

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS

PLAZMA KONİK REAKTÖRLÜ ORGANİK ÇÖP GAZLAŞTIRMA
SİSTEMİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

Ahmet İSMAİLOĞLU

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ
JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Hayati OLGUN
Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

RİZE-2021
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PLAZMA KONİK REAKTÖRLÜ ORGANİK ÇÖP GAZLAŞTIRMA
SİSTEMİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında, Ahmet İSMAİLOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 20/04/2021 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ	
Üye	: Prof. Dr. Hayati OLGUN	
Üye	: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımın tüm aşamalarında tecrübesi ve bilgi birikimiyle kendisinden çok değerli bilgiler öğrendiğim ve yoğun çalışma temposu arasında çok değerli zamanlarını ayırarak bana destek olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ hocam'a en içten duygularıyla teşekkür eder, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince laboratuvar çalışmalarında yardım ve desteklerinden dolayı proje ekibinde yer alan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu günlere gelmemi sağlayan, eğitim hayatım boyunca beni her zaman teşvik eden, sabır ve desteklerini esirgemeyen fedakâr aileme ve eşim Ülkü İSMAİLOĞLU'na minnettarım.

Bu Yüksek Lisans Tezi, TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında üretilmiştir. TÜBİTAK'a 117M436 nolu projeye sağladığı finansal desteklerinden dolayı çok teşekkür ederiz.

Ahmet İSMAİLOĞLU

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Plazma Konik Reaktörlü Organik Çöp Gazlaştırma Sisteminin Performans Parametrelerinin Deneysel Araştırılması” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. .../.../...

İmza

Ahmet İSMAİLOĞLU

***Uyarı:** Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

ÖZET

PLAZMA KONİK REAKTÖRLÜ ORGANİK ÇÖP GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Ahmet İSMAİLOĞLU

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışmanı: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Bu tez çalışmasının temel amacı, plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırılmasıdır. Bu kapsamda, 25 kg organik çöp kullanılarak yapılan test ve performans deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak deneysel performans parametreleri hesaplanmıştır. Bu çerçevede, 25 kg organik çöp için gazlaştırma başlangıç zamanı test deneylerinde 6-8 dakika, performans deneylerinde 4-6 dakika ve çalışma süresi test deneylerinde 55 dakika, performans deneylerinde ise 37 dakika olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; i) Organik çöp tüketim hızı, test deneylerinde $27,27 \text{ kg.saat}^{-1}$, performans deneylerinde $40,54 \text{ kg.saat}^{-1}$, ii) Özgül gazlaştırma oranı, test deneylerinde $217 \text{ kg.m}^{-2}\text{saat}^{-1}$, performans deneylerinde $322 \text{ kg.m}^{-2}\text{saat}^{-1}$, iii) Gazlaştırma hızı, test deneylerinde $0,74 \text{ m.saat}^{-1}$, performans deneylerinde $1,14 \text{ m.saat}^{-1}$, iv) Gazlaştırma bölgesi oranı, test deneylerinde ve performans deneylerinde $0,44$, v) Organik çöpün sisteme taşıdığı enerji miktarı, test deneylerinde ve performans deneylerinde $17,35 \text{ MJ.saat}^{-1}$, vi) Üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı, test deneylerinde $92,79 \text{ MJ.saat}^{-1}$, performans deneylerinde $154,20 \text{ MJ.saat}^{-1}$, vii) eşdeğerlik oranı test deneylerinde $0,36$, performans deneylerinde $0,24$, viii) plazma enerji oranı test deneylerinde $\%19,2$, performans deneylerinde $\%11,8$, ix) buhar-hava kütle oranı test deneylerinde $\%9,1$, performans deneylerinde $\%13,5$, x) argon-hava kütle oranı test deneylerinde $\%4,84$, performans deneylerinde $\%7,2$, xi) sıcak gaz verimi test deneylerinde $\%54,98$, performans deneylerinde $\%71,43$, xii) soğuk gaz verimi test deneylerinde $\%49,50$, performans deneylerinde $\%63,80$, xiii) ısı verim test deneylerinde $\%51,48$, performans deneylerinde $\%77,60$ olarak hesaplanmıştır.

2021, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Performans Parametreleri, Plazma Gazlaştırma, Organik Çöp, Verim

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE PARAMETERS OF ORGANIC SOLID WASTE GASIFICATION SYSTEM WITH PLASMA CONICAL REACTOR

Ahmet İSMAİLOĞLU

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate Education Institute
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ**

The main purpose of this thesis is to experimentally investigate the performance parameters of the organic waste gasification system with plasma cone reactor. In this regard, experimental performance parameters have been calculated by using the data obtained from tests and performance experiments using 25 kg of organic waste. Thus, start-up time for 25 kg of organic waste was determined as 6-8 minutes in test experiments, 4-6 minutes in performance experiments, and working time as 55 minutes in test experiments and 37 minutes in performance experiments. Additionally; i) Organic waste consumption rates are calculated to be 27.27 kg.h⁻¹ in tests and 40.54 kg.h⁻¹ in performance works, ii) Specific gasification rates are found to be 217 kg.m⁻².h⁻¹ in tests and 322 kg.m⁻².h⁻¹ in performance works, iii) Gasification velocity are estimated to be 0.74 m.h⁻¹ in tests and 1.14 m.h⁻¹ in performance works, iv) Gasification zone ratios are determined to be 0.44 in tests and performance works, v) Energy amount of carried by the organic waste to the system is found to be 17,35 MJ.h⁻¹ in test and performance experiments , vi) The amount of energy carried by produced gas is found to be 92.79 MJ.h⁻¹ in tests and 154.20 MJ.h⁻¹ in performance experiments, vii) Equivalence ratios are found to be 0.36 in tests and 0.24 in performance works, viii) Plasma energy ratios are determined to be 19.2% in tests and 11.8% in performance works, ix) Vapor-air mass ratios are 9.1% in tests and 13.5% in performance works, x) Argon-air mass ratios are calculated to be 4.84% in tests and 7.2% in performance works, xi) Hot gas efficiencies are estimated to be 54.98% in tests and 71.43% in performance experiments, xii) Cold gas efficiencies are found to be 49.50% in tests and 63.80% in performance works, xiii) Thermal efficiencies are determined to be 51.48% in tests and 77.60% in performance works.

2021, 60 pages

Keywords: Performance Parameters, Plasma Gasification, Organic Waste, Efficiency

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi.....	2
1.3. Literatür Araştırması.....	3
1.3.1. Ark Plazma Teknolojisi.....	3
1.3.2. Çift Beslemeli Konik Reaktörlü Plazma Gazlaştırma	3
1.4. Gazlaştırma Performans Parametreleri Üzerine Yapılan Çalışmalar	4
1.5. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Giriş.....	23
2.2. Teorik Çalışmalar	23
2.2.1. Genel Kabuller.....	23
2.2.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler.....	24
2.2.2.1. Sabit Büyüklükler	24
2.2.2.2. Ölçülen Büyüklükler.....	25
2.2.2.3. Hesaplanan Büyüklükler.....	26
2.3. DeneySEL Çalışmalar	26

2.3.1.	Giriş	26
2.3.2.	Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	27
2.3.3.	Organik Çöpün Elemental Bileşimi.....	27
2.3.4.	Deneylerde Kullanılan Organik Çöp Analizi	28
2.3.5.	Sistemin Deneyisel Çalışma Prensipleri	28
3.	PERFORMANS PARAMETRELERİ	31
3.1.	Giriş.....	31
3.1.1.	Gazlaştırma Başlangıç Zamanı	31
3.1.2.	Çalışma Süresi (t)	31
3.1.3.	Toplam Çalışma Süresi (t_{TOP}).....	32
3.1.4.	Organik Çöp Tüketim Hızı (FCR).....	32
3.1.5.	Özgül Gazlaştırma Oranı (SGR).....	32
3.1.6.	Gazlaştırma Hızı (GH) ve Gazlaştırma Bölgesi Oranı (GBO)	33
3.1.7.	Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı ($E_{ÇÖP}$).....	33
3.1.8.	Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı (E_{gaz}).....	34
3.1.9.	Eşdeğerlik Oranı (ER)	34
3.1.10.	Plazma Enerji Oranı (PEO)	35
3.1.11.	Buhar-Hava Kütle Oranı ve Argon-Hava Kütle Oranı	35
3.1.12.	Sıcak Gaz Verimi.....	36
3.1.13.	Soğuk Gaz Verimi	36
3.1.14.	Isıl Verim / Gazlaştırma Verimi	37
4.	BULGULAR	38
4.1.	Plazma Gazlaştırma Sisteminin Performans Parametre Bulguları	38
4.1.1.	Gazlaştırma Başlangıç Zamanı	38
4.1.2.	Çalışma Süresi	39
4.1.3.	Toplam Çalışma Süresi.....	39
4.1.4.	Organik Çöp Tüketim Hızı	40

4.1.5.	Özgöl Gazlaştırma Oranı	40
4.1.6.	Gazlaştırma Bölgesi Oranı ve Gazlaştırma Hızı.....	41
4.1.7.	Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı.....	42
4.1.8.	Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı.....	42
4.1.9.	Eşdeğerlik Oranı (ER)	43
4.1.10.	Plazma Enerji Oranı.....	44
4.1.11.	Buhar Hava Kütle Oranı ve Argon Hava Kütle Oranı.....	45
4.1.12.	Sıcak Gaz Verimi.....	46
4.1.13.	Soğuk Gaz Verimi	47
4.1.14.	Kül ve/veya Eriyik Oranı.....	47
4.1.15.	Isıl Verim / Gazlaştırma Verimi	48
5.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	49
6.	ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR		53
ÖZGEÇMİŞ		60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan manuel ölçüm cihazları.....	27
Şekil 2. Ark plazma gazlaştırma işleminin deneysel akış şeması (a) Organik çöp temini, (b) Organik çöplerin besleme haznelere doldurulması, (c) Ark plazma torçun ayarlanması, (ç) Ark plazma torçun sisteme yerleştirilmesi, (d) Ark plazma gazlaştırma sisteminin çalıştırılması, (e) Üretilen singazın soğutulması, (f) Singazın debi ölçümü, (g) Singazın bileşiminin belirlenmesi, (ğ) Temiz singazın testi, (h) Sistemin kapatılması, (i) Ark plazma torçun sisteme taşınması, (ı) Ark plazma torçun sisteme yerleştirilmesi, (j) Konik reaktör içinin testi, (k) Gazlaştırma bölgesindeki ızgaranın kontrolü	30
Şekil 3. Organik çöp için reaktörün verimli çalışma süresi.....	39
Şekil 4. Plazma gazlaştırma sisteminde organik çöp tüketim hızı	40
Şekil 5. Plazma gazlaştırma işlemi için özgül gazlaştırma oranı	41
Şekil 6. Plazma gazlaştırma bölgesi oranı ve gazlaştırma hızı.....	41
Şekil 7. Organik çöpün taşımış olduğu ısı miktarları	42
Şekil 8. Üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı.....	43
Şekil 9. Eşdeğerlik oranı.....	44
Şekil 10. Plazma enerji oranı	45
Şekil 11. Ark plazma gazlaştırma sistemlerinde buhar hava oranı ve argon hava oranı	46
Şekil 12. Sıcak gazın enerji verimi	46
Şekil 13. Soğutulmuş gazın enerji verimi.....	47
Şekil 14. Kül eriyiğinin ızgara ve reaktör tabanına yapışmış hali.....	47
Şekil 15. Gazlaştırıcının ısı verimi	48

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti	15
Tablo 2. Sabit büyüklükler	24
Tablo 3. Ölçülen büyüklükler	25
Tablo 4. Hesaplanan büyüklükler	26
Tablo 5. Deneylerde kullanılan organik çöp bileşenlerine ait elemental analiz değerleri	28



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Gazlaştırma Bölgesi Kesit Alanı	m^2
C_p	Özgül Isı	$kJ.kg^{-1}K^{-1}$
$E_{\text{ÇÖP}}$	Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı	$MJ.saat^{-1}$
E_{gaz}	Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı	$MJ.saat^{-1}$
$E_{\text{torç}}$	Sisteme Plazma Torç ile Verilen Enerji	kW
ER	Eşdeğerlik Oranı	-
FCR	Organik Çöp Tüketim Hızı	$kg.saat^{-1}$
GBKA	Gazlaştırmanın başladığı Kesit Alanı	m^2
GBO	Gazlaştırma Bölgesi Oranı	-
GH	Gazlaştırma Hızı	$m.saat^{-1}$
$(H/F)_g$	Gerçek Hava Yakıt Oranı	-
$(H/F)_{sto}$	Stokiyometrik Hava Yakıt Oranı	-
HAKO	Argon Hava Kütle Oranı	%
HBKO	Buhar Hava Kütle Oranı	%
$L_{\text{ÇÖP}}$	Reaktördeki Çöpün Yüksekliği	m
E_{SICGAZ}	Sıcak Gazın Enerjisi	$MJ.saat^{-1}$
$E_{\text{SOĞGAZ}}$	Soğuk Gazın Enerjisi	$MJ.saat^{-1}$
PEO	Plazma Enerji Oranı	%
PD	Performans Deneyleri	-
RÜKA	Reaktör Üst Kesit Alanı	m^2
SGR	Özgül Gazlaştırma Oranı	$kg.m^{-2}.saat^{-1}$
t	Çalışma Süresi	Dakika
t_{TOP}	Toplam Çalışma Süresi	Dakika
TD	Test Deneyleri	-
ρ	Yoğunluk	$kg.m^{-3}$
η_{GAZL}	Isıl Verim	%

$\eta_{SOĞGAZ}$	Soğuk Gaz Verimi	%
η_{SICGAZ}	Sıcak Gaz Verimi	%
$\dot{M}_{steam}$	Buhar Kütlesel Debisi	kg.saat ⁻¹
$\dot{M}_{air}$	Hava Kütlesel Debisi	kg.saat ⁻¹
$\dot{M}_{Ar}$	Argon Akış Hızı	kg.saat ⁻¹
$\dot{M}_{Çöp}$	Katı Atıkların Kütle Akış Hızı	kg.saat ⁻¹
$\dot{M}_{SICGAZ}$	Gaz Kütle Akış Hızı	kg.saat ⁻¹



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

2000 yılından itibaren sanayileşmenin gelişmesi ve hızlı nüfus artışı kentleşme sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Nüfus artışına bağlı olarak kentsel büyüme farklı organik atıkların oluşmasını sağlayarak, çevresel sorunlara yol açmış ve kalıcı zararlar vermeye başlamıştır. Örneğin Türkiye’de her bir ailenin günde yaklaşık 1.16 kg evsel atık ürettiği ve 2018 yılında Türkiye’de 32.2 milyon ton atık toplandığı rapor edilmiştir (TÜİK, 2018). Dolayısıyla, ortaya çıkan çevresel sorunlarla mücadele edebilmek için katı atıkların bertarafı da dâhil olmak üzere bazı önemli ve stratejik tedbirler alınmaya başlanmıştır.

Katı atıklar bertarafı, birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hem kentsel hem de kırsal alanlarda ciddi ve yaygın bir sorun haline gelmiştir. Kentsel katı atıkların (MSW) yönetsel çözümleri, finansal olarak sürdürülebilir, teknik olarak uygulanabilir, yasal olarak kabul edilebilir gibi özellikleri taşımalıdır (Mansour ve shafy, 2018). Teknik olarak, düzenli depolama sahalarının çeşitli kimyasal ve organik kirleticileri yeraltısularına sızdırdığı bilinmektedir (Homolka, 2018). Düzenli depolama alanlarının canlıların sağlığı ve çevre üzerinde ortaya çıkardığı sorunlar nedeniyle, Japonya ve Kuzey Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok ülkede katı atıklardan enerji geri kazanımı teknolojileri kullanılmaya başlanmıştır (Waldheim, 2018). Atık yönetiminin potansiyel çözüm yöntemlerinden biri, atıkların enerjiye dönüştürülebilir kısımlarından enerjinin geri kazanılması olmalıdır (Czop, 2018).

Giderek artan organik atıkların hacmi, araştırmacıları yeni ve daha etkili kullanım yöntemlerini araştırmaya zorlamıştır. Bu yeni yöntemlerden biri termal işleme yöntemidir (Anshakov vd., 2020). Yakma, piroliz ve gazlaştırma görevini yapan termal plazma, çevresel tehdit oluşturan açık ve toprakla kaplı çöp alanlarının yerini alan yeni bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Anshakov vd., 2020). Alternatif yakıt elde etme çalışmaları ark plazma gazlaştırma teknolojisini önemli bir hale getirmiştir (Messerle vd., 2020). Plazma gazlaştırma, diğer geleneksel gazlaştırma sistemleri ile karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlardan bazıları, düşük emisyon, değişken hammadde kullanabilme, daha yüksek hidrojen verimi ve atık ısı dahil daha yüksek enerji geri kazanımı şeklinde sıralanabilir (Sesotyo vd., 2019).

Plazma gazlaştırma sistemleri; havada gazlaştırma (hava kullanarak), oksijenle gazlaştırma (saf oksijen kullanarak), buharla gazlaştırma (buhar kullanarak) ve CO₂ atmosferinde gazlaştırma vb. gazlaştırma ortamlarına bağılı olarak sınıflandırılabilir (Zheng vd., 2018; Kamariah vd., 2019). Bununla birlikte, gazlaştırıcılar reaktörün tasarımına göre; i) sabit yataklı gazlaştırıcı (aşağı çekişli, yukarı çekişli, yatay çekişli, vb.), ii) akışkan yataklı gazlaştırıcı (kabarcıklı, dolaşımli, çift dolaşımli, vb.), iii) sürüklemeli gazlaştırıcı (Zhang vd., 2019) olmak üzere üç tipte incelenebilir. Günümüzde organik atıkların bertarafı için plazma gazlaştırma sistemleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Yapılan tez çalışmasının temel amacı; soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin, performans parametrelerinin deneysel araştırılmasıdır.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak; plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametreleri belirlenmiştir. Bu çerçevede, gazlaştırma başlangıç zamanı, çalışma süresi, organik çöp tüketim oranı, özgül gazlaştırma oranı, gazlaştırma bölgesi oranı, organik çöpün sisteme taşıdığı enerji miktarı, üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı, eşdeğerlik oranı, plazma enerji oranı, buhar hava kütle oranı, argon hava kütle oranı, soğuk gaz verimi, sıcak gaz verimi, son olarak ısı verim ve gazlaştırma verimi gibi performans parametreleri hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde her durumda reaktör organik çöp bileşimine ve nem miktarına bağılı olarak 25 kg lık organik çöp ile beslenmiştir.

Bu düşünceler ışığında, bu tez çalışmasının aşağıda sıralanan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik faydaları sağlayacağı düşünülmektedir.

- Gazlaştırma sistemlerinin performans parametreleri kapsamında yapılacak çalışmalara bilimsel, akademik ve teknik nitelikli bir referans oluşturması,
- Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırılmasının kapsamlı bir şekilde literatüre kazandırılmış olması, yapılan çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında deneysel veriler, TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında yapılan çalışmalardan alınmıştır (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020).

1.3. Literatür Araştırması

Bu tez çalışması sırasında yapılan literatür araştırması, a) ark plazma teknolojisi, b) çift beslemeli konik reaktörlü plazma gazlaştırma sistemleri hakkında genel bilgiler sunmaktadır.

1.3.1. Ark Plazma Teknolojisi

En etkili tehlikeli atık imha teknolojilerinden birinin termal plazma gazlaştırma olduğu bilinmektedir. Çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturan, tüm atıkları ortadan kaldırmaya izin veren plazma teknolojisi son derece önemlidir (Fabry vd., 2013). Termal plazmalar, plazma kinetiği hızlandırarak avantajlı bir şekilde gazlaşmaya katkıda bulunabilir ve üretilen sentez gazındaki safsızlıkların yüksek sıcaklıkta parçalanmasına imkan sunar (Fabry vd., 2013). Plazma ateşleyiciler gazlaştırma sistemin temel elemanıdır. Plazma sistemlerinde yüksek sıcaklıkların oluşmasının nedeni iki elektrod arasında yoğun elektrod arkının oluşmasıdır (Nayır, 2012).

Organik atıkların plazma gazlaştırılması yeni ortaya çıkan bir uygulamadır. Bu uygulama için, teknolojilerin temel amacı, sentez gazı adı verilen, temelde karbon monoksit ve hidrojen karışımı olan yakıt gazlarının üretilmesidir (Hrabovsky, 2013). Termal plazma, yüksek karbon monoksit ve hidrojen içeriği ve diğer bileşenlerin minimum varlığı ile yüksek kaliteli sentez gazı üretmek için oksijen yokluğunda saf piroliz yoluyla veya stokiometrik miktarda oksijen(gazlaştırma) ile biokütlenin ayrıştırma işlemini sunar (Hrabovsky, 2013).

1.3.2. Çift Beslemeli Konik Reaktörlü Plazma Gazlaştırma

Bu kısımda, çift beslemeli konik reaktörlü plazma gazlaştırma ile ilgili olarak literatür bilgisi sunulmuştur. Reaktörün konik şekilli olması kademeli olarak gazlaşma yüzeyinin büyümesi ve üretilen gaz miktarının artmasına imkân sağlar. Özellikle plazma gazlaştırma sistemleri için avantaj sağlamaktadır. Plazma gazlaştırıcıya yapılacak olan beslemenin çift olarak tasarlanması aynı anda farklı organik çöp tiplerinin herhangi bir ön işleme tutmadan reaktör içerisinde bertaraf edilebilmesine olanak tanımaktadır.

Gazlaştırıcılar, odun atık, talaş, lastikler gibi katı atıkları termo-kimyasal bir işlemle gaz halindeki bir yakıta dönüştürür ve ortaya çıkan gaz, ısı ve güç üretimi uygulamaları için kullanılır (URL-1, 2004; URL-2, 2008). Plazma gazlaştırıcılar gazlaştırma, ürün sıcaklığı, oksijen gereksinimleri, ürün gaz bileşimi gibi çalışma prensiplerine göre sınıflandırılmıştır. Başlıca gazlaştırıcı türleri; akışkan yataklı gazlaştırıcılar, sürüklemeli akışlı gazlaştırıcılar, sabit yataklı gazlaştırıcılar (aşağı akışlı, karşıt akışlı ve yukarı akışlı yataklı gazlaştırıcılar) olarak adlandırılır (Nayır, 2012).

Konik ağızlı yatak, termal piroliz (Aguado vd., 2000) ve katalitik durumunda olduğu gibi partikül boyutu dağılımında, düzensiz doku ve yapışkan olan katıların işlenmesi gerektiren diğer işlemlerde başarıyla kullanılmıştır (Olazar vd., 1994, 2000). Konik reaktör, biokütle plastik gibi birçok piroliz işleminde başarıyla kullanılmıştır. Küçük basınç düşüşü, basit tasarımı veya katı parçacıkları işleme kapasitesi gibi özelliklere sahiptir (Lopez vd., 2010). Ek olarak konik reaktör, yüksek gaz hızlarında çalışmak için oldukça çok yönlüdür ve sonuç olarak, fazlar arasında ısı ve kütle transferini artıran, katının ısıtma oranını artıran ve yatak akışını önleyen güçlü bir gaz katı teması üretir. Ayrıca yatakta kısa gaz kalış süreleri ile çalışma gerçekleştirebilir ve reaktörde oluşan uçucu maddelerin ikincil reaksiyonlarını azaltır (Lopez vd., 2010).

1.4. Gazlaştırma Performans Parametreleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırılması ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında benzer konular bulunmuş ve aşağıda özetlenmiştir.

Reed vd. (1988), yapmış oldukları çalışmada odun talaşları ve saman peletlerinin gazlaştırma işlemi için aşağı çekişli gazlaştırma sistemi tasarımı ve imalatını yapmışlardır. İmalatını yaptıkları sistemdeki deneysel çalışmalarda, sistemin performans özelliklerini belirleyip, parametrelerin hesaplamalarını yapmışlardır. Deneysel çalışmada belirlenen zaman aralıklarında tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı, gazlaştırma hızı, alt ısı değer, üst ısı değer, eşdeğerlik oranı ve gazlaştırma veriminin hesaplamalarını yapmışlardır.

Tiangco vd. (1996), yapmış oldukları çalışmada 16-30 cm reaktör çaplarında statik yataklı pirinç kabuğu gazı üreticileri için optimum özgül gazlaştırma hızının deneysel tespitini yapmışlardır. Deneysel tespitlerde performans özellikleri olarak özgül

gazlaştırma oranı, soğuk gaz verimi, gazlaştırma hızı ve yüksek ısı değerlerini hesaplayarak sonuçlarını ortaya koymuşlardır. Özgül gazlaştırma oranı yükseldikçe, soğuk gaz veriminin azaldığını gözlemişlerdir.

Jain vd. (2000), yaptıkları çalışmada 15.2, 20.3, 24.4 ve 34.3 cm iç çaplara sahip dört açık göbekli boğazsız yığın beslemeli pirinç kabuğu gazlaştırıcı reaktör tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Gaz temizleme ünitesine bağlanan her reaktör için performans özelliklerini test etmişlerdir. Tasarladıkları bu çalışmada performans özellikleri olarak hava akış hızı ve özgül gazlaştırma oranını değiştiren ön deneme testleri yapmışlardır. Dört reaktörün her birinde her çalışma için gaz kalitesi, gaz hızı, gazlaştırma verimi, özgül gazlaştırma oranı ve eşdeğerlik oranı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. En iyi çalışma koşulları altında, eşdeğerlik oranı 0.40 ve gazlaştırma verimi yaklaşık % 65 olarak bulmuşlardır. Bu parametreler, 3-15 kW kapasite aralığında pirinç kabuğuyla çalışan boğazsız gazlaştırıcıların tasarımında kullanılabileceğini gözlemişlerdir.

Zainal vd. (2001), çalışmalarında aşağı akışlı bir gazlaştırıcıda mobilya odun ve odun yongalarını kullanarak gazlaştırma sürecini tahmin etmek için deneysel inceleme yapmışlardır. Deneysel çalışmada performans parametreleri olarak eşdeğerlik oranı, ısı değer, gaz tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı, gazlaştırma hızı ve soğuk gaz verimi hesaplamalarını yapmışlardır. Hammaddedeki nem içeriğinin artmasıyla üretici gazın ısı değerinin azaldığı sonucuna varmışlardır.

Midilli vd. (2002), çalışmalarında arıtma çamurunu gazlaştırma ile temiz gaz üretmek ve yüksek verimlilikte yanıcı - temiz gaza dönüştürmek için deneysel çalışma yapmışlardır. 5kW'lık aşağı çekişli gazlaştırıcı kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda besleme hızı, hava-yakıt oranı, özgül gazlaştırma oranı ve kısma oranı değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Arıtma çamurunun, düşük kaliteli yanıcı gaz üretmek için gazlaştırılabilmesi ve temiz enerji üretimi için fosil yakıtlara kabul edilebilir bir alternatif kaynak olacağı sonucuna varmışlardır.

Lv vd. (2004), akışkan yatakta biokütle gazlaştırma özelliklerini incelemişler ve reaktör sıcaklığı, buhar/biokütle oranı (S/B), eşdeğerlik oranı (ER) ve parçacık boyutunun gaz bileşimi, gaz verimi, buhar ayrışma, düşük ısıtma değeri üzerindeki etkilerini araştırmak için deneyler yapmışlardır. Daha küçük bir partikülün daha yüksek gaz LHV ve gazlaştırma verimi için daha uygun olduğu da sonucuna varmışlardır.

Midilli vd. (2004), deri kalıntılarını aşağı akışlı gazlaştırıcı tekniğini kullanılarak yanıcı gazlara dönüştürmek için deneysel çalışma yapmışlardır. Gazlaştırma için özgül

gazlaştırma oranı belirlenmiş ve soğuk gaz verimini hesaplamışlardır. Deri atığının aşağı çekişli bir gazlaştırma sistemi kullanılarak enerji üretimi için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Singh vd. (2004), yapmış oldukları çalışmalarında, belediye atıklarını kullanarak, hava üflemleri sabit yataklı gazlaştırıcı üzerinde kütle, enerji ve çöp gazlaştırma sisteminin performans özelliklerini karşılaştırmışlardır. Eşdeğerlik oranını belirleyerek, soğuk gaz verimi, spesifik özgül gazlaştırma hızı, çöp tüketim hızı, gazlaştırma hızı, yüksek ısıtma değerlerini hesaplamışlardır.

Belonio (2005), yapmış olduğu çalışmada pirinç kabuğunun gazlaştırılması için üç farklı gazlaştırma sistemi tasarımı yapmış, sistemi kurmuş ve çalıştırmıştır. Pirinç kabuğunun gazlaştırılmasından elde edilen sentez gazın, deneysel verilerinden elde edilen sonuçlarla performans parametrelerinin formüllerini çıkarmış ve hesaplamalarını yaparak sonuçlarını ortaya koymuştur.

Jain (2006), yapmış olduğu çalışmada 15.2, 20.3, 24.4, 30.3 ve 34.3 cm iç çaplara sahip beş açık çekirdekli boğazsız yığın beslemeli pirinç kabuğu gazlaştırıcı reaktör tasarlamış ve imal etmiştir. Her reaktörde, hava akış hızını veya özgül gazlaştırma oranını değiştiren 8-10 tane deneme çalışması yapmıştır. Tasarlanan gazlaştırıcı reaktör için performans tasarım parametreleri olarak; gaz kalitesi, gaz üretim hızı, gazlaştırma verimi, özgül gazlaştırma oranı ve eşdeğerlik oranını belirlemişler ve hesaplamalarını yapmışlardır.

Singh vd. (2006), bu çalışmalarında kaju fıstığı kabuğunun yakıt özelliklerini aşağı çekişli gazlaştırıcı için gazlaştırma fizibilitesini incelemişlerdir. Kaju fıstığı kabuğunu deneysel çalışmalarla performans parametrelerini incelemişlerdir. Eşdeğerlik oranı belirleyerek, yakıt tüketim oranı, gazın kalorifik değeri, gaz akış hızı ve gazlaştırma verimlerini hesaplamışlardır. Yapılan çalışmada, kaju fıstığı kabuklarının, açık çekirdekli aşağı çekişli gazlaştırıcı için hammadde olarak başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Gang vd. (2007), evsel katı atıkları gazlaştırma ve eritme teknolojisini geliştirmek için iki ön deney ve bir entegre deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Eşdeğerlik oranı 0,2-0,5 iken akışkan yataklı bir gazlaştırıcı kullanılarak yüksek sıcaklıklarda evsel atık tüketim hızı, gazlaştırma hızı ve sentez gazın düşük ısı değer bulunarak pratik deneyim ve temel veriler elde etmişlerdir.

Jain vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada biokütlenin aşağı çekişli ve sabit yataklı gazlaştırma sistemlerini araştırma ve geliştirmenin bazı yönleri ve bunların ticari

uygulamalarını gözden geçirmişler ve performans özelliklerini alıntılama yaparak incelemişlerdir. Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta (830 °C) hava ile gazlaştırılması, üretilen gazın kalorifik değerini artırdığı ve katran içeriğini azalttığını gözlemişlerdir.

Ketjoy vd. (2007), çalışmalarında odun yongalarını aşağı çekişli gazlaştırıcıda gazlaştırarak elektrik üretmek için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ilk 6 ay boyunca sistem performansını değerlendirmişlerdir. Gazlaştırma performansı olarak, odun yongaları tüketim hızı, yakıt tüketim oranı, gazlaştırma hızı, kalorifik değer ve gazlaştırma verimi gibi performans parametrelerini değerlendirmişlerdir.

Ramirez vd. (2007), Kolombiya tarım endüstrisinin ürettiği katı atıkların enerjik değerlendirilmesine katkıda bulunmak amacıyla pilot ölçekte pirinç kabuğu için akışkan yataklı gazlaştırıcı için bir yöntem geliştirmişlerdir. Operasyonel performans deneylerinde elde edilen eşdeğerlik oranı, düşük ısıtma değeri, hacimsel verim, gaz gücü ve soğuk verimin ön tahminine yardımcı olduğunu gözlemişlerdir.

Bhoi vd. (2008), Sardar Patel Yenilenebilir Enerji Araştırma Enstitüsü'nde (SPRERI) modüler tasarımlı 125 kg.saat⁻¹ biokütle gazlaştırıcı geliştirmişler ve test etmek için termal modda test yapmışlardır. Ahşap tüketimi için aşağı çekişli gazlaştırıcı sistemi tasarlayıp, geliştirmişler ve test etmişlerdir. Bu çalışmada bu iki sistemin performansını incelemişlerdir. Tüketilen gaz hızı, gaz kalorifik değer, soğuk gaz verimini ve özgül gazlaştırma oranını hesaplamışlardır.

Yinesor (2008), yüksek lisans tezinde, sabit yataklı gazlaştırma sistemi tasarlanmış, imal edilmiş ve çalıştırılmıştır. Odun atıkları, belirlenen hava ortamında gazlaştırarak, tasarlanan sistemin performans hesaplamaları yapılmış, hava-yakıt değeri ve ısı değerleri incelenmiştir. Deneylerde hava yakıt oranının 0,35 olduğu durumda, gazlaştırma prosesinin başlangıçtan bitimine kadar kararlı olduğu ve en yüksek ısı değerini elde edildiği gözlenmiştir.

Babu vd. (2009), enstitü atölyesinde yapmış oldukları çalışmada, mobilya yapımı sırasında oluşan atıkları, aşağı çekişli gazlaştırıcıda biokütle gazlaştırma deneyleri yapmışlardır. Hava debisi, nem içeriği, tüketim hızı ve üretilen gazın kalitesi üzerine incelemeler yapmışlardır. Biyokütle gazlaştırma sisteminin performansını deneysel çalışmayla belirlemişlerdir. Eşdeğerlik oranı, üretici gaz bileşimi, üretici gazın kalorifik değeri, gaz üretim hızı, bölge sıcaklıkları ve soğuk gaz verimi açısından değerlendirmişler.

Rathore vd. (2009), bu çalışmalarında, endüstriyel proses ısı uygulaması için biyokütle

bazlı açık çekirdekli aşağı çekişli gazlaştırıcının tasarımını, performansını ve ekonomik değerlendirmesini ele almışlardır. Sistemin, 90 kg.saat⁻¹ besleme hızına ulaşacak ve yaklaşık 850 MJ.saat⁻¹ ısı üretecek şekilde tasarımını yapmışlardır.

Lubwama (2010), yüksek lisans tezinde çeşitli tarımsal kalıntıları kullanılarak sabit yataklı gazlaştırıcının performans parametrelerini araştırmıştır. Nem içeriği, kül içeriği, yığın yoğunluğu ve tane boyutu gibi fiziksel boyutları belirlemek için analizler yapmıştır. Performans analizi olarak gaz akış hızı, gazlaştırma hızı, kısma oranı gibi gazlaştırma parametreleri; eşdeğerlik oranı ve soğuk gaz verimini hesaplamıştır. En yüksek gazlaştırma oranları 5,9-17,9 kg.saat⁻¹ aralığında elde edilirken, ortalama gaz alt ısıtma değerleri 3,2-4,7MJ.Nm⁻³ aralığında olduğunu hesaplamışlardır.

Gautam (2010), yüksek lisans çalışmasında, aşağı çekişli gazlaştırıcı reaktöründe performans parametrelerinin etkisini araştırmak için önce deney yapmışlardır sonra matematiksel model ile desteklemişlerdir. Isıl değer, tüketim hızı, çalışma verimi, nem içeriği, eşdeğerlik oranı ve biyokütle akış hızı gibi seçilmiş performans parametrelerinin aşağı çekişli gazlaştırıcıdaki sentez gazı bileşimi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Aşağı çekişli bir gazlaştırıcıdan gelen katran miktarı her zaman küçük kabul edilmekle birlikte, daha kararlı olduğunu ve elektrik üretimi için kullanıldığında olumsuz yönde etkileyeceğini sonucuna varmıştır.

Tamošiūnas vd. (2011), Litvanya Enerji Enstitüsü (LEI) plazma işleme laboratuvarında atmosferik basınçta çalışan hava/su buharı, Argon/su buharı ve argon/hava girdapları ile stabilize edilmiş, kademeli anotlu deneysel bir doğrusal doğru akım (DC) plazma jeneratörü tasarlanmış ve inşa etmişlerdir. Plazma jeneratöründe üç farklı tipte gaz stabilizasyonu deneysel olarak incelemişler ve termal ve elektriksel özellikleri karşılaştırma yapmışlardır.

Martinez vd. (2011), bu çalışmalarında odun biokütlesinde iki hava beslemesine sahip aşağı çekişli gazlaştırma reaktöründe deneysel çalışma yapmışlardır. Katran azaltımı için gazın iyileştirilmesini birincil hedef belirlemişler. Gaz verimi ve gücü, prosesin soğuk verimi ve eşdeğerlik oranı (ER) ile diğer performans değişkenlerini hesaplamışlardır. Belirtilen çalışma koşullarında ER 0,40 olarak belirlenmiştir.

Olgun vd. (2011), tarım ve orman atıkları için küçük ölçekli sabit yataklı aşağı çekişli gazlaştırma sistemini tasarlamışlar ve inşa etmişlerdir. Gazlaştırma ortamını hava olarak belirlemişlerdir. Hava yakıt oranını, kabul edilebilir derecede yüksek ısıtma değerine ve düşük kirletici maddelerine sahip bir gaz üretmek için ayarlamışlardır. Odun yongaları ve

findık kabuklarından elde edilen sonuçları ve tasarımıyla ilgili seçilmiş konuları incelemişlerdir.

Varshney vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada briket esaslı kapalı üstten boğazsız aşağı çekişli gazlaştırıcı tasarlamışlar ve performans hesaplamaları yapmışlardır. Deneylerde soya fasulye sapları kullanmışlardır. Biokütle tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı ve gazlaştırma verimini incelemişlerdir.

Arena (2011), yapmış olduğu çalışmada işletim ve performans parametrelerinden başlayarak reaktörlerin karşılaştırmalı analizlerini yapmıştır. Isı gazlaştırıcı, güç gazlaştırıcı ve belediye atıkları için ticari olarak temin edilen ana gazlaştırıcıların çevresel performanslarını analiz etmiştir. Analiz, evsel katı atıkların ayrı toplanmasından kalan artık atıklar da dahil olmak üzere, gazlaştırmanın katı atık dönüşümü için teknik olarak uygun bir seçenek olduğunu sonucuna varmıştır.

Zhang (2011), doktora tezinde kentsel katı atıklarında bertarafı için sabit yataklı bir eritme reaktöründe plazma gazlaştırma ile atıkların imhası için matematiksel modeller geliştirerek plazma gazlaştırma teknolojisini analiz etmiştir. Hem hava gazlaştırma hemde hava ve buhar gazlaştırma performansını değerlendirmek için hem deneysel hem de sayısal analizler yapmıştır. Deneysel analizlerde performans parametreleri olarak eşdeğerlik oranı, plazma enerji oranı, hava-buhar oranı, kentsel atık tüketim hızı, alt ısı değer ve gazın verimini hesaplamıştır. PGM havayla gazlaştırma için, simüle edilen sonuçlar, ER 0,043 ile 0,077 arasında değiştiğinde, hem sentez gazı verimi hem de soğuk gaz verimliliğinin artış eğilimi gösterdiğini gözlemiştir. Buhar ilavesinin soğuk gaz verimliliği ve sentez gazı düşük ısıtma değeri üzerindeki olumlu etkileri, sabit yataklı eritme reaktöründe (PGM) hava ve buhar gazlaştırma simülasyon sonuçları ile doğrulamasını yapmıştır.

Ojolo vd. (2012), laboratuvar ölçekli gazlaştırma sisteminde besleme stoğu olarak talaş ve hurma çekirdeği üzerinde test edilecek şekilde tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Toz haline getirilen yakıt numuneleri analiz edilerek performans parametre hesaplamaları yapmışlardır. Bu hesaplamalarda; yakıt tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı, yanma bölgesi oranı, alt ısı değer, üst ısı değer, eşdeğerlik oranı ve gazlaştırıcı verimini hesaplamışlardır.

Zhang vd. (2012), bu çalışmalarında 190 kW değerinde sabit yataklı gazlaştırma pilot tesisinde ağaç yongaları kullanmışlardır. Plazma gazlaştırma eritme işleminin performansını tahmin etmek için yarı deneysel model geliştirmişlerdir. Gaz akış hızı,

plazma enerji oranı, hava-buhar oranı, sistemin verimi ve gazlaştırma oranı, sistem tasarımı referans alınarak hesaplamalarını yapmışlardır.

Zhang vd. (2013), çalışmalarında plazma gazlaştırma teknolojilerinin avantajlarını ve sınırlamalarını değerlendirmek için termodinamik analiz yapmışlardır. Kurutma, piroliz, kömür gazlaştırma ve inorganik eritme olarak dört bölüme ayırıp plazma enerji oranı, hava-buhar oranı, enerji ve ekserji verimlerini hesaplamışlardır.

Lavaee (2013), master çalışmasında ısı ve enerji üretimi için yararlı olan sentez gazının üretilmesini sağlayan termal teknolojiler üzerine çalışmalar yapmıştır. Biokütle / belediye atıklarının plazma destekli gazlaştırma süreçlerini gözden geçirmiştir. Deneysel ve modelleme için gazlaştırıcı deney seti kurularak hammaddeleri araştırmıştır. Ayrıca enerji endüstrisinde bir simülasyon aracı olan AspenPlus ortamında deney düzeneğine termokimyasal modelini geliştirmiştir.

Achinas vd. (2013), Yunanistan'da yapmış oldukları çalışmada organik atıklardan singas üretmek için plazma gazlaştırma işleminin verimliliğini değerlendirme çalışması yapmışlardır. Termodinamik kimyasal denge modelini kullanarak plazma gazlaştırma işleminin verimliliğine uygun yeni bir model tasarlamışlardır. Plazma gazlaştırma işleminin atık arıtma ve elektrik üretimi için çok faydalı bir teknoloji olduğunu sonucuna varmışlardır.

Konda vd. (2014), yapmış oldukları çalışmada atık palmiye yapraklarını palmiye yağı endüstrisinde değirmen kazanlarında elektrik üretimi için yukarı yönlü sabit yataklı bir gazlaştırıcının tasarımını, imalatını ve performans değerlendirmesini ele almışlardır. Soğuk gaz verimi, özgül gazlaştırma oranı hesaplamalarını yapmışlar ve ev tipi pişirme ocağında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Striugas vd. (2014), çalışmalarında proses performansını karşılaştırmak ve tek bir tam otomatik cihazda hammadde türlerini gazlaştırma potansiyelini tahmin etmek için farklı atık türlerinin kullanıldığı aşağı çekişli reaktörün deneysel sonuçlarını araştırmışlardır. Deneylerde eş değerlik oranı, tüketim hızı, sıcaklıklar, gazlaştırma hızı, basınç düşüşü ve verimler gibi parametreleri değerlendirmişlerdir.

Hinsui vd. (2014), bu çalışmada mekanik ve biyolojik arıtma atıkları bir plazma torçunda gelen ısı kaynağı yardımıyla gazlaştırma işlemiyle enerji üretimi için kullanıp kullanılmayacağı üzerine araştırma yapmışlardır. Gazlaştırma sisteminin performans değerlendirmesi, sentez gaz verimi, enerji verimi ve gazlaştırma verimi üzerinde hesaplamalar yapmışlardır. Sonuçlar, plazma torcunun geleneksel gazlaştırma işleminde

hammadde özelliklerinin sınırlarını azaltabileceğini gösterdiğini savunmuşlardır.

Materazzi vd. (2015), bu araştırmada katı atıkları temiz sentez gazına dönüştürmek için iki aşamalı bir gazlaştırma işleminin performans analizine odaklanmışlardır. Katı atıkların gazlaştırılması için optimum koşulları belirlemişler ve ikinci aşamada denge yöntemini kullanarak termodinamik değerlendirme yapmışlardır. Eşdeğerlik oranı belirlenerek, plazma enerji oranını tespit etmişlerdir.

Rajan vd. (2015), dolgu yataklı reaktörde ön yayılma hızı ve gaz kalitesindeki değişimi incelemek için üstten çekişli gazlaştırıcıda deneysel çalışma yapmışlardır. Reaktörde ikincil hava olan ve olmayan koşulları ve yakıttaki nem içeriğini ikincil hava oranı için incelenmiştir. Daha yüksek nem içeriğine sahip yakıt için yayılma oranlarının daha düşük olduğu kanısına varmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada performans özellikleri olarak, belirlenen zaman aralıklarında hava oranlarının gaz kalorifik değeri üzerindeki etkisi, gazlaştırma hızı ve alt ısı değer karşılaştırmalarını yapmışlardır.

Messerle vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada kentsel katı atıkları hava ve buhar ortamlarında plazma gazlaştıma ile gazlaştırılmasının termodinamik performans hesaplamalarını yapmışlardır. 1600K sıcaklığa kadar çıkarak yapmış oldukları deneylerde yüksek kalorili sentez gazı, mineral kütlesinden demir karbür, kalsiyum silikat, demirden oluşan nötr cüruf üretilmiştir.

Tuğ (2016), doktora tezinde çeltik sapı gazlaştırılması için boğazsız tip sabit yataklı aşağı akışlı gazlaştırıcı prototipi tasarlamıştır. Çeltik sapları farklı katkı malzemeler kullanılarak peletlenerek gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Gazlaştırma sırasında hava giriş yönü, hava fazlalık kat sayısı karışımın gazlaştırma verimi üzerine etkilerini incelemiştir. Karıştırma işleminin çeltik sapının gazlaştırılmasında olumlu sonuç vermediği gözlemiştir. Pelet örnekleri belirlenen en uygun yöntemle gazlaştırmış ve elde edilen sentez gazı analiz edilerek ısı verimlerin karşılaştırmalarını yapmıştır. Belirlenen zaman aralıklarında eşdeğerlik oranı, özgül gazlaştırma oranı, özgül gaz üretim oranı ve gazlaştırma verimi hesaplamalarını yapmıştır.

Kayısoğlu vd. (2016), yapmış oldukları çalışmalarında çetik saplarını farklı katkı maddeleriyle peletleyerek sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırmışlardır. Kor bölgesindeki sıcaklığın 800 °C'yi aşması durumunda camlaşma olayının başladığını saptamışlardır. Karıştırma işleminin çeltik sapının gazlaştırılmasında olumlu sonuç vermediğini gözlemişlerdir. Çeltik saplarının gazlaştırılmasında elde edilen sentez gazının verimlerini karşılaştırmışlar ve performans parametreleri olarak; en yüksek ve en düşük alt ısı değer,

eşdeğerlik oranı, tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı ve gaz üretim oranı hesaplamalarını yapmışlardır.

Dhaundiyal vd. (2016), bu çalışmada gazlaştırmayı sağlayan boğazsız gazlaştırma reaktörün performans parametrelerini ele almışlardır. Termal gazlaşma, tasarım ve ekonomik yönler kapsamında bu çalışmayı yapmışlardır. Testte himalaya çam iğnelerini kullanmışlardır, katran ve toz içeriklerini ölçmek için izokinetik olmayan bir örnekleme tekniği kullanmışlardır. Performans değerlendirmesi olarak, belirlenen zaman aralıklarında yakıt tüketim hızı, belirlenen tasarıma göre özgül gazlaştırma oranı, gazlaştırma hızı, ısı değerler, gazlaştırma verimi olarak sıcak ve soğuk gaz verimi hesaplamalarını yapmışlardır.

Aktaş vd. (2017), Trakya bölgesinde yetiştirilen çeltik bitkilerin hasattan sonra kalan sapları gazlaştırılarak, enerji içerikleri değerlendirmeleri için laboratuvar tipi gazlaştırıcı tasarlamışlar ve imalatını yapmışlardır. Çalışmada yüzde yüz sap ve yüzde 15 kömür karıştırılarak peletlemişler ve performans analizlerini yapmışlardır. Gazlaştırma denemelerinde elde ettikleri sonuçlarda, kömür katkısının çeltik sapı peletleri için sentez gaz ısı değerini arttırdığı ancak özgül gazlaşma hızının da artmasıyla verime etkisinin olumsuz olduğunu gözlemişlerdir. Analizlerde belirlenen zaman aralıklarında alt ısı değer, özgül gazlaştırma oranı ve verim hesaplamalarını yapmışlardır.

Rouboa vd. (2017), yapılan çalışmada AspenPlus simülatörü kullanılarak biokütle plazma gazlaştırmayı simüle etmek için proses modeli geliştirmişler. Eş değeri oranı (ER) ve buhar-biokütle oranı gibi kritik performans parametreler yakıt gazı bileşimi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Modeli deneysel verilere göre doğrulamışlardır. Düşük sıcaklıkların hidrojen üretimi için daha uygun olduğunu, yüksek eşdeğerlik oranının ise hidrojen üretimi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu sonucuna varmışlardır.

Makaringe (2017), master çalışmasında organik atık olarak şeftali çekirdeği, çam ağacı, bambu ve napier otu olmak üzere 4 organik atık ve kimyasal atık örneği lityum hekzaflorofosfat örneğini incelemiştir. Gazlaştırma çalışmasından önce organik atıklar üzerinde termogravimetrik ve fourier kızılötesi analizleri yapmıştır. Analizlerde organik atık tüketim hızı, alt ve üst ısı değer, eşdeğerlik oranı ve gazlaştırma verimlerini bulmuşlardır.

Dalmış vd. (2017), bu çalışmalarında mekanik karıştırıcılı bir prototip aşağı yönlü boğazsız gazlaştırıcı tasarlamışlardır. Eşdeğerlik oranını belirleyip, yakıt tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı, gaz üretim oranı, soğutma verimi ve ısıtma değerlerini

hesaplamışlardır. Peletler aynı eşdeğerlik oranı 0,2 olan iki farklı hava akışı yolu kullanılarak gazlaştırmışlar ve bunları karşılaştırmışlardır. Üstten hava girişi, tüyerlerden hava girişine göre daha iyi sonuçlar gösterdiği gözlenmiştir.

Diken (2017), Yüksek lisans tezinde gazlaştırma sisteminde karbon içeren kömür, petrol, biokütle ve katı atık gibi hidrokarbonlu yakıtların kısmi oksidasyonu ile CO, H₂, CO₂ ve CH₄ gibi gazlara dönüştürme işlemi yapmıştır. Gazlaştırma performansı olarak; belirlenen eşdeğerlik oranlarında ve zaman aralıklarında kor bölgesinde 700-800 °C sıcaklıklarda alt ısı değer, biokütle besleme hızı, gaz çıkış hızı, özgül gazlaştırma oranı ve gazlaştırma verimi hesaplamalarını yapmıştır.

Kumar vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada organik atıkların bertarafı için DC tipi plazma torç kullanılarak plazma gücünün ve eş değerlik oranının gaz bileşimi üzerindeki etkisini çalışmışlardır. Plazma gazlaştırma ile ilgili deneysel denemeler yapmışlardır ve üretilen gazın bileşimini analiz etmişlerdir. Denemelerden elde edilen sonuç, üretilen gazın maksimum ısıtma değerinin, daha yüksek plazma gücü 21,6 kW ve daha düşük eşdeğerlik oranı 0,1 olduğu durumda 5,75 MJ.m⁻³ olduğunu gözlenmiştir.

Akhator vd. (2019), bu çalışmalarında aşağı çekişli gazlaştırıcının tasarımını ve testlerini yapmışlardır. Gazlaştırıcının kapasitesini belirleyerek, performans testleri olarak özgül gaz üretim hızı ve biokütle akış hızını deneysel verileri kullanarak hesaplamışlardır. Gazlaştırma işlemi için odun yongalarını kullanmışlardır. Üretilen sentez gazının sadece yemek pişirmek için değil, aynı zamanda elektrik üretmek için içten yanmalı motorlarda da güvenle kullanılabileceğini yapmış oldukları çalışmayla göstermişlerdir.

Lanh vd. (2019), pirinç kabuğu için gazlaştırıcı tasarlamışlar, test etmişler ve üretimini yapmışlardır. Aşağı çekişli gazlaştırıcıda, 5 farklı belirlenen eşdeğerlik oranlarında düşük ısıtma değeri, özgül gazlaştırma oranı ve termal verimlilik hesaplamaları yapmışlardır. Eşdeğerlik oranı arttıkça özgül gazlaştırma oranının da arttığı sonucuna varmışlardır.

Sesotyo vd. (2019), Endonezya jatibarang atık sahasında katı atıkların bertarafı için ark plazma gazlaştırma modellemesi yapmışlardır. Sentez gazı bileşimi, reaksiyon için gereken enerjiyi ve CO₂ emisyonu üzerinde çalışma yaparak, en yüksek hidrojeni en yüksek verimi ve düşük emisyonu elde etmek için önemli parametreler geliştirmişlerdir.

Tamošiūnas vd. (2019), 42-69 kW gücünde doğru akım termal ark plazma kullanarak atık gliserol den sentez gazı üretmek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Su buharı ve hava şeklinde iki gazlaştırma ortamı kullanmışlardır. Plazma reaktör kapasitesini 36 kg.sa⁻¹ 'a kadar çıkarmışlardır. H₂/CO oranı, H₂ ve CO verimi, enerji dönüşüm verimliliği,

karbon dönüşüm verimi ve özgül enerji gereksinimi gibi deneysel performans parametrelerini dikkate alarak prosesi değerlendirmişlerdir.

Kuo vd. (2020), plazma gazlaştırma tekniği ile üç farklı gazlaştırma ortamı (hava, buhar ve CO₂) kullanarak ham madde atıklarının gazlaştırılması işleminin termodinamik analizini yapmışlardır. Kirletici emisyonlar, plazma enerjisi, sentez gazı üretim oranı ve plazma gazlaştırma verimi gibi çeşitli performans parametrelerini incelenmişlerdir.

Messerle vd. (2020), Odun atıklarının plazma gazlaştırılması ile ilgili termodinamik hesaplamalar ve deneyler yapılmıştır. Termodinamik hesaplamalar için bir program kullanarak tarımsal atıkların plazma geri dönüşümü üzerine deneyler yapmışlardır.

Awais vd. (2020), katı biokütleden yanıcı gaz dönüştürme işlemi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Aşağı çekişli gazlaştırıcı tasarımını ve üretimini yapmışlardır. Gazlaştırma işlemi için katı biokütle olarak şeker kamışı küspesi ve Hindistan cevizi kabuklarını kullanarak deneysel çalışma yapmışlardır. Eşdeğerlik oranı, sentez gaz bileşimi ısıtma değeri, sentez gaz verimi, gazlaştırma verimi ve katran içeriği üzerinde değerlendirme yapmışlardır.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Model	Singh vd., 2004.	Belediye atıklarını kullanarak, hava üfleme sabit yataklı gazlaştırıcı üzerinde kütle, enerji ve çöp gazlaştırma sisteminin performansı özelliklerini karşılaştırmışlardır.
	Singh vd., 2006.	Kaju fıstığı kabuğunun yakıt özelliklerini dikkate alarak aşağı çekimli gazlaştırıcı için fizibilite çalışması yapmışlardır.
	Jain vd., 2007.	Biyokütlenin sabit yataklı gazlaştırıcılarda gazlaştırılmasını araştırmışlar ve sistemlerin geliştirilmesi için ticari uygulamaları incelemişlerdir.
	Lubwama, 2010.	Tarımsal kalıntılar kullanılarak sabit yataklı gazlaştırıcının performans parametrelerini araştırmıştır.
	Martinez vd., 2011.	İki hava besleme aşamasına sahip aşağı çekimli reaktörde bir odun biyokütlesinin gazlaştırmasına ilişkin deneysel analiz yapmışlardır.
	Arena, 2011.	Belediye atıkları için reaktörlerin karşılaştırmalı çevresel performans analizini yapmıştır.
	Hinsui vd., 2014.	Katı Atıkları bir plazma torçunda gazlaştırma işlemiyle enerji üretimi için kullanıp kullanılmayacağı üzerine araştırma yapmışlardır.
	Rajan vd., 2015.	Paket yataklı reaktörlerde ön yayılma hızı ve gaz kalitesindeki değişimi incelemek için üstten açık aşağı çekimli biyokütle gazlaştırıcıda deneysel araştırma yapmışlardır.

Tablo 1(devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Analitik Model	Kayısoğlu vd., 2016.	Çeltik saplarını farklı katkı maddeleriyle peletleyerek sabit yataklı gazlaştırıcıda gazlaştırarak sistem verimini ve performans parametrelerini incelemişlerdir.
	Makaringe, 2017.	Şeftali, çam ağacı, bambu ve napier otu olmak üzere 4 organik atık ve kimyasal atık örneği lityum hekzaflorofosfat'ın gazlaştırılmasını incelemiştir.
	Diken, 2017.	Karbon içeren kömür, petrol ve katı atıkları gazlaştırma ile CO, H ₂ ve CH ₄ gazlara dönüştürme işlemini yapmış ve gazlaştırma performanları ile gazlaştırma verimini hesaplamıştır.
	Kumar vd., 2018.	Organik atıkların bertarafı için doğru akım tipi plazma torç kullanılarak plazma gücünü ve eşdeğerlik oranının gaz bileşimi üzerindeki etkisi üzerine bir gazlaştırma çalışması yapmışlardır.
	Awais vd., 2020.	Katı biyokütle bileşenlerini elektrik üretiminde kullanılabilecek yanıcı gaz dönüştürme işlemi üzerinde çalışmalar yapmışlardır.
Deneysel Çalışma	Tiangco vd., 1996.	16-30 cm reaktör çaplarında statik yataklı pirinç kabuğu gazı üreticileri için optimum spesifik gazlaştırma oranı ve soğuk gaz veriminin deneysel tespitini yapmışlardır.
	Zainal vd., 2001.	Aşağı çekişli bir gazlaştırıcıda mobilya ve odun yongalarını kullanarak gazlaştırma sürecini tahmin etmek için deneysel inceleme yapmışlardır.

Tablo 1(devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Deneysel Çalışma	Midilli vd., 2002.	Arıtma çamurunu gazlaştırma ile temiz gaz üretmek ve yüksek verimlilikte yanıcı - temiz gaza dönüştürmek için deneysel çalışma yapmışlardır.
	Lv vd., 2004.	Akışkan yataklı reaktörde biokütle gazlaştırma özelliklerini incelemişlerdir ve reaktör sıcaklığı, buhar/biokütle oranı (S/B), eşdeğerlik oranı (ER) ve parçacık boyutunun gaz bileşimi, gaz verimi, buhar ayrışma, düşük ısıtma değeri üzerindeki etkilerini araştırmak için deneyler yapmışlardır.
	Midilli vd., 2004.	Deri kalıntılarını aşağı çekişli gazlaştırıcı tekniğini kullanılarak yanıcı gazlara dönüştürmek için deneysel çalışma yapmışlardır.
	Gang vd., 2007.	Evsel katı atıklar için gazlaştırma teknolojisi geliştirmek için iki ön deney ve bir prensip entegre deneysel çalışması gerçekleştirmişlerdir.
	Ketjoy vd., 2007.	Odun yongalarını aşağı çekişli gazlaştırıcıda gazlaştırarak elektrik üretmek için deneysel çalışma yapmışlardır.
	Babu vd., 2009.	Mobilya yapımı sırasında oluşan atıkları, aşağı çekişli gazlaştırıcı kullanılarak biyokütle gazlaştırma deneyleri yapmışlardır.
	Striugas vd., 2014.	Prosess performanslarını karşılaştırmak için farklı atık türlerinin kullanıldığı aşağı çekişli reaktöründe deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Termodinamik Model	Tamošiūnas vd., 2019.	Doğru akım termal ark plazma kullanılarak atık gliserolün gazlaştırmasının araştırması için deneysel çalışmalar yapmışlardır.
	Zhang vd., 2013.	Plazma gazlaştırma teknolojilerinin avantajlarını ve sınırlamalarını değerlendirmek için termodinamik analiz yapmışlardır.
	Materazzi vd., 2015.	Katı atıkları temiz sentez gazına dönüştürmek için iki aşamalı bir akışkan reaktör plazma gazlaştırma sisteminin termodinamik değerlendirmesini yapmışlardır.
	Messerle vd., 2016.	Kentsel katı atıkları hava ve buhar ortamlarında plazma gazlaştırma işlemi için termodinamik performans hesaplamaları yapmışlardır.
	Kuo vd., 2020.	Hava, buhar ve CO ₂ kullanarak ham madde atıklarının plazma gazlaştırılması ile termodinamik analizini incelemişlerdir.
	Messerler vd., 2020.	Odun atıkların plazma gazlaştırma ile ilgili termodinamik hesaplamalar yapmışlardır.
T.kimyasal Model	Lavaee, 2013.	Belediye atıklarının plazma destekli gazlaştırılması için incelemeler yapmıştır. Deney düzeneğinde termokimyasal model geliştirmişlerdir.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Denge Modeli	Achinas vd., 2013.	Organik atıkların bertarafı için plazma gazlaştırma modeli tasarlamışlar ve sistemin verimliliğini incelemişlerdir.
	Sesotyo vd., 2019.	Atık sahasında ark plazma teknolojisine dayalı plazma gazlaştırma denge modeli geliştirmişlerdir.
Simülasyon	Rouboa vd., 2017.	Plazma gazlaştırmayı simüle etmek için proses modeli geliştirmişlerdir. Eşdeğerlik ve buhar/biokütle oranını araştırmışlardır.
Sayısal Model	Gautam, 2010.	Çeşitli parametrelerin aşağı çekişli gazlaştırıcıdaki etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmış ve çalışmalarını matematiksel model ile desteklemişlerdir.
	Zhang vd., 2011.	Kentsel katı atıklarında bertarafı için sabit yataklı plazma gazlaştırma ile atıkların imhası için matematiksel modeller geliştirmişler ve plazma gazlaştırma teknolojisini analiz etmişlerdir.
	Zhang vd., 2012.	Plazma gazlaştırma işleminin performansını tahmin etmek için yarı deneysel sayısal model geliştirmişlerdir.
Tasarım	Reed vd., 1988	Odun talaşları ve saman peletlerinin gazlaştırma işlemi için aşağı çekişli gazlaştırma sistemi tasarımı ve imalatını yapmışlardır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Tasarım	Jain vd., 2000	Pirinç kabuğu gazlaştırmak için dört farklı iç çapa sahip reaktör tasarlamışlar ve performans özellikleri üzerine testler yapmışlardır.
	Belonio, 2005.	Pirinç kabuğunun gazlaştırılması için üç farklı gazlaştırma sistemi tasarımını yapmıştır.
	Jain, 2006.	Beş açık çekirdekli boğazsız yığın beslemeli pirinç kabuğu gazlaştırıcı reaktör tasarlamış ve imal etmiştir.
	Ramirez vd., 2007.	Pirinç kabuğu gazlaştırmak amacıyla pilot ölçekte akışkan yataklı gazlaştırıcı tasarımı için bir yöntem geliştirmişlerdir.
	Bhoi vd., 2008.	Modüler tasarımlı 125 kg.h ⁻¹ biokütle gazlaştırıcı geliştirmişler ve test etmişlerdir.
	Yinesor, 2008.	Sabit yataklı gazlaştırma sistemi tasarlamış, imal etmiş ve çalıştırmıştır.
	Rathore vd., 2009.	Endüstriyel proses ısı uygulaması için biyokütle bazlı açık çekirdekli aşağı çekişli gazlaştırıcının tasarımını yapmışlardır.
	Tamošiūnas vd., 2011.	Doğrusal doğru akım (DC) plazma jeneratörü tasarlamışlardır.
	Olgun vd., 2011.	Tarım ve orman atıklarını gazlaştırmak için küçük ölçekli sabit yataklı aşağı çekişli gazlaştırma sistemini tasarlamışlar ve inşa etmişlerdir.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Tasarım	Varshney vd., 2011.	Briket esaslı kapalı üstten boğazsız aşağı çekişli gazlaştırıcı tasarımı yapmışlardır.
	Ojolo vd., 2012.	Laboratuvar ölçekli gazlaştırma sistemini talaş ve hurma çekirdeği üzerinde test edilecek şekilde tasarlamışlardır.
	Konda vd., 2014.	Atık palmiye yapraklarını değirmen kazanlarında elektrik üretimi için 50 kW'lık yukarı yönlü sabit yataklı bir gazlaştırıcının tasarımını yapmışlardır ve üretmişlerdir.
	Tuğ, 2016.	Pirinç samanının gazlaştırılması için sabit yataklı aşağı çekişli boğazsız gazlaştırıcı prototipi tasarlamıştır.
	Dhaundiyal vd., 2016.	Gazlaştırmayı sağlayan reaktörün performans parametreleri ele almışlardır. Termal gazlaşma, tasarım ve ekonomik olarak üç işlemde çalışma yapmışlardır.
	Aktaş vd., 2017.	Çeltik saplarını gazlaştırılarak, enerji içeriklerinin değerlendirmeleri için laboratuvar tipi gazlaştırıcı tasarımı yapmışlardır.
	Dalmış vd., 2018.	Pirinç samanları peletlerinin gazlaştırılması için mekanik karıştırıcılı bir prototip aşağı yönlü boğazsız gazlaştırıcı tasarlamışlardır.
	Akhator vd., 2019.	Odun yongalarının gazlaştırılması için aşağı çekişli gazlaştırıcı tasarımını ve testlerini yapmışlardır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Tasarım	Lanh vd., 2019.	Aileler için ev pirinç kabuğu gazlaştırıcı tasarlamışlar, test etmişler ve üretimini yapmışlardır.

1.5. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı

Bu tez çalışmasının literatürden farkı; soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırılmasıdır. Ayrıca, literatürde plazma gazlaştırma sisteminin performans parametrelerini tümüyle ele alan herhangi bir çalışmanın olmaması da çalışmanın bir diğer orijinalitesini ortaya koymaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışması kapsamında, plazma konik reaktörde organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan teorik çalışmalar detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Teorik çalışmalar kısmında ark plazma gazlaştırma sisteminin deneysel çalışma prensibi, genel kabuller ve sistemdeki etkili büyüklükler sunulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan ölçüm cihazları, gazlaştırma sisteminin performans parametreleri ve organik çöpün elemental analizlerinden söz edilmiştir. Sisteme 25 kg organik çöp yüklenerek 3 test deneyi ve 3 performans deneyi gerçekleştirilmiştir. İyileştirmeler ark plazma torç ve reaktör kısmında yapılmış olup TÜBİTAK tarafından desteklenen 117M436 nolu proje kapsamında anlatılmıştır. Bu çalışma TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında gerçekleştirildiğinden, plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel verileri bu projeden alınmıştır (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020).

2.2. Teorik Çalışmalar

Bu tez çalışmasının teorik çalışmalar kısmı; çalışmayla ilgili genel kabuller, sistemdeki etkili büyüklükler ve sistemin deneysel çalışma prensibi dikkate alınarak hazırlanmıştır.

2.2.1. Genel Kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, dikkate alınan kabuller aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Bu tez çalışmasında kullanılan deneysel veriler, TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında yapılan çalışmalardan alınmıştır.
- Tez kapsamında yapılan hesaplamalar çöpün yaşbaz değerleri alınarak gerçekleştirilmiştir.
- Performans parametre hesaplamalarında ve karşılaştırmalarında yapılan

deneysel çalışmalarda en düşük test deneyi ile en yüksek performans deneyi dikkate alınmıştır.

- Plazma gazlaştırma sisteminde performans parametrelerinin hesaplanması için bileşimine ve nem içeriğine bağlı olarak 25 kg organik çöp kullanılmıştır.
- Deneylerde kullanılan organik çöp içeriği, %20 bahçe atığı, %20 karton atığı, %20 odun atığı, %20 plastik atığı ve %20 tekstil atığından oluşmaktadır.
- Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin deneysel araştırılmalarda kullanılan organik çöpü oluşturan her bir bileşenin elemental analizi özel bir firmaya gönderilerek yaptırılmıştır.
- Singaz bileşiminde bulunan hidrojen, karbonmonoksit ve metanın alt ve üst ısı değerleri 1 atm basınç ve 0 °C sıcaklık için literatürden alınmıştır (Waldheim ve Nilsson 2001);

2.2.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler

Soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans analizleri için kullanılan etkili büyüklükler; i-) sabit büyüklükler, ii-) ölçülen büyüklükler, iii-) hesaplanan büyüklükler olarak üç farklı alt başlık altında sunulmuştur.

2.2.2.1. Sabit Büyüklükler

Tez çalışmaları kapsamında, ele alınan organik çöp gazlaştırma sistemin performans parametrelerinin deneysel araştırılması için gerekli olan sabit büyüklükler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Sabit büyüklükler

Sabit Büyüklükler	Birim	Değer	Referans
Havanın Yoğunluğu(ρ)	kg.m ⁻³	1,225	Uluslararası Standart Atmosfer(ISA), 2011
Özgül Isı(C_p)	kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹	1,26	Perry vd., 1984

2.2.2.2. Ölçülen Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında, organik çöp gazlaştırma sisteminin farklı noktalarından ölçülmesi gereken büyüklükler vardır. Bu büyüklükler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Ölçülen büyüklükler

No	Parametre Adı	Birimi	Ölçüm Yöntemi
1	Organik çöp miktarı	kg	Hassas terazi
2	Plazma torç jeneratör enerji sarfıyatı	kWh	Elektrik sayacı
3	Plazma torç akım	Amper	Pens ampermetre
4	Plazma torç gerilim	Volt	Multimetre
5	Plazma torç argon, su buharı ve hava debisi,	kg.s ⁻¹	Debi hesabı
6	Plazma torç hava basıncı	barg	Hava regülatörü
7	Plazma torç argon basıncı	barg	Argon regülatörü
8	Plazma torç kızgın buhar basıncı	barg	Basınç göstergesi
9	Torç soğutma suyu debisi	kg.s ⁻¹	Cihaz debimetre
10	Torç soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları	°C	termometre
11	Konik reaktör dış yüzey sıcaklığı	°C	İnfrared termometre
12	Konik reaktör iç sıcaklığı	°C	hesaplandı
13	Gaz soğutma sistemi gaz giriş, çıkış sıcaklıkları, konik reaktör gaz çıkış sıcaklığı	°C	Termocouple
14	Gaz soğutma sistemi su debisi	ton.h ⁻¹	Su sayacı
15	Fan elektrik sarfıyatı, Çiller elektrik sarfıyatı, Vidalı kompresör elektrik sarfıyatı, Kızgın buhar jeneratörü elektrik sarfıyatı, Su sirkülasyon pompaları	kWh	Elektrik sayacı
16	Atığın reaktörde kalma süresi, Gazlaşma başlama süresi	dak	Kronometre
17	Reaktörde kullanılan argon ve su buharı debisi	kg.s ⁻¹	Debi hesabı
18	Besleme kolonu su giriş-çıkış sıcaklığı ve basıncı	°C	Kolektör göstergesi
19	Çevre basıncı	barg	Barometre
20	Çevre sıcaklığı	°C	Termometre
21	Çevre nemi	%	Higrometre

2.2.2.3. Hesaplanan Büyüklükler

Bu tez kapsamında hesaplanan büyüklükler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Hesaplanan büyüklükler

Hesaplanabilen Büyüklük	Anlamı	Birim
FCR	Organik Çöp Tüketim Hızı	kg.saat ⁻¹
t _{TOP}	Toplam Çalışma Süresi	Dakika
SGR	Özgül Gazlaştırma Oranı	kg.m ⁻² .saat ⁻¹
GH	Gazlaştırma Hızı	m.saate ⁻¹
GBÖ	Gazlaştırma Bölgesi Oranı	-
E _{ÇÖP}	Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı	MJ.saate ⁻¹
E _{GAZ}	Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı	MJ.saate ⁻¹
ER	Eşdeğerlik Oranı	-
PEÖ	Plazma Enerji Oranı	%
HBKO	Hava Buhar Kütle Oranı	%
HAKÖ	Hava Argon Kütle Oranı	%
η_{SICGAZ}	Sıcak Gaz Verimi	%
$\eta_{SOĞGAZ}$	Soğuk Gaz Verimi	%
η_{GAZ}	Isıl Verim	%

2.3. Deneysel Çalışmalar

2.3.1. Giriş

Ark plazma gazlaştırma deneyleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Makine Mühendisliği Plazma Gazlaştırma Laboratuvarında TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında kurulan ark plazma gazlaştırma sisteminde gerçekleştirildi (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020). Ark plazma gazlaştırma deneylerinde hammadde olarak belediyeye ait organik katı atıklar kullanıldı. Organik katı atıklar; karton-kağıt, odun atıkları, plastik atıkları, bahçe atıkları, tekstil atıklarından oluşmaktadır. Deneyler aşağıdaki deneysel araştırma parametreleri dikkate alınarak yapıldı. Test deneylerinde en verimsiz durum ile performans deneylerinde en verimli durum karşılaştırması sistem

performans parametreleri üzerinden yapıldı.

2.3.2. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları Şekil 1’de gösterildi. Kızgın buharın, soğutma suyunun sıcaklık ve basıncı hatlar üzerine yerleştirilen basınç sıcaklık probları yardımıyla ölçüldü. Basınçlı kuru havanın debisi ve basıncı hat üzerinde yerleştirilen regülatörden ölçüldü. Diğer basınçlı gazların (argon, vb.) sıcaklık, debi ve basınçları hatlar üzerinde bulunan orijinal ölçüm cihazları yardımıyla ölçüldü.



Şekil 1. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan manuel ölçüm cihazları

2.3.3. Organik Çöpün Elemental Bileşimi

Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan organik çöpü oluşturan her bir bileşenin elemental analizini hizmet alım yoluyla özel bir firmaya yaptırmıştır. Tahmini analiz (Proximate analysis) ve elemental analiz (Elemental Analysis) kapsamında, bahçe atığı, karton atığı, odun atığı, plastik atığı ve tekstil atığı içeren organik çöplerin toplam nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt, sabit karbon, alt ısı değeri, üst ısı değeri, hidrojen, oksijen, azot, karbon, gerçek yoğunluk, bulk yoğunluğu değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, analiz sonuçları Tablo 5’te ayrıntılı olarak sunulmuştur.

2.3.4. Deneylerde Kullanılan Organik Çöp Analizi

Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin deneysel araştırılmalarda kullanılan organik çöp oluşturan her bir bileşenin elemental analizi özel bir fımaya gönderilerek yaptırılmıştır. Deneylerde kullanılan organik çöp içeriği, %20 bahçe atığı, %20 karton atığı, %20 odun atığı, %20 plastik atığı ve %20 tekstil atığından oluşmaktadır. Deneylerde kullanılan organik çöpün analizine ait veriler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Deneylerde kullanılan organik çöp bileşenlerine ait elemental analiz değerleri

Parametre	Birim	Bahçe Atığı		Karton atığı		Odun atığı		Plastik atığı		Tekstil atığı	
		YB	KB	YB	KB	YB	KB	YB	KB	YB	KB
Top. Nem	%	56,53	-	9,38	-	13,44	-	1,06	-	2,78	-
Kül	%	2,96	6,80	10,22	11,27	0,33	0,38	20,05	20,26	0,50	0,51
Uç. Madde	%	34,50	79,36	72,44	79,94	73,03	84,36	85,62	86,53	86,61	89,09
Top. Kükürt	%	0,24	0,56	0,08	0,09	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01
Alt Isıl Değ.	MJ.kg ⁻¹	6,8	18,64	12,93	14,51	14,83	17,49	33,08	33,47	19,11	19,72
Üst Isıl Değ	MJ.kg ⁻¹	8,65	19,91	14,20	15,67	16,24	18,76	35,07	35,45	20,55	21,14
Hidrojen	%	0,77	1,77	4,07	4,49	3,83	4,42	9,41	9,51	6,39	6,57
Oksijen	%	16,03	36,86	35,98	39,70	37,49	43,31	0	0	24,69	25,39
Azot	%	0,65	1,48	0,17	0,19	0,13	0,15	0,20	0,20	0,84	0,86
Karbon	%	22,83	0,56	40,11	44,26	44,78	51,73	71,70	72,47	64,81	66,66
Reel Yoğ.	kg.m ⁻³	-	1080	-	60	-	990	-	1000	-	940
Bulk Yoğ.	kg.m ⁻³	160	-	36	-	160	-	484	-	104	-
Sbt karbon	%	6,02	13,84	7,97	8,79	13,21	15,26	0	0	10,12	10,41

2.3.5. Sistemin Deneysel Çalışma Prensibi

TÜBİTAK 117M436 nolu projenin temel amacı doğrultusunda, soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin deneysel

performans çalışmaları sırasında izlenen çalışma prensibi aşağıda maddeler halinde sıralandı. Ark plazma gazlaştırma işleminin deneysel iş akışı (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020) Şekil 2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Deneyler başlangıcında genel olarak aşağıdaki kontroller yapıldı.

Deneyler başlangıcında yapılanlar;

1. Sistemde bulunan bütün cihazlar kontrol edilir ve hatlar üzerindeki vanalar açıldı.
2. Eriyik haznesinin suyu kontrol edildi.
3. Reaktör gazlaştırma bölgesinde boğazın (throat) üzerinde bulunan izgaranın (grate) deliklerinin açık olduğu kontrol edildi.
4. Ark plazma gazlaştırma sisteminde kullanılacak olan organik çöp tartıldı, sistemin üst kısmında bulunan besleme haznelerine dolduruldu ve konik reaktör organik çöple dolduruldu.
5. Fan, çiller, buhar jeneratörü, kompresör ve torç jeneratörü çalıştırıldı.
6. Ark plazma gazlaştırma torçu konik reaktörün içine yerleştirildi.
7. İlk 5-7 dakikadan sonra sistem yüksek sıcaklığa ulaştı ve ark plazma gazlaşma işlemi başlatıldı.

Deneyler sırasında yapılanlar;

1. Ark plazma gazlaştırma sisteminde bulunan cihazlar onar dakika arayla kontrol edildi.
2. Sistem üzerinde bulunan ölçüm noktalarından ölçümler manuel olarak alındı.
3. Çiller üzerinde bulunan ark plazma gazlaştırma torçunun dönüş suyu kontrol edildi.
4. Ark plazma gazlaştırma torçunun gövde sıcaklığı kontrol edildi.
5. İlk 20 dakikadan sonra reaktör içerisine kısmen su buharı ve argon enjekte edildi.
6. Ark plazma gazlaştırma sisteminin baca fanı kontrol edildi.
7. Fan çıkışına yerleştirilen gaz gözetleme camından gaz çıkışı kontrol edildi ve soğutma ünitesinin içindeki gaz akışı kontrol edildi.
8. Fan altına yerleştirilen tar vanası açılıp tar boşaltıldı (Deneylere başladıktan ilk 5 dakika içinde).
9. Eriyik toplama haznesinin üzerinde bulunan gözetleme camından buhar oluşumu kontrol edildi.
10. Konik reaktör üzerinde bulunan gözetleme camından reaktör içerisindeki atığın

davranışı gözlemlendi.

11. Ark plazma gazlaştırma torçu, konik reaktör içindeki atık tükendikten 5 dakika sonraya kadar çalıştırıldı.
12. Soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminde gerçekleşen prosesler sürekli rejimde olacağından işlemler sırasında ölçümler manuel olarak yapıldı.



Şekil 2. Ark plazma gazlaştırma işleminin deneysel akış şeması (a) Organik çöp temini, (b) Organik çöplerin besleme haznelere doldurulması, (c) Ark plazma torçun ayarlanması, (ç) Ark plazma torçun sisteme yerleştirilmesi, (d) Ark plazma gazlaştırma sisteminin çalıştırılması, (e) Üretilen singazın soğutulması, (f) Singazın debi ölçümü, (g) Singazın bileşiminin belirlenmesi, (ğ) Temiz singazın testi, (h) Sistemin kapatılması, (i) Ark plazma torçun sisteme taşınması, (ı) Ark plazma torçun sisteme yerleştirilmesi, (j) Konik reaktör içinin testi, (k) Gazlaştırma bölgesindeki ızgaranın kontrolü

3. PERFORMANS PARAMETRELERİ

3.1. Giriş

Organik çöpün özelliği ve üretilecek gazın hangi amaçla kullanılacağına göre organik çöp gazlaştırma sisteminin seçimi ve boyutlandırılması yapılır ve performans parametreleri belirlenir. Ancak, bu kadar çok plazma çöp gazlaştırıcı sisteminin olmasına ve gazlaştırıcıların uzun süredir bilinmesine rağmen hangi tip organik çöpün hangi tip gazlaştırıcıda daha verimli sonuç vereceği şu zaman kadar net bir şekilde nitelendirilememiştir. Gazlaştırıcı performans parametreleri belirlerken birçok konu ele alınması gerekmektedir. Organik çöpün özellikleri, organik çöpün miktarı, besleme akımlarının soğutma durumu, plazma gazlaştırma sisteminin özellikleri, gazlaştırmada besleme durumu, gazlaştırma süresi, gazlaştırma sisteminin hangi amaçlarla ve nerede kullanılacağı gibi bütün sistem göz önüne alınarak performans parametrelerinin belirlenmesi başarılı sonuçları beraberinde getirecektir. Bu tez kapsamında kullanılan performans parametreleri ayrıntılı olarak aşağıda sunulmuştur.

3.1.1. Gazlaştırma Başlangıç Zamanı

Bu parametre literatürde start-up zamanı olarak kullanılmıştır (Belonio, 2005). Bu tez çalışmasında start-up zamanı yani gazlaştırma başlangıç zamanı: sistem çalışmaya hazır hale getirdikten sonra plazma torçun ateşlenmesiyle gaz çıkışının başladığı ana kadar geçen süre şeklinde tanımlanmıştır.

Test çalışmaları ve performans çalışmaları için zaman ölçer (kronometre) ile ayrı ayrı ölçülmüştür.

3.1.2. Çalışma Süresi (t)

Çalışma süresi, sistem çalışmaya başladıktan sonra organik atıklardan gaz çıkışının başladığı andan sonlandığı ana kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile reaktör içerisindeki organik atıkların tamamen gazlaştırılması için gereken süreyi ifade eder (Belonio, 2005).

Test çalışmaları ve performans çalışmaları için zaman ölçer (kronometre) ile ayrı ayrı ölçülmüştür.

3.1.3. Toplam Çalışma Süresi (t_{TOP})

Ark plazma gazlaştırma sisteminin toplam çalışma süresi, torçun çalışmaya başladığı süre ile gaz çıkışının sona erdiği süre arasındaki zaman dilimidir. Genel olarak başlangıç zamanı ile çalışma süresinin toplamıdır (Belonio, 2005).

$$t_{TOP} = t + \text{Gazlaştırma Başlangıç Zamanı} \quad (1)$$

(1) Nolu denklemde; t_{TOP} , toplam çalışma süresi (dakika); t , çalışma süresi (dakika); gazlaştırma başlangıç zamanı, başlangıç zamanı (dakika) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.4. Organik Çöp Tüketim Hızı (FCR)

Organik çöp tüketim hızı, plazma konik reaktörün bir operasyon boyunca tükettiği organik atık miktarının çalışma süresine oranıdır. Aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Belonio, 2005).

$$FCR = \frac{\text{Çöp Miktarı (kg)}}{\text{Deney Süresi (saat)}} \quad (2)$$

(2) Nolu denklemde; FCR, çöp tüketim hızı (kg.saat^{-1}); m , çöp miktarı (kg); t , deney süresi (saat) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.5. Özgül Gazlaştırma Oranı (SGR)

Özgül gazlaştırma oranı; birim zamanda birim gazlaştırma yüzey alanından gazlaşan yakıt miktarıdır. Reaktörün performansını belirleyen önemli parametrelerden birisidir (Jain, 2006). Özgül gazlaştırma oranı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$SGR = \frac{\text{Gazlaştırılan çöp miktarı (kg)}}{\text{Reaktör gazlaştırma bölgesi kesit alanı (m}^2\text{)} * \text{Gazlaştırma süresi (saat)}} \quad (3)$$

(3) Nolu denklemde; SGR, özgül gazlaştırma oranı ($\text{kg.m}^{-2}.\text{saat}^{-1}$); m, Gazlaştırılan çöp miktarı (kg); t, gazlaştırma süresi (saat); A, gazlaştırma bölgesi kesit alanı (m^2) olarak dikkate alınmıştır.

$$A = \frac{\pi.D^2}{4} \quad (4)$$

(4) Nolu denklemde A, gazlaştırma bölgesi kesit alanı (m^2); D, reaktör çapı (m^2).

3.1.6. Gazlaştırma Hızı (GH) ve Gazlaştırma Bölgesi Oranı (GBO)

Gazlaştırma hızı; gazlaştırma bölgesinin reaktörden aşağıya doğru hareket etmesi için gereken süredir (Belonio, 2005).

$$GH = \frac{\text{Reaktördeki çöpün yüksekliği(m)}}{\text{Gazlaştırma Süresi(saate)}} = \frac{L_{\text{ÇÖP}}}{t_{\text{gazlaştırma (saate)}}} \quad (5)$$

(5) Nolu denklemde GH, gazlaştırma hızı (m.saat^{-1}); L, reaktördeki çöpün yüksekliği (m); t, gazlaştırma süresi (saat) olarak dikkate alınmıştır.

Gazlaştırma bölgesi oranı; gazlaştırmanın başladığı boğumdaki kesit alanının (GBKA) reaktör üst kesit alanına (RÜKA) oranı olarak ifade edilir.

$$GBO = \frac{GBKA}{RÜKA} \quad (6)$$

(6) Nolu denklemde; GBO, gazlaştırma bölgesi oranı; GBKA, gazlaştırmanın başladığı kesit alanı (m^2); reaktör üst kesit alanı (m^2) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.7. Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı ($E_{\text{ÇÖP}}$)

Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin deneysel araştırılmalarda kullanılan organik çöpi oluşturan her bir bileşenin elemental analizi özel bir fimaya gönderilerek yaptırılmıştır. 25 kg organik çöp için her bir çöpün ısı değeri belirlenmiştir.

$$E_{\text{ÇÖP}} = LHV_{\text{ÇÖP}} * \dot{m}_{\text{ÇÖP}} \quad (7)$$

(7) nolu denklemde $LHV_{\text{ÇÖP}}$, organik çöpün alt ısı değeri (MJ.Nm^{-3}); $\dot{m}_{\text{ÇÖP}}$, çöpün kütleli debisi (kg.saat^{-1}).

3.1.8. Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı (E_{gaz})

Üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı, çıkan gazın alt ısı değeri ve üst ısı değerleri hacimsel oranlarına bağlı olarak hesaplanır (Waldheim ve Nillson, 2001).

Sentez gaz alt ısı değeri aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir;

$$E_{\text{GAZ LHV}} = \frac{(LHV_{H_2} \times \%H_2 + LHV_{CO} \times \%CO + LHV_{CH_4} \times \%CH_4)}{100} \quad (8)$$

(8) nolu denklemde $E_{\text{GAZ LHV}}$, gazın alt ısı değeri cinsinden taşıdığı enerji (MJ.Nm^{-3}); LHV_{H_2} , hidrojen gazın alt ısı değeri (MJ.Nm^{-3}); LHV_{CO} , karbonmonoksit gazın alt ısı değeri (MJ.Nm^{-3}); LHV_{CH_4} , metanın alt ısı değeri (MJ.Nm^{-3}).

Sentez gaz üst ısı değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır;

$$E_{\text{GAZ HHV}} = \frac{(HHV_{H_2} \times \%H_2 + HHV_{CO} \times \%CO + HHV_{CH_4} \times \%CH_4)}{100} \quad (9)$$

(9) nolu denklemde $E_{\text{GAZ HHV}}$, gazın üst ısı değeri cinsinden taşıdığı enerji (MJ.Nm^{-3}); HHV_{H_2} , hidrojen gazın üst ısı değeri (MJ.Nm^{-3}); HHV_{CO} , karbonmonoksit gazın üst ısı değeri (MJ.Nm^{-3}); HHV_{CH_4} , metanın üst ısı değeri (MJ.Nm^{-3}).

3.1.9. Eşdeğerlik Oranı (ER)

Eşdeğerlik oranı, gerçekte kullanılan hava yakıt oranının, stokiometrik hava yakıt oranına bölünmesiyle ifade edilir (Zhang, 2012). Eşdeğerlik oranı, plazma gazlaştırma için aşağıdaki denkledeki gibi ifade edilir. Havanın stokiometrik değeri yakıtın ultimate analizinden hesaplanır. Burada stokiometrik hava değeri 25 kg organik çöp karışımı için 137 kg olarak hesaplandı.

$$ER = \frac{\text{Gerçekte kullanılan hava yakıt oranı}}{\text{Stokiometrik hava yakıt oranı}} = \frac{\left(\frac{H}{Y}\right)_{ger}}{\left(\frac{H}{Y}\right)_{sto}} \quad (10)$$

(10) Nolu denklemde ER, eşdeğerlik oranı; $\left(\frac{H}{Y}\right)_{ger}$ gerçek hava yakıt oranı; $\left(\frac{H}{Y}\right)_{sto}$ stokiometrik hava yakıt oranı olarak dikkate alınmıştır.

3.1.10. Plazma Enerji Oranı (PEO)

Plazma enerji oranı, sisteme plazma torç ile verilen enerji miktarının çöpün taşıdığı enerji miktarına oranıdır. Plazma enerji oranı, aşağıda verilen denklemle ifade edilir (Zhang, 2011).

$$PEO = \frac{\text{Sisteme plazma torç ile verilen enerji}}{\text{Çöpün sisteme taşıdığı enerji}} = \frac{E_{torç}}{LHV_{çöp} * \dot{m}_{çöp}} \quad (11)$$

(11) nolu denklemde, plazma enerji oranı boyutsuz, sisteme plazma torç ile verilen enerji (kW), çöpün sisteme taşıdığı enerji (kJ.kg^{-1}) ve çöpün kütleli debisi (kg.s^{-1}) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.11. Buhar-Hava Kütle Oranı ve Argon-Hava Kütle Oranı

Hava-buhar kütle oranı, plazma gazlaştırma sisteminde aynı anda hava ve buharın kullandığı durumda geçerlidir. Sisteme sağlanan buhar miktarının sisteme sağlanan hava miktarına oranıdır. Hava-buhar kütle oranı, aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Zhang, 2011).

$$HBKO = \frac{\text{Buharın kütleli debisi}}{\text{Havanın kütleli debisi}} = \frac{\dot{m}_{steam}}{\dot{m}_{air}} \quad (12)$$

(12) nolu denklemde, buhar hava kütle oranı boyutsuz, $\dot{m}_{steam}$ buhar akış hızı (kg.saat^{-1}) ve $\dot{m}_{air}$ hava akış hızı (kg.saat^{-1}) olarak dikkate alınmıştır.

Benzer şekilde argon hava kütle oranı, sisteme sağlanan argon miktarının sisteme sağlanan hava kütleli oranıdır. Argon hava kütle oranı, aşağıdaki denklemle ifade

edilmiştir (Zhang, 2011).

$$HA KO = \frac{\text{Argonun kütlesel debisi}}{\text{Havanın kütlesel debisi}} = \frac{\dot{m}_{Ar}}{\dot{m}_{air}} \quad (13)$$

(13) nolu denklemde, argon hava kütle oranı boyutsuz, $\dot{m}_{Ar}$ argon akış hızı (kg.sa⁻¹) ve $\dot{m}_{air}$ hava akış hızı (kg.sa⁻¹) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.12. Sıcak Gaz Verimi

Sıcak gaz verimi, temizleme-soğutma sistemine girmeden önce reaktörün çıkışındaki gazın sahip olduğu enerjinin yakıtın enerjisine oranıdır.

Sıcak gaz verimi, aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Lubwama, 2010).

$$\eta_{SICGAZ} = \frac{\text{Sıcak gazın enerjisi}}{\text{Çöpün sisteme taşıdığı enerji}} = \frac{\dot{m}_{sicgaz} \cdot (LHV_{sicgaz} + Ga \text{ hissedilebili Isısı})}{LHV_{çöp} \cdot \dot{m}_{çöp}} \quad (14)$$

(14) nolu denklemde η_{SICGAZ} , sıcak gaz verimi boyutsuz; E_{SICGAZ} , sıcak gazın enerjisi (MJ.sa⁻¹) ve $E_{ÇÖP}$ çöpün sisteme taşıdığı enerji (MJ.sa⁻¹) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.13. Soğuk Gaz Verimi

Soğuk gaz verimi, soğutulmuş gazın enerjisinin yakıtın enerjisine oranı olarak ifade edilir. Soğuk gaz verimi aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Lubwama, 2010).

$$\eta_{SOĞGAZ} = \frac{\text{Soğuk gazın enerjisi}}{\text{Çöpün sisteme taşıdığı enerji}} = \frac{LHV_{soğgaz} \cdot \dot{m}_{soğgaz}}{LHV_{çöp} \cdot \dot{m}_{çöp}} \quad (15)$$

(15) nolu denklemde $\eta_{SOĞGAZ}$, soğuk gaz verimi boyutsuz; $E_{SOĞGAZ}$ soğutulmuş gazın enerjisi (MJ.sa⁻¹) ve $E_{ÇÖP}$ çöpün sisteme taşıdığı enerji (MJ.sa⁻¹) olarak dikkate alınmıştır.

3.1.14. Isıl Verim / Gazlaştırma Verimi

Isıl verim, gazlaştırıcının ürettiği yanar gazın enerjisinin yakıtın enerjisine oranı olarak ifade edilir.

Bu performans parametresi aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Dhaundiyal, 2016).

$$\eta_{GAZL} = \frac{\text{Üretilen gazın enerjisi}}{\text{Gazlaştırıcıda kullanılan enerji}} \quad (16)$$

(16) nolu denklemde η_{GAZ} , gazlaştırma verimi boyutsuz; üretilen yanar gazın enerjisi (MJ.saat^{-1}) ve gazlaştırıcıda kullanılan enerji (MJ.saat^{-1}) olarak dikkate alınmıştır.

4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde “Plazma Konik Reaktörlü Organik Çöp Gazlaştırma Sisteminin Performans Parametrelerinin Deneysel Araştırılmasına” ait bulgular sunulmuştur.

4.1. Plazma Gazlaştırma Sisteminin Performans Parametre Bulguları

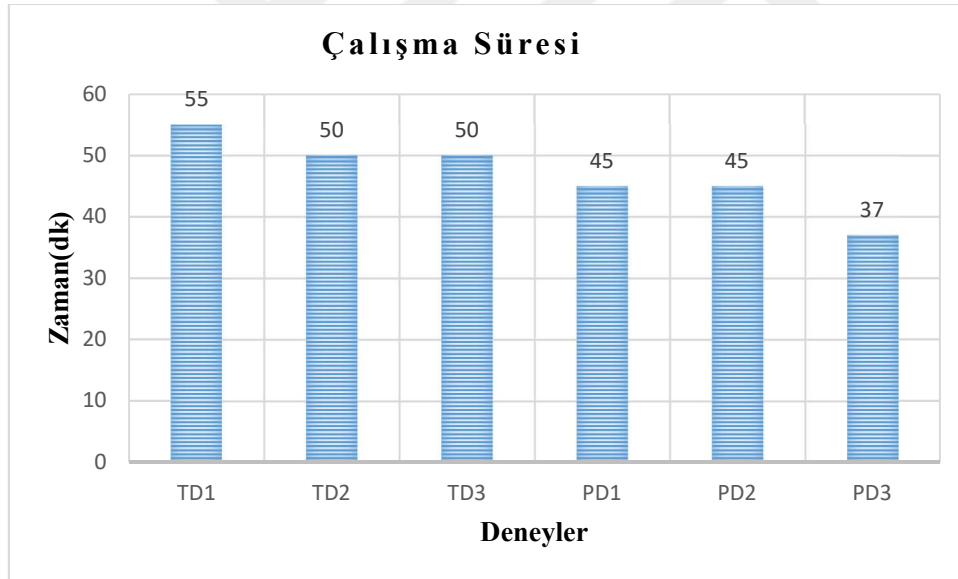
Bu tez çalışmasında TUBİTAK tarafından desteklenen TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında tasarlanan, geliştirilen performans araştırmaları yapılan soğutma kolonlu çift beslemeli konik plazma reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans değerlendirilmesi için yapılan deneysel analizlerden biri de performans parametre hesaplamalarıdır (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020). Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin analizi ile ilgili bulgular grafikler halinde sunulmuştur. Test deneyleri için plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametreleri hesaplanmıştır. Sistem üzerinde reaktörde, torçta, borularda, gaz temizlemede, soğutma kolonlarında, soğutucuda ve reaktör içinde torçun hareketlerinde yapılan iyileştirmeler sonucunda gerçekleştirilen performans deneylerinde performans hesaplamaları yapılarak performans parametrelerinin iyileştirme dereceleri araştırılmıştır. Aşağıdaki grafiklerde test deneylerinden sonra organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametre değerlerini ne ölçüde değiştiği incelenmiştir.

4.1.1. Gazlaştırma Başlangıç Zamanı

Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminde test çalışmaları sırasında reaktör yüklendikten sonra gazlaştırma başlangıç zamanının 6-8 dakika arasında olduğu ölçülmüştür. Performans deneyleri sırasında bu değer 4-6 dakika olduğu ölçülmüş ve bu süreden sonra gaz çıkışının başladığı görülmüştür. Ark plazma gazlaştırma işleminin gazlaştırma başlangıç zamanı ark plazma gazlaştırma torçunun kullanılmasından dolayı diğer gazlaştırma sistemlerine göre daha kısadır.

4.1.2. Çalışma Süresi

Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan çöpün bileşimine ve nem içeriğine bağlı olarak 25 kg organik çöp için reaktörün çalışma süresi ölçüldü ve ölçülen değerler Şekil 3'te gösterilmiştir. Test deneylerinde 25 kg organik çöp için sistemin çalışma süresi 55 dakika ölçülürken, reaktör üzerinde yalıtım yapılarak yapılan iyileştirmelerle performans deneylerinde 25 kg organik çöp için çalışma süresi 37 dakikada gazlaştırıldığı görülmüştür. Ark plazma gazlaştırma torçunun konik reaktöre üstten düşey olarak yerleştirilmesi ve reaktör içerisine daldırılması neticesinde organik çöpün daha kısa sürede gazlaştığı görüldü. Reaktörde sürekli besleme olmadığından deneylerde organik çöp manuel olarak 25 kg şeklinde sisteme yüklendi. Reaktörün sabit yatak yerine sürekli beslemeli olması durumunda saatte ortalama 27-40 kg arasında organik çöp gazlaştırabileceği hesaplandı.



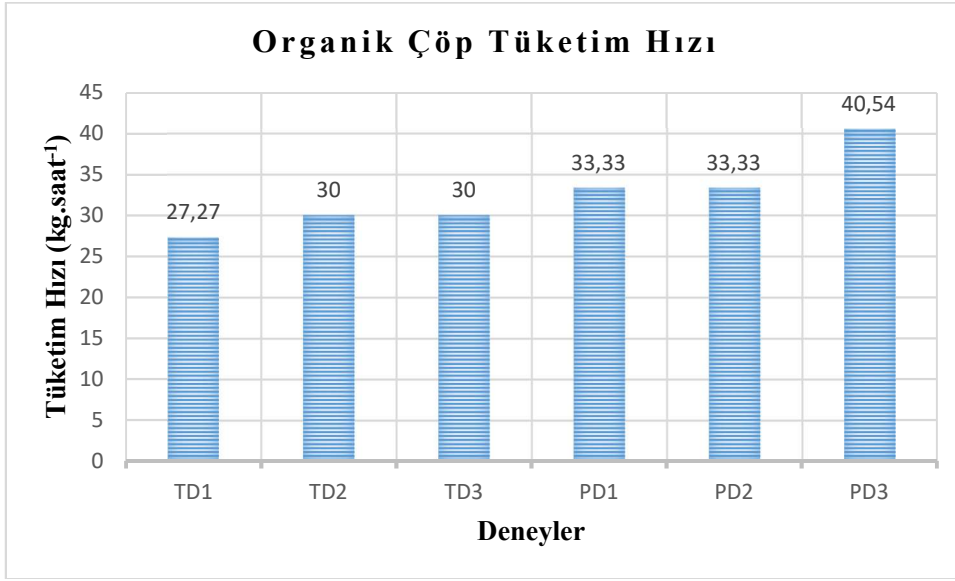
Şekil 3. Organik çöp için reaktörün verimli çalışma süresi

4.1.3. Toplam Çalışma Süresi

Ark plazma gazlaştırma sisteminin toplam çalışma süresi, test deneylerinde ve performans deneylerinde ark plazma torçun çalışmaya başladığı süre ile gaz çıkışının sona erdiği süre ölçülerek toplam çalışma süresi belirlenmiştir.

4.1.4. Organik Çöp Tüketim Hızı

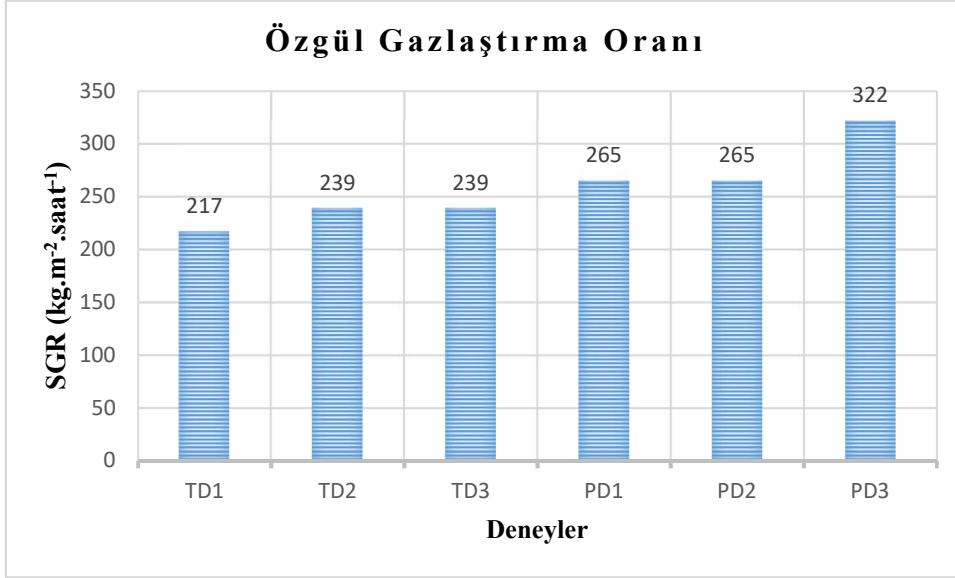
Organik çöp tüketim hızı, 2 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma işleminde reaktöre her durumda 25 kg organik çöp beslemesi yapılmıştır. Bu kapsamda, organik çöpün miktarına bağlı olarak organik çöp tüketim hızı Şekil 4'te sunulmuştur. Organik çöp tüketim hızı, bu çalışmada test edilen ark plazma gazlaştırma sistemin için 27-40 kg.sa⁻¹ arasında olacağı hesaplandı.



Şekil 4. Plazma gazlaştırma sisteminde organik çöp tüketim hızı

4.1.5. Özgül Gazlaştırma Oranı

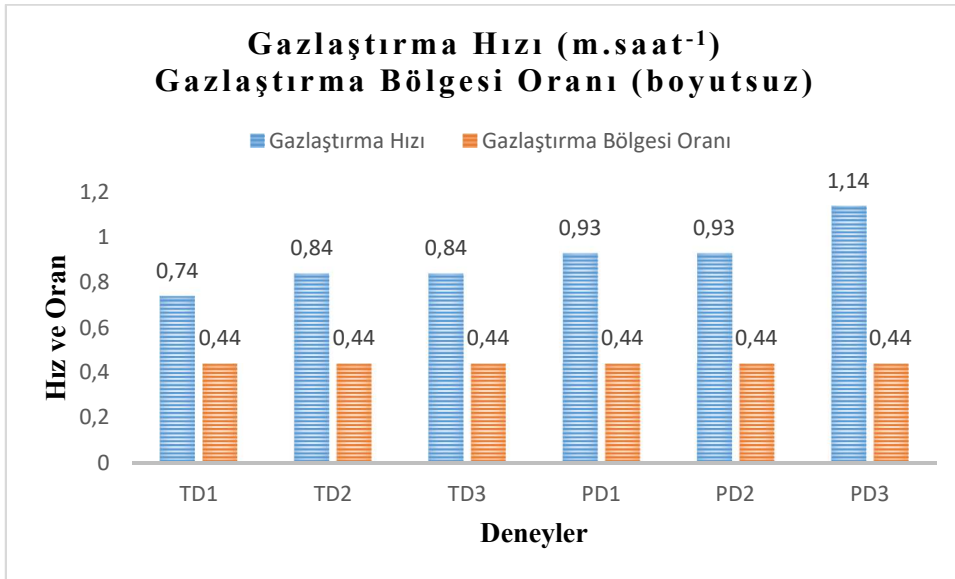
Özgül gazlaştırma oranı 3 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma işlemi için özgül gazlaştırma oranı değerleri Şekil 5'te sunulmuştur. Özgül gazlaştırma oranı test deneylerinde 217 kg.m⁻².sa⁻¹ olarak hesaplanırken, sistemin iyileştirilme çalışmalarından sonra performans deneyinde 322 kg.m⁻².sa⁻¹ değerine ulaştığı hesaplanmıştır. Özgül gazlaştırma oranı için bulunan değerlerin ortalaması alındığında 257,8 kg.m⁻².sa⁻¹ olarak ortalama bir değeri, organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametresi olarak kabul edilebilir.



Şekil 5. Plazma gazlaştırma işlemi için özgöl gazlaştırma oranı

4.1.6. Gazlaştırma Bölgesi Oranı ve Gazlaştırma Hızı

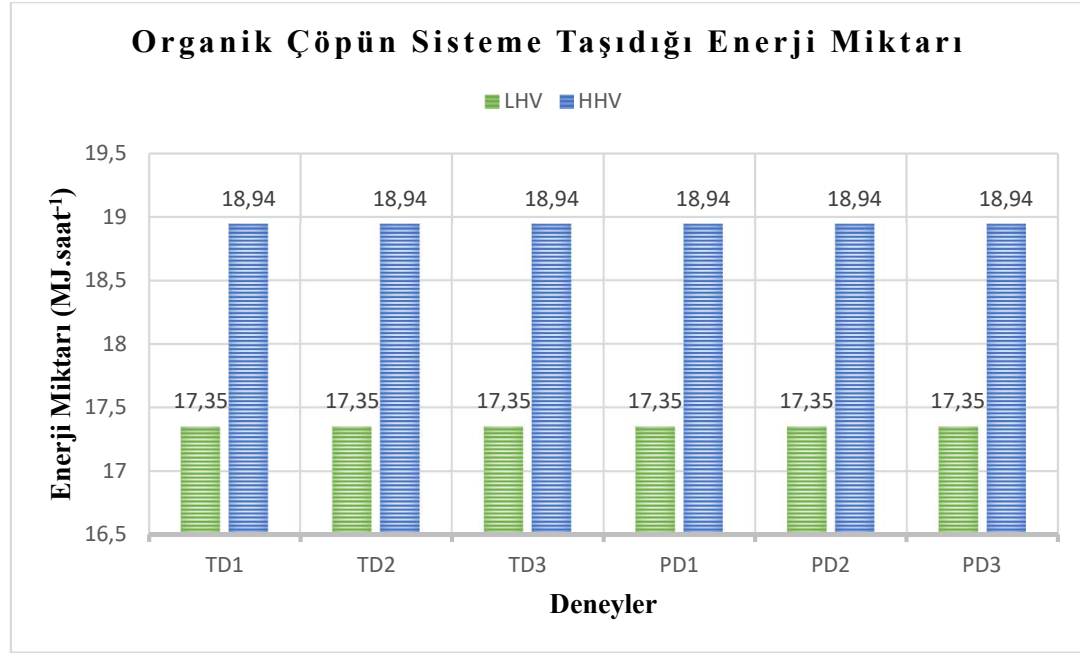
Gazlaştırma hızı ve gazlaştırma bölgesi oranı 5 ve 6 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma sisteminde gazlaştırma bölgesi oranı ve gazlaştırma hızı değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu durumda, gazlaştırma bölgesi oranı test deneylerinde ve performans deneylerinde 0,44 olarak hesaplandı. Yapılan iyileştirme ile performans deneylerinde gazlaştırma hızının arttığı görülmüştür.



Şekil 6. Plazma gazlaştırma bölgesi oranı ve gazlaştırma hızı

4.1.7. Organik Çöpün Sisteme Taşıdığı Enerji Miktarı

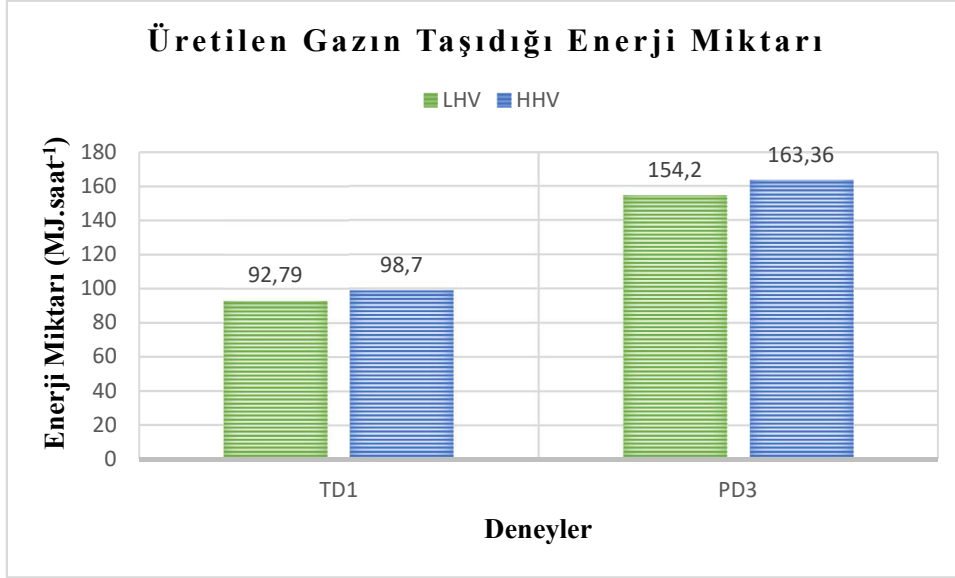
Organik çöpün içeriği belirlenerek analizlerinin yapılması için özel bir firmaya gönderilmiştir. 25 kg organik çöp için yapılan analizlerle belirlenen alt ısı değeri ve üst ısı değeri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Organik çöpün taşıdığı ısı miktarları

4.1.8. Üretilen Gazın Taşıdığı Enerji Miktarı

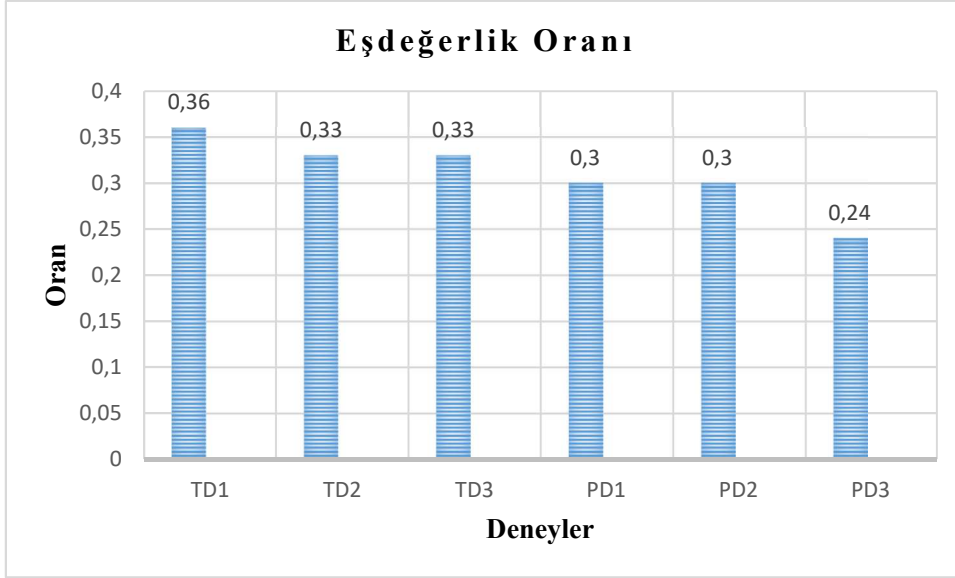
Üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı 8 ve 9 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma sisteminde üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı Şekil 8’de sunulmuştur. Üretilen gazın yanar gaz olan kısmının bileşiminde hidrojen, karbonmonoksit ve kısmen metan vardır. Yapılan iyileştirmelerden sonra performans deneylerinde alt ısı değeri ve üst ısı değerlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 8. Üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı

4.1.9. Eşdeğerlik Oranı (ER)

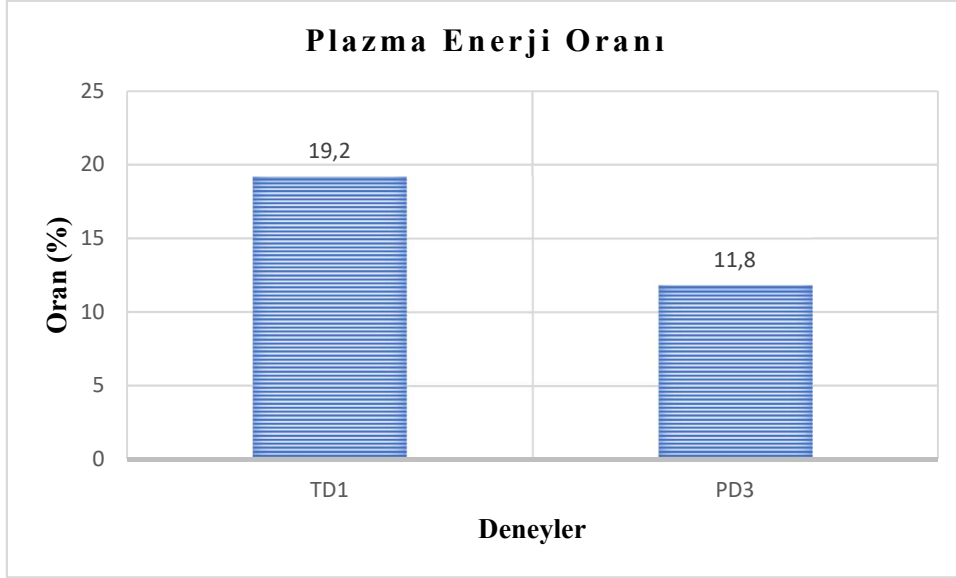
Eşdeğerlik oranı 10 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma için elde edilen eşdeğerlik (ER) oranı değerleri Şekil 9’da sunulmuştur. Yapılan iyileştirmelerle performans deneylerinde eşdeğerlik oranı azaltılmıştır. Eşdeğerlik oranının azaltılması hem genel sıcaklık hem de reaktör içindeki pik sıcaklık üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacaktır (Zhang, 2011). Test deneylerinde elde edilen kritik değer 0,36 iken performans çalışmalarında elde edilen değerin 0,24’e kadar düşürülmesi sağlandı. Gerçekte bu değerlerin plazma gazlaştırma için 0,1-0,4 arasında olması önem arz etmektedir (Khosasaeng ve Suntivarakorn, 2017; Kumar vd., 2018).



Şekil 9. Eşdeğerlik oranı

4.1.10. Plazma Enerji Oranı

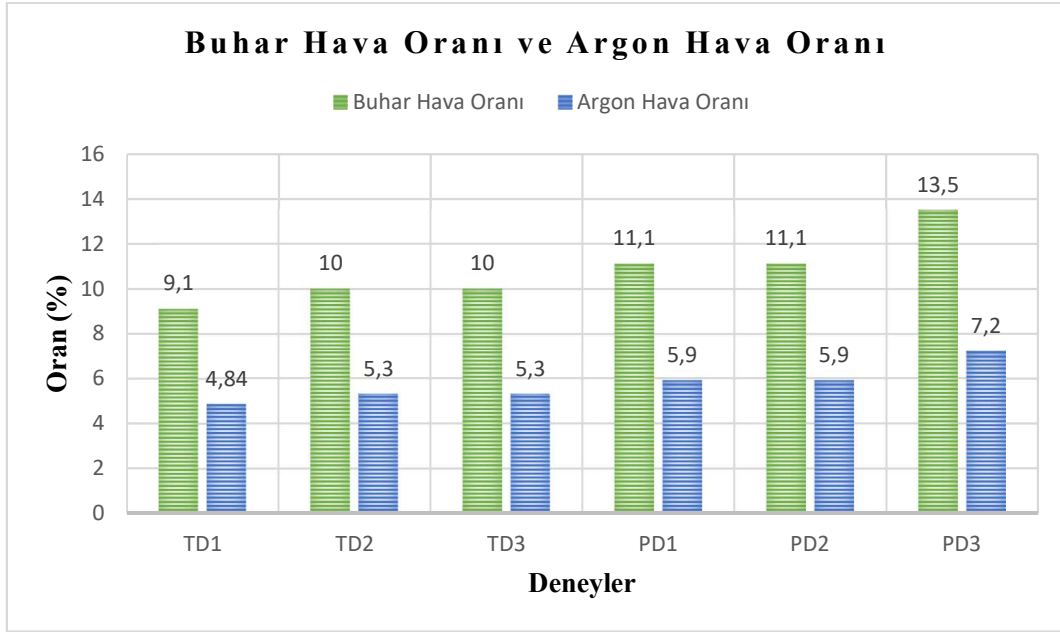
Plazma enerji oranı 11 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sistemi için ark plazma enerji oranı değerleri Şekil 10'da verilmiştir. Plazma enerji oranı değeri, gazlaştırma sıcaklığını, sentez gazı bileşimini ve gazlaştırma işleminin stabilitesini doğrudan etkileyebilir (Zhang, 2011). Yapılan çalışmada performans deneylerinde plazma enerji oranı değerinin azaldığı hesaplanmıştır. Bu orandaki azalma, plazma Gazlaştırma için istenilen bir durumdur. Plazma enerji oranının artması, gazlaştırma bölümünde sıcaklık bölgesinin oluşumuna yol açabilir. Plazma enerji oranının sıfır olması da istenilen bir durum değildir. Plazma enerji oranı sıfır olduğu durumlarda gazlaştırma meydana gelmez ve ilave enerji (basınç ve sıcaklık) sağlanmalıdır.



Şekil 10. Plazma enerji oranı

4.1.11. Buhar Hava Kütle Oranı ve Argon Hava Kütle Oranı

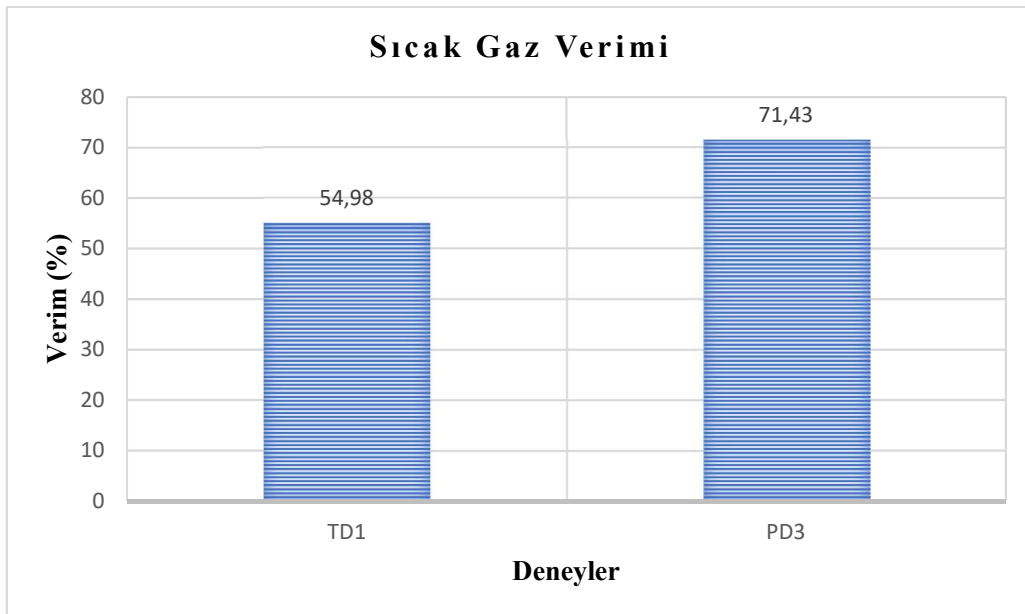
Buhar hava kütle oranı ve argon hava kütle oranı 12 ve 13 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde buhar hava kütle oranı ve argon hava kütlesi oranı Şekil 11’de verilmiştir. Buhar hava kütle oranı plazma gazlaştırma sistemini iki yönden etkiler. İlk olarak, plazma gazlaştırma sisteminin kimyasal dengesini etkiler. İkinci olarak, yüksek sıcaklıktaki buhar, sistemin enerji dengesini etkiler (Zhang, 2011). Buhar hava kütle oranının artması H_2 , CO ve CO_2 hacim fraksiyonlarında değişimin meydana gelmesidir. Yapılan hesaplamalarda buhar hava kütle oranı ve argon hava kütle oranının arttığı gözlenmiştir. Bu durum sentez gaz verimi ve LHV üzerinde hafifte olsa pozitif etkisi vardır.



Şekil 11. Ark plazma gazlaştırma sistemlerinde buhar hava oranı ve argon hava oranı

4.1.12. Sıcak Gaz Verimi

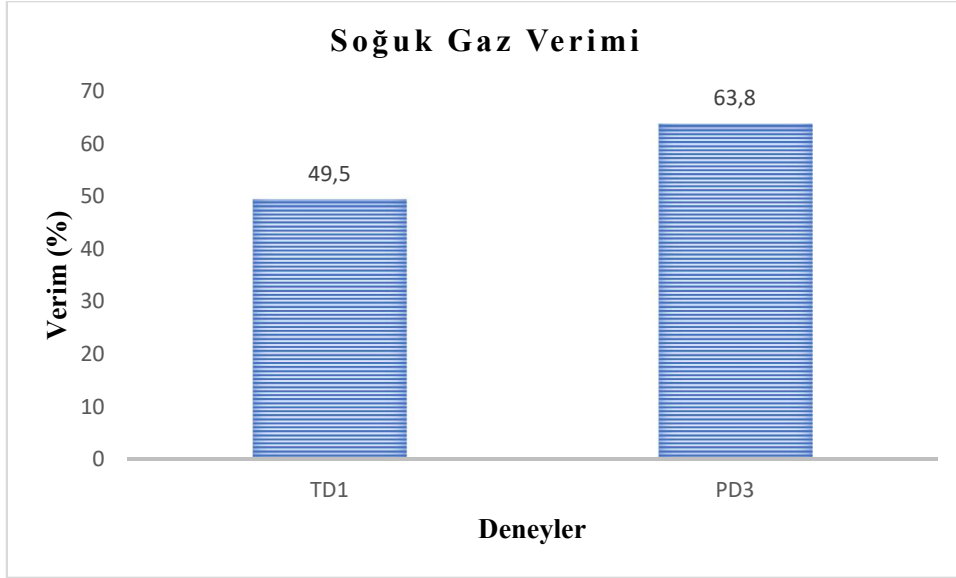
Sıcak gaz verimi 14 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde sıcak gaz verimi Şekil 12’de verilmiştir. Sıcak gaz verimi performans deneylerinde daha yüksek elde edildiği görülmektedir.



Şekil 12. Sıcak gazın enerji verimi

4.1.13. Soğuk Gaz Verimi

Soğuk gaz verimi 15 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Soğuk gaz verimi, Ark plazma gazlaştırma deneylerinde soğuk gaz verimi Şekil 13’te verilmiştir. Soğuk gaz verimi performans deneylerinde daha yüksek elde edildiği görülmektedir.



Şekil 13. Soğutulmuş gazın enerji verimi

4.1.14. Kül ve/veya Eriyik Oranı

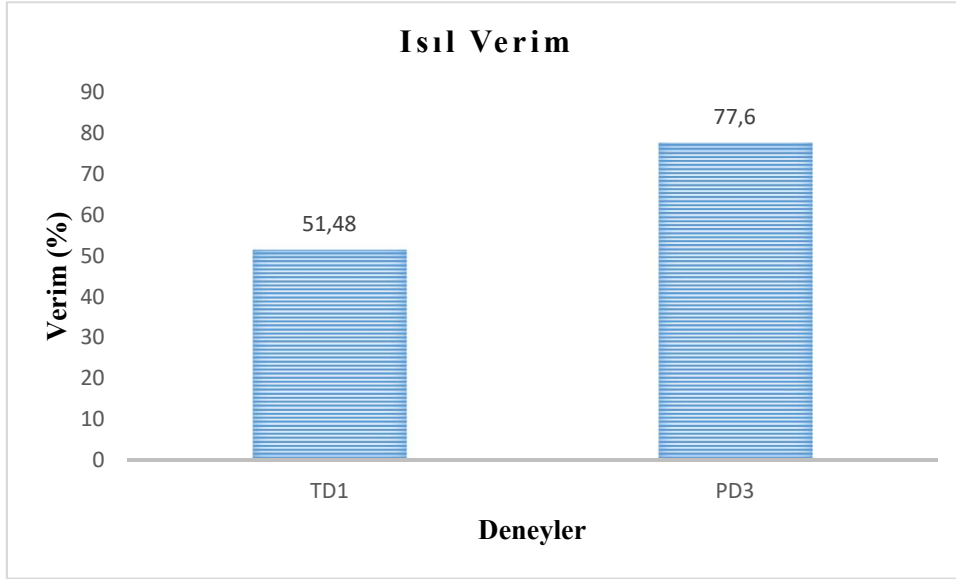
Ark plazma gazlaştırma deneylerinde reaktör içerisinde eriyiğin ve kısmen külün reaktör çeperlerine yapışması nedeniyle tam bir ölçüm alınamamıştır. Bu durum aşağıda Şekil 14’te sunulmuştur.



Şekil 14. Kül eriyiğinin ızgara ve reaktör tabanına yapışmış hali

4.1.15. Isıl Verim / Gazlaştırma Verimi

Gazlaştırma verimi 16 nolu denklem yardımıyla hesaplanmıştır. Bir gazlaştırıcının ısı verimi, Ark plazma gazlaştırma deneylerinde gazlaştırma verimi Şekil 15'te verilmiştir. Performans deneylerinde ısı verimin arttığı görülmektedir.



Şekil 15. Gazlaştırıcının ısı verimi

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminde 25 kg organik çöp için 55 dakikalık test deneyi ve iyileştirmelerle 37 dakikalık performans deneyinin verileri kullanılarak sistemin performans parametrelerinin deneysel analizleri yapılmıştır. Organik çöp gazlaştırma sistemi performans parametreleri kapsamında organik çöp tüketim hızı, özgül gazlaştırma oranı, gazlaştırma bölgesi oranı, gazlaştırma hızı, üretilen gazın taşıdığı enerji miktarı, eşdeğerlik oranı, plazma enerji oranı, buhar hava kütle oranı, argon hava kütlesi oranı, sıcak gaz verimi, soğuk gaz verimi ve ısı verim hesaplamaları yapılmıştır. Test çalışmaları için organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin hesaplamaları yapılmıştır. Sistem üzerinde yapılan iyileştirmelerle performans deneylerinde organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin iyileştirme derecesi araştırılmıştır.

- Organik çöp plazma gazlaştırma sisteminin performans parametre hesaplamaları için çöp kompozisyonu olarak ağırlıkça %20 bahçe atığı, %20 karton atığı, %20 odun atığı, %20 plastik atığı ve %20 tekstil atığı dikkate alınmıştır.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde 25 kg organik çöp için gazlaştırma başlangıç zamanı ve çalışma süresi performans deneylerinde daha kısa olarak ölçülmüştür. Burada sistemin gazlaştırma sistemlerine göre çok daha kısa olmasının nedeni, reaktörde üzerinde yapılan yalıtım ile kayıpların önlenmesidir.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde reaktöre 25 kg organik çöp beslenmesi durumunda organik çöp tüketim hızı test deneylerinde $27,27 \text{ kg.saat}^{-1}$ hesaplanırken, performans deneylerinde organik çöp tüketim hızı $40,54 \text{ kg.saat}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde test deneylerinde 55 dakikalık sürede özgül gazlaştırma oranı performans deneylerinde arttığı görüldü. Bunun nedeni, sistem üzerinde yapılan iyileştirmeyeyle ısı kayıplarının önlenmesidir.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde test ve performans deneylerinde gazlaştırma bölgesi oranı 0,44 olarak hesaplanmıştır. Gazlaştırma hızı ise test deneylerinde $0,74 \text{ m.saat}^{-1}$ hesaplanırken, performans deneylerinde gazlaştırma hızı $1,14 \text{ m.saat}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde organik çöpün sisteme taşıdığı enerji miktarı çöpün kompozisyonuna bağlı olarak alt ısı değer test ve performans

deneylerinde $17,35 \text{ MJ.saat}^{-1}$ olarak hesaplanırken, üst ısı değer test ve performans deneylerinde $18,94 \text{ MJ.saat}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken organik çöpün kompozisyonu yaşbaz olarak dikkate alınmıştır.

- Ark plazma gazlaştırma sisteminde çıkış gaz miktarları yaşbazda hesaplamaları yapılmıştır. Test deneylerinde üretilen gazın taşıdığı enerji değeri $92,79 \text{ MJ.saat}^{-1}$ performans deneylerinde ise üretilen gazın taşıdığı enerji değeri $154,20 \text{ MJ.saat}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.
- Plazma konik reaktör gazlaştırma sisteminde eşdeğerlik oranı literatürde verilen eşdeğerlik oranlarıyla 0.1-0.4 (Kumar vd., 2018) uyumlu olduğu görüldü. Test deneylerinde elde edilen 0,36 iken performans çalışmalarında eşdeğerlik oranı 0,24'e kadar düşürülmüştür. Gerçekte bu değerlerin 0.1'e yaklaştırılması önem arz etmektedir.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde, test deneylerinde plazma enerji oranı %19,2 olarak hesaplanmıştır. Performans deneylerinde ise plazma enerji oranı %11,8 olarak hesaplanmıştır.
- Ark plazma gazlaştırma sisteminde, test deneylerinde buhar hava kütle oranı %9,1 olarak hesaplanırken, performans deneylerinde ise buhar hava kütle oranı %13,5 olarak hesaplanmıştır. Argon hava kütle oranı test deneylerinde %4,84 olarak hesaplanırken, performans deneylerinde argon hava kütle oranı %7,2 olarak hesaplanmıştır.
- Buhar miktarının artması hidrojen üretiminin artmasına katkı sağlamıştır. Argon kullanımının reaktör üzerinde deneysel bir etkisi belirlenmedi. Argon miktarının düşük olması reaktör içerisinde tam bir etki ortaya koyamamış olabilir. Yüksek sıcaklıklarda buharın reaktör içinde doğrudan ark plazma gazlaştırma torçunun plazma bölgesine temas etmesi sonucu reaktör içinde ufak çapta patlamaya benzer sesler duyuldu. Bu durum su buharı enjeksiyonu sonrası ortaya çıktığından bu seslerin nedeninin su buharı enjeksiyonuna bağlı olduğu tahmin edildi.
- Deneyler sırasında reaktör içerisinde meydana gelen kül erimesi nedeniyle ızgara yüzeyinde tıkanıklıklar meydana geldi. Bu durum zaman zaman gaz akışını engelledi ve ark plazma gazlaştırma deneylerinin performansını düşürdü. Yapılan iyileştirmeler ile bu durum giderildi.
- Plazma konik reaktörlü organik gazlaştırma sisteminde, soğuk gaz verimi test

deneylerinde %49,50 olarak hesaplanırken, performans deneylerinde soğuk gaz verimi %63,80 olarak hesaplanmıştır. Sıcak gaz verimi test deneylerinde %54,98 olarak hesaplanırken, performans deneylerinde sıcak gaz verimi %71,43 olarak hesaplanmıştır.

- Ark plazma gazlaştırma sisteminin, ısı verimi ise test deneylerinde %51,48 olarak hesaplanırken, performans deneylerinde ısı verim %77,60 olarak hesaplanmıştır.
- Burada sıcak gaz verimi, soğuk gaz verimi ve ısı veriminin performans deneylerinde daha yüksek hesaplandığı görülmüştür. Bunun nedeni, yapılan iyileştirmelerle ark plazma gazlaştırma sisteminin kısa süre içerisinde ve yüksek sıcaklıklarda plazmanın reaktör içerisinde gazlaştırma işleminin gerçekleştirmesi olarak ifade edilebilir.
- Organik çöp gazlaştırma sisteminde reaktörün konik şekilli olması kademeli olarak gazlaşma yüzeyinin büyümesi ve üretilen gaz miktarının artmasına imkân sağladığından organik çöpün daha kısa sürede alevle karşılaşmasına ve gazlaşmasına neden olmaktadır.

6. ÖNERİLER

- Reaktör bölgesinde farklı akışkanlar kullanılarak gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırması yapılabilir.
- Plazma konik reaktörlü organik çöp plazma gazlaştırma sisteminde, organik çöp çeşidi olarak hastane atıkları kullanılarak, deneysel çalışmalar yapılabilir ve performans parametre hesaplanabilir.
- Farklı reaktör çeşitlerinin performans parametrelerinin deneysel araştırmaları ile plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performans parametrelerinin deneysel araştırmaları yapılarak kıyaslamalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Achinas, S. and Kapetanios, E. (2013). Efficiency evaluation of rdf plasma gasification process. *Energy and Environment Research*, 3(1), 150-157. <http://dx.doi.org/10.5539/eer.v3n1p150>.
- Aguado, R., Olazar, M., Jose, M., Aguirre, G. and Bilbao, J. (2000). Pyrolysis of sawdust in a conical spouted bed reactor. Yields and product composition. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 39(6), 1925-1933. <https://doi.org/10.1021/ie990309v>.
- Akhator, P. E., Obanor, A. I. and Sadjere, E. G. (2019). Design and development of a small-scale biomass downdraft gasifier. *Nigerian Journal of Technology*, 38(4), 0-0. DOI: 10.4314/njt.v38i4.15.
- Aktaş, T., Dalmış, İ. S. Tuğ, S. Dalmış, F. and Kayışoğlu, B. (2017). Çeltik saplarının gazlaştırılması amacıyla laboratuvar tipi bir gazlaştırıcının geliştirilmesi ve denenmesi. *Tekedirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2), 0-0.
- Anshakov, A. S., Domarov, P. V. and Faleev, V. A. (2020). Electroplasma installation for gasification pf organic wastes with obtaining a fuel gas. *Russian Physics Journal*, 62(11), 132-136. doi 10.1007/s11182-020-01952-5.
- Arena, A. (2011). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Elsevier Ltd*, 32(4), 625-639. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.025.
- Awais, M., Li, W., Omar, A. M., Munir, A. and Ajmal, M. (2020). Experimental investigation of downdraft biomass gasifier fed by sugarcane bagasse and coconut shells. *Biomass Conversion and Biorefinery*, <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00690-5>.
- Babu, B. V. and Sheth, P. N. (2009). Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier. *Bioresource Technology*, 100(12), 3127-3133. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.024>.
- Belonio, A. (2005). Rice husk gas stove handbook. Appropriate technology center, 155s.,
- Bhoi, P. R., Pathak, P. S. Patel, S. R. Bhawe, A. G. Sharma, A. M. and Shah, N. P. (2008). Performance evaluation of an agricultural residue-based modular throat-type down-draft gasifier for thermal application. *Biomass & Bioenergy*, 32(1), 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.006>.
- Czop, M. (2018). A concept of the gasification plant for selected organic waste. *Architecture Civil Engineering Energy(exeley)*, 12(3), 123-129. <https://doi.org/10.21307/ACEE-2019-042>.
- Dalmış, İ. S., Kayışoğlu, B., Aktaş, T., Tuğ, S., Durgut, M. R. and Durgut, F. T. (2017). A prototype downdraft gasifier design with mechanical stirrer for rice straw

- gasification and comparative performance evaluation for two different airflow paths. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(3), 329-339.
- Dhaundiyal, A. and Tewari P. C. (2016). Performance evaluation of throatless gasifier using pine needles as a feedstock for power generation. *Acta Technologica Agriculturae*, 19(1), 10-18. <https://doi.org/10.1515/ata-2016-0003>.
- Diken, B. (2017). Çim peletinin gazlaştırılma performansının saptanması üzerine bir araştırılma. Yüksek Lisans Tezi. Namik Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 51 s.
- Fabry, F., Rehmet, C., Rohani, V. and Fulcheri, L. (2013). Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review. *Waste and Biomass Valorization*, 4, 421-439. DOI 10.1007/s12649-013-9201-7.
- Gang, X., Bao-Sheng, J. Zhao-Ping, Z. Yong, C. Ming-Jiang, N. Ke-Fa, C. Rui, X. Ya-Ji, H. and He, H. (2007). *Journal Of Enviromental Sciences*, 19(11), 1398-1403. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60228-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60228-9).
- Gautam, G. (2010). Parametric study of a commercial-scale biomass downdraft gasifier: experiments and equilibrium modeling. Master Thesis. Auburn University, Alabama, ABD, 180 s.
- Hinsui, T., Arjhan, W. and Liplap, P. (2014). Plasma-assisted gasification of rejected waste from an mbt plant for syngas production. *Suranaree Journal of Science Technology*, 22(2), 183-196.
- Homolka, Z. A. (2018). Treatment of Plastic Wastes using Plasma Gasification Technology. Master Thesis. Nebraska University, Lincoln, ABD, 22 s.
- Hrabovsky, M. (2013). Thermal plasma gasification of organic waste and biomass. *Symposium on Physics of Switching Arc*, Czech Republic, 2-6 september, 3-8.
- Jain, A. K. and Goss, J. R. (2000). Determination of reactor scaling factors for throatless rice husk gasifier. *Biomass and Bioenergy*, 18(3), 249-256. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00083-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00083-5).
- Jain, A. K. (2006). Desing parameters for a rice husk throatless gasifier reactor. *International Commission of Agricultural Engineering*, 8(1), 1130-1168.
- Jain, A. K. and Chopra, S. (2007). A review of fixed bed gasification systems for biomass. *Biomass and Bioenergy*, 9(5), 1-23.
- Kamariah, I., Kahar O., Abdullah N. K., Othman, N. F. and Hamid, M. N. (2019). Gasifying agents type at lower temperature effect on bubbling fluidised bed gasification for low rank coal. *Progress in Computational Fluid Dynamics An International Journal*, 19(1), 44-54.
- Kayısoğlu, B., Tuğ, S. Dalmış, İ. S. Aktaş, T. Durgut, M. R. and Durgut, F. T. (2016). Farklı katkı maddeleri kullanılarak hazırlanmış çeltik sapı peletlerinin gazlaştırılması. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(1), 37-44.

- Ketjoy, N., Ladpala, S. Rakwichian, W. and Intanon, P. (2007). Performance evaluation of a kW_e biomass power generation system prototype for community in thailand. *International Journal of Renewable Energy*, 2(2), 63-72. DOI: 10.14456/iire.200712.
- Khosasaeng, T., Suntivarakorn, R. 2017. Effect of Equivalence Ratio on an Efficiency of Single Throat Downdraft Gasifier Using RDF from Municipal solid waste. *Energy Procedia*, 138(2017), 784-788. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.066>.
- Konda, R. E., Sulaiman, S. A. and Ariwahjoedi, B. (2014). Desing and development of laboratory scale updraft gasifier for gasification of oil palm fronds. *Asian Journal of Scientific Research*, 7(3), 341-353. DOI: 10.3923/ajsr.2014.341.353.
- Kumar, P., Pugalendhi, S., Subramanian, P., Karthikeyan, S., Vijayakumary, P. and Gitanjali, J. (2018). Interactive Effect of Plasma Power and Equivalence Ratio upon Plasma Gasification of Coconut Shell. *Madras Agricultural Journal*, 105(1-3), 109-112. DOI:10.29321/MAJ.2018.000112.
- Kuo, P. C., Chang, J. S., Illathukandy, B. and Wu, W. (2020). Plasma gasification performances of various raw and torrefied biomass materials using different gasifying agents. *Bioresource Technology*, 314, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123740>.
- Lanh, N. V., Bich, N. H. Quyen, N. N. Hung, B. N. and Preston P. R. (2019). A study on designing, manufacturing and testing a household rice husk gasifier. *Livestock Research For Rural Development*, 30(2), 0-0.
- Lavaee, M. S. (2013). Waste to Energy (WTE): Conventional and Plasma-assisted Gasification Experimental and Modeling Studies. Master Thesis. Waterloo University, Ontario, Canada, 134 s.
- Lopez, G., Amutio, M., Elordi, G., Artetxe, M., Altzibar, H. and Olazar, M. (2010). A conical spouted bed reactor for the valorisation of waste tires. *The 13th International Conference on Fluidization*, Korea, May 16-21, 87.
- Lubwama, M. (2010). Technical Assessment of the functional and operational performance of a fixed bed biomass gasifier using agricultural residues. Master Thesis. Makerere University, Stockholm, Sweden, 97 s.
- Lv, P. M., Xiong, Z. H., Wu, C. Z., Zhu, J. X., Chang, J. and Chen, Y. (2004). An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed. *Bioresource Techonology*, 95(1), 95-101. doi:10.1016/j.biortech.2004.02.003.
- Makaringe N. P. (2017). Plasma gasification of organic waste. Master Thesis. Pretoria University, Pretoria, South Africa, 126 s.
- Mansour, M. and Shafy, H. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>.

- Martinez J. D., Lora, E. E., Andrade, R. V. and Jaen, R. L. (2011). Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3465-3480. doi:10.1016/j.biombioe.2011.04.049.
- Materazzi, M., Lettieri, P., Taylor, R. and Chapman, C. (2015). Performance analysis of RDF gasification in a two stage fluidized bed-plasma process. *Waste Management*, 47(B), 256-266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.016>.
- Messerle V. E., Mosse A. L. and Ustimenko A. B. (2016). municipal solid waste plasma processing: thermodynamic computation and experiment. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 3017-3022. DOI: 10.1109 / TPS.2016.2601107.
- Messerle V. E., Mosse A. L. and Ustimenko A. B., Slavinskaya, N. A. and Sitdikov, Zh. (2020). Recycling of organic waste in a plasma reactor. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 93(4), 987-997. DOI 10.1007/s10891-020-02199-0.
- Midilli, A., Dogru, M. and Howarth, C. R. (2002). Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis. *Fuel Processing Technology*, 75(1), 55-82. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(01\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00234-X).
- Midilli, A., Dogru, M. Akay, G. and Howarth, C. R. (2004). Gasification of leather residues – part II. Consersion into combustible gases and the effects of some operational parameters. *Energy Sources*, 26(1), 45-53. <https://doi.org/10.1080/00908310490251855>.
- Nayır, T. (2012). Kömür ve biyokütle karışımlarının gazlaştırılması ve aspen hysys® programı ile simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 103 s.
- Olazar, M., Jose, M. J., Zabala, G. and Bilbao, J. (1994). New reactor in jet spouted bed regime for catalytic polymerizations. *Chemical Engineering Science*, 49(24), 4579-4588. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(05\)80042-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(05)80042-9).
- Olazar, M., Aguado, R., Bilbao, J. and Barona, A. (2000). Pyrolysis of sawdust in a conical spouted-bed reactor with a hzsm-5 catalyst. *AIChE Journal*, 46(5), 1025-1033. DOI: 10.1002/aic.690460514.
- Olgun, H., Ozdogan, S. and Yinesor, G. (2011). Results with a bench scale downdraft biomass gasifier for agricultural and forestry residues. *Biomass and bioenergy*, 35(1), 572-580. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.028>.
- Ojolo, S. J., Abolarin, S. M. and Adegbenro, O. (2012). Development of a laboratory scale updraft gasifier. *International Journal of Manufacturing Systems*, 2(2), 21-42. DOI: 10.3923/ijmsaj.2012.21.42.
- Ramirez, J. J., Martinez, J. D. and Petro, S. L. (2007). Basic design of a fluidized bed gasifier for rice husk on a pilot scale. *Latin American Applied Research*, 37(4), 299-306.

- Rajan, N. K. S. and Gnanendra P. M. (2015). Experimental study on performance of downdraft gasifier reactor under varied ratios of secondary and primary air flows. *5th International Conference on Advances in Energy Research*, India, 15-17 December, 38-49.
- Rathore, N. S., Panwar, N. L. and Chiplunkar, Y. V. (2009). Design and techno economic evaluation of biomass gasifier for industrial thermal applications. *Full Length Research Paper*, 3(1), 6-12.
- Reed, T. B. and Das, A. (1988). Gasifier Fabrication and Manufacture. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Solar Technical Information Program Operated for U.S. Energy Department, Publication No: 245, Printed Copy A07, SERIISP-271-3022 DE88001135, 148s., 38-47, 48-50.
- Rouboa, A., Monteiro, E. and Favas, J. (2017). Hydrogen production using plasma gasification with steam injection. *International Journal of Hydrogen Energy*. 42(16), 10997-11005. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.03.109>.
- Sesotyo, P. A., Nur, M. and Suseno, J. E. (2019). Plasma gasification modeling of municipal solid waste from Jatibarang Landfill in Semarang, Indonesia: analyzing its performance parameters for energy potential. *The 4th International Conference on Energy, Environment, Epidemiology and Information System*, Indonesia, 9-12 September, 116-120.
- Singh, S. P., Rao, M. S. Sodha, M. S. Dubey, A. K. and Shyam, M. (2004). Stoichiometric, mass, energy and exergy balance analysis of countercurrent fixed-bed gasification of post-consumer residues. *Biomass and Bioenergy*, 27(2), 155-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.11.003>.
- Singh, R. N., Jena, U. Patel, J. B. and Sharma, A. M. (2006). Feasibility study of cashew nut shells as an open core gasifier feedstock. *Renewable Energy*, 31(4), 481-487. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.010>.
- Striugas, N., Zakarauskas, K., Dziugys, A., Navakas, R. and Paulauskas, R. (2014). An evaluation of performance of automatically operated multi-fuel downdraft gasifier for energy production. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 1151-1159. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.007>.
- Tamošiūnas, A., Grigaitienė, V. and Valatkevičius, P. (2011). Creation of linear DC plasma generator for pyrolysis/gasification of organic materials. *Original Papers*, 56(2), 131-135.
- Tamošiūnas, A., Gimžauskaitė, D., Uscila, R. and Aikas, M. (2019). Thermal arc plasma gasification of waste glycerol to syngas. *Applied Energy*, 251(1), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113306>.
- Tiangco, V. M., Jenkins, B. M. and Goss, J. R. (1996). Optimum specific gasification rate for static bed rice hull gasifiers. *Biomass and Bioenergy*, 11(1), 51-62. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00110-7](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00110-7).

- Tuğ, S. (2016). Çeltik saplarının gazlaştırılması için mekanik karıştırıcılı aşağı akışlı prototip bir gazlaştırıcı tasarımı. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, 105 s.
- TÜBİTAK 117M436, (2020), Doküman Türü: Proje, Proje Yürütücüsü A. Midilli, Proje Adı: Soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin deneysel performansının araştırılması, Program: 1001, Proje no: 117M436, Proje Süresi: 2017-2020, Yapıldığı yer: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize.
- TÜİK, (2018). Türkiye İstatistik Kurumu Belediye Atık İstatistikleri. Ankara, Türkiye, 1s.
- URL-1, (2020). www.biomassgasifier.com (15 Eylül 2020).
- URL-2, (2020). www.chanderpur.com (20 Eylül 2020).
- Varshney, R., Bhagoria, J. L. and Mehta, C. R. (2011). Experimental investigation on a biomass briquette based throatless downdraft gasifier. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2(2), 554-561.
- Yinesor, G. (2008). Design and operation of a bench scale fixed bed gasification system. Master Thesis. Marmara University, Institute of Science, İstanbul, Türkiye, 70 s.
- Waldheim, L. and Nilsson, T. (2001). Heating value of gases from biomass gasification. TPS Termiska Processer, Yayın No: TPS-01/16, 60s., 1-5.
- Waldheim, L. and Consulting, W. (2018). Gasification of waste for energy carriers. Published by IEA Bioenergy, ISBN 978-1-910154-56-4. 295s., 1-5.
- Zainal, Z. A., Lean, C. H., Seetharamu, K. N. and Ali, R. (2001). Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. *Energy Conversion and Management*, 42(12), 1499-1515. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00078-9](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00078-9).
- Zhang, Q. (2011). Mathematical modeling of municipal solid waste plasma gasification in a fixed-bed melting reactor. Doctoral Dissertation. School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 105 s.
- Zhang, Q., Dor, L., Zhang, L., Yang, W. and Blasiak, W. (2012). Performance analysis of municipal solid waste gasification with steam in a Plasma Gasification Melting reactor. *Applied Energy*, 98(C), 219-229. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.03.028.
- Zhang, Q., Dor, L., Wu, Y., Yang, W. and Blasiak, W. (2013). A thermodynamic analysis of solid waste gasification in the plasma gasification melting process. *Applied Energy*, 112(C), 405-413. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.03.054.
- Zhang, Y., Cui, Y. Chen, P. Liu, S. Zhou, N. Ding, K. Fan, L. Peng, P. Min, M. Cheng, Y. and Wang, Y. (2019). Gasification technologies and their energy potentials.

Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches, 193-206.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00014-1>.

Zheng, J. L., Zhu, Y. H., Zhu, M. Q., Wu, H. T. and Sun, R. C. (2018). Bio-oil gasification using air – steam as gasifying agents in an entrained flow gasifier. *Elsevier Energy*, 142(C), 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.031>.



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet İSMAİLOĞLU, [REDACTED] tarihinde doğdu. 2003 yılında Rize İmkb Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesini bitirdi. Ön lisans eğitimini 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programında tamamladı. Lisans Eğitimini 2008 güz döneminde Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Programında 2011 yılında tamamladı. 2015 güz döneminde Mühendislik tamamlama ile Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun olmuştur. 2018 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimine halen daha devam etmektedir. Orta Seviyede ingilizce bilen Ahmet İSMAİLOĞLU evli ve iki çocuk babasıdır.