Azwar vd, 2014).

2.3.6.3. Hidrojen Enerjisi Kullanım Alanları

Hidrojen enerjisi; fosil enerji kaynaklarının (kömür, yağ, doğalgaz) hızla tükenmesi nedeniyle çevreye zarar vermeyen "geleceğin enerjisi" olarak anılmaktadır. Hidrojen, enerji kullanımında, uzun vadede teknolojik ilerlemede önemli rol oynamaktadır.

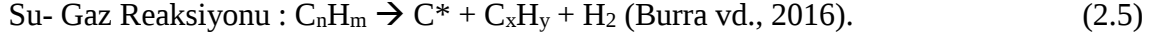
Hidrojen üretim yöntemlerinin termal, biyokimyasal, elektriksel - termal ve fotonik - biyokimyasal olarak çeşitleri vardır. Atıklardan hidrojen üretimi konusu her geçen gün daha da önem kazanmakta ve konuyla ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir.

2.4. GAZLAŞTIRMA

2.4.1. Gazlaştırma Prosesinin Mekanizması

Gazlaştırma, katı maddenin yüksek sıcaklıklarda H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 içeren yüksek ısı değerine sahip ürün gazı oluşturmak üzere hava, O_2 , buhar gibi gazlaştırma ajanlarının kısıtlı varlığında termal dönüşümüdür. Gazlaştırma sonucu oluşan sentez gazın bileşimi CO , H_2 , CO_2 , CH_4 ve H_2O karışımıdır ve bu bileşim büyük ölçüde gazlaştırma maddesi, sıcaklık, besleme maddesi kimyasal özellikleri ve diğer reaktör operasyonel parametrelerine bağlıdır(Öngen ve Arayıcı, 2015 ; Burra vd., 2016). Gazlaştırma sırasında ortaya çıkan başlıca reaksiyonlar ise şu şekildedir:





Gazlaştırma yöntemi, mevcut yöntemlerle karşılaştırıldığında, kömürün hidrojene dönüştürülmesi için daha uygun bir yöntemdir. Gazlaştırmada kömür, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında buhar ve oksijen ile kısmen oksitlenir ve ürünler çoğunlukla buhar ve CO₂ ile karıştırılmış hidrojen ve karbonmonoksittir. Kömürün yüksek karbon içeriği nedeniyle kömür gazlaştırmasının avantajları olmasına rağmen, bu yöntem diğer mevcut hidrojen üretim teknolojilerine kıyasla daha yüksek CO₂ emisyonlarına sebep olur. Karbon yakalama ve depolama teknolojileri şu anda bu sorunu gidermek için geliştirilmiştir(Dinçer ve Acar, 2015). Sentez gazının yüksek ısınma değeri daha kararlı, daha verimli ve daha enerjisi yoğun bir yanmaya ve böylece daha verimli enerji üretimine olanak sağlar. Gazlaştırma ürünleri, enerji üretimi ve nakliyesi için halihazırda mevcut olan altyapılarda da kolayca kullanılmaktadır(Hussein, 2017).

Gazlaştırma ve piroliz gibi termokimyasal dönüşüm yöntemleri, yüksek termokimyasal reaksiyon oranlarına bağlı olarak biyo-kimyasal dönüşüm yöntemlerine kıyasla yüksek verimle endüstriyel olarak uygulanabilir seçenektir(Hussein, 2017).

Gazlaştırma prosesi sırasıyla kurutma, piroliz(distilasyon), oksidasyon, gazlaştırma(indirgenme) aşamalarından oluşmaktadır. Kurutma işlemi sırasında, biyokütle içindeki nem, oksidasyon işleminden kaynaklanan ısıyla uzaklaştırılır. Kurutma işleminin yanı sıra, oksidasyon işlemi sırasında açığa çıkan ısı piroliz ve indirgeme işlemleri için de kullanılır. Piroliz işlemi sırasında uçucu gazlar açığa çıkar. Gazlaştırma işlemi sırasında üretilmek istenen gaz oluşur(Susastriawan vd., 2017).

Kurutma, piroliz, oksidasyon, gazlaştırma işlemleri, bir gazlaştırıcıda organik maddenin ayrıştırılması sırasında gerçekleşen temel aşamalardır. Kurutma işlemi yaklaşık 100°C'de gerçekleşir. Buhar, yüksek sıcaklık nedeniyle su-gaz reaksiyonu ile ilgilidir. Sıcaklık 200-300°C'ye ulaştığında, piroliz başlar ve uçucu maddeler serbest kalır. Uçucu maddeler ve kömür havada oksijen ile reaksiyona girer ve yanma işlemiyle karbon monoksit ve karbondioksit oluşur. Yanma ve/veya kısmi yanma, ekzotermik reaksiyonlar olduğundan, indirgeme

bölgesinde gazlaştırma reaksiyonları için ısı sağlar. Bu noktada, sistemin termodinamik dengeye ulaşması için yakıtın karakteri, reaktör boyutu, çalışma sıcaklığı, entalpi ihtiyacı, reaktivite ve bekleme süresi gibi parametreler büyük önem taşımaktadır. CO ve H₂ üretiminin bir temel oluşturduğu “indirgeme bölgesi” içinde, sistem enerji değeri yüksek iken Boudouard ve su- gaz reaksiyonları devam ederken sentez gaz üretilir(Öngen vd., 2016).

Gazlaştırmanın en önemli çevresel faydalarından biri, hava emisyonları konusundadır. Gazlaştırma teknolojileri ile toplam kükürt gazlarının genel olarak azaltılması, koku azaltılması mümkündür. Gazlaştırma, depolama sahalarına gönderilecek katı kalıntı miktarının azalmasını sağlar farklı türdeki atıkların birlikte gazlaştırılmasını sağlar(Öngen ve Arayıcı, 2015).

Kurutma

Tipik olarak, kurutma bölgesindeki sıcaklık yaklaşık 100-200°C'dir. Kurutma işlemi sırasında nemin su buharına dönüşmesi meydana gelir. Dönüşüm, oksidasyon bölgesinden sıcak gazlar ile kurutma bölgesindeki biyokütleden ısı geçişi nedeniyle gerçekleşir. Yayılan nem miktarı, oluşan su buharına eşittir(Susastriawan vd., 2017).

Yüksek nem içerikli biyokütle daha fazla su buharı üretilir, kurutma için daha fazla ısı gerektireceği için yüksek nem içeriği istenmeyen bir durumdur. Nem oranının %35'ten fazla olması durumunda biyokütle elektrik üretimi için uygun değildir. Yakma ve karbonlaştırma işlemleri için nem oranının % 8-15 arası olması uygundur.

Piroliz (Distilasyon)

Piroliz esnasında, biyokütle molekülleri oksijensiz ortamda 200 ila 700°C arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaşabilir gazlar, katran ve kömürlere ayrıştırılır. Bu reaksiyon basamağı için gerekli olan enerji oksidasyon basamağında açığa çıkan enerjiden sağlanır. Ayrışma gaz-gaz fazı (homojen reaksiyon) ve gaz-katı faz (heterojen reaksiyon) arasında gerçekleşir. Yoğunlaşabilir buhar, yoğunlaşabilir olmayan kalıcı gazlara (CO ve CO₂) ayrılır(Susastriawan vd., 2017).



Reaksiyon sonucu yüksek molleküllü biyokütle daha düşük molleküllere ve karbonmonoksit ayrışır.

Oksidasyon

Oksidasyon sırasında açığa çıkan ısı, piroliz ve diğer endotermik reaksiyonlar için kullanılır. Oksidasyon sıcaklığı yaklaşık 800–1400°C'dir. Karbonun kısmi oksidasyonu karbon monoksit ve ısı üretir. Bu aşamada karbon ve hidrojen reaksiyonlar gereğince, okside olarak ısı enerjisi oluştururlar ve ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşir(Susastriawan vd., 2017).



Gazlaştırma (İndirgenme)

İndirgenme işlemi sırasında ana gazlaştırma reaksiyonları ortaya çıkar. Üretici gazdaki yanıcı gazlar, aşağıdaki reaksiyonlar yoluyla indirgenme sırasında oluşur.

Bouduard Reaksiyonu



Su-Gaz Reaksiyonu



Su-Gaz Değişim Reaksiyonu



Metan Reaksiyonu



İndirgenme işlemi sırasında endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar oluşur. meydana gelir. Bouduard ve su-gaz reaksiyonu endotermik reaksiyonlardır. Su-gaz değişimi ve metan reaksiyonu ekzotermik reaksiyonlardır. Endotermik reaksiyonlar 303 kJ/ mol ısı kullanır ve öte yandan ekzotermik reaksiyonlar 116 kJ/ mol ısı açığa çıkarır(Susastriawan vd., 2017).

2.4.2. Gazlaştırmayı Etkileyen Önemli Parametreler

2.4.2.1. Kömürün Özellikleri

Nem içeriğinin yüksek olması gazlaştırma verimini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Yüksek nem içeriği gazlaştırma verimini azaltır, gazlaştırıcı performansını etkiler, ürün kalitesini etkiler. Kömürün nem içeriğinin %35'i aşmaması istenir. Nem oranı ile birlikte gazın kalorifik değeri düşmektedir. Yüksek kül içeriği kömürün ısıl değerini etkileyen ve düşüren bir parametredir. Kül içeriğinin ise %10'u aşmaması tercih edilmektedir(Sansiniwal vd., 2017). Kömürün sabit karbon içeriği, kömürün kekleşme özelliği ve uçucu madde içeriği de gazlaştırma verimini etkileyen önemli parametrelerdir.

2.4.2.2. Çalışma Sıcaklığı

Yüksek çalışma sıcaklığı gazlaştırma işleminde katran içeriğini azaltan, yüksek karbon dönüşüm verimliliği oluşturan ve daha fazla gaz üretimini gerçekleştiren bir parametredir(Sansiniwal vd., 2017 ; Higman ve Burgt, 2003).

2.4.2.3. Gazlaştırma Ajanı Türü

Gazlaştırma işlemi esnasında ajan gaz olarak hava, buhar ya da oksijen kullanılabilir. Ajan türünün gazlaştırma verimi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Gazlaştırma ajanı olarak hava kullanıldığında , nitrojen ile seyreltilmesinden dolayı düşük ısıl değere sahip bir sentez gaz oluştururken, buhar ve oksijen kombinasyonu, orta ısıtma değerine sahip bir sentez sağlar. Bununla birlikte, hava ile kombine halde buhar, bir sistemin enerji ihtiyacını azaltan daha yüksek hidrojen verimini sağlar(Sansiniwal vd., 2017).

2.4.2.4. Basınç

Gazlaştırma esnasında basınç altında çalışmanın gazlaştırma verimine etkisi büyüktür. Basınç altında çalışmanın sıkıştırma enerjisinden tasarruf ve ekipman büyüklüğünün azaltılması gibi bir çok avantajı vardır(Higman ve Burgt, 2003).

2.4.3. Gazlaştırıcı Türleri

Bir gazlaştırıcının tasarımı yakıtın kullanılabilirliğine, şekline ve boyutuna, nem içeriğine, kül içeriğine ve son uygulamalarına bağlıdır. Çeşitli tiplerde ve boyutlarda, farklı ve çeşitli

gazlaştırıcılar mevcuttur ve gazlaştırıcılar gaz akımı ve kömür akımının birbirlerine göre durumlarına göre ve külün gazlaştırıcıdan uzaklaştırılması yöntemine göre sınıflandırılmaktadır(Sansiniwal vd., 2017).

2.4.3.1. Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar

Sabit yatak tipi gazlaştırıcılar, içinden gazlaştırma ajanlarının (hava, oksijen, buhar) ve gazın yukarı ya da aşağı aktığı bir yatağa sahiptir. Yakıt ve gazlaştırma maddeleri, yakıt besleme ünitesi, kül toplama ünitesi ve gaz çıkışı için silindirik bir kaptan oluşan en basit gazlaştırıcı tipidir. Bu tip gazlaştırıcılar, 25–30 atm arası orta basınç koşullarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu gazlaştırıcıların üretimi basittir, beton veya çelikten imal edilir ve genellikle düşük gaz hızında, yüksek karbon dönüşümü ve uzun sürede çalışırlar. Katran içeriklerinin oluşumundan büyük ölçüde etkilenen sabit yataklı gazlaştırıcılar, küçük ölçekli ısı ve enerji üretimi uygulamaları için uygundur. Sabit yataklı gazlaştırıcılar; aşağı akışlı, yukarı akışlı ve çapraz akışlı sabit yataklı gazlaştırıcılar olmak üzere üçe ayrılırlar(Sansiniwal vd., 2017). Sabit yataklı gazlaştırıcılar, küçük ölçekli uygulamalarda en çok kullanılan teknolojilerdir. Bu sistemler hem karmaşık değildir hem de biyokütleden enerji elde etmek için yüksek seviyelerde seviyelerde sentez gaz verimi sağlarlar. CO ve H₂ bakımından zengin ve az miktarda CH₄ içeren sentez gazı üretmek sabit yataklı gazlaştırıcılar ile mümkündür(Öngen vd., 2016).

2.4.3.2. Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar

Akışkan yataklı gazlaştırıcıların temeli, hem yakıtın hem de yatak malzemesinin bir akışkan gibi davrandığı bir prensibe dayanmaktadır. Bu gazlaştırıcılarda gazlaştırma işlemine tabi tutulan maddelerin etkili bir şekilde karıştırılması için geri karıştırma kullanılır. Silika, bu tip gazlaştırıcılar için en yaygın kullanılan inert yatak malzemesidir. Akışkan yataklı bir reaktörün çalışma sıcaklığı, yatak malzemesinin erime noktasına bağlıdır ve genellikle 800 ila 900°C arasında değişir ve bu da nispeten düşüktür ve dolayısıyla herhangi bir katalizör kullanılmadıkça gazlaştırma reaksiyonları, bu düşük sıcaklık koşullarında kimyasal dengeye ulaşmaz. Akışkan yataklı gazlaştırıcılarda karbon dönüşüm verimliliği %95'e kadar yükselmektedir. Bu gazlaştırıcı tipi kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcılar ve dolaşımli akışkan yataklı gazlaştırıcılar olmak üzere iki tipte kategorize edilmektedir(Sansiniwal vd., 2017).

2.4.4. Gazlaştırma ve Aspen Uygulamaları

Bir proses simülasyon programı olan Aspen programı ilk olarak 1981 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) ve Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından ortaklaşa oluşturulan araştırma projesiyle ortaya çıkmıştır. Bu ortak projeyle kurulan AspenTech firması tarafından program geliştirilmiştir. Aspen adı “Advanced System for Process ENgineering (ASPEN)” kelimelerinin ilk harflerinden gelmektedir. Bu program ile kararlı hal koşulu için kimya mühendisliği ve kimyasal proses simülasyonu konusunda yapılabilecekler oldukça fazladır ve veri bankasında bulunan 23.000 saf madde, 30.000 ikili karışım ve toplamda 4 milyondan fazla deneysel veri ile aranılan her türlü bilgiye ulaşılabilmektedir. Her türlü kimyasal proses ekipmanı için madde ve enerji denkliği hesaplanması, kimyasal herhangi bir saf madde veya karışım için termodinamik hesaplanması, kimyasal bir prosesi tam akış diyagramını oluşturarak madde ve enerji denkliği hesaplanması, kimyasal prosesin verimliliğini artırmaya yönelik hesaplamalar, herhangi bir ekipmanın veya tüm prosesin yatırım ve işletme maliyetini hesaplanması ASPEN programı ile mümkündür(URL2).

Aspen Plus, tek bir üniteden, birçok birimi içeren karmaşık süreçlere kadar çeşitli kararlı durum süreçlerini simüle etme yeteneğine sahip birçok endüstride önemli bir tasarım aracıdır. Bir bilgisayar destekli yazılım programı olan Aspen Plus ile ilgili çalışmalar son yirmi yıldır devam etmektedir, gün geçtikçe de önemi artmaktadır. Deneysel çalışmaların çok vakit alması ve maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle deneysel veriler kullanılarak oluşturulan modeller üzerinden gazlaştırma prosesinin incelendiği çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Aspen Plus, hem araştırmacılar hem de ticari firmalar tarafından gazlaştırma proseslerinin dizaynında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kurulan benzeşim modelleri gerçek sistemlerle birebir örtüşen sonuçlar verememektedir ancak sistem girdileri ve reaksiyonların termodinamik ve hidrodinamik koşulları gerçek sistemle örtüştüğü derecede elde edilen sonuçlar gerçek sistemlere yaklaşmaktadır(Zheng ve Furinsky, 2005; Ordarica-Garcia vd. ,2006; Nathen vd. , 2008; Robinson ve Luyben, 2008, URL2). Gazlaştırma sistemlerinin modellenmesinde farklı yaklaşımlar söz konusudur. Bazı çalışmalarda kimyasal dengedeki çıkış gaz bileşimi dikkate alınırken, bazı modellerde gazlaştırıcı boyunca gerçekleşen karmaşık mekanizmalar en az iki farklı bölgeye ayrılarak incelenmektedir. Genel olarak yapılan modellemeler; kinetik modeller, kimyasal denge modelleri, yapay sinir ağları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleri olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Termodinamik denge modelleri de kendi içinde stokiyometrik

yöntem ve stokiyometrik olmayan yöntem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Stokiyometrik yöntem yaklaşımında tüm reaksiyon mekanizması ve reaksiyonlar tanımlanmaktayken stokiyometrik olmayan yöntem Gibbs serbest enerji değerinin minimizasyonu esasına göre çalışmaktadır(Kupecki, 2009). Nathen et al.(2008), Yeni Zellanda linyit ve bitümlü kömürlerinin bilgisayar destekli yazılım programı kullanılarak gazlaştırılmasını incelemiştir. Sistemin benzeşim çalışmasında Peng Robinson modeli kullanılmıştır, gazlaştırıcı olarak ise düşük ısıl değerli linyitler için uygun olan sürüklemeli akışlı Shell tipi reaktör tercih edilmiştir. Kurulan benzeşim modeli ile farklı tip kömürlerle elde edilen yayınlanmış verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Benzeşim çalışmasında elde edilen sentez gazının üst ısıl değeri ile gerçek sentez gazının ısıl değeri arasındaki hata oranı %11.3 olarak bulunmuştur. Bir diğer model çalışmasında(Mahinpey and Nikoo, 2008), biyokütlelerin atmosferik basınçta çalışan kabarcıklı akışkan yataklı sistemde gazlaştırılması Aspen Plus programı ile incelenmiştir. Oluşturulan modelin doğrulanması için laboratuvar ölçekli gazlaştırıcıda sarıçam talaşı kullanılarak gerçekleştirilen deney verileri kullanılmıştır. Aspen Plus programında oluşturulan model, biyokütle elementel analizine göre sisteme tanımlanmıştır. Oluşturulan modelde hava yakıt oranı, tanecik boyutu değişimi gibi etkenlerin gaz bileşimi üzerine etkisi incelenmiştir.

Fortes ve diğ.(2008), kömüre ilave edilen biyokütlenin gazlaştırmaya olan etkisini inceledikleri çalışmalarında, IGCC sisteminin bilgisayar destekli yazılım programı kullanarak dizayn edilmesini araştırmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, katı atıklar ile birlikte gazlaştırma fizibilitesini araştırmaktır. Benzeşim çalışması sonucunda elde edilen verilere göre, kömürün IGCC sistemleri için en verimli yakıt olduğu belirlenirken, katı atıkların kömürle birlikte gazlaştırılması halinde daha düşük CO₂ emisyon değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Duan et al.(2015), Aspen Plus modelleme programını kullanarak buhar ve yüksek ısılı fırın cürufu atıklarından ısı geri kazanımıyla kömür gazlaştırma sistemi modeli oluşturmuştur. Kütle ve enerji dengesine dayanan model, Gibbs serbest enerji minimizasyonu yaklaşımına ve yüksek ısılı fırın cürufunun ısını geri kazanmak için kullanılan kimyasal denge sistemine dayanmaktadır. Karbon gazlaştırma verimi %90'ın üzerine çıkmış ve soğuk gaz verimliliği, sentez ürün verimliliği ve ısıl değeri maksimuma ulaşmıştır. Kömür gazlaştırma reaksiyonu ile temiz sentez gaz dönüşümü yapılmış ve cüruf atık ısı da bu sistemde verimli bir şekilde toparlanmıştır (%83.08).

Ramzan et al.(2011), Aspen Plus kullanarak kararlı durumda bir gazlaştırma simülasyon modeli geliştirmiştir. Simülasyon sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çeşitli parametrelerin gazlaştırma sistemine etkisi incelenmiştir. Doherty et al. (2013), Gibbs serbest enerjisinin en aza indirgenmesine dayanan bir gazlaştırma modelini oluşturmak için Aspen Plus programını kullanmıştır. Endüstriyel ölçekte çalışılan bu modelde, modelin geçerliliğini belirlemek için deney verileri ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu esnada çeşitli çalışma parametreleri ile değişik koşullarda çalışılmıştır. Niu et al. (2013), bilgisayar destekli yazılım programı ile akışkan yataklı bir reaktörde katı atık gazlaştırılması modeli oluşturmuştur. Gazlaştırma sıcaklığı, eşdeğerlik oranı, oksijen yüzdesi, katı atık nem içeriği dahil olmak üzere işletme parametrelerinin gazlaştırıcı verimliliği üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sedghkarder et al. (2015), Aspen Plus simülasyon programı ile yapılan model çalışmalarında kinetik modelin simülasyon sonuçları ile deney verileri iyi bir uyum içinde olmuştur.

Al Zareer vd.(2016), çalışmalarında bir sistemin enerji verimliliği ve hidrojen üretim hızı üzerindeki gazlaştırma ajanının ve kömür türünün akış oranının etkileri araştırmıştır. Entegre edilmiş sistemi geliştirmek ve simule etmek için Aspen Plus yazılımı kullanılmıştır. Seyitoğlu vd.(2016), hidrojen üretimi ve enerji üretimi için geliştirilmiş entegre bir kömür temelli gazlaştırma sistemini incelemiştir. Tesis, hava ayırma birimi, gazlaştırma birimi, gaz soğutma ve temizleme birimi, hidrojen üretimi için basınç salınım emme , hidrojen üretimi için yüksek sıcaklıktaki elektrolizörden oluşmaktadır. Aspen Plus ve Mühendislik Denklem Çözücü (EES) yazılım paketleri, sistem simülasyonu ve sistem analizi için kullanılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MATERYALLERİN KARAKTERİZASYONU VE ÖN İŞLEMLER

Laboratuvar çalışmaları için pirina, tavuk gübresi olmak üzere iki adet organik madde seçilmiştir. Ayrıca, üçüncü numune olarak, ağırlıkça %50 olacak şekilde hazırlanan pirina ve gübre karışımı kullanılmıştır. Seçilen bu atıkların nem tayini, kuru madde ve kül miktarı tayini, yanma kaybı, uçucu madde miktarı tayini, sabit karbon hesaplaması yapılmıştır.

3.1.1. Tavuk Gübresi

Kümes hayvanları atıkları, zamanla artan kümes hayvanı endüstrisinin en büyük atık kaynaklarından biridir. Bu atıklar, gübre, atık yemler ve hayvan tüyleridir. Özellikle hayvan gübreleri en büyük atık kaynaklarından ve önemli miktarda organik azot içerir. Tavuk gübresi tavuk yetiştirme sistemlerinde üretilir ve miktarı hayvanların tükettiği yem miktarına bağlıdır. Tavuk gübresi araştırmacıların ilgisini çeken atık türlerinden biridir(Burra vd., 2016 ; Tanczuk vd., 2017).



Şekil 3.1: Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma öncesi hali.



Şekil 3.2: Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma sonrası hali.

Tavuk gübresi, çeşitli organik ve inorganik maddeler içerir ve uygun şekilde bertaraf edilmesi şarttır. Tavuk ve yumurta tüketiminin artması ile birlikte atık bertarafı zorlaşmaktadır. Ağırlıkça %70 su içeren tavuk gübresi kötü bir kokuya sahiptir ve Cu, Hg ve As gibi ağır metal elementler, bakteriler, virüsler ve parazitler dahil olmak üzere çok sayıda patojen içerir. Tavuk gübresi tarafından salınan kötü koku, yerel hava kalitesi ve insan sağlığı için önemli bir tehdittir. Tavuk gübresi için geleneksel bertaraf yöntemleri arasında depolama, yakma ve kompostlaştırma yer almaktadır. Tavuk gübresindeki aşırı azot ve fosfor içeriği, depolama ve kompostlaştırma sırasında problem yaratmaktadır. Yüksek nem içeriği dolayısıyla yakma da doğru bir seçim değildir. Tavuk gübresinin bertarafında kullanılabilecek proseslerin termal prosesler olması oldukça doğru bir tercih olmaktadır(Cao vd., 2016).

Ortalama tavuk tüketimi yıllık olarak artmaya devam etmektedir ve bununla birlikte tavuk gübresi üretimi de artmaktadır. Sadece ABD’de her yıl 12.10^6 ton kuru tavuk gübresi üretilmektedir. Türkiye’de ise kümes hayvanı gübre potansiyeli yaklaşık 5.400.000 ton/yıl’dır(Koçer vd., 2006). Tavuk gübresi atığından enerji üretimi ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak tavuk gübresinin kullanımı bu atıkların yönetiminde kullanılan popüler uygulamalardır. Termokimyasal prosesler tavuk gübresinin doğrudan enerji kaynağı olarak kullanıldığı proseslerdir ve bu işlemler sayesinde fosil yakıtlara olan bağımlılık azalmaktadır. Tavuk gübresinin termal dönüşümü, enerji üretimine ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına umut vadeden bir alternatiftir(Hussein, 2017 ; Tanczuk vd., 2017).

3.1.2. Pirina

Zeytinyağı üretimi sırasında zeytinden arta kalan küspeye pirina denilmektedir. Pirina, zeytinin meyve eti ve çekirdeğinden oluşan küspedir. İçeriği bakımından önemli bir biyokütle kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Zeytinyağı fabrikalarında elde edilme şekillerine bağlı olarak iki çeşit pirina vardır. %25-30 nem içeren pirinalar ve %45-55 nem içeren pirinalar olarak birbirinden ayrılmaktadır. Pirina hayvan yemi katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Toksik madde içermeyen ve organik madde içeriği yüksek olan kompostlanmış pirina bahçe bitkilerinin yetiştirilmesinde ve toprağın veriminin artırılmasında kullanılmaktadır(Karaca vd., 2015 ; Soyergin vd., 2011 ; Alburquerque vd., 2006). Ülkemizde yıllık 1 milyon ton zeytin , zeytinyağı üretimine girmekte ve yaklaşık 450.000 ton pirina elde edilmektedir. Yağlı pirina 4290 kcal/kg ısı değere, yağsız pirina 4130 kcal/kg ısı değere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı pirina tek başına yakıt olarak kullanılabileceği gibi düşük kalorili linyit kömürü gibi diğer yakıtlarla birlikte de yakıt olarak kullanılabilmektedir(Sebahat Akın,2007).



Şekil 3.3: Pirina numunesinin gazlaştırma öncesi hali.



Şekil 3.4: Pirina numunesinin gazlaştırma sonrası hali.

3.2. DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLER

3.2.1. Deneysel Yöntemler

3.2.1.1. *Nem Miktarının ve Kuru Madde Miktarının Tayini*

Yöntemin prensibi numunenin, belirli sıcaklıkta sabit ağırlığa ulaşınca kadar ısıtılması ilkesine dayanır. Numunelerde nem miktarı, etüvde kurutma yöntemi ile bulunmuştur. Yöntem belli bir sıcaklık altında numunedeki suyun uçurulması ve ağırlık kaybından nem miktarının bulunması ilkesine dayanır. Numunedeki nem uçurulduktan sonra geriye kalan kuru maddedir. Nem ile kuru madde arasında;

$$\% \text{ Nem} = 100 - \% \text{ Kuru Madde} \quad (3.1)$$

bağıntısı vardır.

Nem tayini başlangıcında sabit tartıma getirilen krozelere homojen hale getirilmiş atık numunelerinden tartılarak alınmıştır (M_1). Etüvün sıcaklığı yavaş yavaş $105 \pm 2^\circ\text{C}$ a getirilmiştir. Yaklaşık 1-2 saat sonunda krozeler desikatöre alınmış ve soğuması beklenmiştir. Tartım alınmıştır (M_2). Nem tayini hesaplaması şu şekilde yapılmıştır;

$$\% \text{ Nem} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \quad (3.2)$$

M_1 = Alınan örnek ağırlığı, gr

M_2 = Kurutulmuş örnek, gr(SM 2540 B).



Şekil 3.5: Nem analiz cihazı.

3.2.1.2. Yanma Kaybı ve Kül Miktarının Tayini

Organik maddelerde madensel maddelere, mineral madde veya yakma sonucu arta kalan inorganik maddelere kül denilir. Kül tayini, bir miktar numunenin yakılıp küllendirilerek kül miktarının saptanması ilkesine dayanır. Numunenin, bütün organik maddelerinin yanmasını sağlayan koşullar altında (550-600°C), sabit ağırlığa ulaşma ilkesine dayanır.

Kül tayini başlangıcında numuneler için kullanılacak krozenin darası kaydedilmiştir. Numuneler krozeye tartılarak alınmıştır. Kroze, sıcaklığı 550°C' a ayarlanan kül fırınında yaklaşık 1-2 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda eğer karbonlaşmış kısım varsa süre biraz daha uzatılmıştır. Daha sonra krozeler desikatöre alınmış oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiş ve tartım alınmıştır. Kül tayini hesaplaması şu şekilde yapılmıştır;

$$\% \text{ Kül} = [(M2/ M1)] \times 100 \quad (3.3)$$

M2 = Yakmadan sonraki numune miktarı, gr

M1 = Yakmadan önceki numune miktarı, gr(SM 2540 E).

Yanma kaybı tayini için örnekler 525±25°C'de kül fırınında, sabit tartıma gelene kadar yakılmıştır (SM 2540 E). Numunelerden yeterli miktarda tartılıp porselen bir kroze konmuş ve kül fırınında yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ara tartımlarından sonra sabit tartıma gelene kadar krozede kalan kül göz önüne alınarak yanma kaybı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır;

$$\% \text{ Yanma Kaybı} = (M1- M2)/M1 \times 100 \quad (3.4)$$

M1= Başlangıç deney numunesi miktarı, g

M2= Yanma sonrası deney numunesi miktarı, g(SM 2540 E).



Şekil 3.6: Kül analiz cihazı.

3.2.1.3. Uçucu Madde Tayini

Uçucu madde tayini için atık numuneleri , inert ortamda 900 ± 10 °C’de 7 dakika boyunca işleme tabi tutulmuştur(CEN/TS15402). Yeterli miktarda numune kroze tartılmış 7 dakika ısıya maruz kaldıktan sonra desikatörde soğumaya alınmıştır. Soğuma gerçekleştikten sonra hassas tartım yapılmıştır. Yüzde uçucu madde içeriği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Uçucu Madde} = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100 \quad (3.5)$$

Burada;

M_1 = Başlangıç deney numunesi miktarı, g

M_2 = Yanma sonrası deney numunesi miktarı, g (CEN/TS15402).

3.2.1.4. Sabit Karbon

Sabit karbon değeri, nem, kül ve uçucu madde miktarlarının toplanıp 100'den çıkarılması ile bulunmaktadır(ASTM-D3172-13). Numunelerdeki sabit karbon miktarları hesaplama yöntemi ile tespit edilmiştir. Hesaplama aşağıdaki eşitlik ile yapılmıştır;

$$\% \text{ Sabit Karbon} = 100 - (\% \text{ Nem Miktarı} + \% \text{ Kül Miktarı} + \% \text{ Uçucu Madde Miktarı}) \quad (3.6)$$

(ASTM-D3172-13).

3.2.2. Analitik Yöntemler

3.2.2.1. Elementel Analiz

Tez çalışmasında kullanılan atıklara ve deneylerin sonucunda elde edilen ürünlere elementel analizi yapılmıştır. Elementel analiz deneylerinde atıkların içeriğindeki C, H, N ve S yüzdeleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elementel analiz deneyleri İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, İstanbul Kalkınma Ajansı TR10/14/EVK/0022 numaralı proje kapsamında temin edilmiş, Thermo-Flash 2000 CHN-S elementel analiz cihazı ile gerçekleştirilmiştir

Karbon, azot ve hidrojen, 900-1150°C aralığındaki sıcaklıklarda çalışan bir fırın kullanılarak tek bir enstrümantal prosedür ile eş zamanlı olarak tespit edilmiştir. Karbon, azot ve hidrojenin ilgili gazlardan (CO₂, H₂O, NO_x) kantitatif dönüşümü, numunenin yüksek sıcaklıkta oksijenli ortamda yanma esnasında meydana gelmiştir. Bir sonraki analizi etkileyebileceğinden dolayı, yanma ürünleri ortamdan giderilmiştir.

Azot oksitler (NO_x), N_2 'e indirgenmiştir. Karbondioksit, su buharı ve gaz akımı içerisindeki elementel azot uygun enstrümantal saptama prosedürü ile belirlenmiştir (ASTM-D5373-16).



Şekil 3.7: Elementel analiz cihazı.

3.2.2.2. Isıl Değer Analizleri

Tez çalışmasında kullanılan atıklara ve proses sonrası çıkan ürünlere ısı değer analizi yapılmıştır. Bu analiz, İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, İstanbul Kalkınma Ajansı TR10/14/EVK/0022 numaralı proje kapsamında temin edilmiş, IKA C200 Bomba Kalorimetresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalorimetrenin ısı kapasitesi, oksijen içinde belirli bir benzoik asit kütlelerinin yakılması ile belirlenmiştir. Analiz edilecek numune, karşılaştırılabilir ölçüde, aynı koşullar altında kalorimetrede yakılmıştır. Analiz numunesinin kalorifik değeri, dışarıdan gelen ısıdan etkilenmeden, sıcaklık artışı ile numune kütlelerinin ısı kapasitesinin çarpımı ve numunenin kütlelerine bölünmesi ile hesaplanmıştır (ASTM-D5865-13).



Şekil 3.8: Bomba kalorimetre cihazı.

3.2.3. Gaz Analizleri

Sentetik gaz ölçümleri için İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Bölüm Laboratuvarı'nda bulunan ABB marka AO2020 model sürekli gaz analizörüyle, gazlaştırma sonucu oluşan gaz ürünün içerisindeki CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , O_2 miktarları hacimsel yüzde olarak ölçülmüştür. Gaz analiz cihazıyla tespit edilen ölçüm değerleri veri aktarım kablosu ile bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir.



Şekil 3.9: Gaz analiz cihazı.

3.2.4. Isıl Değer Hesabı

Yapılan deneylerin sonunda oluşan sentez gazların ısı değerlerini hesaplamak için CO, H₂ ve CH₄'e ait üst ısı değerleri kullanılmıştır. Isıl değer hesaplamaları, matematiksel olarak hesaplama metoduyla tespit edilmiştir. Hesaplamalar yapılırken Pattel ve Karamchandani (1997) çalışmasına ait gazların üst ısı değerleri verileri dikkate alınmıştır.

Tablo 3.1: Gazların üst ısı değeri.(Pattel ve Karamchandani, 1997)

Gazlar	Yoğunluk (kg/m ³)	MJ/kg	MJ/m ³	kcal/m ³	kcal/kg	KJ/ m ³
CO	1,25	10.3	12.9	3080	2464	12900
CH ₄	0,714	55.3	39.5	9440	13221	39500
H ₂	0,089	146.1	13	3107	34910	13000

Örnek bir ısı değeri hesabı aşağıda verilmiştir;

CO için Tablo 1'den faydalanılarak;

$$X_{CO} = \frac{\%Y_{CO} \cdot 3080}{100} \quad (3.7)$$

CH₄ için Tablo 1'den faydalanılarak;

$$X_{CH_4} = \frac{\%Y_{CH_4} \cdot 9440}{100} \quad (3.8)$$

H₂ için Tablo 1'den faydalanılarak;

$$X_{H_2} = \frac{\%Y_{H_2} \cdot 3107}{100} \quad (3.9)$$

$$\sum \text{Isıl değeri} = X_{H_2} + X_{CH_4} + X_{CO} \quad \text{kcal/m}^3 \quad (3.10)$$

3.2.5. Reaktör Dizaynı

Gazlaştırma deneylerinde siklon ünitesi ile sirkülasyonu sağlanmış iç çapı 8 cm , yüksekliği 50 cm ve 2 L hacimli, yukarı akışlı, sabit yataklı çelik reaktör kullanılmıştır. Sistemin ısınma hızı anlık olarak kontrol edilebilmiş , ancak farklı hızlara ayarlanamamıştır. Reaktörde gaz kaçacağını engellemek için saf grafit veya grafit-kurşun sarmal contalar kullanılmıştır. Şekil 11'de kullanılan çelik reaktörün şematik gösterimi sunulmuştur..

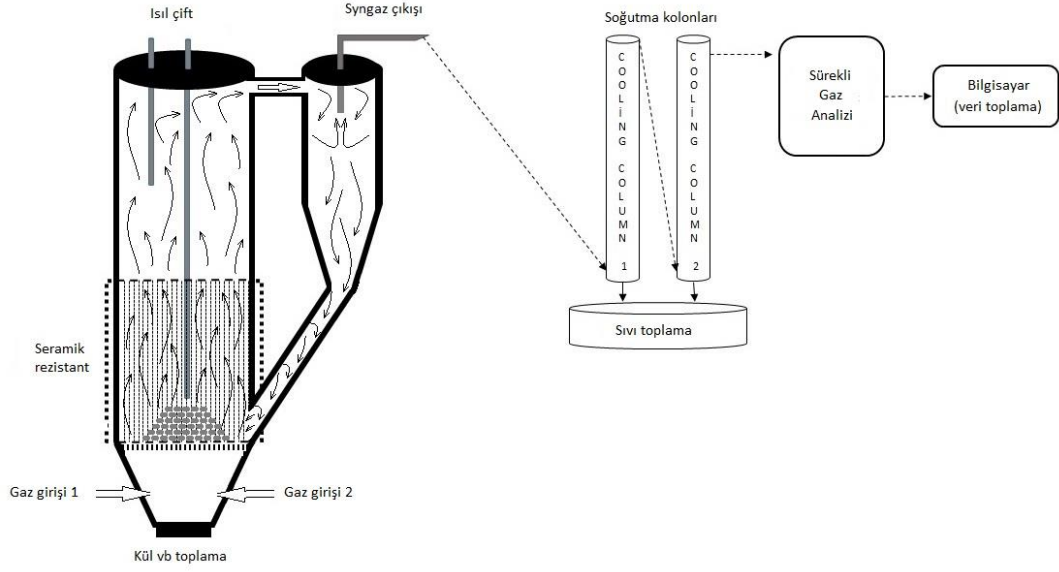
Reaktör, yardımcı gazların girişine imkan verecek iki adet gaz girişi hattına ve üretilen sentez gazın çıkmasına olanak sağlayan bir adet çıkış hattına sahiptir. Gaz giriş hatlarının birisi azot gazına diğeri ise kuru hava veya saf O₂ gazlarına uygun şekilde bağlanmıştır. Deney sırasında reaktörün iç sıcaklığını ölçmek için ısı çifti kullanılmıştır. Reaktörün kapağına kaynaklanan yuvalara yerleştirilen ısı çiftinin ilki reaktörün merkez sıcaklığını ölçerken, diğeri ise üst bölge sıcaklığını ölçmektedir. Böylece reaktör içindeki bölgelerde sıcaklık kaybı izlenebilmiştir.

Reaktörden çıkan sentez gazlar soğutma kolonlarından geçerken bir kısmı yoğunlaşmış sıvı halini alarak gazdan ayrılmıştır ve iki erlene toplanmıştır. Soğutma kanallarından yoğunlaşmayıp çıkan gazlar, gaz analizi yapılması için borular aracılığıyla gaz analiz cihazına aktarılmıştır. Bu esnada gazın içerisindeki zararlı partikül maddelerin analiz cihazına hasar vermemesi için filtrelerden geçirilmiştir. Uçucu kül formlarının üretilen gazdan ayrılması amacıyla reaktöre

siklon ayrıştırıcı adapte edilmiştir. Gaz analiz cihazıyla çıkan gazların içerisindeki CO, CO₂, H₂, CH₄, ve O₂ miktarları hacimsel yüzde olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.10: Laboratuvar reaktör düzeneği.



Şekil 3.11: Reaktör sisteminin tanıtımı.(Öngen ve Arayıcı,2015)

3.2.6 Modelleme Çalışmaları ve Simülasyon

3.2.6.1. Aspen Plus Modelleme Programı

ASPEN PLUS model simülasyon programı, farklı araştırmacılar tarafından yoğun olarak kullanılan, kömür gazlaştırmasını simüle etmekte tercih edilen laboratuvar çalışmalarını ve tesis boyutlandırmalarını kolaylaştıran bir simülasyon programıdır. Kömür gazlaştırma işlemleri, IGCC sistemleri, akışkan yataklı gazlaştırma sistemleri, kömür hidrogazlaştırma prosesleri gibi bir çok prosesin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bu bölümde Aspen Plus simülasyon programı tanıtılacak, programda kullanılan birimler, reaktörler ve program özellikleri açıklanacaktır(Nikoo ve Mahinpey, 2008).

Reaktör Türleri

Aspen Plus simülasyon programında kullanım amacına ve istenen sonuçlara göre farklı reaktörler kullanılmaktadır. Bu reaktörler ;

RSTOİC: Reaksiyon kinetiğinin bilinmediği durumlarda kullanılan reaktör tipidir.

RYIELD: Reaksiyon kinetiğinin bilinmediği durumlarda, denklem yazmak için kullanılan reaktör türüdür. Yakıtın ayrışmasını simüle etmek için kullanılmaktadır. Bu adımda biyokütle, biyokütle nihai analizine göre verim dağılımı belirtilerek karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, azot

ve kül içeren bileşenlerine dönüştürülür. RYIELD reaktöründe her bir bileşenin reaksiyon verimi belirtilerek bir reaktör oluşturulur. Bu model reaksiyon stokiyometrisi/ kinetikleri bilinmediğinde ve verim dağılımı verisi / korelasyonları mevcut olduğunda yararlıdır.

REQUIL: Tek fazlı veya eş zamanlı kimyasal reaksiyonlarda kullanılan bir reaktördür.

RGIBBS: Tek fazlı veya eş zamanlı kimyasal reaksiyonlarda Gibbs serbest enerjisinin en aza indirilerek kullanıldığı reaktörlerdir. Uçucu reaksiyonların gerçekleştiği yanma ve gazlaştırma proseslerinin simüle edildiği reaktörlerdir. Bu model sıcaklık ve basınç bilindiğinde ve reaksiyon stokiyometri bilinmediğinde faydalıdır.

RCSTR: Sürekli karıştırılmalı bir tank reaktörüdür. Bu model reaksiyon kinetiği bilindiğinde yararlıdır. Bu model, kömür gibi katılar reaksiyonlara katıldığında faydalıdır.

Proses Birimleri

RStoic DRIER: Yakıtın nem içeriğini azaltır, kurutma işlemi gerçekleştirilir.

RYield DECOMPOSITION: Verim reaktörüdür, yakıtın ayrışmasını simüle etmek için kullanılmaktadır

RGibbs GASIFIER: Gibbs serbest enerji reaktörüdür, üç fazlı dengeye sahiptir ve Gibbs serbest enerjisini en aza indirerek sentez gaz bileşimini hesaplar. Gazlaştırma reaksiyonları burada gerçekleşir.

SEPARATOR/SCRUBBER: Ayrılmış fraksiyonları belirterek gazları külden ayırır.

FUELHEAT: Gelen yakıtın ön ısıtılmasının yapıldığı ısıtıcıdır.

AIRHEAT Gelen havanın ön ısıtılmasının yapıldığı kısımdır

COOLER1: Yakıtın sıcaklığının hesaplanan ön ısıtma sıcaklığına düşüren kısımdır.

HEATER: Isıtma işleminin yapıldığı kısımdır.

SLAGSPRT : Kül ayırma birimidir

Q: Isı girişini gösterir.

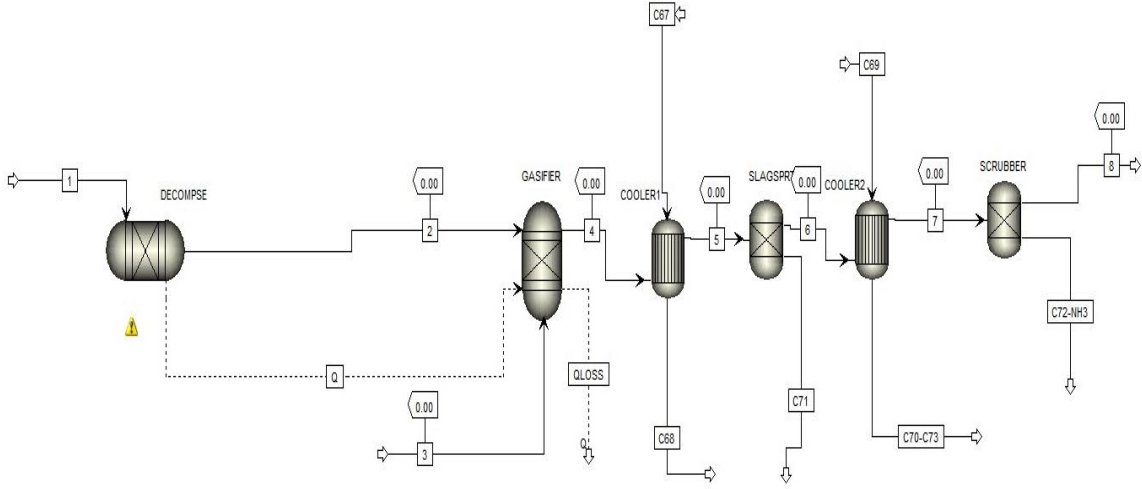
QLOSS: Isı kaybını gösterir.

SLAGSPRT : Kül ayırma birimidir.

SCRUBBER: Amonyak ayırma birimidir

3.2.6.2. Aspen Plus Programı ile Modelleme ve Simülasyon

Çalışmada tavuk gübresi, pirina ve tavuk gübresi - pirina karışımı numunelerinin sıcaklık, basınç, ajan debisi miktarı ve ajan türü parametrelerine göre gazlaştırma modellemesi yapılmıştır. Gazlaştırma modeli Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: AspenPlus programı ile oluşturulmuş gazlaştırma modeli.

Modelin işleyiş düzeni ise şu şekildedir. 1 Numaralı okun olduğu bölgede yakıt besleme yapılır. DECOMP bölümünde RYIELD reaktörü kullanılır ve DECOMP bölümünde yakıtın ayrışması simüle edilir. Bu adımda biyokütle, biyokütle nihai analizine göre verim dağılımı belirtilerek karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, azot ve kül içeren bileşenlerine dönüştürülür. RYIELD reaktöründe her bir bileşenin reaksiyon verimi belirtilerek bir reaktör oluşturulur. Biyokütleyi RGibbs bloğuna beslemeden önce, elemanlarına (C, H, O, N, S, vb.) ayrıştırılır. Bu, RYield modelinin, bileşen verim spesifikasyonuna dayanan hesaplamalar kullanılarak yapılır. 2 Numaralı okun olduğu bölgede bileşenlerine ayrılan biyokütle GASIFIER bölümüne gönderilir ve burada biyokütlenin gazlaştırılması sağlanır. Burada kullanılan reaktör ise RGIBBS reaktörüdür. Reaktör, Gibbs serbest enerjisini en aza indirerek sentez bileşimini hesaplar ve tam kimyasal dengeyi oluşturmaya çalışır. Ayrıştırılan biyokütle ve hava, kısmi oksidasyon ve gazlaştırma reaksiyonlarının meydana geldiği RGibbs reaktörüne girer. Q oku ise gazlaştırıcıya

sıcaklık verildiğini göstermektedir. 3 numaralı okun olduğu bölgede ise gazlaştırıcıya gazlaştırma ajanı olarak kuru hava ya da saf oksijen belirli bir ajan debisinde verilmektedir. QLOSS oku ise kaybedilen ısıyı göstermektedir. 4 numaralı okun olduğu bölgede gazlaştırıcıdan sentez gazı çıkışı olmaktadır. COOLER1 bölümünde çıkan sentez gaz 695°C'e soğutulmaktadır. C67 soğutucuya giren suyu, C65 soğutma sonrası çıkan suyu göstermektedir. 5 numaralı ok soğutucudan çıkan gazın kül ayırıcıya gönderildiğini göstermektedir. SLAGSPRT bölümünde sentez gazdaki kül ayrılmakta, ayrılan kül C71 ile gösterilmektedir. 6 numaralı ok kül ayırıcıdan çıkan gazın tekrar soğutucuya gönderildiğini göstermektedir. COOLER2 bölümünde kül ayırıcıdan gelen sentez gaz 680°C'e soğutulmaktadır. C69 soğutucuya giren suyu, C70-73 soğutma sonrası çıkan suyu göstermektedir. 7 numaralı ok soğutucudan çıkan gazın amonyak ayırma birimine gönderildiğini göstermektedir. SCRUBBER bölümünde sentez gazdaki NH₃ ayırımı yapılmıştır. 8 numaralı ok ise amonyak ayırımı biriminden çıkmış amonyağı göstermektedir. C72 oku ise ayrılan amonyağı gösterilmektedir.

Bu çalışmada kurulan gazlaştırma modelinde yapılan kabulleri şunlardır;

- Proses kararlı durumdadır ve izotermaldir. Boyutsuzdurve atmosferik basınç altında çalışır.
- Basınç düşüşleri ihmal edilmektedir.
- Kurutma ve piroliz aşamaları anlaktır.
- Katran oluşumu dikkate alınmamıştır.
- Gazlaştırıcıda oluşan ısı kaybı ihmal edilmiştir.
- Sistemlerde kullanılan yatak malzemesi reaktif ya da katalitik etkiye sahip değildir.
- Yakıt içerisindeki kül herhangi bir reaksiyonda reaktif ya da katalizör olarak yer almamaktadır.
- Sistemde kullanılan havanın %21 O₂ ve %79 N₂ gazından oluştuğu varsayılmıştır. Havanın içinde nem olmadığı kabul edilmiştir.
- Gazlaştırıcı içinde katı fazda sadece karbon olduğu varsayılmıştır.
- Sistemde dönüşüme uğramayan katı fazda sadece karbonun olduğu ve gazlaştırıcıdaki karbon dönüşümüne bağlı olarak dönüşüme uğramayan karbonun denge reaksiyonları dışında tutularak reaktörden uzaklaştırıldığı varsayılmıştır.
- Sistemde kullanılan buharın doymuş buhar olduğu ve reaktöre girene kadar herhangi bir yoğunlaşma olmadığı kabul edilmiştir.

- Gibbs reaktöründe kimyasal denge reaksiyonları içinde katran tanımlanmadığı için sistemde katran oluşumunun gerçekleşmediği düşünülmüştür.
- Sistemde kullanılan saf oksijenin % 100 saflıkta olduğu kabul edilmiştir.
- Sistem homojen sıcaklık ve basınç dağılımına sahiptir.
- Sistemde, değiştirilmediği sürece, gazlaştırıcı içindeki reaksiyonların tümü sabit sıcaklık ve basınçta gerçekleşmektedir.
- Reaktörde tüm kimyasal reaksiyonlar dengeye ulaşmıştır. Gazlaştırıcı reaktör içerisinde karışım mükemmeldir ve sistemde derişim farklılığı yoktur.
- Kullanılan yakıtın elementel analizine göre H₂, O₂, N₂, H₂O, S, C ve kül şeklinde oluştuğu kabul edilmiştir.
- Reaktör olarak Gibbs reaktörü seçilmiştir.
- Sisteme gazlaştırma işlemi boyunca 0.01kg/sa besleme yakıtı verildiği kabul edilmiştir.
- Basınç, değiştirilmediği sürece, 1 atm olarak kabul edilmiştir.
- Gazlaştırma ajanı kuru hava ya da saf oksijen olarak seçilmiştir. Değiştirilmediği sürece ajan debisi 3 L/saat olarak kabul edilmiştir.
- Sıcaklık , değiştirilmediği sürece, 750°C olarak kabul edilmiştir.
- Model oluşturmunda Peng-Robinson Metodu kullanılmıştır.
- Gazlaştırma reaktör türü olarak RGibbs reaktörü kullanılmıştır.
- Biyokütle alt ısı değeri, biyokütle oluşumunun entalpisi, özgül ısı kapasitesi ve yoğunluğunun hesaplanması için HCOALGEN ve DCOALIGT özellik modelleri belirtilmiştir.
- Sisteme yüklenen numune içerisindeki her bir bileşimin verimi ise aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmıştır:

$$\text{Verim} = (1 - \% \text{Nem Oranı}) * \% \text{Gaz Bileşeni} * \text{Toplam Numune Miktarı} \quad (3.11)$$

- Sistemde gazlaştırıcıdan çıkan gaz 695°C'ye soğutulmuş, kül ayırıcıda kül ayrımı yapılmış, ikinci kez soğutulmak üzere soğutucuya gönderilen gazın sıcaklığı 680°C 'e düşürülmüştür. Son aşamada ise amonyak ayrımı gerçekleştirilmiştir. Gazlaştırıcıdan çıkan sentez gazın değerleri ve soğutma, kül ayırma, amonyak ayırma sonrası çıkan sentez gazın değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

- Sistemde hem laboratuvar şartları olan 750°C, 1 bar basınç ve 3 L/saat ajan debisinde her bir numune için model çalışması yapılmış hem de sıcaklık, basınç, ajan debisi miktarı ve gazlaştırma ajanı türü gibi parametrelerde çeşitli değerlerde model çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. İstatistiksel Veri Analizi

Laboratuvarda ve Aspen Plus modelleme programı üzerinde yürütülen gazlaştırma deneylerinin sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlılığını öğrenebilmek, sonuçlar arasındaki benzerlik ve farklılıkları görmek ve bu sonuçları grafiklerle ifade etmek amacıyla SPSS 21.0 (Statistical Package for the Social Sciences) yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda elde edilen verilere regresyon, korelasyon ve ANOVA analizleri uygulanmış, analizler ile ilgili sonuçlar “Bulgular” bölümünde sunulmuştur.

Regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişki fonksiyonel olarak açıklanır ve değişkenler arasındaki neden sonuç ilişkisi tespit edilir. Korelasyon analizinde ise iki veri arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı tespit edilir. Eğer iki veri arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını, varsa bu ilişkinin yönünü ve şiddetinin ne olduğunu belirlemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. Korelasyon analizinde her iki değişkenin de sürekli değişken olması ve değişkenlere ilişkin verilerin normal dağılım göstermesi durumunda değişkenler arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenir. Katsayı "r" ile ifade edilir(Kaya, 2016 ; Ural ve Kılıç, 2006).

Pearson katsayısı;

$r > 0$, değişkenler arasında doğru yönlü bir ilişki vardır,

$r = 0$, değişkenler arasında hiçbir ilişki yoktur,

$r < 0$, değişkenler arasında ters yönlü bir ilişki vardır, şeklinde yorumlanır(Kaya, 2016; Ural ve Kılıç, 2006).

Elde edilen sonuçlara ANOVA testi uygulanmış, sonuçların tek yönlü varyans analizi yapılmış, tek bir bağımsız değişkene ilişkin iki ve daha fazla grubun bağımlı bir değişkene göre ortalamaları karşılaştırılmış, bu ortalama değerler arasındaki farkın güvenilirliğinin(%95-99) anlamlılığı tespit edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. LABORATUVAR BULGULARI

4.1.1. Atık Karakterizasyonu

Seçilen atıkların elementel analizi ve ısı değeri analizi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Ham numunelerin elementel analizi ve kalorifik değeri.

Deney Adı	Elementel Analiz, Isıl değeri				Isıl Değeri
Numune	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	(kcal/kg)
Pirina	46.33	6.23	1.37	0.65	4570
Tavuk Gübresi	32.20	4.70	6.36	0.42	2825
Pirina ve Gübre Karışımı	39.26	5.46	3.86	0.53	3698

Seçilen atıkların oksijenli ortamda nem, kül, yanma kaybı ve oksijensiz ortamda kül, uçucu madde ve sabit karbon ölçümleri yapılmıştır, ilgili formül hesaplamaları ile sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Ham numunelerin kimyasal analizi.

Deney Adı	Kimyasal Analiz, % ağırlık					
Numune	Nem	Kül(O ₂ ’li)	Yanma Kaybı	Kül(O ₂ ’siz)	Uçucu Madde	Sabit Karbon
Pirina	6.25	2.71	97.29	15.91	84.09	6.95
Tavuk Gübresi	6.30	31.89	68.11	54.70	45.30	16.51
Pirina ve Gübre Karışımı	6.28	17.30	82.70	35.30	65.00	11.75

4.1.2 Atık Gazlaştırma Deneyleri

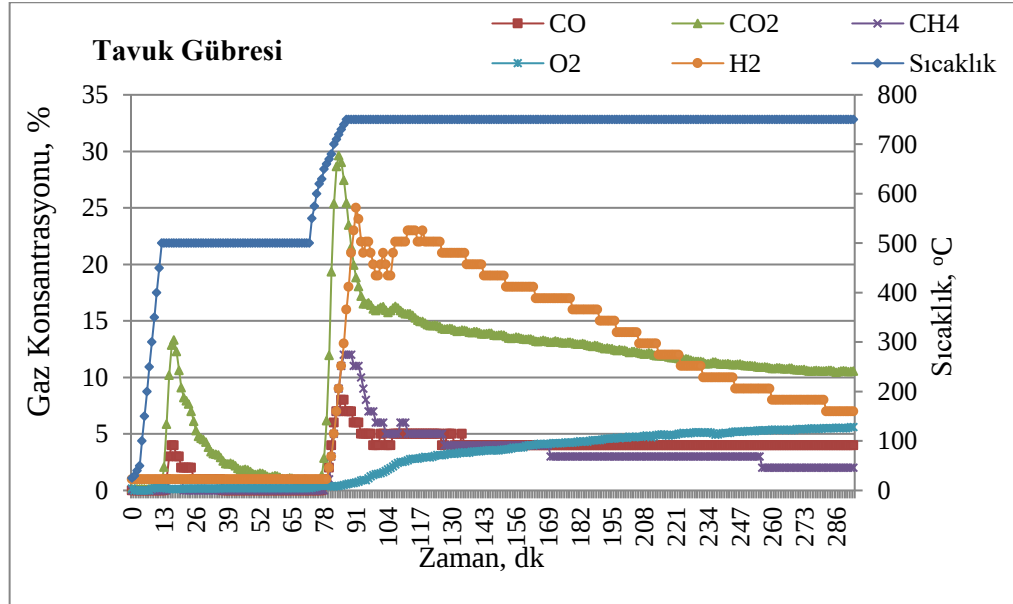
4.1.2.1 Tavuk Gübresi Numunesi Gazlaştırması Sentez Gaz Analiz Sonuçları

Kuru Hava Ajanı ile Gazlaştırma Sonuçları

Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma deneyinde 100 gram numune kullanılmış, ajan olarak 0.05 L/dk'lık debide kuru hava seçilmiştir. 750°C sıcaklıkta gazlaştırma deneyi sürdürülmüştür. Tablo 4.3'de gazlaştırma deneyi ile ilgili sentez gazların en yüksek verileri, oluşan sıvı ve katı kalıntı miktarları verilmiştir.

Tablo 4.3: Tavuk gübresi numunesinin kuru hava ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.

Deney Adı	Sentez Gaz ve Katı- Sıvı Kalıntı Analiz Sonuçları				
	Sıvı Kalıntı(gr)	CO(%), hacim	CO ₂ (%), hacim	CH ₄ (%), hacim	H ₂ (%), hacim
Katı Kalıntı(gr)					
13.48	4.11	8	30	12	23



Şekil 4.1: Tavuk gübresi gazlaştırmasının zamana ve sıcaklığa bağlı sentez gaz analizi.

Tavuk gübresi ile gazlaştırma yapılmış referans bir çalışmanın elementel analiz, kimyasal analiz ve ısı değer sonuçları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Referans çalışmaların elementel analiz ve ısı değer analiz sonuçları.

Deney Adı	Elementel Analiz, Isıl değer				Isıl Değer
Referans Çalışma	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	(kcal/kg)
Burra vd., 2016	35.59	4.57	4.98	1.45	3140

Tablo 4.5: Referans çalışmaların kimyasal analiz sonuçları.

Deney Adı	Kimyasal Analiz, % ağırlık		
Referans Çalışma	Kül(550°C)	Uçucu Madde	Sabit Karbon
Burra vd., 2016	21.65	65.56	12.80

Saf Oksijen Ajanı ile Gazlaştırma Sonuçları

Tavuk gübresi numunesinin gazlaştırma deneyinde 100 gram numune kullanılmış, ajan olarak 0.05 L/dk’lık debide saf oksijen seçilmiştir. 750° C sıcaklıkta gazlaştırma deneyi sürdürülmüştür. Tablo 4.6’da gazlaştırma deneyi ile ilgili sentez gazların en yüksek verileri, oluşan sıvı ve katı kalıntı miktarları verilmiştir.

Tablo 4.6: Tavuk gübresi numunesinin saf oksijen ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.

Deney Adı	Sentez Gaz ve Katı- Sıvı Kalıntı Analiz Sonuçları				
Katı Kalıntı(gr)	Sıvı Kalıntı(gr)	CO(%), hacim	CO ₂ (%), hacim	CH ₄ (%), hacim	H ₂ (%), hacim
46.29	8.66	19	56.83	12	28

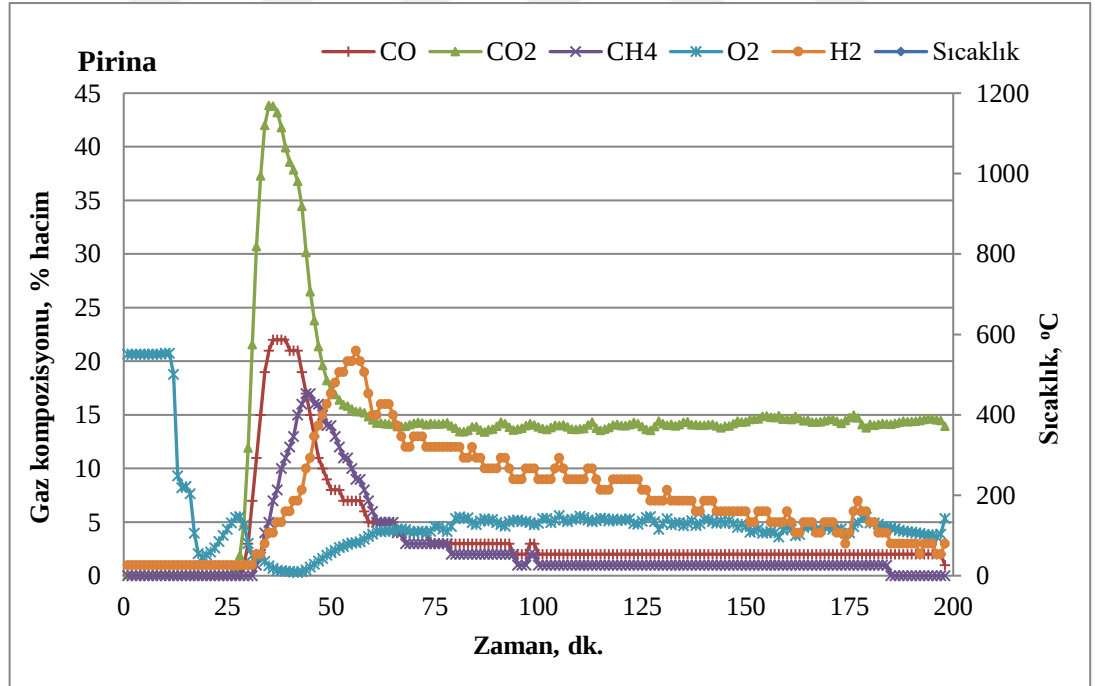
4.1.2.2. Pirina Numunesi Gazlaştırması Sentez Gaz Analiz Sonuçları

Kuru Hava Ajanı ile Gazlaştırma Sonuçları

Pirina numunesinin gazlaştırma deneyinde 100 gram numune kullanılmış, ajan olarak 0.05 L/dk'luk debide kuru hava seçilmiştir. 750°C sıcaklıkta gazlaştırma deneyi sürdürülmüştür. Tablo 4.7'de gazlaştırma deneyi ile ilgili sentez gazların en yüksek verileri, oluşan sıvı ve katı kalıntı miktarları verilmiştir. Şekil 4.2'de ise sıcaklık ve zamana bağlı olarak gaz konsantrasyonlarının yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 4.7: Pirina numunesinin kuru hava ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.

Deney Adı	Sentez Gaz ve Katı- Sıvı Kalıntı Analiz Sonuçları				
	Sıvı Kalıntı(gr)	CO(%), hacim	CO ₂ (%), hacim	CH ₄ (%), hacim	H ₂ (%), hacim
Katı Kalıntı(gr)					
29.56	8.56	22	44	17	21



Şekil 4.2: Pirina gazlaştırmasının zamana ve sıcaklığa bağlı sentez gaz analizi.

Yağsız pirina ile çalışılmış referans bir çalışmanın elementel analiz, kimyasal analiz ve ısı değer sonuçları Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8: Referans çalışmaların elementel analizi.

Deney Adı	Elementel Analiz, Isıl değer				Isıl Değer
Referans Çalışma	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	(kcal/kg)
Akın, 2007	43.6	5.71	0.76	0.21	4130

Tablo 4.9: Referans çalışmaların kimyasal analizi.

Deney Adı	Kimyasal Analiz, % ağırlık		
Referans Çalışma	Kül	Uçucu Madde	Sabit Karbon
Yağlı Pirina(Akın,2007)	2.80	51.80	20.10
Yağsız Pirina(Akın,2007)	3.50	64.74	18.38

Saf Oksijen Ajanı ile Gazlaştırma Sonuçları

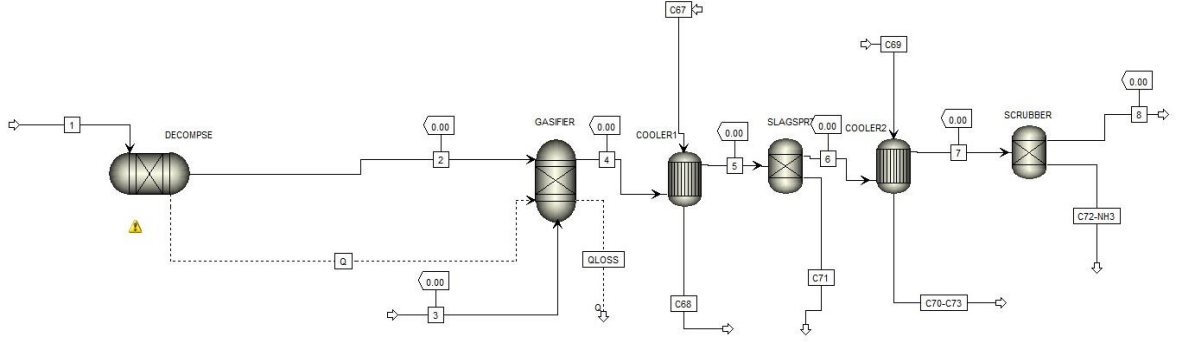
Pirina numunesinin gazlaştırma deneyinde 100 gram numune kullanılmış, ajan olarak 0.05 L/dk’lık debide saf oksijen seçilmiştir. 750°C sıcaklıkta gazlaştırma deneyi sürdürülmüştür. Tablo 4.10’da gazlaştırma deneyi ile ilgili sentez gazların en yüksek verileri, oluşan sıvı ve katı kalıntı miktarları verilmiştir.

Tablo 4.10 : Pirina numunesinin saf oksijen ajanı ile gazlaştırması sentez gaz ve katı- sıvı kalıntı analiz sonuçları.

Deney Adı	Sentez Gaz ve Katı- Sıvı Kalıntı Analiz Sonuçları				
Katı Kalıntı(gr)	Sıvı Kalıntı(gr)	CO(%), hacim	CO ₂ (%), hacim	CH ₄ (%), hacim	H ₂ (%), hacim
28.88	7.79	19	56.84	17	29

4.2 BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİMÜLASYON PROGRAMI BULGULARI

4.2.1 Tavuk Gübresi Gazlaştırma Modeli Bulguları



Şekil 4.3: Tavuk gübresi gazlaştırma deneyi modeli.

Aspen Plus simülasyon programı ile hazırlanmış gazlaştırma modelinde laboratuvar şartlarıyla uyumlu ve laboratuvar şartlarından farklı olacak şekilde farklı parametrelerin değişimi yapılarak model uygulaması yapılmıştır. Sıcaklık, basınç, gazlaştırma ajanı debisi ve gazlaştırma ajan debisi türü(kuru hava ve oksijen) parametreleri değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Laboratuvar şartlarına göre 750°C, 1 bar basınçta, 3 L/saat kuru hava ajan debisinde yapılan deneyde sonuçlar şu şekildedir :

Tablo 4.11: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırma modeli sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi (L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	31	3	1	40	21	2292

Tablo 4.11'deki değerler gazlaştırıcıdan çıkan sentez gazın sonuçlarıdır. Bu sentez gazın soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma sonrasındaki sonuçları ise şu şekildedir :

Tablo 4.12: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	31	3	1	40	21	2292

Her iki durumda da gaz verimlerinin ve ısı değerlerinin birebir olmasının sonucu olarak soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemlerinin gaz verimi ve ısı değer verimi üzerine önemli bir etkisi olmadığı, ancak H₂S ve NH₃ gibi sentez gazda istenmeyen maddelerin gideriminin sağlanarak daha temiz bir sentez gaz elde edildiği tespit edilmiştir.

Sıcaklık değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 700 ila 1100°C arasında denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.13 : Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
1100	3	1	38	0.04	0.07	42	19	2482

Basınç değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 1 ila 10 bar arasındaki basınçlarda denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.14: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	31	3	1	40	21	2292

Basınç artırılıp, 10 bara kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.15: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	10	17	10	6	31	27	2053

Sonuçlara bakıldığında, basınç parametresinin değişiminde basınç artması ile birlikte ısı değer, hidrojen gazı ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit, azot ve metan gazı hacimsel yüzdesi artmıştır.

Gazlaştırma ajanı debisinin değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda hem ajan türü hem ajan debisi değişimi yapılmış, kuru hava ve saf oksijen ajan türleri kullanılarak 0.1 ila 10 L/sa arasındaki ajan debilerinde denemeler yapılmıştır, kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.16: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.1	1	32	3	1	54	6	2758

Ajan debisi arttırılıp 10 L/saat' e kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.17: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	24	6	0.1	25	41	1525

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, hidrojen gazı ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit, azot ve metan gazı hacimsel yüzdesi artmıştır.

Saf oksijen ajanı ile 0.015 ila 2 L/saat ajan debisinde gazlaştırma modeli uygulanmıştır. Saf oksijen ajan debisi değerleri seçilirken kuru havanın 1/5'i olacak şekilde değerler seçilmiştir. Saf oksijen gazlaştırma ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.18: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.015	1	32	4	2	54	5	2852

Tablo 4.19: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	39	10	0.6	41	4	2532

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, metan gazı, azot gazı ve hidrojen gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit ve karbon monoksit hacimsel yüzdesi artmıştır.

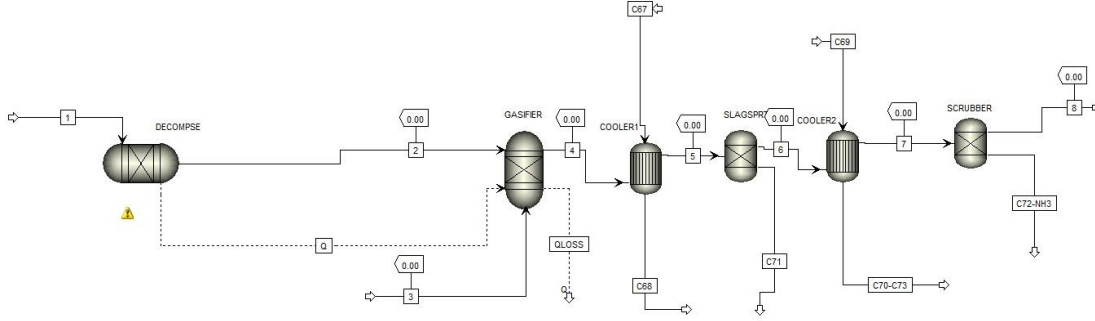
Tavuk gübresi gazlaştırma modelinde kuru hava için 10 L/saat ajan debisine karşılık gelen 1/5 azaltılmış 2 L/saat ajan debisindeki saf oksijen ajanının sonuçları karşılaştırıldığında ise ;

Tablo 4.20: Tavuk gübresi gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.

Sıcaklık(°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	24	6	0.1	25	41	1525
Sıcaklık(°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	39	10	0.6	41	4	2532

Sonuçlara bakıldığında ; aynı şartlardaki saf oksijen ve kuru hava ajanları karşılaştırıldığında, saf oksijenin ajan olarak kullanılması durumunda ısı değerinin daha yüksek olduğu, hidrojen gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu, karbonmonoksit ve metan gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda gazlaştırma deneylerinde saf oksijen kullanmanın, kuru hava ajanı kullanmaya göre daha avantajlı olduğu ve sentez gaz veriminin, ısı değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2 Pirina Gazlaştırma Modeli Bulguları



Şekil 4.4: Pirina gazlaştırma deneyi modeli.

Aspen Plus simülasyon programı ile hazırlanmış gazlaştırma modelinde laboratuvar şartlarıyla uyumlu ve laboratuvar şartlarından farklı olacak şekilde farklı parametrelerin değişimi yapılarak model uygulaması yapılmıştır. Sıcaklık, basınç, gazlaştırma ajanı debisi ve gazlaştırma ajan debisi türü(kuru hava ve oksijen) parametreleri değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Laboratuvar şartlarına göre 750°C, 1 bar basınçta, 3 L/saat kuru hava ajan debisinde yapılan deneyde sonuçlar şu şekildedir :

Tablo 4.21: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan pirina gazlaştırma modeli sonuçları.

Sıcaklık(°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	35	4	1	41	14	2446

Tablo 4.21'deki değerler gazlaştırıcıdan çıkan sentez gazın sonuçlarıdır. Bu sentez gazın soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma sonrasındaki sonuçları ise şu şekildedir :

Tablo 4.22: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan pirina gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.

Sıcaklık(°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	35	4	1	41	14	2446

Her iki durumda da gaz verimlerinin ve ısıl değerlerin birebir olmasının sonucu olarak soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemlerinin gaz verimi ve ısıl değer verimi üzerine önemli bir etkisi olmadığı, ancak H_2S ve NH_3 gibi sentez gazda istenmeyen maddelerin gideriminin sağlanarak daha temiz bir sentez gaz elde edildiği tespit edilmiştir.

Sıcaklık değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 700 ila 1100°C arasında denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.23: Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık(°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
900	3	1	43	0.5	0.3	42	13	2658

Basınç değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 1 ila 10 bar arasındaki basınçlarda denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.24: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	35	4	1	41	14	2446

Basınç arttırılıp, 10 bara kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.25: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	10	20	14	6	32	19	2177

Sonuçlara bakıldığında, basınç parametresinin değişiminde basınç artması ile birlikte ısıl değer, hidrojen gazı ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit, azot ve metan gazı hacimsel yüzdesi artmıştır.

Gazlaştırma ajanı debisinin değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda hem ajan türü hem ajan debisi değişimi yapılmış, kuru hava ve saf oksijen ajan türleri kullanılarak 0.1 ila 10 L/sa arasındaki ajan debilerinde denemeler yapılmıştır, kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.26: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.1	1	37	5	1	51	1	2819

Ajan debisi arttırılıp 10 L/saat' e kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.27: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	30	5	0.3	28	33	1822

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, hidrojen gazı, metan gazı ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, azot gazının hacimsel yüzdesi artmıştır.

Saf oksijen ajanı ile 0.015 ila 2 L/saat ajan debisinde gazlaştırma modeli uygulanmıştır. Saf oksijen ajan debisi değerleri seçilirken kuru havanın 1/5'i olacak şekilde değerler seçilmiştir. Saf oksijen gazlaştırma ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.28: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.005	1	37	5	1	52	0.8	2850

Tablo 4.29: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	45	8	1	41	0.7	2754

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, metan gazı, azot gazı ve hidrojen gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit ve karbon monoksit hacimsel yüzdesi artmıştır.

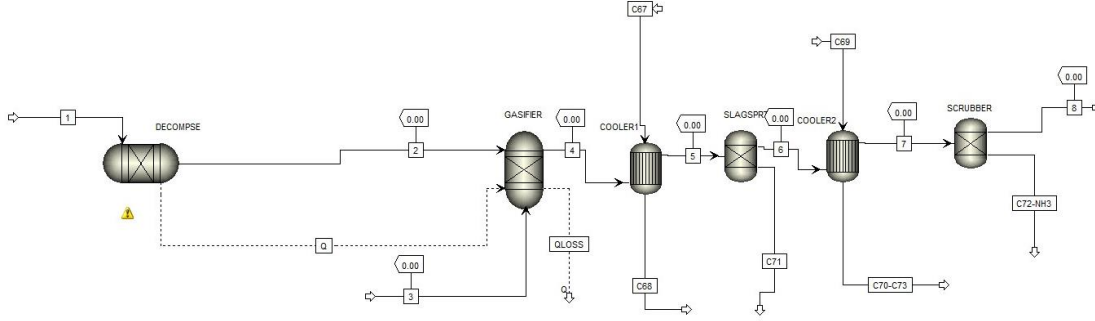
Pirina gazlaştırma modelinde kuru hava için 10 L/saat ajan debisine karşılık gelen 1/5 azaltılmış 2 L/saat ajan debisindeki saf oksijen ajanının sonuçları karşılaştırıldığında ise ;

Tablo 4.30: Pirina gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	30	5	0.3	28	33	1822
Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	45	8	1	41	0.7	2754

Sonuçlara bakıldığında; aynı şartlardaki saf oksijen ve kuru hava ajanları karşılaştırıldığında, saf oksijenin ajan olarak kullanılması durumunda ısı değerinin daha yüksek olduğu, hidrojenin gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu, karbonmonoksit ve metan gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda gazlaştırma deneylerinde saf oksijen kullanmanın, kuru hava ajanı kullanmaya göre daha avantajlı olduğu ve sentez gaz veriminin, ısı değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.2.3 Tavuk Gübresi ve Pirina Karışımı Gazlaştırma Modeli Bulguları



Şekil 4.5: Tavuk gübresi ve pirina karışımı gazlaştırma deneyi modeli.

Aspen Plus simülasyon programı ile hazırlanmış gazlaştırma modelinde laboratuvar şartlarıyla uyumlu ve laboratuvar şartlarından farklı olacak şekilde farklı parametrelerin değişimi yapılarak model uygulaması yapılmıştır. Sıcaklık, basınç, gazlaştırma ajanı debisi ve gazlaştırma ajan debisi türü (kuru hava ve oksijen) parametreleri değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Aynı ayrı olarak gazlaştırması yapılan tavuk gübresi ve pirinanın, sanayide karıştırılarak kullanıldığında nasıl bir sentez gaz verimi elde edeceğini hesaplamak için tavuk gübresi ve pirina karışımı yalnızca gazlaştırma modelinde çalıştırılmıştır.

Laboratuvar şartlarına göre 750°C, 1 bar basınçta, 3 L/saat kuru hava ajan debisinde yapılan deneyde sonuçlar şu şekildedir :

Tablo 4.31: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modeli sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	34	4	1	39	18	2353

Tablo 4.31'deki değerler gazlaştırıcıdan çıkan sentez gazın sonuçlarıdır. Bu sentez gazın soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma sonrasındaki sonuçları ise şu şekildedir :

Tablo 4.32: Laboratuvar şartlarına göre çalıştırılan tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modelinin gaz soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemleri sonrası sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	34	4	1	39	18	2353

Her iki durumda da gaz verimlerinin ve ısı değerlerinin birebir olmasının sonucu olarak soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma işlemlerinin gaz verimi ve ısı değer verimi üzerine önemli bir etkisi olmadığı, ancak H₂S ve NH₃ gibi sentez gazda istenmeyen maddelerin gideriminin sağlanarak daha temiz bir sentez gaz elde edildiği tespit edilmiştir.

Sıcaklık değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 700 ila 1100°C arasında denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.33: Değiştirilen sıcaklık şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
1000	3	1	42	0.1	0.1	40	16	2546

Basınç değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda 1 ila 10 bar arasındaki basınçlarda denemeler yapılmıştır, en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.34: Değiştirilen basınç şartlarına göre en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	1	34	4	1	39	18	2353

Basınç artırılıp, 10 bara kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.35: 10 bar basınç altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	3	10	19	13	6	31	23	2115

Sonuçlara bakıldığında, basınç parametresinin değişiminde basınç artması ile birlikte ısı değer, hidrojen gazı ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit, azot ve metan gazı hacimsel yüzdesi artmıştır.

Gazlaştırma ajanı debisinin değişiminin gazlaştırma verimine etkisinin incelendiği çalışmalarda hem ajan türü hem ajan debisi değişimi yapılmış, kuru hava ve saf oksijen ajan türleri kullanılarak 0.1 ila 10 L/sa arasındaki ajan debilerinde denemeler yapılmıştır, kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir:

Tablo 4.36: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre kuru hava ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.1	1	36	4	1	51	3	2788

Ajan debisi artırılıp 10 L/saat' e kadar yükseltildiğinde ise sonuçlar şu şekilde olmuştur :

Tablo 4.37: 10 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	28	6	0.2	25	37	1658

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, hidrojen gazı, metan ve karbonmonoksit gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit ve azot gazı hacimsel yüzdesi artmıştır.

Saf oksijen ajanı ile 0.015 ila 2 L/saat ajan debisinde gazlaştırma modeli uygulanmıştır. Saf oksijen ajan debisi değerleri seçilirken kuru havanın 1/5'i olacak şekilde değerler seçilmiştir. Saf oksijen gazlaştırma ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları ise şu şekildedir :

Tablo 4.38: Değiştirilen ajan debisi şartlarına göre saf oksijen ajanı için en yüksek gazlaştırma sonuçları ve gazlaştırma şartları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	0.02	1	36	4	1	51	2	2787

Tablo 4.39: 2 L/saat ajan debisi altında çalıştırılan model gazlaştırma sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	44	9	0.7	40	2	2664

Sonuçlara bakıldığında, ajan debisi parametresinin değişiminde ajan debisinin artması ile birlikte ısı değer, metan gazı ve hidrojen gazı veriminde düşme gerçekleşmiş, karbondioksit ve karbon monoksit hacimsel yüzdesi artmıştır.

Tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modelinde kuru hava için 10 L/saat ajan debisine karşılık gelen 1/5 azaltılmış 2 L/saat ajan debisindeki saf oksijen ajanının sonuçları karşılaştırıldığında ise ;

Tablo 4.40: Tavuk gübresi ve pirina karışımının gazlaştırma modelinde kuru hava – saf oksijen ajanı sonuç karşılaştırılması.

Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	10	1	28	6	0.2	25	37	1658
Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi(L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
750	2	1	44	9	0.7	40	2	2664

Sonuçlara bakıldığında ; aynı şartlardaki saf oksijen ve kuru hava ajanları karşılaştırıldığında, saf oksijenin ajan olarak kullanılması durumunda ısı değerinin daha yüksek olduğu, hidrojenin gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu, karbonmonoksit ve metan gazının hacimsel veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda gazlaştırma deneylerinde saf oksijen kullanmanın, kuru hava ajanı kullanmaya göre daha avantajlı olduğu ve sentez gaz veriminin, ısı değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.2.4 Sonuçların İstatistiksel Analizi

Aspen Plus modelleme programı sonuçları ve laboratuvar deney sonuçları SPSS istatistiksel analiz programı ile analiz edilmiştir. Korelasyon analizi , regresyon analizi, ANOVA testi yapılmış, parametre değişkenlerinin sentez gaz oluşumuna, ısı değerlere ve maksimum değerlere etkisi grafikler ile ifade edilmiştir.

4.2.4.1 Korelasyon Analizi

İşletme parametreleri ve elde edilen ürünler arasında yürütülen korelasyon analizine ait sonuçlar Tablo 4.41’de sunulmuştur.

Tablo 4.41: Korelasyon analizi.

	Debi (L/sa)	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	CH ₄ (%)	CO (%)	H ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
Debi (L/sa)	1	-0,077*	0,051	0,076*	-0,365**	-0,504**	-0,434**
Sıcaklık (°C)	-0,077*	1	0,069*	-0,040	0,429**	0,490**	0,464**
Basınç (bar)	0,051	0,069*	1	0,214**	0,056	0,109**	0,139**
CH ₄ (%)	0,076*	-0,040	0,214**	1	-0,201**	-0,110**	0,078*
CO (%)	-0,365**	0,429**	0,056	-0,201**	1	0,926**	0,939**
H ₂ (%)	-0,504**	0,490**	0,109**	-0,110**	0,926**	1	0,966**
Isıl Değer (kcal/m ³)	-0,434**	0,464**	0,139**	0,078*	0,939**	0,966**	1

*Pearson Korelasyonu 0,05 mertebesinde anlamlıdır (2-tailed).

**Pearson Korelasyonu 0,01 mertebesinde anlamlıdır (2-tailed).

İki değişkenin bulunduğu kompleks olmayan korelasyon analizlerinde hedef bu değişkenler arasındaki ilişkinin mertebesini göstermektedir. Çalışmada korelasyon derecesinin belirlenmesinde Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Söz konusu değişkenlerin sürekli olmaları ve bu değişkenlere ait verilerin normal dağılım göstermesi durumunda hedef ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile belirlenebilir ve bu kasayı "r" ile ifade edilir. Pearson katsayısı $r=0$ durumunda değişkenler arası hiçbir ilişkinin olmadığını simgeler. $r>0$ durumu ilişkinin doğru yönlü olduğunu gösterirken, $r<0$ ise bu değişkenler arasındaki ters yönlü ilişkiyi göstermektedir.

Tablo 42 incelendiğinde, elde edilen gaz formları ve ısı değer ile debi arasında yukarıda yapılan tanımlama doğrultusunda tam da beklendiği gibi ters yönlü bir ilişki mevcuttur. Bu durum en uygun ajan debisinin belirlenmesi aşamasında önem taşımaktadır. Debinin artışı sistem

verimliliğini ancak en uygun seviyeye kadar olumlu etkilemekte, artan debi aksine sistemi bloke etmektedir.

CO ve H₂, üretilen sentez gazı oluşturan önemli gaz formlarıdır ve gaz karışımının ısı değerini de oluşturan en önemli iki bileşendir. Bu bağlamda CO ve H₂'nin ısı değeri ile ilişkisi irdelendiğinde son derece yüksek ilişki gözlenmiştir. Ayrıca, basınç ile gaz formları irdelendiğinde de $r=0$ mertebesinde ilişki gözlenmektedir.

4.2.4.2 Regresyon Analizi

Regresyon analizi, seçilen değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini bulunmasını sağlayan bir analiz yöntemidir. Sentez gazlar ile kalorifik değeri arasında yürütülen regresyon analizine ait sonuçlar Tablo 4.42 ve 4.43'te sunulmuştur.

Tablo 4.42: Regresyon analizi.

Model	R	R ²	Düzenlenmiş R ²	Sig. (anlamlılık, P)
1	0.999 ^a	0.998	0.998	0,000 ^a

^a Predictors: (Constant), CO hacimsel yüzdesi, CH₄ hacimsel yüzdesi, H₂ hacimsel yüzdesi

Tablo 4.43: Regresyon analizi.

Katsayılar ^a					
Model		Standardize edilmemiş katsayılar		t	Sig.
		B	Std. Error		
1	(Katsayı)	-5.483	2.878	-1.905	0.057
	CO	30.768	0.259	0.475	118.608
	CH ₄	93.119	0.608	0.234	153.146
	H ₂	31.150	0.223	0.552	139.744

^a a. Bağımlı değişken: Isıl Değer

Tablo 4.42 ve 4.43'teki sonuçlara göre, yürütülen regresyon analizi $p<0,01$ mertebesinde anlamlı bulunmuştur. Değişkenler arasında yüksek R ve R² değerleri doğrultusunda pozitif yönlü kuvvetli bir ilişki olduğu ve belirlilik katsayısına (R² 0,998) bağlı olarak kalorifik değerde gözlenen değişimlerin %99,8 oranında sentez gazın bileşenlerine bağlı olduğu söylenebilir.

Tablo 4.43’de verilen katsayının P değerinin 0,05’den büyük olması, modelde kullanılabilecek mertebede anlamlı olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır. Bu durumda, Tablo 4.43’teki verilere göre, çoklu regresyon modeli aşağıda verilmiştir:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + \dots \quad (4.1)$$

$$a = P > 0,05 \quad b = 93,357 \quad c = 30,655 \quad d = 30,381$$

$$Y = 93,119X_{CH_4} + 31,150X_{H_2} + 30,768X_{CO} \quad (4.2)$$

Y : Sentez gaz ısı değeri, [kcal/m³]

X_{CH₄} : Sentez gaz içerisinde CH₄ gazının hacimsel yüzdesi

X_{H₂} : Sentez gaz içerisinde H₂ gazının hacimsel yüzdesi

X_{CO} : Sentez gaz içerisinde CO gazının hacimsel yüzdesi

4.2.4.3 ANOVA Testi

İki değişken ve bu değişkene bağlı bulguların karşılaştırılması amacıyla yürütülen ve varyans analizi olarak bilinen ANOVA (Analysis of Variance) testinin sonucunda, ısı değeri ve H₂, CO, CH₄ gaz yüzdelilerinin sıcaklığın değişen değerlerine bağlı davranışları gözlenmiştir. SPSS yardımıyla gerçekleştirilen One Way ANOVA testine ait sonuçlar Tablo 4.44, 4.45 ve 4.46’da sunulmuştur.

Tablo 4.44: Isıl değer < 600 °C ve >=600 °C şartlarına göre ANOVA testi sonuçları.

	N	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama% 95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum	
					Alt Sınır	Üst Sınır			
Isıl Değer	<600	150	467.1303	722.79609	59.01605	350.5138	583.7468	30.00	2426.00
	>=600	654	1584.3872	974.60112	38.10992	1509.5544	1659.2200	30.25	2852.00
	Toplam	804	1375.9438	1029.09101	36.29324	1304.7029	1447.1846	30.00	2852.00
H ₂	<600	150	4.3533	5.97774	0.48808	3.3889	5.3178	1.00	21.00
	>=600	654	27.0933	17.57736	0.68733	25.7436	28.4429	1.00	54.00
	Toplam	804	22.8507	18.34267	0.64690	21.5809	24.1206	1.00	54.00
CO	<600	150	3.3333	5.81097	0.47446	2.3958	4.2709	0.00	22.00
	>=600	654	17.9113	15.73512	0.61529	16.7031	19.1195	0.00	45.00
	Toplam	804	15.1915	15.48874	0.54625	14.1193	16.2638	0.00	45.00
CH ₄	<600	150	2.4800	4.60481	0.37598	1.7371	3.2229	0.00	17.00
	>=600	654	2.1031	1.89315	0.07403	1.9577	2.2484	0.00	12.00
	Toplam	804	2.1734	2.62120	0.09244	1.9919	2.3548	0.00	17.00

Tablo 4.45: Isıl değer < 750 °C ve >=750 °C şartlarına göre ANOVA testi sonuçları.

	N	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata	Ortalama% 95 Güven Aralığı		Minimum	Maksimum	
					Alt Sınır	Üst Sınır			
Isıl Değer	<750	164	462.4577	696.49742	54.38731	355.0632	569.8523	30.00	2426.00
	>=750	428	1942.9860	1007.96675	48.72191	1847.2214	2038.7507	121.00	2852.00
	Toplam	592	1532.8397	1143.50905	46.99793	1440.5364	1625.1430	30.00	2852.00
H ₂	<750	164	4.5488	5.95309	0.46486	3.6309	5.4667	1.00	21.00
	>=750	428	33.9019	17.93417	0.86688	32.1980	35.6058	2.00	54.00
	Toplam	592	25.7703	20.37187	0.83728	24.1259	27.4147	1.00	54.00
CO	<750	164	3.2256	5.58078	0.43579	2.3651	4.0861	0.00	22.00
	>=750	428	25.1752	15.00444	0.72527	23.7497	26.6008	1.00	45.00
	Toplam	592	19.0946	16.36785	0.67271	17.7734	20.4158	0.00	45.00
CH ₄	<750	164	2.4024	4.42347	0.34542	1.7204	3.0845	0.00	17.00
	>=750	428	1.2603	1.08333	0.05236	1.1574	1.3632	0.00	6.00
	Toplam	592	1.5767	2.55075	0.10484	1.3708	1.7826	0.00	17.00

Tablo 4.46: ANOVA testi.

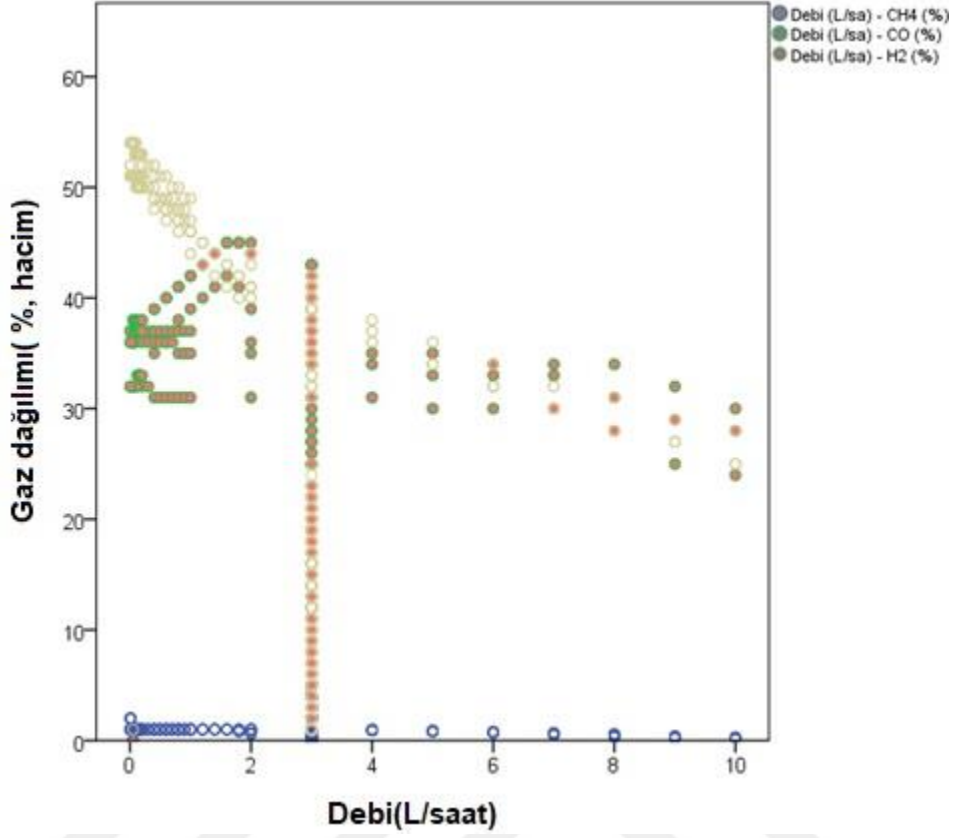
		N	Ortalama	Minimum	Maksimum
Isıl Değer	<600	150	467.1303	30.00	2426.00
	>=600	690	1633.5351	30.25	2852.00
	<750	164	462.4577	30.00	2426.00
	>=750	464	1988.2500	121.00	2852.00
H ₂	<600	150	4.3533	1.00	21.00
	>=600	690	27.8159	1.00	54.00
	<750	164	4.5488	1.00	21.00
	>=750	464	34.4483	2.00	54.00
CO	<600	150	3.3333	0.00	22.00
	>=600	690	19.0580	0.00	45.00
	<750	164	3.2256	0.00	22.00
	>=750	464	26.3168	1.00	45.00
CH ₄	<600	150	2.4800	0.00	17.00
	>=600	690	2.0075	0.00	12.00
	<750	164	2.4024	0.00	17.00
	>=750	464	1.1836	0.00	6.00

Tablolar incelendiğinde reaktörün işletildiği sıcaklık 750 °C civarında olmasına rağmen gerek gaz dağılımlarında gerekse ısı değerinin hesaplanan değerlerinin 600 °C civarında aynı mertebelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, bu çalışma kapsamında ve kullanılan numuneler özelinde deneylerin 600 °C’de de yürütülebileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Gazlaştırma operasyon sıcaklığının 600 °C’nin altına inmesi durumunda ise söz konusu değerlerin belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir.

4.2.4.4 Parametre Değişkenlerinin Etkisi

Gazlaştırma Ajanlarının Debisinin Etkisi

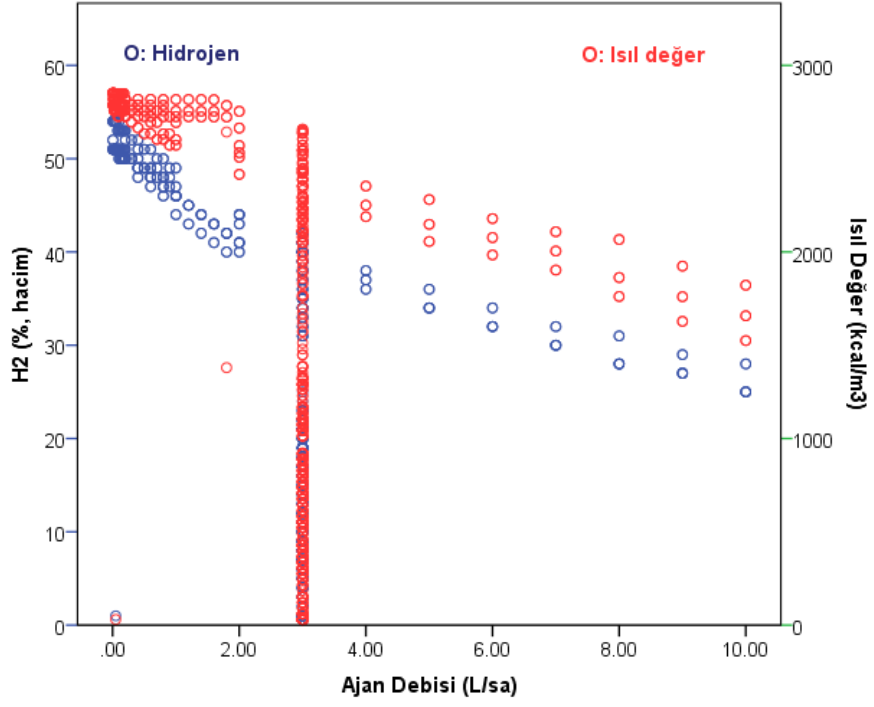
Çalışmada gazlaştırma ajanı olarak saf oksijen ve kuru hava seçilmiştir. Seçilen gazlaştırma ajan debileri 0.005 ila 10 L/saat aralığında değiştirilmiştir. Gazlaştırma ajan debisi değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6: Gazlaştırma ajan debisi değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.

Şekil 4.6'ya bakıldığında debinin 0-2 L/saat olduğu aralıkta H₂ ve CO gaz yüzdelерinin oldukça yüksek olduğu, 0.005 L/saat gibi sıfıra çok yakın değerlerde ise H₂ yüzdesinin %52'lere ulaştığı, CO gaz yüzdesinin debinin 2-3 L/saat olduğu aralıkta %45'lere ulaştığı ve ajan debisi artışının gaz hacim yüzdesini düşürdüğü tespit edilmiştir.

Ajan debisi değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi ise Şekil 4.7'de verilmiştir.

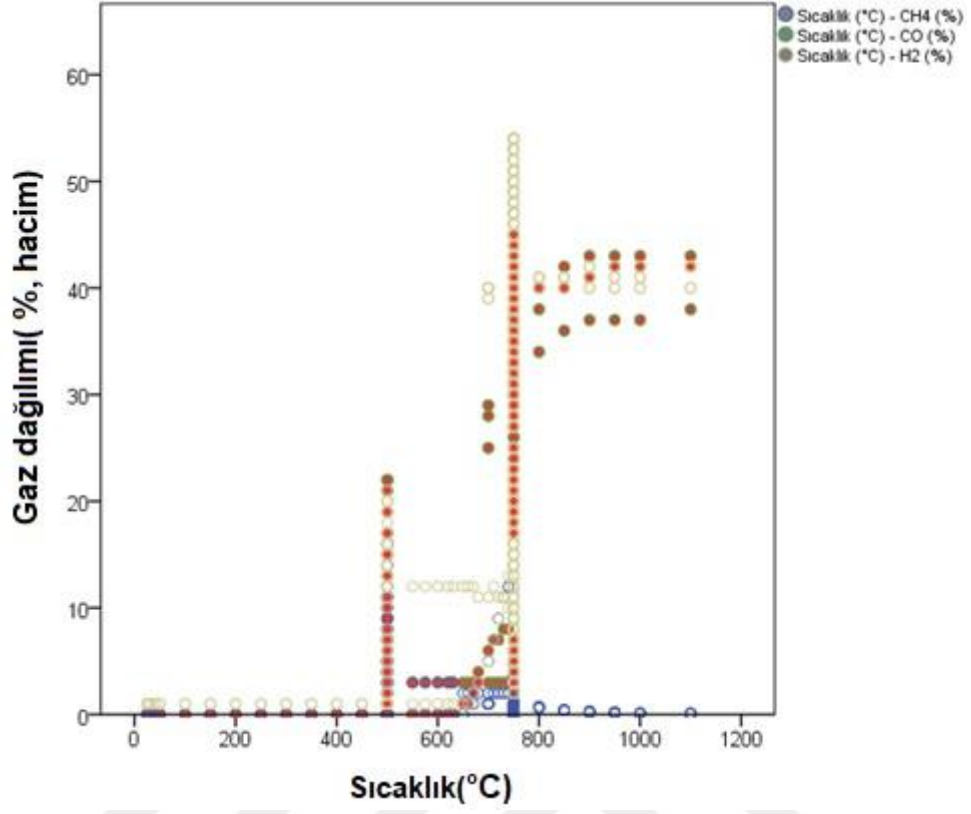


Şekil 4.7: Ajan debisi değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi.

Şekil 4.7' e göre ajan debisi değişiminin ısı değere ve hidrojen gazı hacimsel yüzdesine etkisi şu şekildedir; ajan debisinin düşük olduğu 0 ila 2 L/saat aralığında ısı değeri ve H₂ gazı hacimsel yüzdesi yükselmiş, ajan debisinin artması ile birlikte ısı değeri ve H₂ gazı hacimsel yüzdesi düşmeye başlamıştır. Ajan debisinin 0.005 L/saat olduğu aralıklarda ise hidrojen gazı hacimsel yüzdesi %60'lara, ısı değeri ise 3000 kcal/m³'lere ulaşmıştır.

Sıcaklığın Etkisi

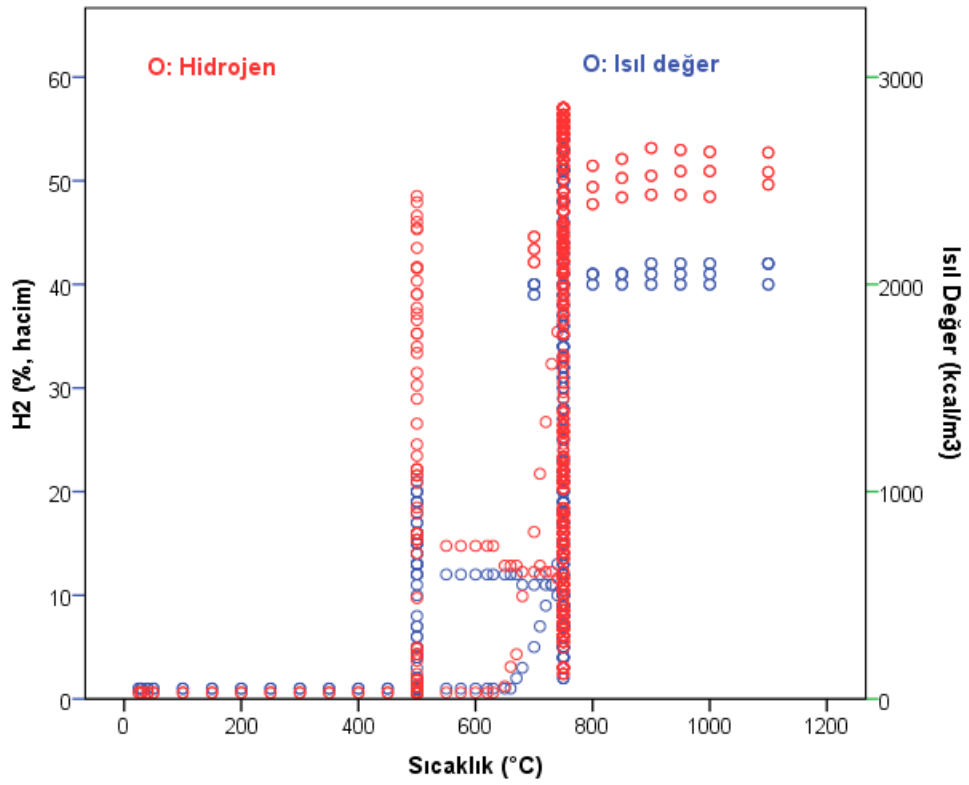
Çalışmada, 700 ila 1100°C sıcaklık aralıklarında çalışılmış, sıcaklık değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8: Sıcaklık değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.

Şekil 4.8'e bakıldığında sıcaklık artışı ile birlikte CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi artmaktadır, sıcaklık artışı ile birlikte hidrojen gazı hacimsel yüzdesinin %55'lere, karbonmonoksitin %45'lere ve metan gazının %15'lere yükseldiği görülmektedir.

Sıcaklık değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi ise Şekil 4.9'da verilmiştir.

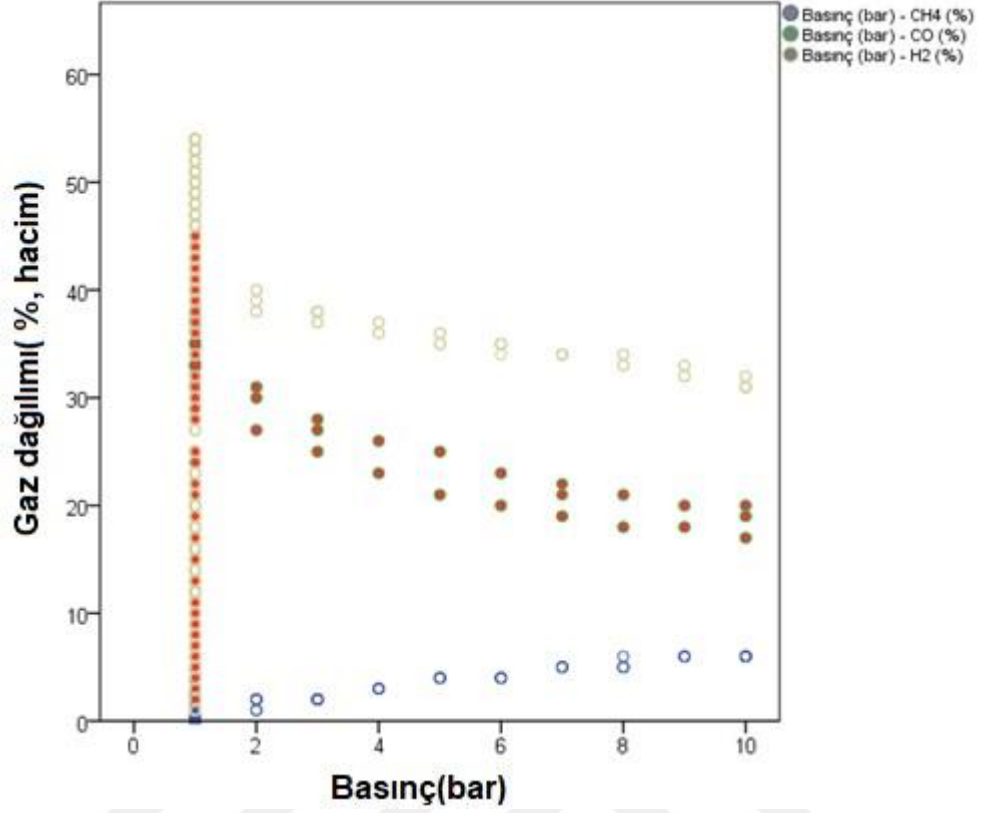


Şekil 4.9: Sıcaklık değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi.

Şekil 4.9'a göre sıcaklık artışı ile birlikte ısı değerin ve hidrojen gazı hacimsel yüzdesinin arttığı görülmektedir. Sıcaklık artışı ile birlikte hidrojen gazı hacimsel yüzdesinin %55'lere, ısı değeri ise 3000 kcal/m³'lere ulaşmıştır.

Basıncın Etkisi

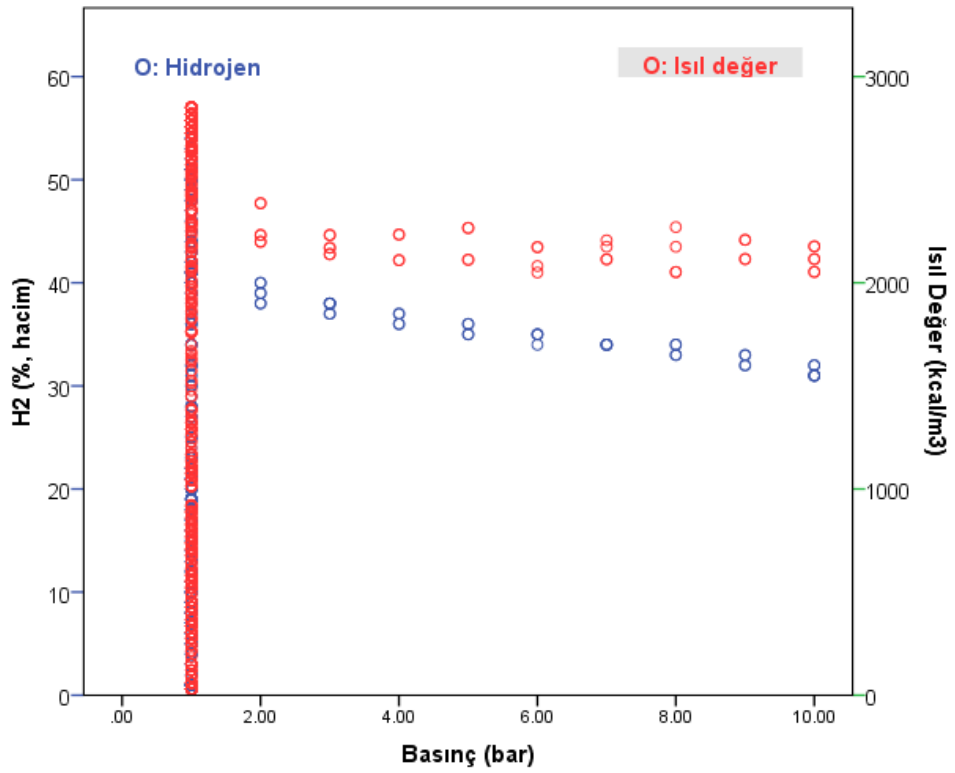
Çalışmada 1 ila 10 bar arasında basınç değişimleri yapılarak çalışılmış, basınç değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Basınç değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.

Şekil 4.10'a bakıldığında basıncın 1 bardan 10 bara yükseldiği durumlarda gaz hacimsel yüzdelерinde düşüş görülmüştür. Basınç artışının gaz hacimsel yüzdelерinde olumsuz bir etkisi olmuştur. Optimum değer olan 1 barda çalışıldığında ise her üç gaz da en yüksek gaz hacim yüzdelерine sahip olmuştur.

Basınç değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi ise Şekil 4.11'de verilmiştir.

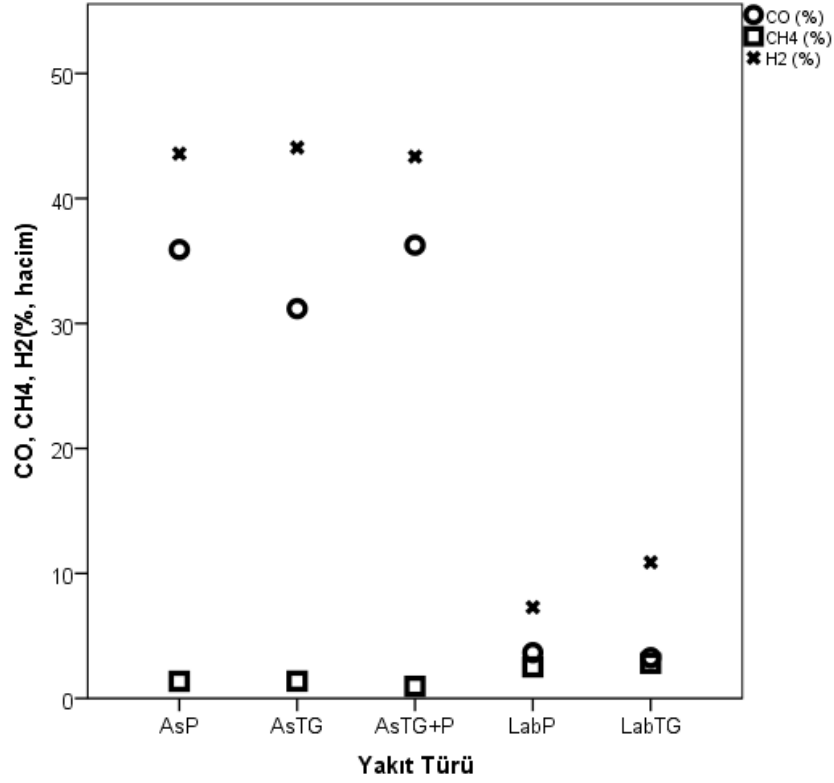


Şekil 4.11: Basınç değişiminin ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi.

Şekil 4.11'e bakıldığında basınç artışının gazların hacimsel yüzdesine ve ısı değere etkisi olumsuz olmaktadır, basınç artışı ile birlikte gazların hacimsel yüzdesi ve ısı değeri azalmaktadır. Optimum basınç olan 1 barda H₂ gazı hacimsel yüzdesi %60'lara, ısı değeri 3000 kcal/m³'lere ulaşmaktadır.

Yakıt Türünün Etkisi

Çalışmada yakıt türü olarak tavuk gübresi, pirina ve tavuk gübresi ve pirinanın karışımı kullanılmıştır. Yakıt türü değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12: Yakıt türü değişiminin CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.

Şekil 4.12'ye bakıldığında Aspen Plus simülasyon programı ile oluşturulmuş pirina, tavuk gübresi ve pirina- tavuk gübresi karışımı gazlaştırma modellerinin ve laboratuvar ölçekli pirina ve tavuk gübresi gazlaştırmasının sonucunda oluşan gaz hacimsel yüzdesinin değerleri verilmiştir. Aspen Plus modelleme programı için baktığımızda, CH₄ gazı için pirina, tavuk gübresi ve pirina- tavuk gübresi karışımı arasında önemli bir fark görülmemektedir. Pirina için %35, tavuk gübresi için %30, tavuk gübresi- pirina karışımı için ise %35'lik CO oluşumu görülmektedir. H₂ gazı için ise pirina, tavuk gübresi- pirina karışımı ve tavuk gübresi için % 40-45 arası hidrojen gazı oluşumu gözlemlenmektedir. Laboratuvarda uygulanan pirina ve tavuk gübresi gazlaştırma deneylerinde ise yaklaşık %5 metan gaz, % 7 karbonmonoksit oluşumu, %8- 10 arasında hidrojen gazı oluşumu gözükmemektedir. Şekil 25'teki sonuçlara göre yakıt türünün gaz oluşumunu değiştirdiği tespit edilmiştir.

AsP: Aspen Plus modelleme programında çalıştırılmış pirina gazlaştırması

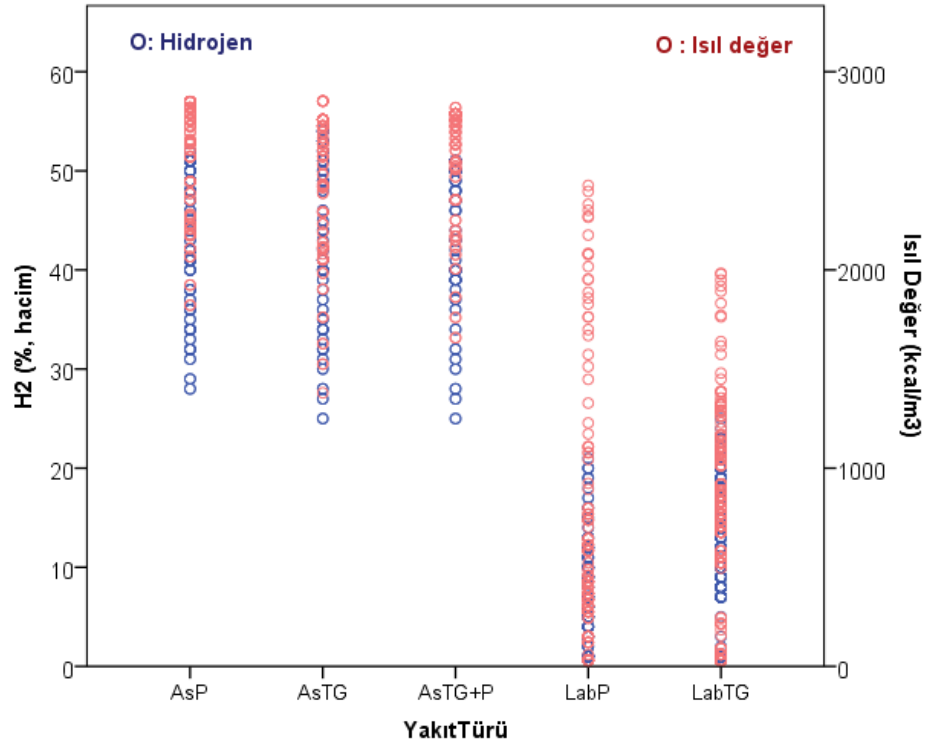
AsTG: Aspen Plus modelleme programında çalıştırılmış tavuk gübresi gazlaştırması

AsTG+P: Aspen Plus modelleme programında çalıştırılmış pirina ve tavuk gübresi karışımı gazlaştırması

LabP: Laboratuvarında çalıştırılmış pirina gazlaştırması

LabTG: Laboratuvarında çalıştırılmış tavuk gübresi gazlaştırması, anlamına gelmektedir.

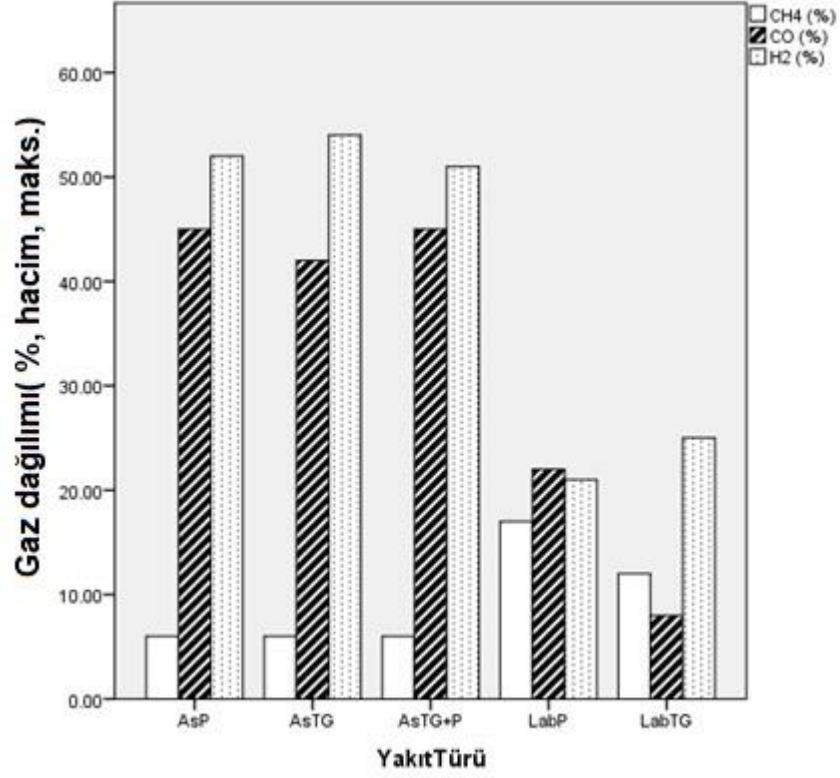
Yakıt türü değişiminin ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi ise Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13: Yakıt türü değişiminin ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi.

Şekil 4.13’e göre yakıt türlerine göre ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine bakıldığında Aspen Plus modelleme programı ile pirina, tavuk gübresi ve pirina-tavuk gübresi karışımı gazlaştırmalarında oluşan ısı değerler her biri için; yaklaşık 2800 kcal/m³ olarak görülmektedir. Laboratuvarında yapılan pirina gazlaştırmasında 2500 kcal/m³ ısı değere, tavuk gübresinde ise 2000 kcal/m³ ısı değere ulaşılmıştır.

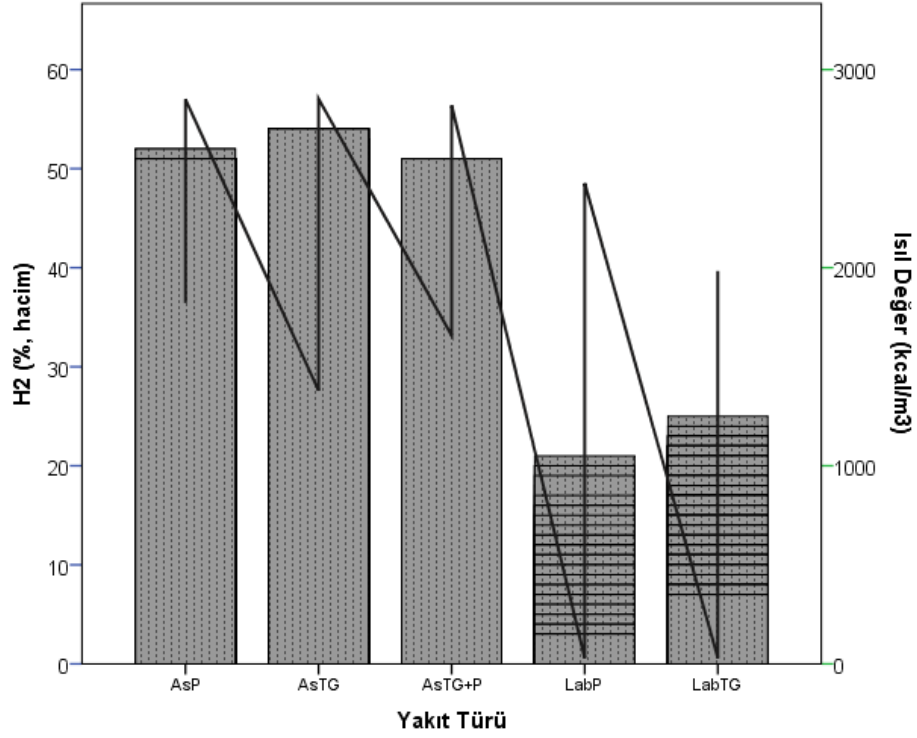
Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi ise Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14: Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi.

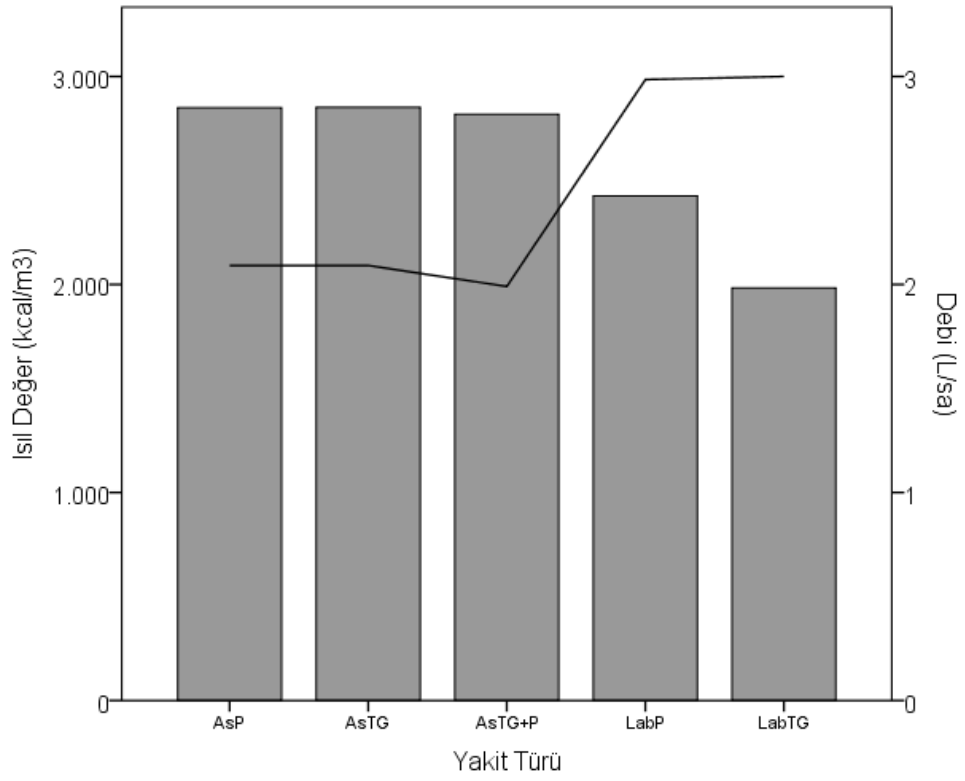
Şekil 4.14’de yakıt türü değişimine göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine bakıldığında, Aspen Plus modelleme programında yapılan gazlaştırma deneylerinde pirina, tavuk gübresi ve pirina- tavuk gübresi karışımında yaklaşık %5-6 CH_4 gazı oluşmuştur. Pirina, tavuk gübresi ve pirina- tavuk gübresi karışımında sırasıyla %45, %42, %45 CO gazı oluşmuştur. Aynı şekilde sırasıyla %52, %55, %50 H_2 gazı oluşmuştur. Laboratuvar sonuçlarına bakıldığında ise pirina ve tavuk gübresi için sırasıyla %18 ve %15 CH_4 oluşmuştur, %22 ve %8 CO oluşmuştur, yaklaşık %20 ve %25 H_2 gazı oluşmuştur.

Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum H_2 gazı hacimsel yüzdesi ve ısı değeri değişimleri ise Şekil 4.15’de verilmiştir.



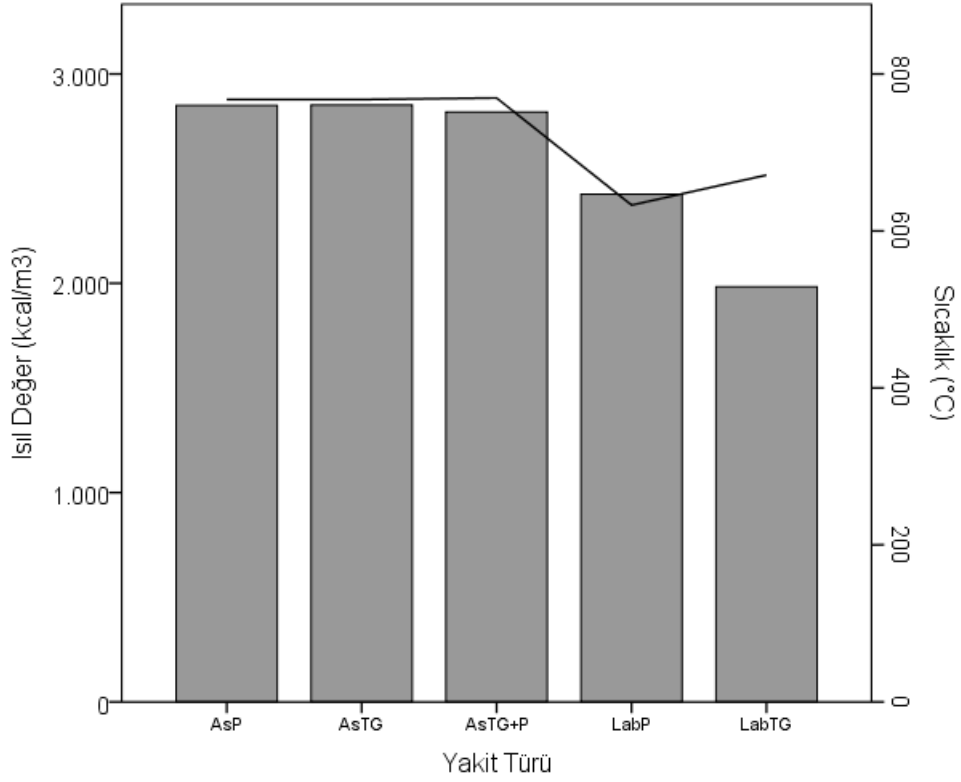
Şekil 4.15: Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum H₂ gazı hacimsel yüzdesi ve ısı değer değişimleri.

Şekil 4.15’de yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum H₂ gazı hacimsel yüzdesi ve ısı değer değişimlerine bakıldığında Aspen Plus modelleme programında pirina gazlaştırması sonucu maksimum H₂ gazı hacimsel yüzde verimi %52’lere kadar çıkmıştır. Maksimum ısı değer verimi ise 2800 kcal/m³’e yaklaşmıştır. Tavuk gübresi gazlaştırmasında ise H₂ gazı %55 gaz verimine ulaşmıştır, maksimum ısı değer verimi ise 2900 kcal/m³’e yaklaşmıştır. Pirina-tavuk gübresi gazlaştırmasında ise H₂ gazı %50 maksimum verime ulaşmış, ısı değer 2800 kcal/m³’e yaklaşmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan pirina gazlaştırma deneyinde ise H₂ gazı verimi %22’ye, ısı değer ise 2500 kcal/m³’e ulaşmıştır. Tavuk gübresinde H₂ gazı verimi %25’e, ısı değer ise 2000 kcal/m³’e ulaşmıştır.



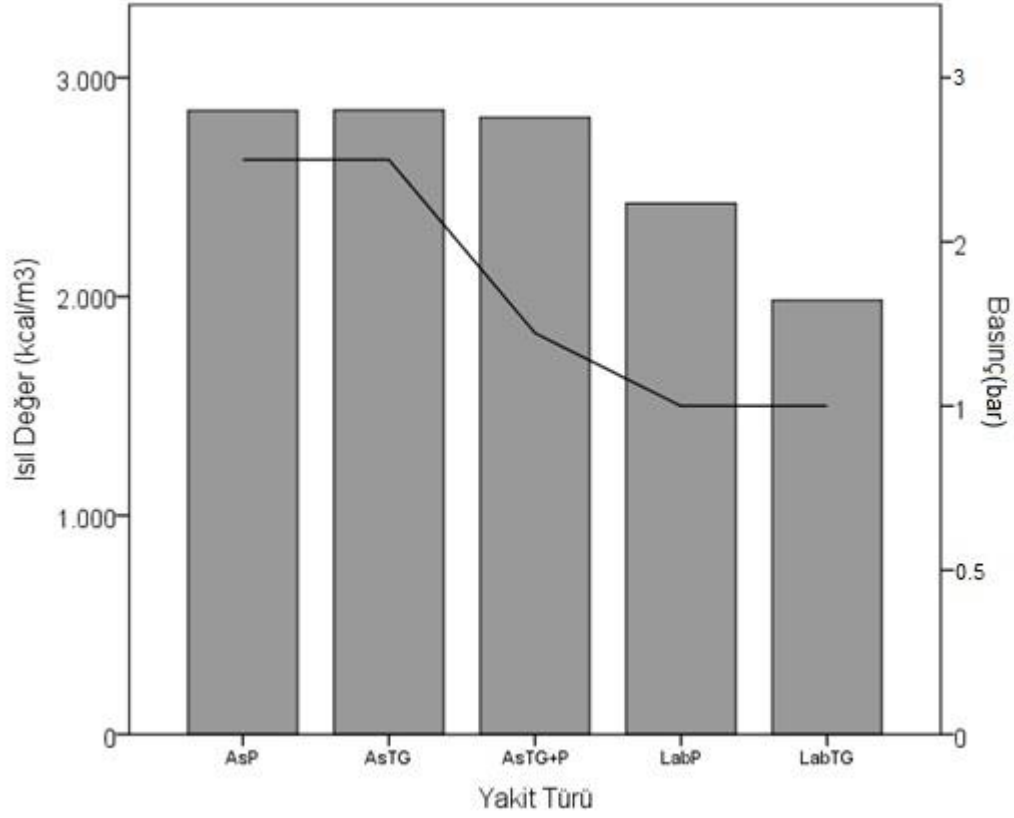
Şekil 4.16: Yakıt türlerine göre gazlaştırma ajan debileri ve ısı değerleri.

Ajan debisi değişimine göre yakıt türlerinin maksimum ısı değeri karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 4.16’da Aspen Plus modelleme programında gerçekleştirilmiş pirina gazlaştırması deneyinde 2 L/saat ajan debisinde ısı değeri 2800 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi gazlaştırması deneyinde 2 L/saat ajan debisinde ısı değeri 2800 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi-pirina gazlaştırma deneyinde ise yaklaşık 1.8-1.9 L/saat ajan debisinde ise ısı değeri 2500 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Laboratuvar şartlarında ise 3 L/saat ajan debisinde ısı değeri pirina için yaklaşık 2500 kcal/m³, tavuk gübresi için yaklaşık 2000 kcal/m³ olmuştur.



Şekil 4.17: Yakıt türlerine göre gazlaştırma sıcaklıkları ve ısı değerleri.

Sıcaklık değişimine göre yakıt türlerinin maksimum ısı değeri karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 4.17’de Aspen Plus modelleme programında gerçekleştirilmiş pirina gazlaştırması deneyinde yaklaşık 750°C sıcaklıkta ısı değeri 2800 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi gazlaştırması deneyinde 750°C sıcaklıkta ısı değeri 2800 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi-pirina gazlaştırma deneyinde ise yaklaşık 750°C sıcaklıkta ise ısı değeri 2700 kcal/m³’lere ulaşmıştır. Laboratuvar şartlarında ise sıcaklık düşüşleri görülmüş yaklaşık 650-680°C sıcaklıkta ısı değerleri pirina için yaklaşık 2500 kcal/m³, tavuk gübresi için yaklaşık 2000 kcal/m³ olmuştur.

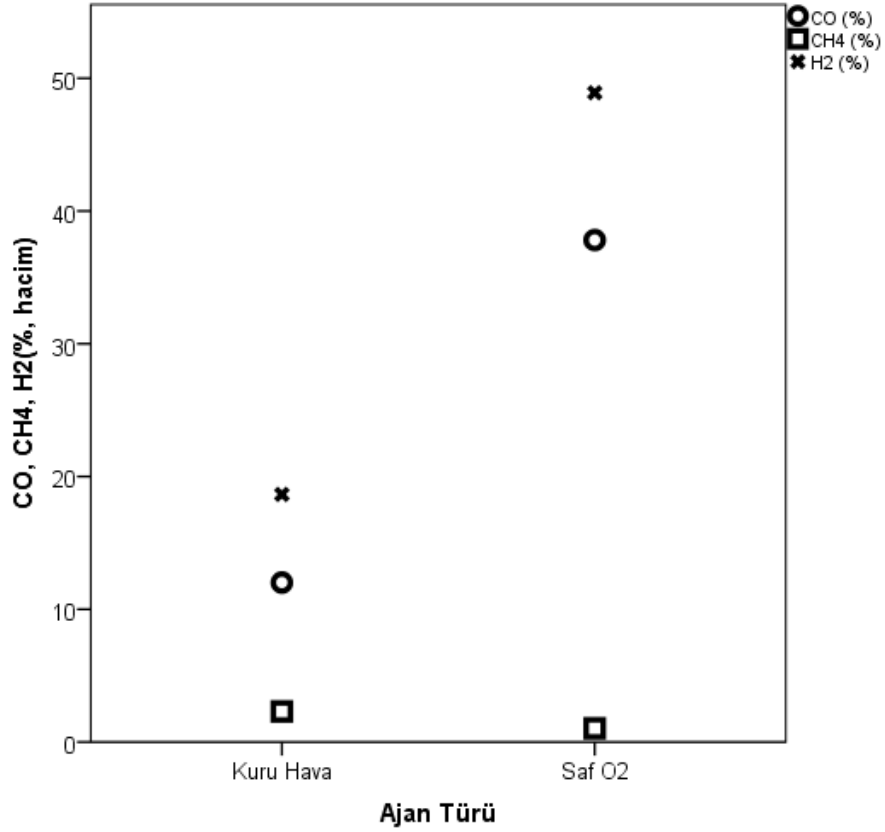


Şekil 4.18: Yakıt türlerine göre gazlaştırma basınçları ve ısı değerleri.

Basınç değişimine göre yakıt türlerinin maksimum ısı değeri karşılaştırılmasının yapıldığı Şekil 4.18'de Aspen Plus modelleme programında gerçekleştirilmiş pirina gazlaştırması deneyinde yaklaşık 2.5 bar basınç altında ısı değeri 2800 kcal/m³'lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi gazlaştırması deneyinde 2.5 bar basınç altında ısı değeri 2800 kcal/m³'lere ulaşmıştır. Tavuk gübresi-pirina gazlaştırma deneyinde ise yaklaşık 1,5 bar basınç altında ise ısı değeri 2800 kcal/m³'lere ulaşmıştır. Laboratuvar şartlarında ise basınç sabittir ve 1 bardır, bu şartlar altında ısı değerleri pirina için yaklaşık 2500 kcal/m³, tavuk gübresi için yaklaşık 2000 kcal/m³ olmuştur.

Farklı Gazlaştırma Ajanlarının Proses Üzerine Etkisi

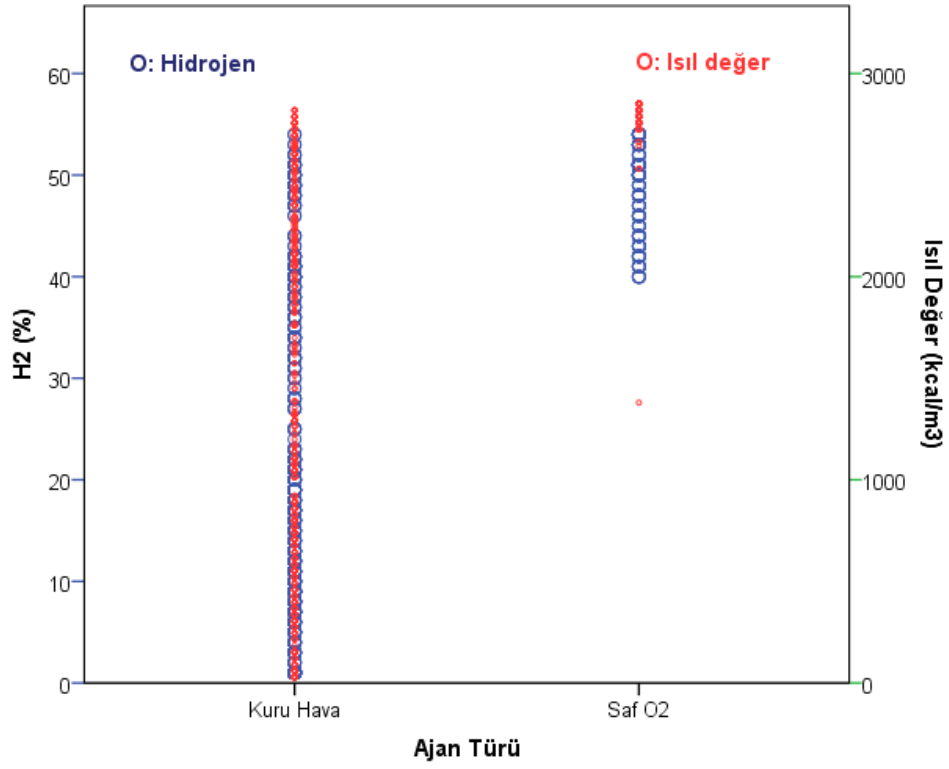
Çalışmada gazlaştırma ajanı olarak saf oksijen (%99,5 saflık) ve kuru hava kullanılmıştır. Gazlaştırma ajanının türünün CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19: Gazlaştırma ajanının türünün CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesine olan etkisi.

Şekil 4.19'a bakıldığında, gazlaştırma ajanı olarak kuru hava ya da saf oksijen kullanılması durumunda CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesinde değişimler olmuştur. Kuru hava kullanımındaki CH_4 değeri saf oksijen kullanıldığındaki duruma göre daha yüksektir. Ancak CO ve H_2 gazı hacimsel yüzdesi saf oksijen gazlaştırma ajanı kullanıldığında daha yüksek olmuştur. Bu durumda gazlaştırma prosesinde saf oksijen kullanımının kuru hava kullanımına göre daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir.

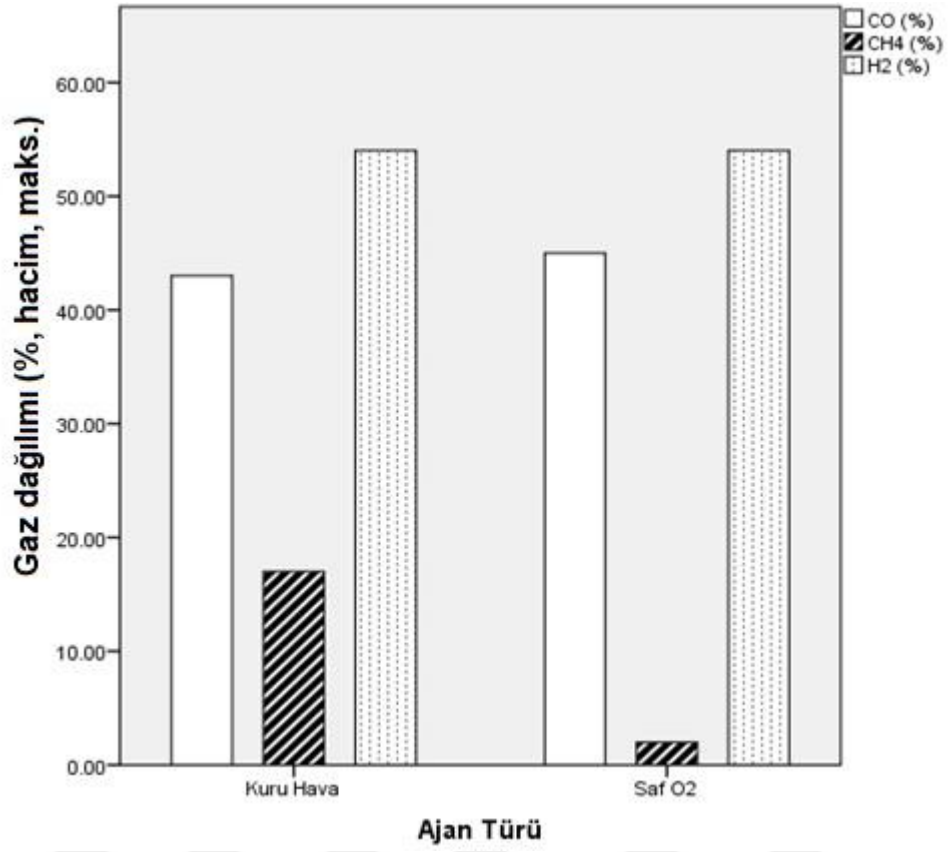
Gazlaştırma ajanı türünün ısı değere ve H_2 gazı hacimsel yüzdesine etkisi ise Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20: Gazlaştırma ajanı türünün ısı değere ve H₂ gazı hacimsel yüzdesine etkisi.

Şekil 4.20'e göre gazlaştırma ajan türünün saf oksijen ya da kuru hava olması durumunda ısı değerleri arasında saf oksijen olumlu yönde olacak şekilde çok az miktarda fark bulunmaktadır ancak H₂ gazı hacimsel verimi saf oksijen kullanıldığında daha yüksektir.

Gazlaştırma ajanı türüne göre oluşan maksimum CH₄, H₂ ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi ise Şekil 4.21'de verilmiştir.

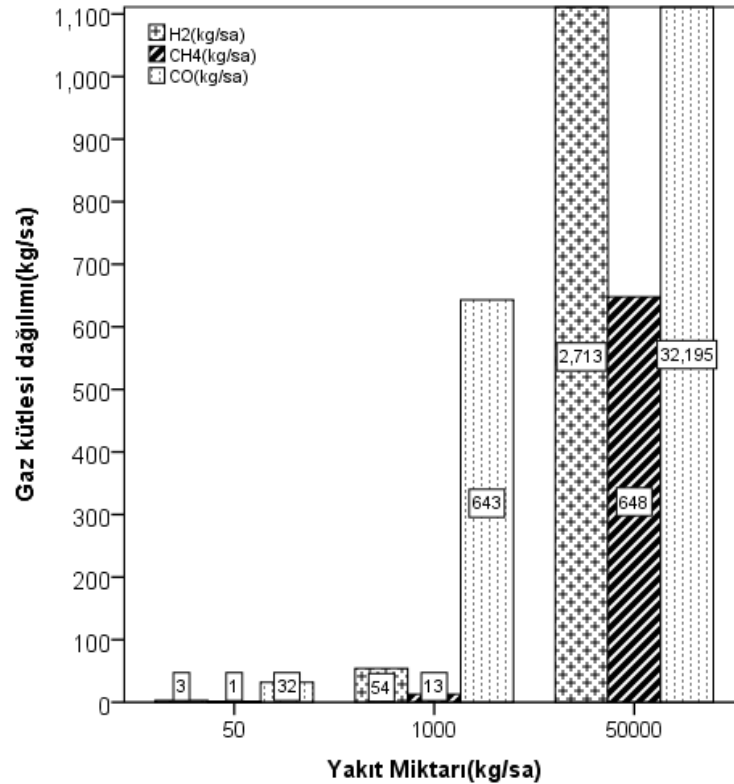


Şekil 4.21: Gazlaştırma ajanı türüne göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi.

Şekil 4.21'e bakıldığında gazlaştırma ajan türüne göre oluşan maksimum CH_4 , H_2 ve CO gazlarının hacimsel yüzdesi; saf oksijen için sırası ile; %3, %55, %45 olmuştur. Kuru hava için ise sırasıyla; %18, %55, %43 olmuştur.

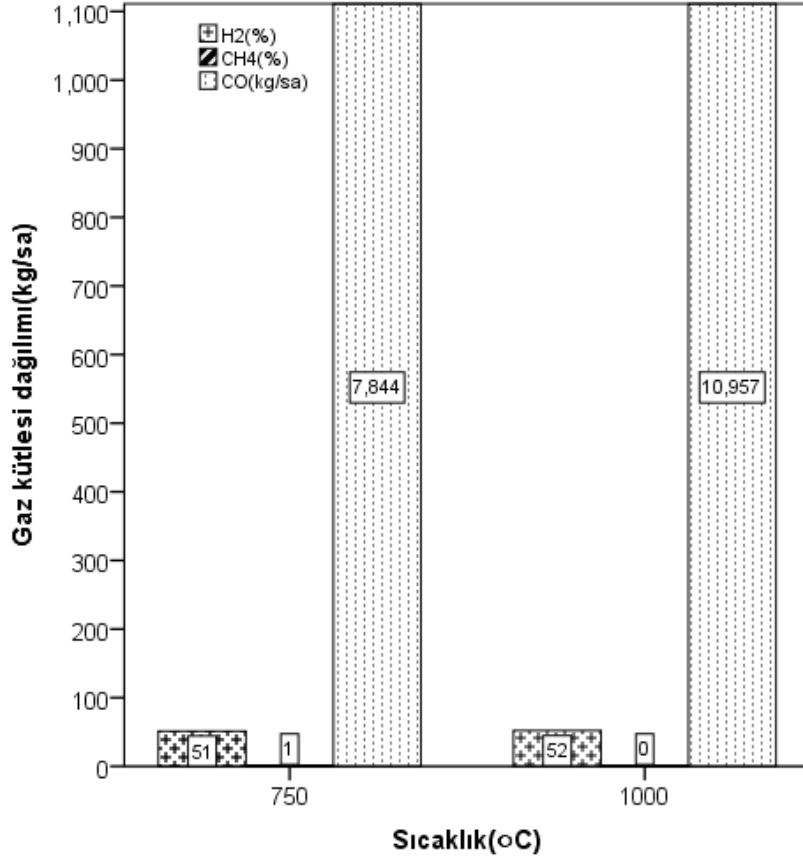
Yakıt Miktarının Etkisi

Çalışma boyunca Aspen Plus modelleme programında tavuk gübresi ve pirina numunelerinin bir çok koşulda farklı parametrelerde gazlaştırma deneyleri yapılmıştır. Denemeler yapılırken saatte 100 gr yakıt beslemesi yapıldığı kabul edilmiştir. Ancak sanayide gazlaştırma uygulamalarında yakıt beslemesi çok daha yüksektir ve gazlaştırma uygulamalarında atıklar tek tek değil toplu halde gazlaştırılmaktadır. Bu bağlamda; yakıt miktarının ve sıcaklığın gaz kütlesi dağılımında ve gaz yüzdesi dağılımında etkisini görebilmek adına tavuk gübresi ve pirina karışım numunesi optimum koşullar altında (750°C ve 1000°C sıcaklık, 0.1 L/saat kuru hava ajan debisi, 1 bar basınç), saatte 50 kg, saatte 1000 kg ve saatte 50000 kg yakıt beslemesi yapılarak gazlaştırılmıştır. Sıcaklık ve yakıt miktarına bağlı olarak gaz kütlesi dağılımı ve gaz yüzdesi dağılımı değişimleri grafikler ile ifade edilmiştir. Şekil 4.22’de yakıt miktarının gaz kütlesi dağılımına etkisi verilmiştir.



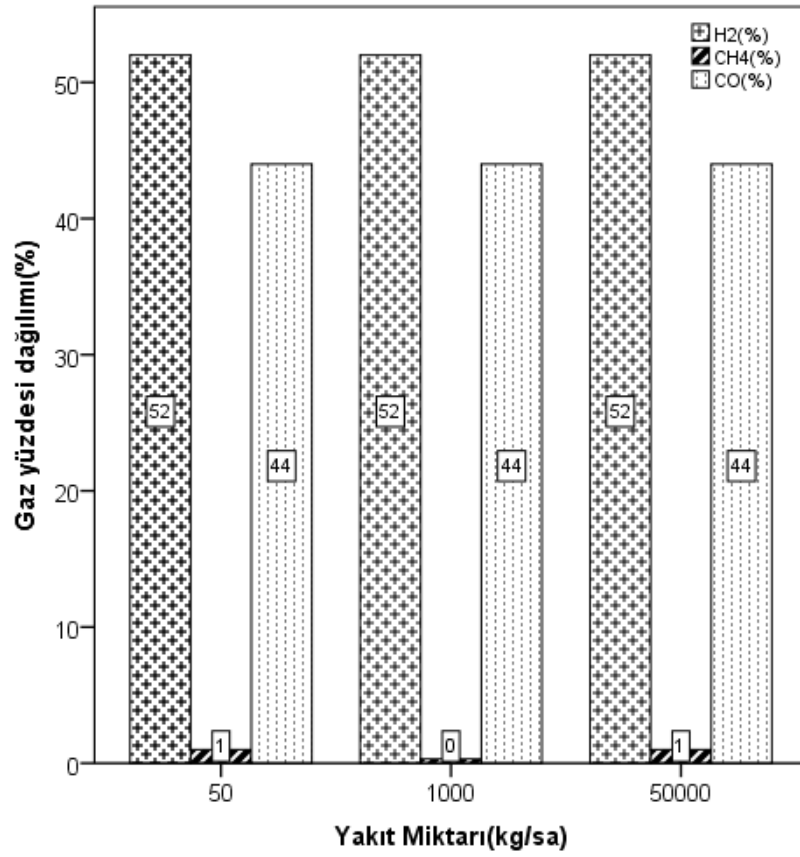
Şekil 4.22: Yakıt miktarının gaz kütlesi dağılımına etkisi.

Şekil 4.22’de yakıt miktarının gaz kütlesi dağılımına etkisi incelenmiş ve yakıt miktarının artması ile birlikte gaz kütlesinin arttığı görülmüştür. Oluşan gaz kütlesinin yaklaşık %65’inin CO gazı, yaklaşık %5’inin H₂ gazı, yaklaşık %2’sinin CH₄ gazı içerdiği görülmektedir. Şekil 4.23’de ise sıcaklığın gaz kütlesi dağılımına etkisi gösterilmiştir.



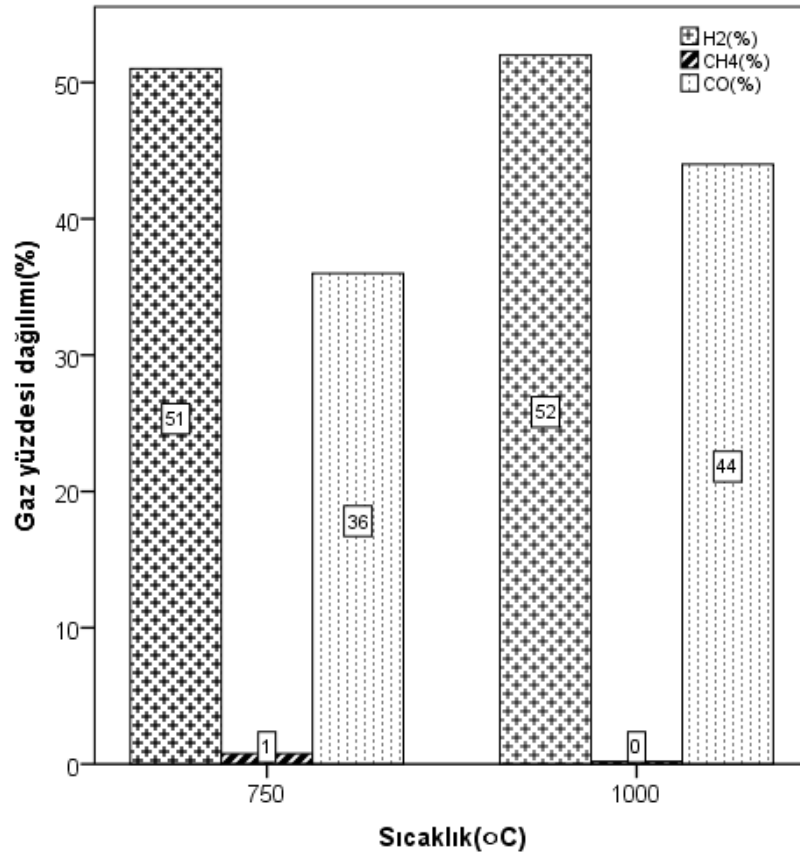
Şekil 4.23: Sıcaklığın gaz kütlesi dağılımına etkisi.

Şekil 4.23’de sıcaklığın gaz kütlesi dağılımına etkisi incelenmiş ve sıcaklığın artması ile birlikte gaz kütlesinin arttığı görülmüştür. Oluşan gaz kütlesinde sıcaklığın artması ile birlikte CH₄ gazı kütlesinin azaldığı, H₂ ve CO gazı kütlesinin arttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.24’de ise yakıt miktarının gaz yüzdesi dağılımına etkisi görülmektedir.



Şekil 4.24: Yakıt miktarının gaz yüzdesi dağılımına etkisi.

Şekil 4.24’de yakıt miktarının gaz yüzdesi dağılımına etkisi incelenmiş ve yakıt miktarının artması ile birlikte gaz yüzdesi dağılımının değişmediği görülmüştür. Gaz miktarı artmasına rağmen gaz yüzdesi dağılımının hiçbir yakıt besleme miktarında değişmediği tespit edilmiştir. Şekil 4.25’de ise sıcaklığın gaz yüzdesi dağılımına etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.25: Sıcaklığın gaz yüzdesi dağılımına etkisi.

Şekil 4.25’de sıcaklığın gaz yüzdesi dağılımına etkisi incelenmiş ve sıcaklığın artması ile birlikte gaz yüzdesinin değiştiği görülmüştür. Oluşan gaz yüzdesinde sıcaklığın artması ile birlikte CH₄ gazı yüzdesinin azaldığı, H₂ ve CO gazı yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir.

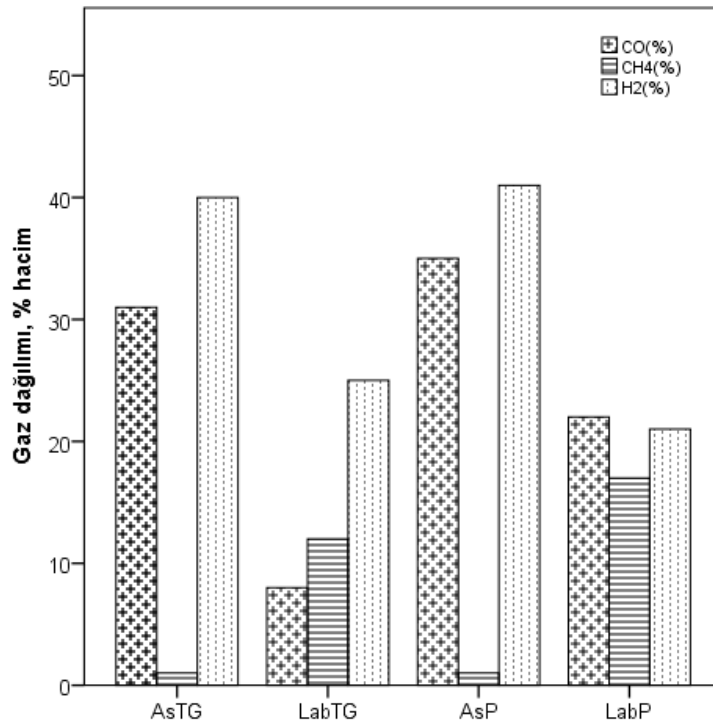
4.2.5 Laboratuvar Sonuçları ile Modelleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tavuk gübresi ve pirina numunelerine laboratuvar gazlaştırma reaktöründe 750°C sıcaklıkta, 1 bar basınçta, 3 L/saat kuru hava ajanı debisi ile gazlaştırma işlemi uygulanmıştır. Aspen Plus modelleme programında da model gazlaştırması ile laboratuvar gazlaştırması arasındaki uyumu/farklılıkları görebilmek adına 750°C sıcaklıkta, 1 bar basınçta, 3 L/saat kuru hava ajanı debisi ile gazlaştırma modeli oluşturulmuştur. Her iki numune için de sonuçlar tablo ve grafikler ile gösterilmiştir.

Tablo 4.47: Tavuk gübresi ve pirina için laboratuvar sonuçları ile modelleme sonuçlarının karşılaştırılması.

Numune	Sıcaklık (°C)	Ajan Debisi (L/saat)	Basınç (bar)	CO (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	Isıl Değer (kcal/m ³)
Aspen Tavuk G.	750	3	1	31	3	1	40	2292
Lab. Tavuk G.	750	3	1	8	30	12	25	2156
Aspen Pirina	750	3	1	35	4	1	41	2446
Lab. Pirina	750	3	1	22	44	17	21	2935

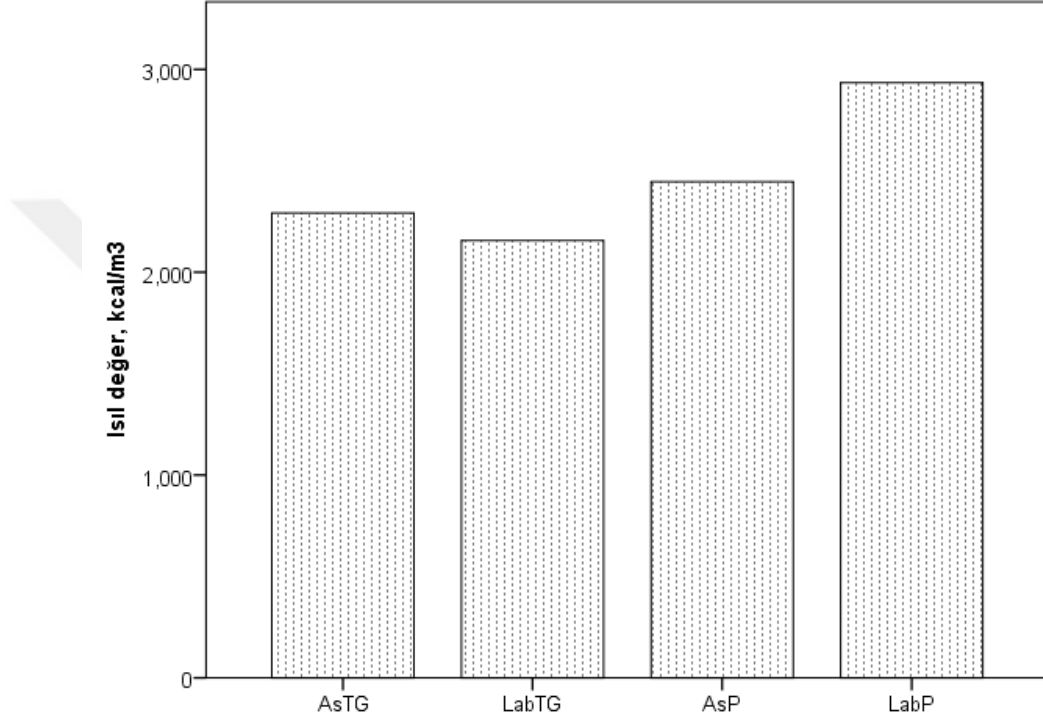
Şekil 4.26’da tavuk gübresi ve pirina için Aspen modelleme ve laboratuvar gazlaştırması için gaz hacimleri yüzdeleri verilmiştir.

**Şekil 4.26:** Tavuk gübresi ve pirina için AspenPlus modelleme gazlaştırması ve laboratuvar gazlaştırması sonuçlarına göre gaz hacimleri yüzdeleri.

Şekil 4.26’ya bakıldığında, Aspen Plus simülasyon programında modellenen tavuk gübresi gazlaştırması ile laboratuvar da çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırması gaz hacim yüzdeleri

arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Her iki numune için de CO ve H₂ gazı hacimsel yüzdeleri Aspen Plus modelleme gazlaştırmasında daha yüksektir. Laboratuvar sonuçları ile Aspen Plus modelleme gazlaştırması arasında farklılıklar görülmektedir.

Şekil 4.27’ de ise Aspen modelleme ve laboratuvar gazlaştırması için tavuk gübresi ve pirina gazlaştırmasında ortaya çıkan ısı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.27: Tavuk gübresi ve pirina için AspenPlus modelleme gazlaştırması ve laboratuvar gazlaştırması sonuçlarına göre ısı değer verileri.

Şekil 4.27’e bakıldığında, Aspen Plus simülasyon programında modellenen tavuk gübresi gazlaştırması ile laboratuvarında çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırması ısı değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Aspen Plus simülasyon programında modellenen pirina gazlaştırması ile laboratuvarında çalıştırılan tavuk gübresi gazlaştırması ısı değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Pirina için Aspen Plus modelleme programında ısı değer 2400 kcal/m³’lerde iken laboratuvarında ise 2900 kcal/m³’lerdedir.

4.2.6 Sonuçların Literatür Çalışmaları ile Karşılaştırılması

Aspen Plus simülasyon programında elde edilen optimum koşullardaki sonuçlar ile literatürde yapılmış çalışmaların sonuçları karşılaştırılmış, sonuçlar Tablo 4.48’de sunulmuştur.

Tablo 4.48: Çalışma sonuçlarının literatür sonuçları ile karşılaştırılması.

Çalışmalar	H ₂ (%)	CO(%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	Isıl değer(kcal/m ³)
Karabağ, 2018	54	32	4	2	2852
Masin ve Lewis, 2005	40				
Nikoo ve Mahinpey, 2008	40	35	15	9	3169
Nayır, 2012	33	57	3		

Tablo 4.48’de sonuçlar literatür sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların literatür çalışmaları ile uyumlu sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, termodinamik denge prensibi esasına göre çalışan ASPEN Plus yazılım programı ile çeşitli atık türlerinin farklı işletim şartlarında en uygun gazlaştırma koşullarının belirlenmesidir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- ASPEN yazılımı ile modellenen gazlaştırıcıdan çıkan sentez gazın hem doğrudan hem de gazlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğutma, kül ve amonyak ayırma birimine gönderilerek temizlenen formlarının analizleri yapılmıştır. Her iki birimden de çıkan sentez gazın içeriği karşılaştırıldığında önem arz edecek boyutta farklılıklar tespit edilmemiştir. Soğutma, kül ayırma ve amonyak ayırma birimlerinin sentez gazın içeriğini değiştirmede aksine H_2S ve NH_3 gibi sentez gazda istenmeyen bileşenlerin giderimini sağlayarak daha temiz bir sentez gaz elde etmeye yardımcı olduğu tespit edilmiştir.
- Tavuk gübresi için en uygun gazlaştırma koşulları, sıcaklık için $1100^{\circ}C$ bulunmuştur. $1100^{\circ}C$ sıcaklıkta hidrojen gazı veriminin %42'lere ulaştığı, ısı değeri ise 2500 kcal/m^3 olduğu tespit edilmiştir. Basınç parametresinde ise basınç yükseldikçe sentez gaz veriminin ve ısı değeri düştüğü gözlemlenmiş, en uygun basınç değeri olarak 1 bar kabul edilmiştir. 1 bar basınç altında hidrojen gazı verimi %40, ısı değeri ise 2300 kcal/m^3 olarak hesaplanmıştır. Kuru hava ve saf oksijen gazlaştırma ajanının incelendiği çalışmada ise ajan debisinin artması ile sentez gaz veriminin ve ısı değeri azaldığı ancak, kuru hava için 0.1 L/sa; saf oksijen için ise 0.015 L/sa ajan debisinin olduğu durumlarda ise en uygun sentez gaz verimi gözlemlendiği ortaya konmuştur. Bu koşullarda hidrojen gazı verimi %54 ve ısı değeri 2800 kcal/m^3 seviyelerine kadar yükselmiştir.
- Aynı şartlarda ve aynı ajan debilerinde çalışılan kuru hava ve saf oksijenin sentez gaz verimleri incelenmiş ve saf oksijenin ajan olarak kullanılması durumunda ısı değeri ve sentez gaz içeriğinin daha yüksek değerlere ulaştığı tespit edilmiştir. Proses veriminin artması olumlu yanı olarak görülse de saf oksijenin maliyeti artırması göz önünde bulundurulması gereken kısıtlardandır.
- Pirina için en uygun gazlaştırma koşulları; sıcaklık parametresi için $900^{\circ}C$ 'dir. $900^{\circ}C$ sıcaklıkta hidrojen gazı veriminin %42'lere ulaştığı, ısı değeri ise 2650 kcal/m^3 olduğu tespit

edilmiştir. Basınç parametresinde ise basınç yükseldikçe sentez gaz veriminin ve ısı değeri düştüğü gözlemlenmiş, en uygun basınç değeri olarak 1 bar kabul edilmiştir. 1 bar basınç altında hidrojen gazı verimi %41, ısı değeri ise 2450 kcal/m³ olarak hesaplanmıştır. 0.005 L/sa. saf oksijen ile yürütülen denemelerde hidrojen gazının %52 seviyesine ulaştığı, ısı değeri ise 2850 kcal/m³ seviyelerine yükseldiği tespit edilmiştir.

- Pirina ve tavuk gübresi karışımı için en uygun şartlar; sıcaklık için 1000°C olarak belirlenmiştir. 1000°C sıcaklıkta hidrojen gazı veriminin %40'lara ulaştığı, ısı değeri ise 2550 kcal/m³ olduğu tespit edilmiştir. Basınç parametresinde ise basınç yükseldikçe sentez gaz veriminin ve ısı değeri düştüğü gözlemlenmiş, en uygun basınç değeri olarak 1 bar kabul edilmiştir. 1 bar basınç altında hidrojen gazı verimi %39, ısı değeri ise 2350 kcal/m³ olmuştur. Kuru hava için 0.1 L/sa., saf oksijen için ise 0.02 L/sa. ajan debisi ile yüksek H₂ yüzdeleri elde edilmiştir. Hidrojen gazı yüzdesi %51 mertebesine ulaşmışken, ısı değeri 2780 kcal/m³ olarak hesaplanmıştır.

- Basınç artışının gaz hacimsel yüzdelerinde düşüşe sebep olduğu, en uygun değer olan 1 barda çalışıldığında ise CH₄, H₂ ve CO gazlarının en yüksek gaz hacim yüzdelerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Basınç artışı ile birlikte gazların hacimsel yüzdesi ve ısı değeri azalmıştır.

- Çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında, seçilen atıkların uygun şartlarda işletilen reaktörlerde gazlaştırılması sonucunda üretilen sentez gazın H₂ içeriğinin hacimsel olarak %60 seviyelerine çıkabildiği ve ısı değeri de yaklaşık 3000 kcal/m³'lere ulaşabileceği tespit edilmiştir.

- Yakıt türü değişimlerine göre oluşan maksimum H₂ gazı hacimsel yüzdesi ve ısı değeri değişimlerine bakıldığında Aspen Plus modelleme programında pirina gazlaştırması sonucu maksimum H₂ gazı hacimsel yüzde verimi %52'lere kadar çıkmıştır. Maksimum ısı değeri verimi ise 2800 kcal/m³'e yaklaşmıştır. Tavuk gübresi gazlaştırmasında ise H₂ gazı %55 gaz verimine ulaşmıştır, maksimum ısı değeri verimi ise 2900 kcal/m³'e yaklaşmıştır. Pirina- tavuk gübresi gazlaştırmasında ise H₂ gazı %50 maksimum verime ulaşmış, ısı değeri 2800 kcal/m³'e yaklaşmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan pirina gazlaştırma deneyinde ise H₂ gazı verimi %22'ye, ısı değeri ise 2500 kcal/m³'e ulaşmıştır. Tavuk gübresinde H₂ gazı verimi %25'e, ısı değeri ise 2000 kcal/m³'e ulaşmıştır.

- Yakıt miktarının gaz kütlesi dağılımına etkisi incelendiğinde ise yakıt miktarının artması ile birlikte gaz kütlesinin arttığı görülmüştür. Oluşan gaz kütlesinin yaklaşık %65'inin CO gazı, yaklaşık %5'inin H₂ gazı, yaklaşık %2'sinin CH₄ gazı içerdiği tespit edilmiştir. Sıcaklığın artması ile birlikte gaz kütlesinin arttığı da görülmüştür. Oluşan gaz kütlesinde sıcaklığın artması ile birlikte CH₄ gazı kütlesinin azaldığı, H₂ ve CO gazı kütlesinin arttığı tespit edilmiştir.
- Yakıt miktarının artması ile birlikte gaz yüzdesi dağılımının değişmediği görülmüştür. Sıcaklığın artması ile birlikte ise gaz yüzdesinin değiştiği görülmüştür. Oluşan gaz yüzdesinde sıcaklığın artması ile birlikte CH₄ gazı yüzdesinin azaldığı, H₂ ve CO gazı yüzdesinin arttığı tespit edilmiştir.
- Model sonuçları ile laboratuvarda yürütülen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki veri setleri karşılaştırıldığında önemli denebilecek boyutta farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıkların nedeni olarak sınırlayıcı unsurların varlığı ön görülmektedir. Laboratuvar ölçekli gazlaştırma reaktörünün teknolojik ve termodinamik tabanda Aspen Plus yazılımında kullanılan Gibbs gazlaştırma reaktörü ile çok az benzerlik göstermesi ve modelleme esnasında yapılan kabuller sonucunda gerçek şartlardaki pek çok parametrenin yazılım tarafından göz ardı edilmesi en önemli sınırlayıcı unsurlar olarak dikkat çekmiştir. .

Sonuç olarak, günümüzde bir çok mühendislik modelinin ve gerçek ölçekli sistemlerin performanlarının ön görülebilmesi ve tasarlanması aşamalarında bilgisayar destekli yaklaşımlar sıklıkla kullanılmaktadırlar. Pek çok farklı değişkenin karşılaştırmalı olarak simüle edilebilmesi ve termodinamik yaklaşımlarla teknik değerlere ulaşılması gibi avantajları ile mühendislik uygulamalarında yazılım kullanımının ilerleyen çalışmalara da ışık tutacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abuadala, A., Dincer, I., Naterer, G.F., 2010, Exergy analysis of hydrogen production from biomass gasification, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(4), 981-90.
- Akın, S., 2007, *Biyokütle Olarak Pirinanın Enerji Üretiminde Kullanılması*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Balıkesir.
- Albuquerque, J.A., González, J., García, D., Cegarra, J., 2004, Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction, *Bioresource Technology*, 91(2), 195-200.
- Albuquerque, J.A., González, J., García, D., Cegarra, J., 2006, Measuring detoxification and maturity in compost made from “alperujo”, the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system, *Chemosphere*, 64(3), 470-477.
- Alstrum-Acevedo, J.H., Brennaman, M.K., Meyer, T.J., 2005, Chemical approaches to artificial photosynthesis, *Inorganic Chemistry*, 44, 680, 2-27.
- Al-Zareer, M., Dincer, I., Rosen, M.A., 2016, Modeling and performance assessment of a new integrated gasification combined cycle with a water gas shift membrane reactor for hydrogen production, *Computers and Chemical Engineering*.
- Amao, Y., Takahara, S., Saka, Y., 2014, Visible-light induced hydrogen and formic acid production from biomass and carbon dioxide with enzymatic and artificial photosynthesis system, *International Journal of Hydrogen Energy*, 39, 20771-20776.
- Arena, U., Di Gregorio, F., 2013, Element partitioning in combustion- and gasification-based waste-to-energy units, *Waste Manage*, 33, 1142-1150.
- Arena, U., Ardolino, F., Gregorio, F., 2015, A life cycle assessment of environmental performances of two combustion- and gasification-based waste-to-energy technologies, *Waste Management*, 41, 60-74.
- Argun, H., Kargi, F., 2010, Photo-fermentative hydrogen gas production from dark fermentation effluent of ground wheat solution: effects of light source and light intensity, *Int J Hydrogen Energy*, 35, 1596-603.
- ASTM-D3172-13, *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke*, <https://www.astm.org>.
- ASTM-D5373-16- *Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke*, <https://www.astm.org>.
- ASTM-D5865-13, *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*, <https://www.astm.org>.

- Astrup, T.F., Tonini, D., Turconi, R., Boldrin, A., 2015, Life cycle assessment of thermal Waste-to-Energy technologies: Review and recommendations, *Waste Management*, 37, 104–115.
- Awad, A.H., Veziroglu, T.N., 1984, Hydrogen vs. synthetic fossil fuels, *International Journal of Hydrogen Energy*, 9(3), 55-66.
- Azwar, M.Y., Hussain, M.A., Abdul-Wahab, A.K., 2014, Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 158–173.
- Babu, B.V., Chaurasia, A.S., 2004, Parametric study of thermal and thermodynamic properties on pyrolysis of biomass in thermally thick regime, *Energy Convers Manage*, 45(53), 72.
- Babu, B.V., Chaurasia, A.S., 2004, Dominant design variables in pyrolysis of biomass particles of different geometries in thermally thick regime, *Chem Eng Sci*, 59, 611–22.
- Bircan, S.Y., Kamoshita, H., Kanamori, R., , Ishida, Y., Matsumoto, K., Hasegawa, Y., Kitagawa, K., 2011, Behavior of heteroatom compounds in hydrothermal gasification of biowaste for hydrogen production, *Applied Energy*, 88, 4874-4878.
- Brar, J.S., Singh, K., Zondlo, J., Wang, J., 2013, Co-Gasification of Coal and Hardwood Pellets: A Case Study, *Columbia International Publishing American Journal of Biomass and Bioenergy*, 2(1), 25-40.
- Brems, A., Dewil, R., Baeyens, J., Zhang, R., 2013, Gasification of plastic waste as waste-to-energy or waste-to-syngas recovery route, *Natural Science*, 5, 695-704.
- Bridgwater, T., 1994, Catalysis in thermal biomass conversion., *Appl Catal A Gen*, 116(1-2), 5-47, DOI: 10.1016/0926-860X(94)80278-5.
- Bridgwater, A.V., 2004, Biomass fast pyrolysis, *Thermal Science*, 8 (2), 21-49.
- Brunner, P.H., Rechberger, H., 2015, Waste to energy – key element for sustainable waste management, *Waste Manage.* 37, 3–12.
- Burra, K.G., Hussein, M.S., Amano, R.S., Gupta, A.K., 2016, Syngas evolutionary behavior during chicken manure pyrolysis and air gasification, *Applied Energy*, 181, 408–415.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y., 2017, Energy project performance evaluation with sustainability perspective, *Energy*, 119, 549-560.
- Büyüközkan, G., Güler, S., 2017, Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations, *Energy*, 123, 149-163.

- Cao, W., Cao, C., Guo, L., Jin, H., Dargusch, M., Bernhardt, D., Yao, X., 2016, Hydrogen production from supercritical water gasification of chicken manure, *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(48), 22722-22731.
- Calkins, M., 2009, Materials for sustainable sites, *John Wiley & Sons Inc.*, Hoboken, New Jersey, 14-24, 2009.
- CEN/TS 15402: 2006, *Solid recovered fuels - Methods for the determination of the content of volatile matter*, <https://www.evs.ee/products/cen-ts-15402-2006>.
- Cooney, M., Maynard, N., Cannizzaro, C., Benemann, J., 2007, Two phase anaerobic digestion for production of hydrogen-methane mixtures, *Bioresour. Technol.*, 98, 2641-2651.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., 2017, Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill, *Energy Conversion and Management*, 131, 18-31.
- Çengel, Y. A., 2009, Second Law as the Second Law of Existence, *4th International Exergy, Energy and Environment Symposium*, AUS, Sharjah, UAE, April.
- Das, D., Veziroglu, T.N., 2008, Advances in biological hydrogen production processes, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(60), 46-57.
- Demirbaş, A., 1998, Fındık Kabuğunun İzotermik Olmayan Flash Pirolizi için Kinetiği (Çağlar, A., Demirbaş, A., 2000 Pyoten Kozalak Kabuklarının Piroliz, Enerji Dönüşüm ve Yönetimi İle Sıvı Ürünlere Dönüştürülmesi, 411749-1756, *Bioresour. Technology*, 66: 247-252., URL <http://www.nuveforum.net/1226-organik-bilesikler/273544-kraking-katalitik-kraking-kraking-unitesi/> (05.09.2017).
- Demirbaş, A., 2005, Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues, *Progress in Energy and Combustion Science*, 31, 171-192.
- Demirbaş, A., 2006, Importance of Biomass Energy Sources for Turkey, *Sila Science*, Trabzon.
- Demirbas, A., 2009, Biorefineries: Current activities and future developments, *Energy Conversion and Management*, 50, 2782-2801.
- Dinçer, İ., 2012, Green methods for hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 1954-1971.
- Dinçer, İ., Acar, C., 2015, Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 11094-11111.
- Ding, L., Zhou, Z., Guo, Q., Huo, W., Yu, G., 2015, Catalytic effects of Na₂CO₃ additive on coal pyrolysis and gasification, *Fuel*, 142, 134-144.
- Dodds, P.E., McDowall, W., 2012, A review of hydrogen production technologies for energy system models, UKSHEC Working Paper No.7, *UCL Energy Institute*,

https://www.bartlett.ucl.ac.uk/energy/research/themes/energysystems/hydrogen/WP7_D odds_Delivery.pdf. Access: 09.09.2015; 15:30.

- Doherty, W., Reynolds, A., Kennedy, D., 2013, *Aspen Plus simulation of biomass gasification in a steam blown dual fluidised bed*, School of Mechanical and Transport Engineering, Book/Book Chapters.
- DPT, 2001, *Tarımsal ve endüstriyel atıkların yok edilmesi ve enerjide geri kazanımı ile ilgili yanma ve emisyon araştırmaları*, 2002K120250-14 kod nolu proje.
- Durruty, I., Zaritzky, N.E., Gonzalez, J.F., 2013, Organic fractions influence on biogas generation from potato residues. Kinetic model generalization, *Biomass Bioenerg.* , 59, 458-467.
- Duan, W., Yu, Q., Wang, K., Qin, Q., Hou, L., Yao, X., Wu, T. 2015, ASPEN Plus simulation of coal integrated gasification combined blast furnace slag waste heat recovery system, *Energy Conversion and Management*, 100, 30–36.
- Edwards, D.R., Daniel, T.C., 1992, Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal: a review., *Bioresour Technol*, 41, 9-33.
- Elliott, D.C., 2011, Hydrothermal processing, thermochemical processing of biomass: Conversion into fuels. In: Brown R.C., editor. *Chemicals and Power*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 200–31.
- Fernandez, C., Cuertos, M.J., Martínez, E.J., Gomez, X., 2015, Thermophilic anaerobic digestion of cheese whey: Coupling H₂ and CH₄ production, *Biomass and Bioenergy*, 81, 55-62.
- Fortes, M., Bojarski, A.D., Velo, E., Nogue' s, J.M., Puigjaner, L, 2008. *Conceptual Model and Evaluation of Generated Power and Emissionsion an IGCC Plant*, Department of Chemical Engineering, Universitat Polite`cnica de Catalunya.
- Galeno, G., Minutillo, M., 2011, From Waste to Electricity through Integrated Plasma Gasification/Fuel Cell (IPGFC) System, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(2), 1692-1701.
- Gidner, A.V. , Stenmark L.B., Kim M. Carlsson, 2001, Treatment Of Different Wastes By Supercritical Water Oxidation, *Presented at the Twentieth IT3 Conference*, May 14-18, Philadelphia, USA.
- Golkowska, K., Greger, M., 2013, Anaerobic digestion of maize and cellulose under thermophilic and mesophilic conditions - a comparative study, *Biomass Bioenerg.* 56, 545-554.
- Gomeza, E., Amutha Rania, D., 2009, Thermal plasma technology for the treatment of wastes: a critical review , *Journal of Hazardous Materials*, 161(2), 614-626.

- Guo, X.M., Trably, E., Angenent, L.T., Karim, K., al-Dahhan, M.H., Wrenn, B., Latrille, E., Carrère, H., Steyer, J., 2010, Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review, *Int. J. Hydrog. Energy*, 35, 10660–10673.
- Han, W., Ye, M., Zhu, A.J., Zhao, H.T., Li, Y.F., 2015, Batch dark fermentation from enzymatic hydrolyzed food waste for hydrogen production, *Bioresource Technology*, 191, 24–29.
- Haktanır Uluoğlu, B., 2005, Determination of the appropriate energy policy for Turkey, *Energy*, 30, 1146–1161.
- Hamad, M. A., Radwan, A.M., Heggo, D.A., Moustafa, T., 2016, Hydrogen rich gas production from catalytic gasification of biomass, *Renewable Energy*, 85, 1290–1300.
- He, G.Z., Aaron, S., Michel, B., Peter, S., 2008, Co-production of hydrogen and methane from potato waste using a two-stage anaerobic digestion process, *Bioresour Technol*, 99, 5078–84.
- Higman, C., Burgt, M., 2003, *The Thermodynamics of Gasification*, Book Chapter, Chapter 2, Gasification, Second Edition.
- Hoffmann, G., Schirmer, M., Bilitewski, B., Kasz'as/Savos, M., 2007, Thermal treatment of hazardous waste for heavy metal recovery, *Journal of Hazardous Materials*, 145, 351–357.
- Hosseini, S.E., Wahid, M.A., 2015, An overview of renewable hydrogen production from thermochemical process of oil palm solid waste in Malaysia, *Energy Conversion and Management*, 94, 415–429.
- House, R.L., Iha, N.Y.M., Coppo, R.L., Alibabaei, L., Sherman, B.D., Kang, P., Brennaman, M.K., Hoertz, P.G., Meyer, T.J., 2015, Artificial Photosynthesis: Where are we now? Where can we go?, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2015.08.002>.
- Hussein, M.S., Burra, K.G., Amano, R.S., Gupta, A.K., 2017, Temperature and gasifying media effects on chicken manure pyrolysis and gasification, *Fuel*, 202, 36–45.
- Inderwildi, O. R., King, D. A., 2009, Quo vadis biofuels?, *Energy & Environmental Science*, 2(4), 343–346.
- International Energy Agency, 2015, World Energy Outlook 2015, IEA; 2015, Executive Summary.
- Kapdan, I.K., Kargi, F., 2006, Biohydrogen production from waste materials, *Enzyme Microb Technol*, 38: 569–82.
- Karaca, Y., 2008, *Atık Yönetiminin Genel Esasları, Atık Yönetimi Konusundaki Mevcut-Yeni Yönetmelikler ve Uygulamaları Eğitim Programı*, Çevre ve Orman Bakanlığı, 20-24 Ekim.

- Karaca, C., Bozoğlu, B., Polat, O., 2015, Hatay ili pirina atık miktarının ve enerji potansiyelinin haritalanması, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 55-60.
- Kaya, E., 2016, *Eysel arıtma çamurları ve atık yağlardan termokimyasal yöntemlerle hidrojen gazı üretimi*, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Dr. Atakan ÖNGEN, Haziran, 2016.
- Kılıç, F., 2011, Biogas, Importance, Location and General Condition in Turkey, *Engineer and Machine*, 52(617), 94-106.
- Koçer, N., Öner, C., Sugözü, İ., 2006, *Türkiye’de hayvancılık potansiyeli ve biyogaz üretimi*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2006, 17- 20.
- Koutrouli, E.K., Kalfas, H., Gavala, H.N., Skiadas, I.V., Stamatelatou, K., Lyberatos, G., 2009, Hydrogen and methane production through two-stage mesophilic anaerobic digestion of olive pulp, *Bioresource Technology*, 100(37), 18-23.
- Koirala, A.R., Docao, S., Lee, S.B., Yoon, K.B., 2015, Fate of methanol under one-pot artificial photosynthesis condition with metal-loaded TiO₂ as photocatalysts, *Catalysis Today*, 243, 235-250.
- Kudo, S., Norinaga, K., Hayashi, J., 2012, Application of catalysis in the selective conversion of lignocellulosic biomass by pyrolysis, *Journal of Novel Carbon Resource Sciences*, 6, 1-8.
- Kupecki, J., 2009, *Considerations Regarding Modeling of Mw-Scale IG-SOFC Hybrid Power System*. A Master’s thesis, RES | the School for Renewable Energy Science in Affiliation with University of Iceland & the University of Akureyri.
- Lee, J. J., 1979, Kinetics of coal gasification, *Colm Wiley& Sons*, New York.
- Lervik Mejdell, A., Nygard, P., Peterson, M., 2011, *Sustainable products from economic processing of biomass in highly integrated biorefineries*, Interim report on technological assessment, *Suprabio deliverable*, Stavanger.
- Levin, D.B., Chahine, R., 2010, Challenges for renewable hydrogen production from biomass, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(496), 2-9.
- Lin, Y., Wu, S., Wang, D., 2013, Hydrogen-methane production from pulp & paper sludge and food waste by mesophilic-thermophilic anaerobic co-digestion, *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 15055-15062.
- Lodhi, M.A.K. ,1987, Hydrogen production from renewable sources of energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 12(46), 1-8.
- Lodhi, M.A.K., 2004, “Helio-hydro and helio-thermal production of hydrogen” *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(10), 99-113.

- Luz, F.C., Rocha, M.H., Lora, E.E.S., Venturini, O.J., Andrade, R.V., Leme, M.M.V., Olmo, O.A., 2015, Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil, *Energy Conversion and Management*, 103, 321–337.
- Ly, P., Yuan, Z., Wu, C., Ma, L., Chen, Y., Tsubaki, N., 2006, Biosyngas production from biomass catalytic gasification, *Energy Convers. Manag.*
- Mahinpey, N., Nikoo, Mehrdokht B., 2008, Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using Aspen Plus, Environmental Systems Engineering, University of Regina, *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1245-1254.
- Masin, Lewis, 2005, *Development of the low temperature hybrid cu-cl thermochemical cycle*.
- Max, L., Coelho, G., Lange, L.C., 2018, Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil, *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 438-450.
- Mekhilef, S., Saidur, R. Safari, A., 2011, A review on solar energy use in industries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1777-1790.
- Mert, Y., Saygın, N., 2016, Energy efficient building block design: An exergy perspective, *Energy*, 102, 465-472.
- Milne, T.A., Elam, C., Evans, R.J., Hydrogen from biomass: state of the art and research challenges, *A Report for the International Energy Agency*, 16, Hydrogen from Carbon-Containing Materials, <http://ieahydrogen.org/pdfs/Annex-Reports/Task-16-Summary-report.aspx>, 25.05.2018, 15:00.
- Modi, A., Bühler, F., Andreasen, J.G., Haglind, F., 2017, A review of solar energy based heat and power generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1047-1064.
- Mohanty, P., Pant, K., Naik, S.N., Parikh, J., Hornung, A., Sahu, J.N., 2014, Synthesis of green fuels from biogenic waste through thermochemical route-The role of heterogeneous catalyst: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 131–153.
- Nastasi, B., Basso, G.L., 2016, Hydrogen to link heat and electricity in the transition towards future Smart Energy Systems, *Energy*, 110, 5-22.
- Nathen, S.V., Kirkpatrick, R.D., Young, B.D., 2008, Gasification of New Zealand coals: A comparative simulation study, Department of Chemical and Materials Engineering, The University of Auckland, *Energy Fuels*, 2687–2692.
- Nayır, 2012, *Kömür ve biyokütle karışımlarının gazlaştırılması ve ASPEN HYSYS® programı ile simulasyonu*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isı Akışkan Programı, Yüksek Lisans Tezi.
- Ni, M., Leung, D.Y.C., Leung, M.K.H., Sumathy, K., 2006, An overview of hydrogen production from biomass, *Fuel Process Technol*, 87: 461–72.

- Niu, M., Huang, Y., Jin, B., Wang, X., 2013, Simulation of syngas production from municipal solid waste gasification in a bubbling fluidized bed using Aspen Plus, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52, 14768–14775.
- Nizami, A.S., Shahzad, K., Rehan, M., Ouda, O.K.M., Khan, M.Z., Ismail, I.M.I., Almeelbi, T., Basahi, J.M., Demirbas, A., 2017, “Developing waste biorefinery in Makkah: A way forward to convert urban waste into renewable energy”, *Applied Energy*, 186, 189–196.
- Nizami, A.S., Ouda, O.K.M., Rehan, M., El-Maghraby, A.M.O., Gardy, J., Hassanpour, A., Kumar, S., Ismail, I.M.I., 2016, The potential of Saudi Arabian natural zeolites in energy recovery technologies, *Energy*, 108, 162–171.
- Ordarica-Garcia, G., Douglas, P., Croiset, E., Zheng, L., 2006, Technoeconomic evaluation of IGCC power plants for CO₂ avoidance, *Energy Convers Manage*, 47, 2250–9.
- Önal, Yarbay, 2010, Potential and future of renewable energy sources in Turkey, *Istanbul Commerce University Science Journal*, 9(18), 77–96.
- Öngen, A., 2011, *Endüstriyel Atıklardan Gazlaştırma İle Sentez Gaz Üretimi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı, Doktora Tezi.
- Öngen, A., Özcan, H.K., Arayıcı, S., 2013, An evaluation of tannery industry wastewater treatment sludge gasification by artificial neural network modeling, *Journal of Hazardous Materials*, 263, 361–366.
- Ongen, A. and Arayıcı, S., 2014, Thermal treatment of fleshing residue for producing syngas, *Int. J. Global Warming*, 6(2/3), 149–159.
- Öngen, A., Arayıcı, S., 2015, Monitoring of waste gasification products: solid, liquid and syngas, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 2(1), 97–102, ISSN NUMBER: 2149-2123, DOI: 10.17350/HJSE19030000015.
- Öngen, A., 2016, Methane-rich syngas production by gasification of thermoset waste plastics, *Clean Techn. Environ. Policy*, 18, 915–924.
- Öngen, A., Özcan, H.K., Elmaslar, E., 2016, Gasification of biomass and treatment sludge in a fixed bed gasifier, *Int. Journal of Hydrogen Energy*, 41, 8146–8153.
- Öngen, A., Aydın, S., Arayıcı, S., 2017, Composition and energy potential of industrial sludge derived synthetic gas, *International Journal of Global Warming*.
- Özcan, H.K., Öngen, A., Pangaliyev, Y., 2016, An experimental study of recoverable products from waste tire pyrolysis, *Global NEST Journal*, 18(3), 582–590.
- Öztürk, H.K., 2005, Energy usage and cost in textile industry: A case study for Turkey, *Energy*, 30(13), 2424–2446.

- Öztürk, İ., Kor, N., Tüylüoğlu, S., Özabalı, S., Tezer, B., 2007, Türkiye'nin AB ile Uyumlu Bölgesel Katı Atık Yönetimi Ana Planı, *AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, TÜRKAY, İstanbul Lütü Kırdar Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı, 28-31 Mayıs, İstanbul.
- Panwar, N.L., Kothari, R., Tyagi, V.V., 2012, Thermo chemical conversion of biomass – Eco friendly energy routes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1801–1816.
- Parshetti, G.K., Suryadharma, M.S., Pham, T.P.T., Mahmood, R., Balasubramanian, R., 2015, Heterogeneous catalyst-assisted thermochemical conversion of food waste biomass into 5-hydroxymethylfurfural, *Bioresource Technology*, 178, 19–27.
- Patel, R. C., Karamchandani, C.J., 1997, *Elements of Heat Engines*, Acharya Publications, Opp. Gandhi Nagar Gruh, Vadodara – 390 001, Volume 1, <http://thermodynamicsheatengines.com/HeatEngines%20Vol%201%20Title%20Preface%20Contents%20Tables%20Index%20RSr.pdf>, Last visit: 01.05.2018.
- Patel, S.K.S., Kalia, V.C., 2013, Integrative biological hydrogen production: An overview, *Indian J Microbiol*, 53(1), 3–10, DOI 10.1007/s12088-012-0287-6.
- Peduzzi, E., Tock, L., Boissonnet, G., Maréchal, F., 2013, Thermo-economic evaluation and optimization of the thermo-chemical conversion of biomass into methanol, *Energy*, 58, 9-16.
- Pourali, O., Asghari, F.S., Yoshida, H., 2009, Sub-critical water treatment of rice bran to produce valuable materials, *Food Chem.*, 115: 1–7.
- Pradhan, N., Dipasquale, L., d'Ippolito, G., Panico, A., Piet, N., Lens, L., Esposito, G., Fontana, A., 2015, Hydrogen production by the thermophilic bacterium *thermotoga neapolitana*, *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 12578-12600 ; DOI:10.3390/ijms160612578.
- Ramzan, N., Ashraf, A., Naveed, S., Malik, A., 2011, Simulation of hybrid biomass gasification using aspen plus: a comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste, *Biomass and Bioenergy*, 35, 3962-3969.
- Robinson, P.J., Luyben, W.L., 2008, Simple dynamic gasifier model that runs in Aspen dynamics, *Ind. Eng Chem Res*, 47, 7784-92.
- Sajeena Beevi, B., Madhu, G., Sahoo, D.K., 2015, Performance and kinetic study of semi-dry thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, *Waste Management*, 36, 93–97.
- Sansaniwal, S.K., Pala, K., Rosen, M.A., Tyagi, S.K., 2017, Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 363-384.
- Sedghkarder, M.H., Mostafavi, E., Mahinpey, N., 2015, Investigation of the kinetics of carbonation reaction with cao-based sorbents using experiments and Aspen Plus simulation, *Chemical Engineering Communications*, 202, 746–755.

- Seyitoglu, S.S., Dincer, I., Kilicarslan, A., 2016, Energy and exergy analyses of hydrogen production by coal gasification, *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-9.
- Show, K.Y., Lee, D.J., Tay, J.H., Lin, C.Y., Chang, J.S., 2012, Biohydrogen production: current perspectives and the way forward, *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 15616–15631.
- SM 2540 B, *Total Solids Dried at 103-105°C*, <https://www.standardmethods.org>.
- SM 2540 E, *Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C*, <https://www.standardmethods.org>.
- Soriaga, M.P., Baricuatro, J.H., Cummins, Kim, Y.G., Saadi, F.H., Sun, G., McCrory, C.L.C., McKone, J.R., Velazquez, J.M., Ferrer, I.M., Carim, A.I., Javier, A., Chmielowiec, B., Lacy, D.C., Gregoire, J.M., Sanabria-Chinchilla, J., Amashukeli, X., Royea, W.J., Brunschwig, B.S., Hemminger, J.C., Lewis, N.S., 2015, Electrochemical surface science twenty years later: Expeditions into the electrocatalysis of reactions at the core of artificial photosynthesis Original Research Article, *Surface Science*, 631, 285-294.
- Soyergin, S., Uysal, E., Albayrak, B., 2011, Zeytin Keginin (Pirinanın) Kompost Yapım Teknikleri ve Organik Gübre Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması, *Organik Tarım Araştırma Sonuçları, 2005-2010, T. C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara, Turkey*, 163-168.
- Suopajarvi, H., Pongrácz, E., Fabritius, T., 2013, The potential of using biomass-based reducing agents in the blast furnace: A review of thermochemical conversion technologies and assessments related to sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 511–528.
- Susastriawan, A.A.P., Saptoadi, H., Purnomo, 2017, Small-scale downdraft gasifiers for biomass gasification: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 989-1003.
- Suwannoppadol, S., Ho, G., Cord-Ruwisch, R., 2011, Rapid start-up of thermophilic anaerobic digestion with the turf fraction of MSW as inoculum, *Bioresour. Technol.*, 102 , 7762-7767.
- Tanksale, A., Beltramini, J.N., Lu, G.M., 2010, A review of catalytic hydrogen production methods from biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 166-82.
- Tawfik, A., Salem, A., El-Qelish, M., 2011, Two stage anaerobic baffled reactor for biohydrogen production from municipal food waste, *Bioresour. Technol.*, 102, 8723–8726.
- Tanczuk, M., Junga, R., Werle, S., Chabinski, M., Ziolkowski, L., 2017, Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the chicken manure with biomass, *Renewable Energy*, 1-9.
- Tekin, K., Karagöz, S., Bektaş, S., 2014, A review of hydrothermal biomass processing, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 673–687.

- Tan, S.T., Ho, W.S., Hashim, H., Lee, C.T., Tai, M.R., Ho, C.S., 2015, Energy, economic and environmental (3E) analysis of waste-to-energy (WTE) strategies for municipal solid waste (MSW) management in Malaysia, *Energy Conversion and Management*, 102, 111–120.
- Topal, H., 2015, Plazma Gazlaştırma Teknolojisi İle Katı Atık Bertarafı, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 30(4), 733-741.
- Topçu, Y.I., Ulengin, F., 2009, Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey, *Energy*, 29, 137–154.
- Tyagi, V.K., Campoy, R.A. Álvarez-Gallego, C.J., Romero García, L.I., 2014, Enhancement in hydrogen production by thermophilic anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and sewage sludge – Optimization of treatment conditions, *Bioresource Technology*, 164, 408–415.
- Udomsirichakorn, J., Basu, P., Salama, P.A., Acharya, B., 2014, CaO-based chemical looping gasification of biomass for hydrogen-enriched gas production with in situ CO₂ capture and tar reduction, *Fuel Processing Technology*, 127, 7–12.
- Unakıtan, G., Hurma, H., Yılmaz, F., 2010, An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey, *Energy*, 35, 3623-3627.
- Ural, A., Kılıç, İ., 2006, *Bilimsel araştırma süreci ve SPSS ile veri analizi*, Detay Yayıncılık.
- URL1 : <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, 02.10.2017, 15.08.
- URL2 : World Bank, “Turkey Data.” [Online]. Available: <http://data.worldbank.org/country/turkey>.
- Vaidyanathan, A., Mulholland, J., 2007, Characterization of fuel gas products from the treatment of solid waste streams with a plasma arc torch., *Journal of Environmental Management*, 82(1), 77-82.
- Yılmaz, O., 2015, *Yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler ve Türkiye*, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- World Bank, Energy, *World Bank*, 2017.
- Zaman, A.U., 2015, A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines, *Journal of Cleaner Production*, 91, 12-25.
- Zheng, L., Furinsky, E. 2005. Comprision of Shell, Texaco, BGL, and KRW Gasifiers as Part of IGCC Plant Computer Simulations. *Energy Convers. Manage*, 46, 1767-79.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nazlıcan Karabağ
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	31.07.1993
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05356820386
E-Posta Adresi	nzlcnkrbg@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	15.06.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği ABD
Programı	Çevre Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Makale ve Bildiriler	
Karabağ, N., Kajjumba, G.W., Öngen, A., 2018, Application of Computer-Aided Modeling in Thermal Processes, 3. <i>ICOCEE – Cesme</i> , April 24-27, Poster Presentation.	
Aydın, S., Varank, G., Karabağ, N., Yazıcı Güvenç, S., Güneysu, S., Öngen, A., Elmaslar, E., Özcan, H.K., 2018, Gasification of a Vacuum Evaporated Treatment Sludge and Characterization of Syngas, <i>EurAsia Waste Management Symposium, 2-4 May 2018, YTU Davutpasa Congress Center, İstanbul/Türkiye</i> , Poster Presentation.	