

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

YÜKSEK LİSANS

SOĞUTMA KOLONLU ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA
SİSTEMİNİN EKSERGO EKONOMİK ANALİZİ

Gonca KOÇ

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

SOĞUTMA KOLONLU ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNİN
EKSERGOEKONOMİK ANALİZİ

Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında, Gonca KOÇ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından .../.../... 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 süresince çalışmalarımın tüm aşamalarında tecrübesi ve bilgi birikimiyle beni yönlendiren, bilimsel ve teknik anlamda kendisinden çok değerli bilgiler öğrendiğim tez danışmanım Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ'ye teşekkür eder, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında çalışmalarına katkıda bulunan Doç. Dr. Uğur AKBULUT hocama teşekkür ederim. Tezimin pek çok aşamasında fikir alışverişinde bulunduğum kıymetli arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, varlıklarıyla bana güç veren ve sevgisini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Gonca KOÇ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Soğutma Kolonlu Ark Plazma Gazlaştırma Sisteminin Eksergoekonomik Analizi” 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. .../.../...

Gonca KOÇ

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

ÖZET

SOĞUTMA KOLONLU ARK PLAZMA GAZLAŞTIRMA SİSTEMİNİN EKSERGOEKOONOMİK ANALİZİ

Gonca KOÇ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışmanı: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

Bu tez çalışmasının amacı, soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizini yapmaktır. Bu kapsamda, 25 kg organik çöp kullanılarak yapılan test ve performans deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak eksergoekonomik analiz çalışmaları yapılmıştır. Eksergoekonomik analiz çalışmaları için işletim ömrü, çalışma süresi, işletme ve bakım-onarım faktörü, ekserji yıkımı, elektriğin ve organik çöpün birim maliyeti gibi büyüklükler dikkate alınarak eksergoekonomik faktör (f_{ekseco}) hesaplanmıştır. Ayrıca, bu parametreler değiştirilerek f_{ekseco} değerinin parametrik değişimi incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda; i) Sistemde gerçekleşen ekserji kaybı, test deneyinde 427,42 MJ, performans deneyinde 301,85 MJ, ii) Sistemin ekserji verimi test deneyinde % 36,53, performans deneyinde % 51,20, iii) İlk yatırım iyileştirme faktörü 0,087, iv) Bir değere getirilmiş toplam maliyet akısı, test deneyinde 11,33 Euro.sa⁻¹, performans deneyinde 13,60 Euro.sa⁻¹, v) Toplam ekserji kayıplarının maliyeti test deneyinde 12,41 Euro.sa⁻¹, performans deneyinde 13,03 Euro.sa⁻¹, vi) Test deneyinde f_{ekseco} 0,48, performans deneyinde ise 0,51, vii) Sistemin iyileşme oranı % 6,3 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; deneylerinin her ikisinde de işletme ömrünün ve çalışma süresinin artırılması eksergoekonomik değeri azaltmıştır. İşletme ve onarım faktörünün artırılması ve ekserji kayıplarının azaltılması f_{ekseco} değeri artırırken elektriğin ve organik çöpün birim maliyetinin artırılması, ekserji kaybı ile ilgili masrafları artıracığından f_{ekseco} değerini azaltmıştır.

2021, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler: Organik Çöp, Soğutma Kolonu, Ark Plazma Gazlaştırma, Ekserji, Eksergoekonomik Faktör, Verim

ABSTRACT

EXERGoeonomic ANALYSIS OF ARC PLASMA GASIFICATION SYSTEM WITH COOLING COLUMN

Gonca KOÇ

Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ

The main objective of this thesis is to perform the exergoeconomic analysis of the double feed-arc plasma gasification system with cooling column. In this regard, exergoeconomic analysis studies have been carried out by using the data obtained from the test and performance experiments using 25 kg of organic waste each. For exergoeconomic analysis studies, the exergoeconomic factor (f_{exseco}) was calculated by taking into account some parameters such as operating life, working time, operation and maintenance-repair factor, exergy destruction, unit cost of electricity and organic waste. In addition, parametric variation of f_{exseco} was analyzed by changing these parameters. In the calculations performed; i) Exergy loss in the system was calculated to be 427.42 MJ in test experiment and 301.85 MJ in performance experiments, ii) The exergy efficiency of the system was determined to be 36.53% in the test experiment and 51.20% in the performance experiment, iii) Initial investment improvement factor was estimated to be 0.087, iv) Total cost flow brought to a value was found to be 11.33 Euro.h⁻¹ in test experiment and 13,60 Euro.hr⁻¹ in performance experiment, v) Cost of total exergy losses was 12.41 Euro.hr⁻¹ in test experiment and 13.03 Euro.hr⁻¹ in performance experiment, vi) The f_{exseco} was calculated to be 0.48 in the test experiment and 0.51 in the performance experiment, vii) The recovery rate of the system was determined to be 6.3%. Consequently, increasing the operating life and working time in both experiments decreased the f_{exseco} value. Increasing the operating and repair factor and reducing exergy losses increased the exergoeconomic value. In addition, increasing the unit cost of electricity and organic waste will increase the costs associated with exergy loss, thus reducing the f_{exseco} .

2021, 60 pages

Keywords: Organic waste, Cooling column, Arc Plasma Gasification, Exergy, Exergoeconomic Factor, Efficiency

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi	3
1.3. Literatür Araştırması.....	4
1.3.1. Ark Plazma Gazlaştırma Sistemleri.....	4
1.3.2. Enerji ve Ekserji Analizleri	5
1.3.3. Eksergoekonomik Analiz	6
1.3.4. Gazlaştırma Tekniği Üzerine Yapılan Eksergoekonomik Çalışmalar.....	7
1.4. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı	21
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	22
2.1. Teorik Çalışmalar	22
2.1.1. Genel Kabuller.....	22
2.1.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler.....	23
2.1.2.1. Sabit Büyüklükler	23
2.1.2.2. Ölçülebilen Büyüklükler.....	24
2.1.2.3. Hesaplanabilen Büyüklükler.....	25
2.1.3. Deneysel Sistem ve Çalışma Prensibi	26

2.1.3.1. Giriş	26
2.1.3.2. Deney Sistemi.....	26
2.1.3.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	31
2.2. Deneysel Çalışmalar	32
2.2.1. Organik Çöpün İçeriği	32
2.2.2. Organik Çöpün Miktarı	33
2.2.3. Organik Çöpün Elemental Bileşimi.....	33
3. EKSERGOEKONOMİK ANALİZ	35
3.1. Ekserji Analizi	35
3.1.1. Sistemin Kontrol Hacmi	35
3.1.2. Ekserji Denge Denklemleri	36
3.2. Eksergoekonomik Yaklaşım.....	37
3.2.1. Eksergoekonomik Denge Denklemleri.....	38
3.2.2. Eksergoekonomik Faktör.....	39
4. BULGULAR	41
4.1. Ekserji Analizi Bulguları	41
4.2. Eksergoekonomik Analiz Bulguları	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	45
6. ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma laboratuvarının katı modelinin yandan görünümü.....	27
Şekil 2. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma laboratuvarının izometrik görünümü	28
Şekil 3. Soğutma kolonlu arc plazma konik reaktörü.....	29
Şekil 4. Gazlaştırma sistemi elemanları	30
Şekil 5. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan manuel ölçüm cihazları.....	32
Şekil 6. Organik çöp bileşimini oluşturan çöpler	33
Şekil 7. Soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin kontrol hacmi	35
Şekil 8. Eksergoekonomik faktör - işletme ömrü karşılaştırılması	46
Şekil 9. Eksergoekonomik faktör – çalışma süresi karşılaştırılması	46
Şekil 10. Eksergoekonomik faktör – işletme ve onarım faktörü karşılaştırılması.....	47
Şekil 11. Eksergoekonomik faktör – ekserji yıkımı karşılaştırılması.....	48
Şekil 12. Eksergoekonomik faktör – elektrik birim fiyatı karşılaştırılması	49
Şekil 13. Eksergoekonomik faktör – organik çöpün birim fiyatı karşılaştırılması.....	49

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti	17
Tablo 2. Sabit büyüklükler	24
Tablo 3. Ölçülebilen büyüklükler	24
Tablo 4. Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler.....	25
Tablo 5. Deneylerde kullanılan organik çöp bileşenlerine ait elemental analiz değerleri	34
Tablo 6. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin ekserji analiz bulguları. 42	
Tablo 7. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analiz bulguları.....	44
Tablo 8. Ekserji kayıpları maliyetinin değişimine göre eksergoekonomik faktörün değeri	47
Tablo 9. Elektrik birim maliyetinin değişimine göre eksergoekonomik faktörün değeri	48

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

c	Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
c_{CO}	Karbonmonoksitin Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$c_{\dot{c}}$	Sistemden Çıkan Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$c_{elektrik}$	Elektriğin Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
c_g	Sisteme Giren Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
c_{H_2}	Hidrojenin Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$c_{or\dot{c}öp}$	Organik Çöpün Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
c_{singaz}	Singazın Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$c_{yakıt}$	Yakıtın Birim Ekserji Maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$\dot{C}$	Ekserji Maliyeti	Euro.saatt ⁻¹
$\dot{C}_{\dot{c}}$	Sistemden Çıkan Ekserji Maliyeti	Euro.saatt ⁻¹
$\dot{C}_g$	Sisteme Giren Ekserji Maliyeti	Euro.saatt ⁻¹
$\dot{C}_{kayıp}$	Kaybın Ekserji Maliyeti	Euro.saatt ⁻¹
CRF	İlk Yatırım İyileştirme Faktörü	-
$\dot{E}x_{argon}$	Argon Gazının Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{bjen}$	Buhar Jeneratörünün Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{CO}$	Karbon Monoksitin Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{comp}$	Kompresörün Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{\dot{c}}$	Toplam Ekserji Çıkışı	MJ
$\dot{E}x_{\dot{c}iller}$	Çillerin Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{fan}$	Fanın Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_g$	Toplam Ekserji Girişi	MJ
$\dot{E}x_{hava}$	Havanın Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{H_2}$	Hidrojenin Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{kayıp}$	Sistemde Gerçekleşen Ekserji Kaybı	MJ
$\dot{E}x_{kayıp}^Q$	Sistemde Isı İle Gerçekleşen Ekserji Kaybı	MJ
$\dot{E}x_{or\dot{c}öp}$	Organikte Çöpte Oluşan Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{pomp}$	Pompanın Ekserji Akımı	MJ

$\dot{E}x_{sb}$	Su Buharının Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{singaz}$	Singazın Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{torch}$	Torcun Ekserji Akımı	MJ
$\dot{E}x_{yıkım}$	Sistemde Gerçekleşen Ekserji Yıkımı	MJ
f_{ekseco}	Eksergoekonomik Faktör	%
i	Efektif Faiz Oranı	%
İŞBO	İşletme ve Bakım Onarım Maliyeti	Euro
İY	İlk Yatırım Maliyet	Euro
KB	Kuru Baz	-
N	İşletme Ömrü	yıl
PD3	Performans Deneyi 3	-
SPECO	Özgül Ekserji Maliyeti Yöntemi	-
T	Yıllık Çalışma Saati	saat
TD1	Test Deneyi 1	-
YB	Yaş Baz	-
Z_{sis}	Sistemin Toplam Maliyeti	Euro
$\dot{Z}_{sis}$	Bir Değere Getirilmiş Maliyet Akısı	Euro.saat ⁻¹
$\dot{Q}_{kayıp}$	Kayıp Isı	MJ
$\dot{W}_{çiller}$	Çillerin İş Formunda Ekserjisi	MJ
$\dot{W}_{bjen}$	Buhar Jeneratörünün İş Formunda Ekserjisi	MJ
$\dot{W}_{comp}$	Kompresörün İş Formunda Ekserjisi	MJ
$\dot{W}_{fan}$	Fanın İş Formunda Ekserjisi	MJ
$\dot{W}_{pomp}$	Pompaların İş Formunda Ekserjisi	MJ
$\dot{W}_{torç}$	Torçun İş Formunda Ekserjisi	MJ
η_{ex}	Sistemin Ekserji Verimi	%
φ	İşletme ve Bakım-Onarım Faktörü	-

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve dünya nüfustaki artış enerji, su ve gıda kaynaklarının kullanımını artırmaktadır. Enerji israfı atık enerjinin oluşmasına neden olur. Suyun verimli şekilde kullanılmaması atık su üretimine yol açar. Aşırı gıda tüketimi de gıda atıklarının üretilmesini tetikler. Dolayısıyla, kaynakların israf edilmesi neticesinde farklı türlerde atıklar ortaya çıkar.

Atık en basit tanımı ile “ihtiyaçlarımızı karşılamak üzere kullandığımız maddelerin, o an için kullanılmayan veya sonra atılan kısmı olarak tanımlanabilir (Maya vd., 2016).

Belediye katı atıkları ise günlük hayat sırasında konutlarda, park ve bahçelerde, okullarda, kamu binalarında vb. yerlerde oluşan, yasal olarak tehlikeli atık sayılmayan ancak düzenli olarak uzaklaştırılması ve bertaraf edilmesi gereken atıklardır (Maya vd., 2016). Belediye katı atık miktarı ve kompozisyonu, şehrin sosyo-ekonomik seviyesi, nüfusu, gelişmişlik seviyesi, beslenme alışkanlıkları gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir (Topal, 2015; Ramos vd., 2020; Banu vd., 2020).

Kentlerin atık yönetimlerinde yaygın olarak uygulanan toplama, taşıma ve depolama sistemlerinin katı atık yönetiminde çok daha nitelikli ve modern teknolojilerle donatılmış ve desteklenmiş olması gereklidir. Kaldı ki, etkisiz ve yetersiz katı atık bertaraf yöntemleri çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Çevre ve çevre sorunları küreselleşme ile birlikte ulusların birbirleri ile olan ilişkilerinde gündem konusu olmuş ve ülkelerin gelişmişlik düzeyi ve siyasi farklılıklara bağlı olmadan, dünyanın ortak sorunu haline gelmiştir. Bu sebeple çevre sorunlarının çözümünde etkin politikaların ve teknolojilerin oluşturulması ve geliştirilmesi son derece önemlidir.

Günümüzde toplanması, taşınması ve ortadan kaldırılması ekonomik yönden önemli yük getiren ve gerektiği gibi değerlendirilemediğinde kayıp bir ekonomik değer durumundaki belediye katı atıklarından enerji geri kazanımı ve yakıt üretimine ağırlık verilmektedir. Çünkü katı atıkların enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Son yıllarda yeryüzündeki enerji kaynaklarının giderek azaldığı sıklıkla telaffuz edilmektedir. Buna karşılık teknolojideki ilerlemeler ve artan nüfus nedeniyle enerji ihtiyacı da gün

geçtikçe artmaktadır. Tabi ki katı atıkların tek başına artan enerji ihtiyacını karşılaması beklenemez. Ancak atıklar bertaraf edilirken aynı zamanda enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi en uygun seçenek olacaktır.

Henüz istenilen seviyeye ulaşılmamış olsa da dünyada atıklardan enerji üreten ve özellikle lokal enerji ihtiyacının büyük kısmını karşılayan birçok tesis mevcuttur. Bu amaçla, katı atıkların bertarafında kullanılan çeşitli (yakma, piroliz, gazlaştırma) termal yöntemler geliştirilmiştir (Olgun vd., 2000; Fabry vd., 2013; Herva vd., 2013; Ruj ve Ghosh, 2014). Gazlaştırma işleminden elde edilen gaz yüksek oranda karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen ve metan gibi gazları içerebilir. Elde edilen gaz, gazlaştırma sistemlerinde bulunan gaz temizleme ünitelerinde temizlendikten sonra motorlarda ve türbinlerde güç elde etmek amacıyla yakılabilir (Tumurbat, 2019). Gazlaştırıcılar reaktörün tasarımına göre sabit yataklı (yukarı çekmeli veya aşağı çekmeli sabit yataklar) gazlaştırıcılar, akışkan yataklı gazlaştırıcılar, sürüklemeli akışlı gazlaştırıcılar, döner fırın gazlaştırıcılar ve plazma gazlaştırıcılar olarak sınıflandırılabilir (Şanlısoy, 2018).

Gazlaştırma işlemi için uygun olabilecek organik içerikli çok sayıda atık olmasına rağmen organik çöplerin içeriğinde kağıt, odun atıkları, tekstil atıkları ve plastik gibi yüksek kalorifik değerli organik bileşikler barındırması onu gazlaştırma için uygun bir atık yapmaktadır. Organik çöplerin kimyasal bileşimi kömür veya biyokütle gibi herhangi bir organik yakıtla karşılaştırılabilir. Literatürde örnek olarak MSW'nin element bileşimi (% ağırlıkça) C (%17-30), H₂ (%1.5-3.4), O₂ (%8-23), H₂O (%24-34), kül (%18-43) aralığındadır. Özgül yanma ısısı ise ortalama 5-10 MJ.kg⁻¹ olarak verilebilir (Cherednichenko vd., 2002).

Belediye katı atıklarının bertarafında nispeten yeni bir teknoloji olan plazma gazlaştırma yöntemi literatürde genellikle atık enerjinin geri kazanımı için önemli bir seçenek ve çözüm olarak sunulmuştur. Plazma teknolojisi on dokuzuncu yüzyıldan itibaren metal endüstrisinde fırınlarda yüksek sıcaklıklara çıkılabilmesi için kullanılmaktadır. Yirminci yüzyılın başlarında ise kimya endüstrisinde doğalgazdan asetilen üretimi için kullanılmıştır. Seksenli yılların başından beri plazma gazlaştırıcı ile belediye katı atıklarının bertarafı üzerine yapılan başarılı çalışmalar katı atıkların bertarafında önemli bir aşama kaydedilmesini sağlamıştır (Chang vd., 1996; Cherednichenko vd., 2002; Huang vd., 2003). Plazma gazlaştırma sistemlerinde, katı atıkta bulunan termokimyasal enerjinin %80'ine karşılık gelen sentez gaz

üretilebilmektedir (Yassin vd., 2009). Plazma gazlaştırma sırasında yüksek sıcaklıkta ve homojen bir atmosfer ortamı oluşması inorganik maddelerin daha verimli şekilde bertarafına ve daha temiz bir sentez gaz elde edilmesine olanak sağlar (Ray vd., 2012; Taylor, 2013).

Plazma gazlaştırma sistemlerinin değerlendirilmesi için termodinamik analiz yöntemleri uygulanabilir. Termodinamiğin birinci kanunu kapsamında enerji analizi, Termodinamiğin İkinci kanunu kapsamında ekserji analizi yapılabilir. Ayrıca, sistemlerin eksergoekonomik performansı, ekserji ve ekonomik verilerin birleştirildiği eksergoekonomik (termoekonomik) analizle değerlendirilebilir (Ganesh vd., 2020). Bir sistemin eksergoekonomik değerlendirmesinde, ilk yatırım ve işletme maliyetleri, giren yakıtın ve çıkan ürünün maliyetleri, bakım-onarım masrafları gibi ana maliyetler dikkate alınması önemlidir (Yılmaz vd., 2015). Eksergoekonomik analiz sistemin ekserji analizi ile ekonomik analizini birleştiren bir yaklaşımdır. Bu analizin amacı ekserji maliyetini minimuma çekmektir (Yücer ve Hepbasli, 2014). Literatürde birçok termoekonomik maliyet hesaplama yaklaşımı mevcuttur (Yücer ve Hepbasli, 2014). SPECO yöntemi bunlardan biridir. SPECO yöntemi genellikle diğer eksergoekonomik yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir (Lazaretto ve Tsatsaronis, 2006). Maliyet dengesi denklemine göre incelenen bir sistemdeki çıkış akışlarının toplam maliyeti; giriş akışlarının maliyetleri, sermaye maliyeti, işletim ve bakım maliyetlerinin toplamına eşittir (Yücer ve Hepbasli, 2014).

Bu çalışmada, belediye organik katı atıklarının bertarafı için kullanılan soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik değerlendirmesi için özgül ekserji maliyetlendirme (SPECO) tekniği kullanılmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Yapılan tez çalışmasının temel amacı; soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizini yapmaktır. Deneysel verilerden faydalanılarak öncelikle ve ekserji verileri dikkate alınarak eksergoekonomik analiz yapılmıştır.

Bu çerçevede gerçekleştirilen tez çalışmasının aşağıda sıralanan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik faydaları sağlayacağı düşünülmektedir.

- Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizi çalışmalarının literatüre katkı sağlayabilecek bilimsel nitelikli bir referans olması.
- Soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sistemi üzerinde yapılan eksergoekonomik analizlerin, plazma gazlaştırma konusunda yapılan bilimsel, teknolojik ve akademik çalışmalara tasarım ve imalat açısından bir alternatif oluşturması.
- Bu çalışmada yapılan eksergoekonomik analiz, soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin ekonomik yönden değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar pratik uygulamalarda kullanılacak olan plazma gazlaştırma sistemleri için bir karşılaştırma yapma imkanı sağlayacaktır. Bu değerlendirmeler, plazma gazlaştırıcıların ekonomik yönden verimli şekilde tasarlanmasına katkı sağlayacaktır.

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; i) ark plazma gazlaştırma sistemi, ii) enerji ve ekserji analizleri, iii) eksergoekonomik analiz (SPECO metodunu), iv) gazlaştırma tekniği üzerine yapılan eksergoekonomik çalışmaları sunmaktadır.

1.3.1. Ark Plazma Gazlaştırma Sistemleri

Maddenin dördüncü hali olan plazma, sıcaklığa bağlı olarak iki ana gruba ayrılabilir: yüksek sıcaklıkta plazma (5×10^4 K'nin üzerinde) ve düşük sıcaklıkta plazma (5×10^4 K'nin altında) (Ruj ve Ghosh, 2014; Tamošiūnas vd., 2019). Yüksek sıcaklık plazması doğal olarak var olan bir plazmadır (uzayda, yıldızlarda, güneşte vb.). Düşük sıcaklıklı plazma termal plazmalara ve termal olmayan (veya soğuk) plazmalara ayrılır (Ruj ve Ghosh, 2014; Tamošiūnas vd., 2019). Termal plazmada, yüklü parçacıklar (elektronlar ve iyonlar) arasında bir termodinamik denge varken, termal olmayan plazma dengede olmayan bir durumdadır yani enerji ve elektron konsantrasyonu iyonlardan çok daha yüksektir (Ruj ve Ghosh, 2014; Tamošiūnas vd., 2019). Atık arıtma için çeşitli termal plazma yöntemleri uygulanabilir. Bunlardan en

çok kullanılanlar; doğru akım (DC), radyo frekansı (RF) ve mikrodalga (MW) plazmalarıdır (Ruj ve Ghosh, 2014; Tamošiūnas vd., 2019).

Plazma teknolojisi, elektriksel bozulma olarak isimlendirilen bir süreçte elektrik akımının bir gazdan geçmesiyle devamlı bir elektrik arkının oluşturulmasıdır (Gomez vd., 2009). Sistemdeki elektriksel direnç sebebiyle, elektronları gaz moleküllerinden ayıran, iyonize bir gaz akımı ya da plazma ile sonuçlanan önemli bir ısı üretilir. 2000°C’de gaz molekülleri atomik duruma ayrışır ve sıcaklık 3000°C’ye yükseltildiğinde gaz molekülleri elektron kaybederek iyonlaşır. Bu durumda, gaz, atmosferik basınçta sıvı benzeri bir viskoziteye sahiptir ve serbest elektrik yükleri, metallerinkiyle yarışabilen yüksek elektrik iletkenlikleri sağlar (Gomez vd., 2009). Plazma teknolojisi özellikle son yıllarda organik katı atıkların bertarafında kullanılan gazlaştırma sistemlerinde önemli uygulama alanı bulmaktadır.

Bir plazma gazlaştırma sistemi; besleme sistemi, plazma torçları ve güç kaynakları, gazlaştırma reaktörü, cüruf işleme ekipmanı, sentez gazı arıtma sistemi ve izleme ve kontrol sisteminden oluşur (Janajreh vd., 2013).

Plazma gazlaştırma işlemi, kısmi oksijen/hava atmosferinde çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir, gazlaştırma işlemine maruz bırakılan organik katı atık yanar gaza dönüşür. Yanar gaz, gerekli gaz temizleme işlemlerinden sonra esas olarak hidrojen ve karbon monoksit gaz karışımını içeren sentez gaza dönüşür (Mountouris vd., 2006; Minutillo vd., 2009). Reaktör içerisinde gaza dönüştürülemeyen malzemeler eriyik olarak reaktörden alınır. İçerdiği yüksek sıcaklıklar nedeniyle, tüm katranlar, kömürler ve dioksinler parçalanır, bu nedenle plazma gazlaştırma ile üretilen sentez gazı, geleneksel gazlaştırma işlemlerinde üretilenlerden daha temizdir (Mountouris vd., 2006; Minutillo vd., 2009). Bununla birlikte, çok yüksek sıcaklıkta bir plazma gazının üretimi plazma torçlarının yüksek elektrik tüketimini gerektirmektedir (Mountouris vd., 2006; Minutillo vd., 2009).

1.3.2. Enerji ve Ekserji Analizleri

Bir enerji dönüştürme sürecinin analizi için en yaygın kullanılan yöntem, termodinamiğin birinci yasasıdır (Aljundi, 2009). Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin miktarını ve korunumu ifade eder. Enerjinin termodinamik bir özellik olduğunu ve bir etkileşim sırasında enerjinin bir formdan diğerine dönüşebileceğini

ancak toplam enerji miktarının sabit kaldığını ifade eder (Dinçer ve Çengel, 2001). Bir prosesin enerji girdisi ve çıktısı, enerji türleri ve miktarları hakkında bilgi verir. Enerji analizi, enerjinin kalitesini, tersinmezlikten kaynaklanan kayıpları ve çevre koşullarını dikkate almaz (Suleman vd.,2014; Mugi ve Chandramohan, 2020). Ekserji, bir sistemden elde edilecek maksimum faydalı iş olarak tanımlanır. Termodinamiğin ikinci yasasına dayanır, enerji kalitesini temsil eder ve sistem verimliliğini analiz ederken tersinmezliği içerir (Park vd., 2014).

Birinci yasa analizine dayanan geleneksel enerji analizinden farklı olarak, ekserji analizi, enerji sisteminde meydana gelen çeşitli kayıpların hem niceliksel hem de niteliksel olarak daha net bir değerlendirmesini sağlayabilir (Dinçer ve Çengel, 2001). Sistemindeki termodinamik verimsizliklerin nedenlerini ve yerlerini nicel olarak belirleyebilir ve böylece termodinamik iyileştirmenin olasılıklarını gösterebilir (Xu vd., 2011). Sonuç olarak, ekserji analizi enerji sistemlerinin tasarımında, simülasyonunda ve performans değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekserji analizinden elde edilen sonuçlar, mevcut süreçleri, bileşenleri veya sistemleri iyileştirmede veya yeni süreçler veya sistemler geliştirmede önemli bir rol oynar (Xu vd., 2011).

1.3.3. Eksergoekonomik Analiz

Eksergoekonomi, termodinamik, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve ekonomi gibi çeşitli disiplinlerin ilkelerini entegre eden bir analiz, değerlendirme ve tasarım aracıdır (Alkan vd., 2013; Colmenar-Santos vd., 2016). Sistemdeki enerji akışlarına, termodinamik verimsizliklere ve tersinmezliklere parasal değerler atayan, dışsal maliyet ilkesine dayanmaktadır (Tsatsaronis ve Moran, 1997; Alkan vd., 2013; Colmenar-Santos vd., 2016). Tasarımcının, verimliliklerini ve performanslarını ihmal etmeden karlı bir sistem elde etmenin maliyetlerini optimize etmesini sağlar. Termo-ekonomik çalışmanın avantajı, olağan enerji ve ekonomik analizlerle elde edilemeyen bilgileri sağlamasıdır (Alkan vd., 2013; Colmenar-Santos vd., 2016).

Eksergoekonomi, geleneksel analizden elde edilemeyen maliyet-etkin sistem iyileştirmesi hakkında yararlı bilgiler sağlamak için ekserji analizi ile ekonomik analizi birleştirir. Bu çalışmada en çok kabul gören, sistematik, kullanımı kolay yöntem, Lazaretto ve Tsatsaronis (2006) tarafından sunulan özgül ekserji maliyeti yani SPECO yöntemi kullanılmıştır (Lazaretto ve Tsatsaronis, 2006). Bu yöntemde ekserji ve maliyet

denkliği kullanılarak ve sistem bileşenleri için yardımcı maliyet eşitliklerinin de yardımıyla birim ekserji başına maliyet hesaplanmaktadır (Boyaghchi ve Heidarnejad, 2015; Yao vd., 2017).

SPECO (Lazaretto ve Tsatsaronis, 2006) yöntemi üç adımdan oluşur

- (i) Ekserji akışlarının belirlenmesi
- (ii) Girdi ve çıktılarının tanımı
- (iii) Maliyet denklemlerinin tanımı.

Analiz yapılırken maliyetler her bileşen için ayrı ayrı değerlendirilir. Böylece, maliyet tahmini sürecini ve aynı zamanda akışı ve dolayısıyla genel sistemi optimize etmek için en karlı ve uygulanabilir seçeneklerin ne olduğu anlaşılabilir (Colmenar-Santos vd., 2016).

1.3.4. Gazlaştırma Tekniği Üzerine Yapılan Eksergoekonomik Çalışmalar

Literatüre bakıldığında konvansiyonel gazlaştırma işlemleri ve sistemleri üzerine çeşitli analiz çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu analiz çalışmalarından bir tanesi de eksergoekonomik analiz çalışmalarıdır. Eksergoekonomik analiz çalışmaları ekserji temelli olup sistemin eksergoekonomik performansını yansıtır. Gazlaştırma sistemlerinin eksergoekonomik analizi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kalancı vd. (2011), hazırlamış oldukları makalede kanalizasyon çamurundan plazma gazlaştırma sistemi ile hidrojen üretiminin eksergoekonomik analizini incelemişlerdir. Ekserji ile ilgili parametreleri hesaplamak, tüm akışlar ve bileşenler için maliyet akışlarını görüntülemek amacıyla özel ekserji maliyeti (SPECO) yöntemini kullanmışlardır.

Kalancı vd. (2012), bu çalışmalarında, EXCEM yöntemini kullanarak ekserji ve eksergoekonomik analizler yoluyla biyokütle bazlı hidrojen üretimini değerlendirmişlerdir. Amaçları, tüm bileşenlerin performansını ekonomik olarak değerlendirmek, hidrojen birim maliyetini tanımlamak ve anahtar sistem parametrelerinin birim hidrojen maliyetini nasıl etkilediğini incelemektir. Ayrıca, literatürden alınan gerçek verileri akışkan yataklı gazlaştırıcı ile gazlaştırma işleminin bir çalışmasını sunmuşlardır. Sistemle ilişkili tüm akımların enerji ve ekserji değerleri, tüm ekipmanların ekserji verimliliklerini hesaplamış, ekipman maliyetlerinin

termodinamik kayıp oranları ve termodinamik kayıp oranının yatırım maliyetine oranını belirlemişlerdir.

Kalıncı vd. (2012), bu çalışmalarında biyokütleden hidrojen ve enerji üretmek için üç farklı gazlaştırma sistemini, eksergoekonomik analizini ve performans değerlendirmesini yaparak karşılaştırmışlardır. Bu sistemler küçük güçlerde tercih edilen aşağı çekişli gazlaştırıcı, büyük güçlerde kullanılan sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırıcı ve yeni bir teknoloji olan plazma gazlaştırıcıdır. Bu üç çalışmada ekserji ile ilgili parametreleri hesaplamak ve tüm akışlar ve bileşenler için maliyet akışlarını görüntülemek için özel ekserji maliyeti (SPECO) yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucu hidrojen üretim hızları ve birim kütle başına maliyetler açısından en avantajlı sistem aşağı çekişli gazlaştırma iken sistemler tarafından üretilen elektrik gücü en yüksek plazma gazlaştırma sisteminde olmuştur.

Yang vd. (2012), hazırlamış oldukları makalelerinde kömür gazlaştırma tabanlı ortak üretim sistemlerini teknik ve ekonomik açıdan analiz etmişlerdir. Çalışma sırasında ürünlerin elektrik ve metanol olduğu ortak üretim sistemini modelleyerek simüle etmişlerdir. Enerji analiz modeli ve ekonomi analiz modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar, ortak üretim sisteminin geleneksel tek üretim sistemlerinden daha yüksek enerji verimliliğine sahip ve daha az maliyetli olduğunu göstermiştir.

Siefert ve Litster (2013), çalışmalarında iki gelişmiş fosil yakıtlı enerji santrali konfigürasyonunun ekserji ve ekonomik analizlerini yapmışlardır. Bu sistemlerden birincisi CO₂ ayırma dahil olmak üzere gelişmiş H₂ ve O₂ membran ayırmalı entegre bir gazlaştırma kombine döngüsüdür. İkinci sistem ise bir katalitik gazlaştırıcı ve CO₂ ayırmayı içeren basınçlı katı oksit yakıt hücresine sahip entegre bir gazlaştırma yakıt hücresi döngüsüdür. Her iki sistem için eksergoekonomik analiz çalışması yapmışlar ve ekonomik yönden avantajlı ve dezavantajlı durumları tartışmışlardır.

Rokni (2014), makalesinde küçük ölçekli biyokütle gazlaştırma sistemi, katı oksit yakıt hücresi (SOFC) ve Stirling motorlu birleşik bir sistemin termodinamik ve termo-ekonomik analizini yapmıştır. Analizler bu sistemin aynı boyuttaki yenilenebilir sistemlerle rekabet edebilecek bir maliyetle elektrik sağlayabileceğini göstermiştir.

Mazzucco ve Rokni (2014) çalışmalarında, elektrik enerjisi üretimi için odun yongası gazlaştırma ile entegre bir katı oksit yakıt hücresi ve buhar enjeksiyonlu gaz türbini tesisinin termo-ekonomik analizini yapmışlardır. Termodinamik analiz, optimize edilmiş tesis için biyokütle ile beslenen geleneksel tesislerden daha büyük olan % 53 ve

% 43'ün üzerinde enerji ve ekserji verimliliğini göstermiştir. Yatırım maliyetini tartışmak için ekonomik bir analiz yapmışlar, iç getiri oranı ve yatırımın geri dönüş süresi gibi ana parametreleri hesaplamış ve tartışmışlardır. Gazlaştırma teknolojisinin, bir SOFC ve bir gaz türbini ile birleştirildiğinde, biyokütlenin yüksek termal verimlilikle kullanıldığı sonucu çıkarmışlardır.

Ferreira ve Balestieri (2015), çalışmalarında selüloz ve kâğıt sektörü için önemli bir alternatif olma potansiyeline sahip siyah likörün gazlaştırmasını konu almışlardır. Karbondioksit yakalama sistemi olan ve olmayan iki siyah likör gazlaştırma çevrimini modellemiş ve teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. Siyah likör gazlaştırma kombine çevrim analizleri ile geleneksel biyokütle kazanına dayalı buhar döngüsü ile karşılaştırmışlardır.

Danthurebandara vd. (2015), atık depolama sahalarında kullanılacak olan plazma gazlaştırmanın çevresel ve ekonomik değerlendirmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Plazma gazlaştırmayı geleneksel yakma yöntemi ile çevresel ve ekonomik olarak kıyaslamışlardır. Tartışılan senaryolar arasında, geleneksel yakma yöntemi en düşük ekonomik ve çevresel karı elde etmiştir. Plazma gazlaştırmanın, belirli parametrelerin (net elektrik verimliliği, yatırım maliyeti, ürün kalitesi) dikkatli bir şekilde kullanılmasıyla ekonomik ve çevresel karı maksimize etme konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğunu söylemişlerdir. Çalışmalarında katı atıkların, depolama yerine plazma gazlaştırma sistemlerinde kullanılmasının baca gazı emisyonu ve oksijen kullanımı açısından genel çevresel performansının yakmadan daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Plazma gazlaştırma işleminin net elektrik verimliliğinin, yatırım maliyeti ve ürünlerin satış fiyatının başlıca ekonomik faydalarından olduğunu tespit etmişlerdir.

Luz vd. (2015), çalışmalarında elektrik üretimi için kentsel katı atıkları gazlaştırmanın teknik ve ekonomik analizi yapmışlardır. Belediye katı atıkları için katı atık kapasitesine göre 3 farklı senaryo geliştirmişlerdir. Analiz edilen tüm belediye katı atık gazlaştırma tesislerinde sabit yataklı reaktörler (aşağı çekişli gazlaştırıcılar) kullanmışlardır. Elektrik üretimi, elektrik jeneratörüne bağlı bir içten yanmalı motor tarafından gerçekleştirilmiştir. Tekno-ekonomik fizibilite analizinde giderler olarak ekipman ve kurulum maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri ve yatırımın faiz oranı dikkate alınmıştır. Gelirlerle ilgili olarak, elektrik satışı, geri dönüştürülebilir malzemelerin gelirleri, belediyeler tarafından düzenli depolama sahalarında belediye

katı atıklarının bertarafı için ödenen ücretlerden ve karbon kredileriyle elde edilen gelirler dikkate alınmıştır. Daha büyük ünitelerin kurulumu ile ekonomik fizibilitenin arttığı, pozitif büyüme kazançları gösterdiği, dolayısıyla kurulum kapasitesi arttıkça özgül maliyetlerin azaldığı ve faydaların da arttığı sonucuna varmışlardır.

Im-orb vd. (2016), makalelerinde, Aspen Custom Modeler programı kullanılarak biyokütle gazlaştırma ve FT (Fischere Tropsch) entegre işleminin bir modeli geliştirmişlerdir. Model biyokütle gazlaştırma, sentez gazı temizleme ve şartlandırma ünitesi ile Fischere Tropsch sisteminden oluşmuştur. Pirinç samanından temiz yakıt üretimi için bir biyokütle gazlaştırma ve Fischere Tropsch entegre işleminin tekno-ekonomik analizini sunmuşlardır.

Jain ve Pruyn (2016), makalelerinde bir gemi geri dönüşüm sahasında plazma gazlaştırma tesisi kullanmanın ekonomik analizini yapmak için bir model sunmuşlardır. Atık miktarları farklı kapasiteli, iki plazma gazlaştırma tesisini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, bir plazma gazlaştırma tesisine yapılan yatırımın makul ölçüde hızlı bir şekilde geri kazanıldığını göstermiştir.

Kabalina vd. (2017), çalışmalarında çöpten türetilen yakıtların (RDF) gazlaştırılmasına dayalı bir çoklu üretim bölgesel ısıtma ve soğutma sisteminin enerji ve ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Bu amaçla, farklı ürün çeşitleri üretebilen yeni bir çoklu üretim sistemini, entegre bir hava-buharlı gazlaştırıcı ve ürün gazı yükseltme ekipmanı olan mevcut bir tesise dayalı olarak tasarlamışlardır. Daha sonra bu ürün çeşitlerine göre termodinamik ve ekonomik modeller oluşturulup karşılaştırmalar yapmışlardır. Sonuçlar, sistemin tek ürünü kömür olduğunda, sistem performansının yüksek olduğunu göstermiştir.

Yang vd. (2017), hazırlamış oldukları makalede, kömürden sentetik gaza BGL gazlaştırıcının karşılaştırmalı bir tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Bu çalışmada kömürden sentetik gaza tüm süreç modeli oluşturmuş ve modelin doğruluğunu, gerçek işletim parametreleri, kütle ve enerji dengesi verileriyle karşılaştırarak doğrulamışlardır. Simülasyon sonuçlarına dayanarak, fiili üretim, sonraki süreç iyileştirmesi, teorik destek ve referans sağlamak için sürecin ekserji analizi ve ekonomik değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir.

Moharamian vd. (2017), bu çalışmalarında Organik Rankine döngüleri kullanarak üç biyokütle ve biyokütle-doğal gaz ateşlemeli kombine çevrimin karşılaştırmalı termodinamik ve termo-ekonomik analizlerini yapmışlardır. Bu üç çevrim harici olarak

ateşlenen, biyokütle entegre ortak ateşlemeli ve biyokütle entegre sonradan-ateşlemeli kombine çevrimlerdir. Bu tesislerin performanslarını ve Organik Rankine Çevrimin taban döngülerini analiz etmek için, ekserji ve enerji analizlerinin yanı sıra termo-ekonomi analizini kullanmışlardır.

Mondal vd. (2018), çalışmalarında dışarıdan ateşlenen, biyokütle gazlaştırma esaslı kombine kojenerasyon tesisinin termo-ekonomik performans analizlerini yapmışlardır. Aşağı çekişli bir gazlaştırıcıda gazlaştırmaya giren yakıt beslemesi testere tozu olarak kabul edilmiştir. Önerilen sistemde İlk olarak termodinamik model geliştirme, ardından termo-ekonomik performans analizi yapılmıştır.

Yang vd. (2018), yazmış oldukları makalede biyokütle gazlaştırma ile entegre bir kombine soğutma ısıtma ve güç sisteminin termo-ekonomik analizini yapmışlardır. Burada amaç biyokütle kaynağını etkin bir şekilde kullanmak ve enerji verimliliğini artırmaktır. Biyokütle gazlaştırmaya dayalı kombine soğutma, ısıtma ve güç sistemine, ekserjetik maliyet teorisine dayanan bir termo-ekonomik maliyet analizi yöntemi uygulamışlardır.

Zhang vd. (2018), bu çalışmada, bir biyokütle kısmi gazlaştırma modelinin performans analizini incelemişlerdir. Biyokütlenin aktif bileşenleri gazlaştırma reaksiyonuna katılmış ve inaktif bileşimler yanma gibi farklı kullanım amaçları için bir kazana beslenmiştir. Gazlaştırma reaksiyonuna katılacak aktif bileşenler için gazlaştırıcı maddeler oksijen ve buhar olup çıkış malzemesi biyogazdır. Bu modelde önerilen gazlaştırma işleminin termodinamik ve ekonomik performansları değerlendirilmiştir.

Li vd. (2018), çalışmalarında, akışkan yataklı gazlaştırma yardımıyla kömürden hidrojen üretim işleminin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına dayalı olarak, sürecin geliştirilmesi ve yatırımı için termodinamik analiz ve ekonomik değerlendirme çalışmaları yapmışlardır.

Ramos ve Rouboa (2018), çalışmalarında plazma gazlaştırma sisteminin teknik, çevresel ve ekonomik yönlerini değerlendirerek sürdürülebilir bir atık yönetim sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Plazma gazlaştırma için şimdiye kadar yapılmış ekonomik fizibilite çalışmalarını güncellemeye, bu çevre dostu tekniğe bakış açısını geliştirmek için bazı yeni girdiler ve bilgiler eklemeye çalışmışlardır. Dört farklı plazma teknolojisi için mali verileri karşılaştırmışlardır. En uygulanabilir ya da karlı plazma teknolojilerini tartışmışlardır.

Shayan vd. (2019), çalışmalarında, entegre bir katı oksit yakıt pili (SOFC) ve biyokütle

gazlaştırma sistemi üzerinde buhar ve havayı iki farklı gazlaştırma maddesi olarak kullanmış ve karşılaştırmalı bir eksergoekonomik analiz yapmışlardır. Gazlaştırma işlemi için ayrıntılı bir termodinamik denge modeli geliştirmişlerdir. Sistem performansını, net çıktı gücünü, ekserji verimliliğini ve sistemin birim ürün maliyetini incelemişlerdir. Sonuçlar gazlaştırma maddesi olarak hava yerine buhar kullanıldığında optimum çalışma koşullarında net çıktı gücünün % 14,8 arttığını, ekserji veriminin % 24,9 arttığını ve sistemin birim ürün maliyetinin % 8,9 azaldığını göstermiştir.

Yang vd. (2019), makalelerinde kömürün farklı kömür gazlaştırıcılarla etilen glikol sürecine (CtEG) dönüştürülmesinin termodinamik ve tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Bu çalışmada üç farklı gazlaştırıcı ile tüm CtEG sürecinin modeli oluşturulmuştur. GSP, Shell ve Texaco ile üç durumdaki CtEG işleminin CO₂ emisyonları, termodinamik ve ekonomik performansı ayrıntılı olarak analiz edilip karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, GSP'nin en yüksek karbon ve soğuk gaz verimlerine sahip olduğunu göstermiştir. Ekserji verimi en yüksek GSP, sermaye maliyeti en yüksek Shell olarak belirlenmiştir.

Wu vd. (2019), çalışmalarında güneş termal biyokütle gazlaştırmasına dayalı bir kombine ısıtma, soğutma ve güç sistemi tasarlayıp tersinmezliği ve maliyet dağılımını ortaya çıkarmak için ekserji ve eksergoekonomik analiz yapmışlardır. Sistemin enerji performansı soğutma modunda daha iyi iken, ekserji verimliliğinin ısıtma modunda soğutma moduna göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. En düşük ekserji verimi, kullanım sıcak suyu sağlayan egzoz gazı ısı eşanjörünün bileşenlerinde olmuştur. İçten yanmalı motorun ekserji kaybı % 49,2 ile toplam ekserji tahribatı içinde en büyük paya sahip olmuştur.

Pichardo vd. (2019), çalışmalarında, yeni bir kombine membran – adsorptif reaktör dizisi (MR-AR) konsepti geliştirilmiş ve entegre bir gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) tesisinde uygulamışlardır. MR-AR IGCC tesisini tekno-ekonomik analiz yoluyla ekonomik bir bakış açısından analiz etmişlerdir. Bu MR-AR tabanlı IGCC tesisi ile karbon yakalama ve depolama tasarımı geleneksel bir IGCC tesisi karşılaştırmışlardır. MR-AR tabanlı IGCC tesisi, karbon yakalama ve depolama tasarımı temel IGCC'den % 9'dan fazla ek güç üretmiştir. Sonuçlar, temel duruma göre teklif edilen tasarımın hem elektrik maliyetinde hem de sermaye maliyetinde bir düşüş olduğunu göstermiştir.

Kesling (2019), tezinde, odun atığını kullanabilir enerjiye dönüştürmek için kombine ısı

ve güç uygulamalarında atık gazlaştırmanın ekonomik analizini yapmıştır. İki senaryo ortaya atmıştır. İncelenen bu senaryolar, sıcak suyu bir dağıtım ağına bağlamak ve organik bir Rankine döngüsü kurmaktır. İncelenen özel uygulama için, sıcak su boru şebekesinin % 0,54 civarında bir iç getiri oranı ile kurulması çok maliyetli olduğu, Organik Rankine Döngüsünün, % -3.19 civarında bir iç getiri oranı ile daha az maliyetli olduğu görülmüştür. Tesis için sınır oranı % 35 olduğundan, bu da iki seçeneğin de ekonomik olarak uygulanabilir seçenekler olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, çalışılan tesiste kombine bir ısı ve güç uygulaması için gazlaştırma teknolojisinin uygulanmasının imkansız olacağı tespit etmiştir.

Ünal (2019), tez çalışmasında yer altı kömür gazlaştırma teknolojisini uygulanabilirliği teknolojik ve ekonomik açıdan incelemiştir. Kömür gazlaştırma prosesleri araştırmış, matematiksel model üretilerek matlab simülasyonu oluşturulmuştur. Oksitleyici olarak hava ve oksijen kullanımının ve CO₂ yakalama ve depolama teknolojisini maliyete etkisi incelemiştir. Gazlaştırılması gereken kömür miktarı hesaplamıştır. Denge modeli analizi kullanılarak sentez gazının bileşimi, ısı değeri ve miktarı elde edilmiştir. Lineer ve paralel olarak hareket ettirilen ateşleme noktalarına göre iki farklı modelin tasarımı ve maliyet analizi yapmıştır.

Akrami vd. (2020), bu araştırmada, bir aşağı çekişli gazlaştırıcı, harici olarak ateşlenen bir gaz türbini, bir erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC), bir organik Rankine döngüsü (ORC) ve bir kriyojenik CO₂ ayırma ünitesinin yeni bir entegrasyonu geliştirilmiştir. Geliştirilmiş termodinamik model üzerinde ayrıntılı ekserji ve eksergoekonomik analizler yapılmıştır. Eksergoekonomik analiz sonuçları, gazlaştırıcının ve yanma odasının en yüksek ekserji yıkımı oranlarına sahip olduklarını göstermişlerdir. Tüm bu termodinamik ve ekonomik analizler sistemi iyileştirmek için gerekli stratejilerin geliştirilmesine imkan sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Li vd. (2020), çalışmalarında yakıt olarak kömürün kullanıldığı akışkan yataklı gazlaştırma sisteminden sentetik doğal gaz üretimi için sistem tasarlamış ve modellemişlerdir. Bu çalışmanın temel amacını doğal gaza alternatif oluşturmak olarak belirlemişlerdir. Tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliği hesaplamış ve teknolojik değerlendirilmesini yapmışlardır.

Michailos vd. (2020), makalelerinde, atık su arıtma tesisine entegre bir anaerobik çürütme, gazlaştırma ve CO₂ biyometanasyon sürecini kullanarak biyometan üretiminin tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmalarında, böyle bir entegre

enerji sisteminin uygulanabilirliğini değerlendirmeye yönelik dört farklı senaryo tasarlamış ve değerlendirmişlerdir. Sistemlerin enerji verimliliği % 26,5 ile % 35,5 arasında olup ve belirli koşullar altında kar elde edilebileceğini söylemişlerdir.

Khoshgoftar Manesh ve Jadidi (2020), makalelerinde, zeytin çekirdeklerine dayalı bir biyokütle entegre gazlaştırma kombine çevrim tesisini (IGCC), geleneksel ve gelişmiş ekserji, eksergoekonomik ve dış çevre analizleri (4E) ile incelenmişlerdir. Bu bağlamda, parametreleri hesaplamak için bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Ekserjetik analiz ile sistemdeki entropi oluşumunun yeri, değerleri ve kaynakları belirlenmiştir. Eksergoekonomik analiz ile bileşenlerdeki maliyet bilgileri sadece sermaye yatırımı açısından değil, aynı zamanda ekserji maliyeti açısından da belirtilmiştir. Dış çevre analizleri sayesinde, verimliliğin artırılması ve fosil yakıt tüketiminin azaltılmasının, çevresel özellikleri teşvik etmenin temel faktörleri olduğu sonucuna varmışlardır.

Marchenko vd. (2020), makalelerinde, farklı yakıt türleriyle çalışan küçük enerji santrallerinin ekonomik verimliliğini karşılaştırmışlardır. Tomruk ve odun işlemeden kaynaklanan atık olan biyokütle, gazlaştırma tesisleri için yakıt olarak kabul edilmiş ve kömür, doğal gaz ve dizel yakıt kullanılan kojenarasyon tesisleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları, odun yakıtı kullanıldığında elektrik maliyetinin, diğer santrallerden önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermiştir. Odun ateşlemeli enerji kojenerasyon sistemlerinin (mini-CHP), bulundukları yerde ucuz odun yakıtı varsa, kömür ve gaz santralleriyle de başarılı bir şekilde rekabet edebileceğini söylemişlerdir.

Indrawan vd. (2020), çalışmalarında, 60 kw'lık aşağı çekişli bir gazlaştırıcı kullanarak biyokütlenin ve kentsel katı atıkların (MSW) gazlaştırılması yoluyla elektrik üretiminin ekonomik bir değerlendirmesini yapmışlardır. Sonuçlar, aşağı çekimli gazlaştırma güç sisteminin 7,7 yıllık bir geri ödeme süresi sunarken, sırasıyla % 10,9, % 7,7 ve 84,550 dolarlık bir iç getiri oranı, değiştirilmiş iç getiri oranı ve net bugünkü değer oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca gazlaştırma sisteminin, doğrudan yakma ve çöp sahasına kıyasla potansiyel olarak karbondioksit, nitrojenoksit ve sülfürdioksit emisyonlarını azalttığını belirtmişlerdir.

Abdul Malek vd. (2020), makalelerinde, tarım ve orman kaynaklarını gazlaştırmaya dayalı bu çalışmada enerji ve ekonomik fizibilite ile gazlaştırma santralinin çevresel etkisini analiz etmiş ve sürdürülebilir enerji üretimi için değerlendirmişlerdir. Bu santralde çift yakıtlı içten yanmalı motor ile elektrik üretimi için gazlaştırma teknolojisi kullanılmıştır. Elektrik üretimi için gazlaştırmının ticari kullanımı, benzer kapasitedeki

fosil yakıt bazlı ünitelerle karşılaştırıldığında daha maliyetli çıkmıştır. Çift yakıtlı içten yanmalı ile elektrik üretimi için gazlaştırma teknolojisinin, bir biyokütle yakma tesisinden daha verimli olabileceğini, ancak yıllık yakıt maliyeti önemli ölçüde daha yüksek olacağını söylemişlerdir. Tesisin bir girişim olarak cazip olması için ekonomik olarak çok zayıf olduğu sonucunu çıkarmışlardır.

Liu vd. (2020), çalışmalarında, çift enerji çıkışı ve aktif karbon ile biyokütle işlemenin teknoekonomik analizini yapmışlardır. Bu çalışmada, biyokütle, aktivasyon ajanı olarak iç baca gazı ve harici hava kullanılarak iki farklı işlemle aktif karbon ve yakıt gazı üretmek için kullanılmıştır. Aspen Plus simülasyonu ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hava aktivasyonu ekonomik olarak bariz bir avantaja sahipken, büyük ölçekli üretimde hassas sıcaklık kontrolü ve çalışma stabilitesi riskinin dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Baca gazı aktivasyonu daha güvenilir ve aynı zamanda daha az CO₂ ürettiğini, bununda uzun vadeli işletim için yararlı olabileceğini söylemişlerdir.

Paulino vd. (2020), çalışmalarında biyomedikal atıkların bertarafı için plazma gazlaştırma sisteminde kullanılmasına yönelik termodinamik ve ekonomik çalışmalar geliştirmiş ve uygulanmışlardır. Plazma gazlaştırıcıda biyomedikal atıklar yok edilirken, inert bir cüruf ve sentez gazı üretilmiştir. Sentez gazını elektrik ve ısı üretimi için içten yanmalı motorlarda yakmışlardır. İçten yanmalı motor ile birleştirilmiş plazma gazlaştırma sisteminin enerji verimliliğini belirlemek için termodinamik analiz yapmışlar ve elektrik üretim potansiyelini belirlemişlerdir. Sentez gazı ve elektrik üretim maliyetini, geri ödeme süresini ve sistemin beklenen yıllık tasarrufunu belirlemek için ekonomik çalışmalar yapmışlardır. Termodinamik analiz, plazma gazlaştırıcının enerji verimliliğinin % 78,58 olduğunu ve gereken elektriğin % 31'ini üretme potansiyeli olduğunu göstermiştir. Ekonomik analiz sayesinde elde edilen geri ödeme süresini 6 yıl olarak belirlemişlerdir.

Nam vd. (2020), çalışmalarında nükleer füzyon ile biyokütle hibrit sisteminden hidrojen üretiminin teknoekonomik analizini yapmışlardır. Sonuç, günde 29 ila 100 ton biyokütle gazlaştırma tesisinden, 2760 MW varsayılan füzyon termal gücü ile birlikte yıllık 0,9 milyon ton hidrojen üretilabileceğini göstermiştir. Hibrit sistemin toplam % 60,9 sistem verimliliğine ulaşacağını ve bunun % 52,5'ini hidrojen üretim verimliliğinden, % 8,4 ünü elektrik üretim verimliliğinden oluştuğunu hesaplamışlardır. Füzyon-biyokütle hibrit sisteminin, gelecekte temiz ve sürdürülebilir bir toplum için hidrojen üretmede iyi bir seçenek olacağını söylemişlerdir.

Zoghi vd. (2021), çalışmalarında beş alt sistemi içeren yeni nesil bir çoklu üretim sistemin enerji, ekserji, eksergoekonomik ve çevresel analizleri yapmışlardır. Güneş enerjisi kulesi ve biyokütle gazlaştırmadan oluşan bir hibrit ısı kaynağı tarafından çalıştırılan sistemin, bir rejeneratif gaz türbini döngüsünden atık ısıyı geri kazanmayı amaçlamışlardır. Sistem elektrik, soğutma, ısıtma ve hidrojen üretim alt sistemlerinden oluşmuştur. Önerilen sistemde, bir termoelektrik jeneratör, bir kullanım sıcak suyu ısı eşanjörü, atık enerjisini geri kazanmak için gaz türbin çevrimi, bir buhar Rankine döngüsü, absorpsiyonlu soğutma sistemi ve bir proton değişim membranı elektrolizörü kullanılmıştır. Tüm sistem elemanlarının termodinamik, eksergoekonomik ve çevresel analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak gaz türbin çevrimi sayesinde toplam ekserji verimi 9,04 puan artırmıştır.

Ye vd. (2021), bu çalışmada, kömür kısmi gazlaştırma ve oksî-yakıt yakmaya dayalı yeni bir enerji dönüşüm sisteminin termodinamik ve ekonomik analizi yapmışlardır. Kömür gazlaştırma ünitesinde kömür-CO₂ kısmi gazlaştırma teknolojisi, kömür yakma ünitesi ve gaz türbini ünitesinde oksî-yakıt yakma teknolojisi kullanmışlardır. Kömür yakma ve gaz türbininin geri dönüştürülmüş baca gazı oranı arttığında, hem enerji verimliliği hem de ekserji verimliliği artma / azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. CO₂ / O₂ oranı 0,78'den 1,06'ya çıktığında, gazlaştırma sıcaklığı, enerji verimliliği ve ekserji verimliliği sürekli artan bir eğilim göstermiştir. Entegre bir oxy gazlaştırma kombine çevrimi ile karşılaştırıldığında, önerilen sistemin enerji verimliliği yaklaşık% 3 daha yüksek çıkmıştır. Sistemin toplam yatırım maliyeti 3272,71 milyon RMB(Çin para birimi)'dir. Sistemin iç getiri oranını % 8,07 ve geri ödeme süresini 12,38 yıl olarak hesaplamışlardır.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Eksergoekonomik analiz	Kalıncı vd., 2011.	Kanalizasyon çamurundan plazma gazlaştırma sistemi ile hidrojen üretimini incelemişlerdir.
	Kalıncı vd., 2012.	EXCEM yöntemi ile akışkan yataklı gazlaştırıcı ile biyokütle bazlı hidrojen üretimini araştırmışlardır.
	Kalıncı vd., 2012.	Biyokütleden hidrojen ve enerji üretmek için üç farklı gazlaştırma sistemini karşılaştırmışlardır.
	Siefert ve Litster, 2013.	İki gelişmiş fosil yakıtlı enerji santrali konfigürasyonunun analizlerini yapmışlardır.
	Shayan vd., 2019.	Entegre bir SOFC ve biyokütle gazlaştırma sistemi üzerinde farklı gazlaştırma maddesi kullanarak karşılaştırmalı analiz yapmışlardır.
	Wu vd., 2019.	Biyokütle gazlaştırmasına dayalı bir kombine ısıtma, soğutma ve güç sistemi tasarlayıp analiz etmişlerdir.
	Akrami vd., 2020.	Aşağı çekişli bir gazlaştırıcı, bir gaz türbini, bir yakıt hücresi, bir organik Rankine döngüsü ve bir CO ₂ ayırma ünitesinin bir entegrasyonu geliştirmiş ve ayrıntılı analizler yapmışlardır.
Ekonomik analiz	Jaln ve Pruyn, 2016.	Bir gemi geri dönüşüm sahasında iki plazma gazlaştırma tesisinin ekonomik analizini modellemişlerdir.
	Kesling, 2019.	Odun atığını gazlaştırmayı iki senaryoda karşılaştırmıştır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
Çevresel ve ekonomik analiz	Marchenko vd., 2020.	Biyokütle gazlaştırma ile kojenerasyon tesisi ekonomik olarak karşılaştırılmıştır.
	Indrawan vd., 2020.	Kentsel katı atıkların gazlaştırılması yoluyla elektrik üretiminin ekonomik bir değerlendirmesini yapmışlardır.
	Danthurebandara vd., 2015.	Atık depolama sahalarında kullanılabilecek plazma gazlaştırma ile yakma yöntemini karşılaştırmışlardır.
	Khoshgoftar Manesh ve Jadidi, 2020.	Zeytin çekirdeklerine dayalı bir biyokütle entegre gazlaştırma kombine çevrim tesisini analiz etmişlerdir.
	Abdul Malek vd., 2020.	Biyokütle gazlaştırmaya dayalı elektrik üretimi ile fosil yakıtlı kaynaklara dayalı üniteler karşılaştırılmıştır.
Tekno-ekonomik analiz	Zoghi vd., 2021.	Çoklu bir üretim sistemin enerji, ekserji, eksergoekonomik ve çevresel analizlerini yapmışlardır.
	Yang vd., 2012.	Ürünlerin elektrik ve metanol olduğu kömür gazlaştırma tabanlı ortak üretim sistemini analiz etmişlerdir.
	Luz vd., 2015.	Kentsel katı atıkların gazlaştırılması için üç senaryo geliştirip analiz yapmışlardır.
	Ferreira ve Balestieri, 2015.	Karbondioksit yakalama sistemi olan ve olmayan iki siyah likör gazlaştırma çevrimini modellemiş ve analizini yapmışlardır.
	Im-orb vd., 2016.	Aspen Custom Modeler programını kullanarak biyokütle gazlaştırma ve Fischere Tropsch entegre işleminin bir modelini geliştirmişlerdir.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
	Yang vd., 2017.	Kömürden SNG'ye BGL gazlaştırıcının süreç modelini oluşturup karşılaştırmalı bir analiz yapmışlardır.
	Ramos ve Rouboa, 2018.	Dört farklı plazma teknolojisinin mali verilerini karşılaştırmışlardır.
	Pichardo vd., 2019.	Bir kombine membran – adsorptif reaktör konsepti geliştirilmiş, entegre bir gazlaştırma kombine çevrim tesisinde uygulayıp geleneksel bir gazlaştırma tesisi ile karşılaştırmışlardır.
	Ünal, 2019.	Yer altı kömür gazlaştırma teknolojisinin uygulanabilirliği teknolojik ve ekonomik açıdan incelemiştir.
	Michailos vd., (2020),	Entegre bir enerji sisteminin uygulanabilirliğini dört farklı senaryoda değerlendirmiş ve tekno-ekonomik analiz yapmışlardır.
	Li vd., 2020.	Akışkan yataklı gazlaştırma sisteminde kömürden sentetik doğal gaz üretimi için sistem tasarlanmış, modellemiş ve ekonomik olarak değerlendirmeler yapmışlardır.
	Liu vd., 2020.	İki farklı işlemle biyokütlenin tekno-ekonomik analizini yapmışlardır.
	Nam vd., 2020.	Nükleer füzyon ile biyokütle hibrit sisteminden hidrojen üretiminin analizini yapmışlardır.
Termo-ekonomik analiz	Rokni, 2014.	Biyokütle gazlaştırma sistemi, katı oksit yakıt hücresi ve Stirling motorlu birleşik bir sistemin analizini yapmışlardır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
	Mazzucco ve Rokni, 2014.	Elektrik üretimi için odun yongası gazlaştırma ile entegre bir katı oksit yakıt hücresi ve buhar enjeksiyonlu gaz türbini tesisinin analizini yapmışlardır.
	Kabalina vd., 2017.	Çöpten türetilen yakıtların gazlaştırılmasına dayalı bir polijenere ısıtma ve soğutma sisteminde modeller oluşturulup karşılaştırmalar yapmışlardır.
	Moharamian vd., 2017.	Organik Rankine döngüleri kullanılarak üç kombine çevrimin karşılaştırmalı analizlerini yapmışlardır.
	Mondal ve Ghosh, 2018.	Biyokütle gazlaştırma esaslı kombine kojenerasyon tesisi için termodinamik model geliştirip ardından analizlerini yapmışlardır.
	Yang vd., 2018.	Biyokütle gazlaştırma ile entegre bir kombine soğutma ısıtma ve güç sisteminin analizini yapmışlardır.
	Zhang vd., 2018.	Bir biyokütle kısmi gazlaştırma modelinin performans analizini incelenmişlerdir.
	Li vd., 2018	Kömürden hidrojen üretim işleminin simülasyonunu gerçekleştirmiş ve termodinamik analiz ve ekonomik çalışmalar yapmışlardır.
	Yang vd., 2019.	Kömürün 3 farklı kömür gazlaştırıcı ile etilen glikol sürecine dönüştürülmesinin karşılaştırılmalı analizini yapmışlardır.

Tablo 1 (devamı). Literatürdeki çalışmaların özeti

Çalışmanın Konusu	Referans	Çalışmanın Amacı
	Paulino vd., 2020.	Biyomedikal atıkların plazma gazlaştırmasına yönelik termodinamik ve ekonomik çalışmalar geliştirmiş ve uygulamışlardır.
	Ye vd., 2021.	Kömür kısmi gazlaştırma ve oksijen yakıt yakmaya dayalı bir enerji dönüşüm sisteminin analizini yapmışlardır.

1.4. Yapılan Çalışmanın Literatürden Farkı

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle bu tez çalışması literatürden farklı olup, özgün niteliktedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizi yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak sunulmuştur.

Teorik çalışmalarda soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin çalışma prensibi, genel kabuller ve sistemdeki etkili büyüklüklerden söz edilmiştir. Deneysel çalışmada soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminde kullanılacak olan organik çöp karışımının elemental analizleri yapılmıştır. Elemental analizler gazlaştırma yapılacak olan maddenin parametrelerinin belirlenmesi için önemlidir. Elemental analizler hizmet alım yoluyla gerçekleştirilmiştir. Sonra sisteme her bir deney için 25 kg organik çöp yüklenerek 3 test deneyi ve 3 performans deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresi test deneylerinde ortalama 55 dakika ölçülürken, yapılan iyileştirmelerle performans deneylerinde çalışma süresi ortalama 37 dakika olarak ölçülmüştür. Sistem üzerinde reaktörde, torçta, borularda, gaz temizlemede, soğutma kolonlarında, soğutucuda ve reaktör içinde torçun hareketlerinde yapılan iyileştirmeler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında en düşük performanslı deney ile en iyi performanslı deney dikkate alınmış ve eksergoekonomik karşılaştırmalar bu iki deney sonucuna göre yapılmıştır. Termodinamik çalışmalar kısmında deney sonuçlarından faydalanarak eksergoekonomik hesaplamalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan veriler, TÜBİTAK 117M436 nolu projeden alınmıştır (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020).

2.1. Teorik Çalışmalar

Bu tez çalışmasının teorik çalışmalar kısmında; çalışmayla ilgili genel kabuller, tasarlanan sistemdeki etkili büyüklükler, sistemin çalışma prensibi ile ark plazma gazlaştırma sisteminin elemanları sunulmuştur.

2.1.1. Genel Kabuller

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

- Referans sıcaklık ve basınç 1 atm ve 25°C olarak alınmıştır.
- Eksergoekonomik analiz çalışmalarında sistem sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel enerji ve ekserji değerleri ihmal edilmiştir.
- Ekserji ve eksergoekonomik analiz hesaplamalarında ve karşılaştırmalarında, yapılan deneysel çalışmalarda sistemin iyileştirilmesini eksergoekonomik açıdan anlamak için en düşük sonuçları veren test deneyi ile en iyi sonuçları veren performans deneyi sonuçları dikkate alınmıştır.
- Deneylerde bileşimine ve nem içeriğine bağlı olarak 25 kg organik çöp (% 20 bahçe atığı + % 20 karton atığı + % 20 odun atığı + % 20 plastik atığı + % 20 tekstil atığı) kullanılmıştır.
- Hesaplar Euro üzerinden yapılmış olup tez hesapları sırasında Eylül 2020 kur değerlerine göre 1 Euro'nun ortalama 8,5 TL olduğu kabul edilmiştir.
- Deney sisteminin eksergoekonomik hesapları yıllık 1000 saat üzerinden yapılmıştır.
- Efektif faiz oranı % 6 ($i=6$) olarak kabul edilmiştir.
- Sistemin işletme ömrü $n=20$ yıl olarak alınmıştır.
- İşletme ve bakım-onarım faktörünün değeri 1,3 olarak kabul edilmiştir.
- Toplam ekserji kaybı, hem ısı kaybıyla gerçekleşen ekserji kayıplarını hem de sistemdeki ekserji yıkımını içermektedir.
- Ark plazma torçta kullanılan ana taşıyıcı ve yardımcı gazların yüksek sıcaklıkta tam olarak plazmaya dönüştüğü kabul edilmiştir.
- Eriyikten olan ekserji kaybı ısı kaybı ile birlikte değerlendirilmiştir.

2.1.2. Sistemdeki Etkili Büyüklükler

Soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sistemindeki etkili büyüklükler üç farklı alt başlık altında sunulmuştur.

2.1.2.1. Sabit Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında, ele alınan sistemin eksergoekonomik analizinin yapılması için kullanılan sabit büyüklükler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sabit büyüklükler

Sabit Büyüklük	Anlamı	Birimi	Değer
i	Efektif faiz oranı	%	6
N	İşletme ömrü	Yıl	20
T	Yıllık çalışma saati	Saat.yıl ⁻¹	1000
İY	İlk yatırım maliyeti	Euro	100000-120000
φ	İşletme ve bakım-onarım faktörü	-	1,3
-	Elektrik birim fiyatı (Ocak, 2021)	Euro	0,094
-	Organik çöpün birim fiyatı	Euro	0,01

İşletme ömrü sistemdeki makinaların ömrü göz önüne alınarak 20 yıl olarak belirlenmiştir. İlk yatırım maliyetinde her bir makinenin ve sarf malzemelerin maliyetinin yanında işçilikte hesaba katılmıştır. Yatırım sayısı ve şartlarına bağlı olarak gerçekleşen gerçek faiz oranı efektif faiz oranı olarak değerlendirilmiştir.

2.1.2.2. Ölçülebilen Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan, ölçülebilen büyüklükler Tablo 3'te verilmiştir. Burada yakıt olarak kullanılan organik çöp bileşenlerinin analizi yapılarak her bir bileşenin içinde bulunan ve Tablo 3'te gösterilen değerler ölçülmüştür.

Tablo 3. Ölçülebilen 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

Tablo 3 (devamı). Ölçülebilen büyüklükler

No	Parametre Adı	Birimi	Ölçüm Yöntemi
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 sarfiyatı, Çiller elektrik sarfiyatı, Vidalı kompresör elektrik sarfiyatı, Kızgın buhar jeneratörü elektrik sarfiyatı, 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

2.1.2.3. Hesaplanabilen Büyüklükler

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalarda kullanılan ve hesaplanabilen büyüklükler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler

Hesaplanabilen Büyüklük	Anlamı	Birimi
$\dot{E}x_g$	Toplam ekserji girişi	MJ
$\dot{E}x_{singaz}$	Singaz ile çıkan ekserji	MJ
$\dot{E}x_{kayıp}$	Sistemde gerçekleşen ekserji kaybı	MJ
$\dot{E}x_D$	Sistemde gerçekleşen ekserji yıkımı	MJ
η_{ex}	Sistemin ekserji verimi	%
$C_{orçöp}$	Organik çöpün birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
C_{singaz}	Singazın birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹

Tablo 4 (devamı). Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler

Hesaplanabilen Büyüklük	Anlamı	Birimi
$C_{kayıp}$	Toplam kaybın birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹
$C_{elektrik}$	Elektriğin ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹
$C_{orçöp}$	Organik çöpün ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹
C_{singaz}	Singazın ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹
$C_{kayıp}$	Toplam kayıpların ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹
f_{ekseco}	Eksergoekonomik faktör	-
CRF	İlk yatırım iyileştirme faktörü	-
$\dot{Z}_{sis}$	Bir değere getirilmiş toplam maliyet akısı	Euro.saat ⁻¹

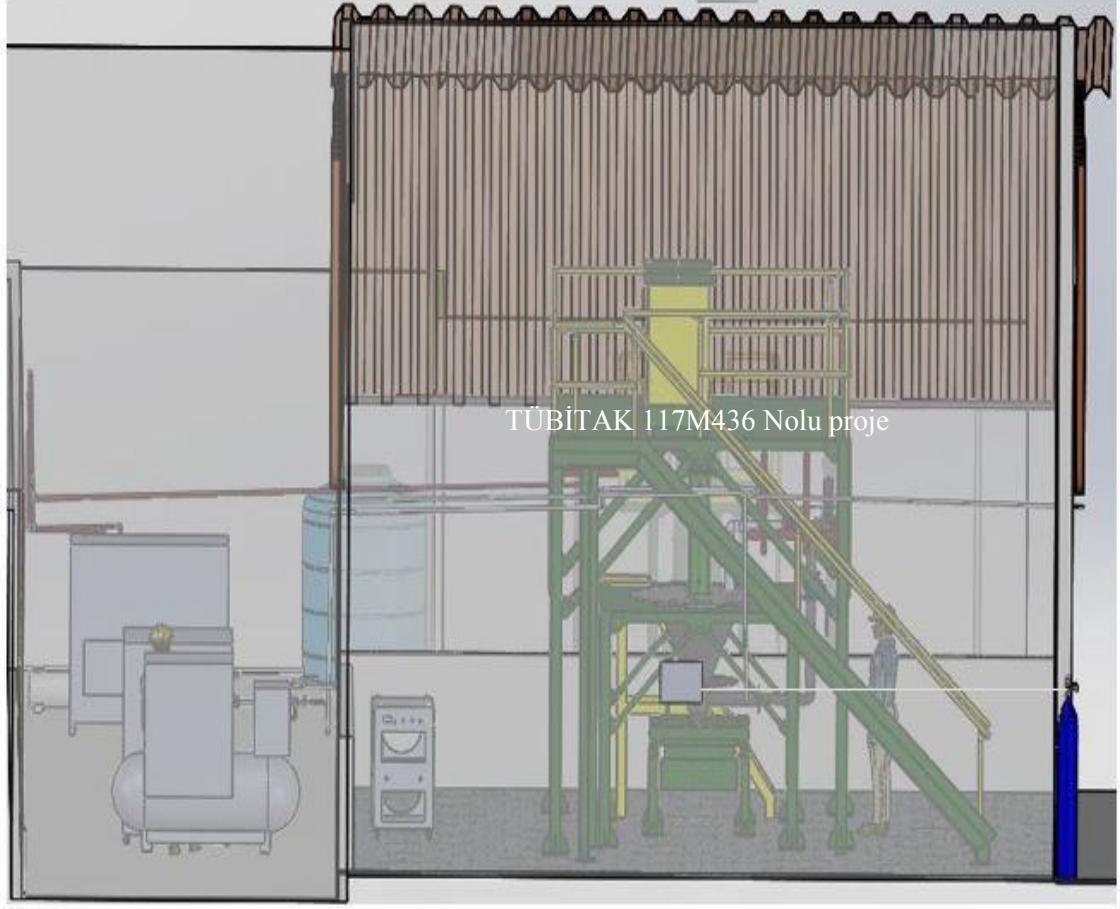
2.1.3. Deneyel Sistem ve Çalışma Prensibi

2.1.3.1. Giriş

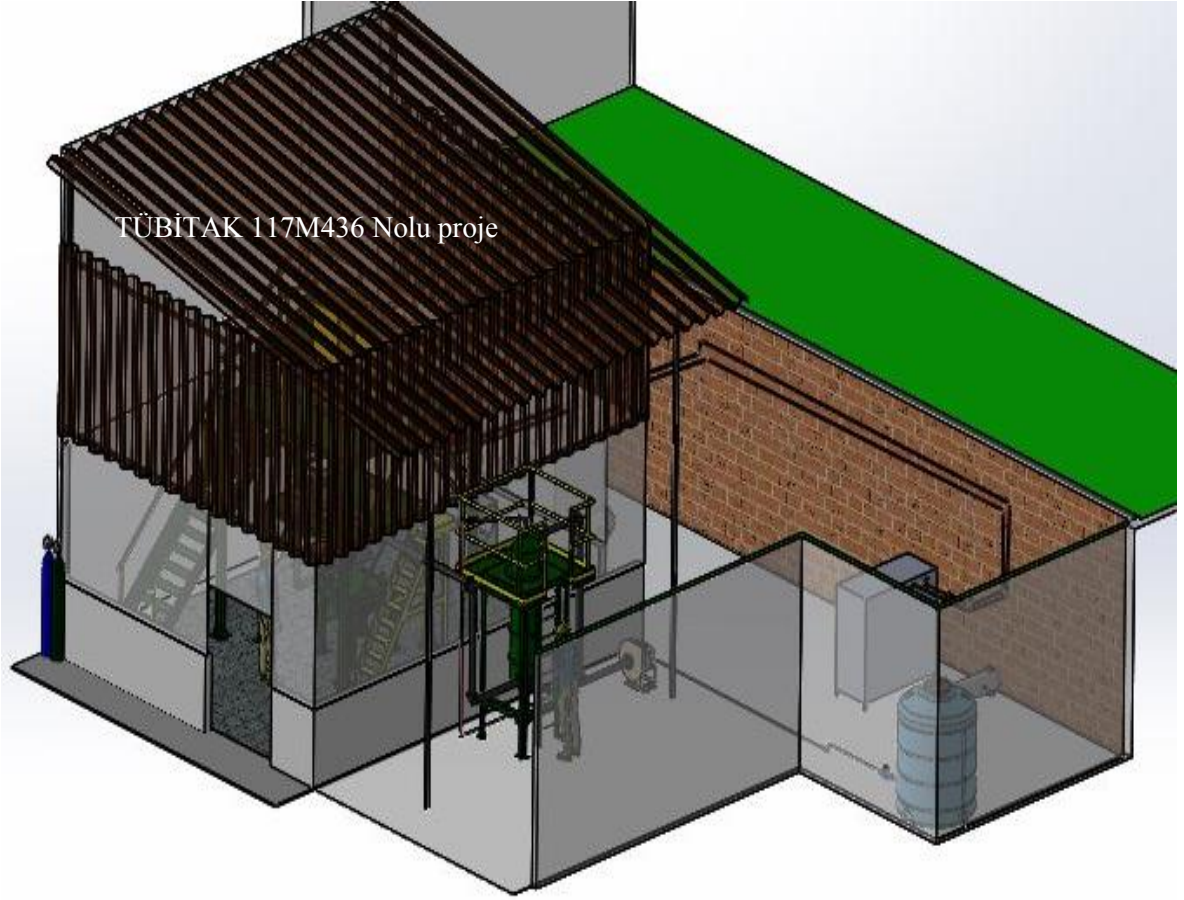
Deneyler, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Makine Mühendisliği Plazma Gazlaştırma Laboratuvarında TÜBİTAK 117M436 nolu proje kapsamında kurulan soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminde gerçekleştirilmiştir (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020). Ark plazma gazlaştırma deneylerinde hammadde olarak belediyeye ait organik katı atıklar kullanılmıştır. Organik katı atıkların içeriği, karton-kağıt, odun atıkları, plastik atıkları, bahçe atıkları, tekstil atıklarından oluşmaktadır. Test deneylerinde en verimsiz durum ile performans deneylerinde en verimli durum karşılaştırması eksergoekonomik açıdan yapılmıştır.

2.1.3.2. Deney Sistemi

TÜBİTAK tarafından desteklenen 117M436 nolu proje kapsamında (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020) tasarlanan, geliştirilen ve performans araştırmaları yapılan soğutma kolonlu çift beslemeli konik plazma reaktörlü organik çöp gazlaştırma sistemi için düzenlenen laboratuvarın katı modelinin yandan ve izometrik görünümü Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020). Bu bölümde şekillerde gösterilen sistemin çalışma prensibi anlatılmıştır.



Şekil 1. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma laboratuvarının katı modelinin yandan görünümü



Şekil 2. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma laboratuvarının izometrik görünümü

Plazma gazlaştırma sistemi Şekil 3’te gösterilen besleme sistemi (hopper), plazma torçu, gazlaştırma reaktörü, soğutma kolonları ve Şekil 4’te gösterilen elektrik panosu, buhar ünitesi, soğutma ünitesi chiller, kompresör ve gaz soğutma ünitesinden oluşmaktadır (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020).

Sistemdeki reaktör sabit yataklı yukarı ve aşağı çekişli (updraft ve downdraft) şekilde çalışabilen reaktördür. Doğru akım (DC) ark plazma yöntemi uygulanmıştır. Yakıt (organik atıklar), Şekil 3’te görülen çift beslemeli (iki silindirik kanal) reaktöre hopper’den yüklenir. Hopper’in kapakları kapatılır. Sistemin soğutulduğu borularda (su ile soğutulur) hava olup olmadığı kontrol edilir, hava varsa vanalar yardımıyla dışarı atılır. Ark plazma torç konik reaktöre yerleştirilir. Kompresör, fan, chiller ve diğer üniteler çalıştırılır. Hava oranı ayarlanarak torç çalıştırılır. Elektrik panosundan beslenen elektriksel yük ile sıcaklığı yüksek sıcaklıklara çıkarılmış hava, reaktör içerisinde bir elektrik arkı oluşturur. Atık maddeler reaktörde bu sıcak gaz ile temas

eder. Karbon içeren her madde yüksek sıcaklıkla karşılaştığında bozunur ve yanar gaz oluşur ($\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ vb.). Ark plazma gazlaştırma işlemi ile açığa çıkan yanar gaz soğutma ünitesine gider. Burada yıkama ve filtreleme işlemi yapılır. Yüksek sıcaklıkta giren gaz soğutulur ve partiküllerden arındırılarak bir fan yardımıyla dışarı alınır. Dışarı alınan gaz artık sentez gazdır (CO , H_2). Sistemde reaktör içerisinde gaza dönüştürülemeyen malzemeler de eriyik olarak reaktörden alınır.



Şekil 3. Soğutma kolonlu arc plazma konik reaktörü



Şekil 4. Gazlaştırma sistemi elemanları

Kompresör ark plazma gazlaştırma torçuna hava beslemek için kullanılır. Kompresör tarafından verilen havanın kuru olması gerekir. Bu yüzden kompresöre kurutucu ilave edilmiştir. Kuru hava istenilen basınç değerinde ayarlanarak sisteme gönderilir. Reaktördeki çok yüksek sıcaklığın düşürülmesi için soğutma kolonlarına

soğuk su verilir. Soğutulmuş su chillerden eşanjör yardımıyla sağlanır. Sistemden daha yüksek miktarda hidrojen alınmak istediğinde buhar ünitesi açılarak sisteme kızgın su buharı basılır.

Deneyler sırasında yapılanlar;

1. Ark plazma gazlaştırma sisteminde bulunan cihazlar onar dakika arayla kontrol edilmiştir.
2. Sistem üzerinde bulunan ölçüm noktalarından ölçümler manuel olarak alınmıştır.
3. Çiller üzerinde bulunan ark plazma gazlaştırma torçunun dönüş suyu kontrol edilmiştir.
4. Ark plazma gazlaştırma torçunun gövde sıcaklığı kontrol edilmiştir.
5. İlk 20 dakikadan sonra reaktör içerisine kısmen su buharı ve argon enjekte edilmiştir.
6. Ark plazma gazlaştırma sisteminin baca fanı kontrol edilmiştir.
7. Fan çıkışına yerleştirilen gaz gözetleme camından gaz çıkışı kontrol edildi ve soğutma ünitesinin içindeki gaz akışı kontrol edilmiştir.
8. Fan altına yerleştirilen tar vanası açılıp tar boşaltılmıştır (Deneylere başladıktan ilk 5 dakika içinde).
9. Eriyik toplama haznesinin üzerinde bulunan gözetleme camından buhar oluşumu kontrol edilmiştir.
10. Konik reaktör üzerinde bulunan gözetleme camından reaktör içerisindeki atığın davranışı gözlenmiştir.
11. Ark plazma gazlaştırma torçu, konik reaktör içindeki atık tükendikten 5 dakika sonraya kadar çalıştırılmıştır.
12. Soğutma kolonlu çift beslemeli plazma konik reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminde gerçekleşen prosesler sürekli rejimde olacağından işlemler sırasında ölçümler manuel olarak yapılmıştır.

2.1.3.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları Şekil 5'te gösterilmiştir. Kızgın buharın, soğutma suyunun sıcaklık ve basıncı hatlar üzerine yerleştirilen basınç sıcaklık problemleri yardımıyla ölçülmüştür. Basıncı kuru havanın debisi ve basıncı hat üzerinde yerleştirilen regülatörden ölçülmüştür. Diğer basınçlı gazların (argon, vb.) sıcaklık, debi

ve basınçları hatlar üzerinde bulunan orijinal ölçüm cihazları yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 5. Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan manuel ölçüm cihazları

2.2. DeneySEL Çalışmalar

Gazlaşmanın olması için atık maddelerin cinsi ve miktarının yanı sıra, toplam nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt, sabit karbon, alt ısı değeri, üst ısı değeri, hidrojen, oksijen, azot, karbon, gerçek yoğunluk, bulk yoğunluğu değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu sebeple laboratuvarında ölçümler yapılarak analiz değerleri belirlenmiştir.

2.2.1. Organik Çöpün İçeriği

Ark plazma gazlaştırma sisteminde kullanılan organik çöp karışımını oluşturan bileşenler ayrıştırılarak Şekil 6’da gösterilmiştir. Proje önerisinde belirtildiği şekilde organik çöp pelletlenmeden sistemde kullanılacak hale getirilmiştir. Bu çerçevede alınan çöp örneklerinden % 20 bahçe atığı + % 20 karton atığı + % 20 odun atığı + % 20 plastik atığı + % 20 tekstil atığı içeren karışım elde edilmiştir. Bu bileşimi oluşturan çöplerin her birinin elemental analizi yapılmıştır.



Şekil 6. Organik çöp bileşimini oluşturan çöpler

2.2.2. Organik Çöpün Miktarı

% 20 bahçe atığı + % 20 karton atığı + % 20 odun atığı + % 20 plastik atığı + % 20 tekstil atığı içeren organik çöp deneysel çalışmalarda her defasında reaktör içerisine 25 kg olacak şekilde tartılarak yüklenmiştir. Organik çöp nem oranının % 30'dan az, % 30-50 arasında ve % 50'den fazla neme sahip organik çöplerden oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Sistemden alınan sentez gazdaki H_2 oranını etkilediği için organik çöpün nem oranı bilmek önemlidir.

2.2.3. Organik Çöpün Elemental Bileşimi

Ark plazma gazlaştırma deneylerinde kullanılan organik çöpi oluşturan her bir bileşenin elemental analizi hizmet alım yoluyla yaptırılmıştır. 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.

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. Küçük	%	0,24	0,56	0,08	0,09	0,01	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01
Alt Isıl	MJ/kg	6,8	18,64	12,93	14,51	14,83	17,49	33,08	33,47	19,11	19,72
Üst Isıl	MJ/kg	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/m3	-	1080	-	60	-	990	-	1000	-	940
Bulk Yoğ.	kg/m3	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

3. EKSERGOEKONOMİK ANALİZ

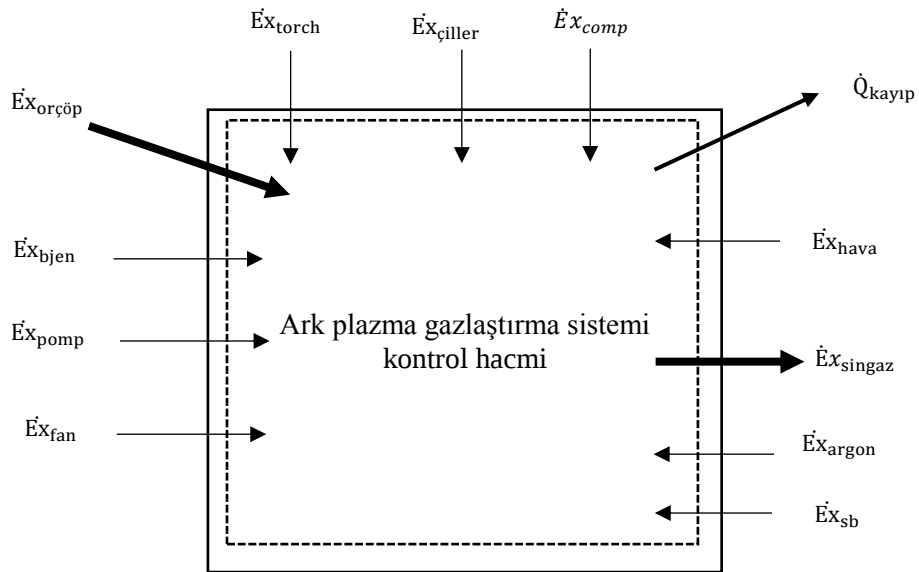
Tez çalışmasının bu bölümünde, soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analiz çalışmaları yapılmıştır. Eksergoekonomik analizi yapabilmek için ekserji analizinin de yapılması önem arz etmektedir.

3.1. Ekserji Analizi

Bu bölümde sistemin kontrol hacminden faydalanarak termodinamiğin ikinci kanunu (ekserji analizi) için analizler yapılmıştır.

3.1.1. Sistemin Kontrol Hacmi

Termodinamik analizler, enerjinin sistemlerin performansını nasıl etkilediğini değerlendirmek için yapılır. Bu sistemler, kütle geçişinin durumuna göre kapalı ve açık sistemler olarak adlandırılır. Kapalı sistemlerde kütle geçişi yoktur, enerji geçişi vardır. Açık sistemlerde diğer adıyla kontrol hacminde kütle ve enerji geçişi vardır. Tez konusu olan ark plazma gazlaştırma sisteminde analizler, sürekli akışlı sürekli açık sistem olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda, kontrol hacmi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Soğutma kolonlu çift beslemeli ark plazma gazlaştırma sisteminin kontrol hacmi

Sistemin kontrol hacmi incelendiğinde sisteme kütleli olarak organik çöpün, su buharının, kuru havanın ve argonun ekserji girişi olmuştur. İş formunda ekserji girişi ise fan, çiller, torch, kompresör, buhar jeneratörü ve pompadan sağlanmıştır. Ekserji çıkışı kütleli olarak singazdan ve ısı formunda kayıp ısıdan olmuştur. Eriyikten olan ekserji kaybı ısı kaybı ile birlikte değerlendirilmiştir.

Organik çöplerin ark plazma gazlaştırılması sonucunda ortaya çıkan yanar gaz, temizlenip ayrıştırıldığında hidrojen zengin sentez gaza dönüşür. Singaz, CO ve H₂ gazlarından ve çok düşük oranda CH₄ gazlarından oluşabilir. Singazın yüksek miktarını CO ve H₂ oluşturur.

3.1.2. Ekserji Denge Denklemleri

Bu kısımda Şekil 7’de verilen sistemin kontrol hacmine göre ekserji analizi incelemeleri yapıp deneysel veriler sonucu elde edilen ekserji değerleri dikkate alınarak eksergoekonomik analiz yapılmıştır.

Termodinamiğin birinci kanunu kapsamında enerji analizi yapılırken termodinamiğin ikinci kanunu kapsamında ekserji analizi yapılmaktadır. Enerji analizi ile bir sistemin tasarlanıp tasarlanamayacağı ve mevcut sistemdeki tersinmezliklerin azaltılmasında hangi önlemlerin alınacağına karar vermek zordur. Bu yüzden ekserji analizine ihtiyaç duyulur (Dincer, 2002). Termodinamiğin ikinci kanununa dayanan ekserji analizi, proseste ki verimsizliklerin daha iyi tespit edilmesini sağlar. Bu metod sayesinde tersinmezliklerden doğan enerji kayıpları ve verimsiz süreçleri ortaya koyulur. Bundan dolayı ekserji analizi, sistemleri iyileştirmede ve sistemler geliştirmede en önemli metod olmuştur (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020).

Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin ekserji analizi, Termodinamiğin ikinci kanunu kapsamında yapılmıştır. Genel olarak; ekserji analizinde sisteme kütle, ısı ve iş yardımıyla giren ekserjilerle sistemden kütle, ısı ve iş formunda çıkan ekserjiler dikkate alınmıştır. Sistemin ekserji denge denklemleri Şekil 7’de gösterilen ekserji akış diyagramına göre çıkarılmıştır. Ekserji analizi için referans sıcaklık ve basınç 1 atm ve 25°C olarak alınmıştır.

Kontrol hacminde, sistemden üretilen kül/eriyik, karbon ve diğer taşıyıcı gazların meydana getirdiği ekserji kayıplarının tümü $\dot{E}x_{kayıp}^0$ teriminin içindedir. Bu düşünceler çerçevesinde, yukarıdaki kabuller dikkate alınarak ve Termodinamiğin ikinci kanunu

kapsamında, sistemi sürekli akışlı sürekli açık sistem olarak düşünerek, ekserji dengesi Denklem 1'deki gibi yazılmıştır.

$$\sum \dot{E}x_g = \sum \dot{E}x_{\dot{c}} + \sum \dot{E}x_{kayıp} \quad (1)$$

Sisteme giren toplam ekserji miktarı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\begin{aligned} \sum \dot{E}x_g = & \dot{E}x_{bjen} + \dot{E}x_{tor\dot{c}} + \dot{E}x_{comp} + \dot{E}x_{fan} + \dot{E}x_{pomp} \\ & + \dot{E}x_{\dot{c}iller} + \dot{E}x_{or\dot{c}öp} + \dot{E}x_{sb} + \dot{E}x_{hava} + \dot{E}x_{argon} \end{aligned} \quad (2)$$

Sistemden çıkan faydalı ekserji miktarı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{E}x_{\dot{c}} = \dot{E}x_{singaz} \quad (3)$$

Sistemden gerçekleşen toplam kayıp aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\sum \dot{E}x_{kayıp} = \dot{E}x_{yıkım} + \dot{E}x_{kayıp}^Q \quad (4)$$

Burada, toplam ekserji kaybı, sistemde meydana gelen ekserji yıkımı ve ısı ile çevreye atılan ekserji şeklinde dikkate alınmıştır.

Denklem (2) ve (3)'ten yararlanarak ark plazma gazlaştırma sisteminin ekserji verimi, faydalı çıktının ekserjisinin toplam ekserji girişine oranı olarak tanımlanmıştır. Bu ifade parametrik olarak;

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}x_{singaz}}{\{\dot{W}_{bjen} + \dot{W}_{tor\dot{c}} + \dot{W}_{comp} + \dot{W}_{fan} + \dot{W}_{pomp} + \dot{W}_{\dot{c}iller} + \dot{E}x_{or\dot{c}öp} + \dot{E}x_{sb} + \dot{E}x_{hava} + \dot{E}x_{argon}\}} \quad (5)$$

şeklinde yazılır.

3.2. Eksergoekonomik Yaklaşım

Eksergoekonomik analiz, sistemin ekserji analizi ile ekonomik analizini birleştiren bir yaklaşımdır. Sistemlerin eksergoekonomik incelemelerinin yapılmasının amacı

ekserji maliyetini en aza indirmektir. Bu çalışmada eksergoekonomik analiz için literatürde yaygın olan SPECO (özgül ekserji maliyeti hesaplama metodu) metodu tercih edilmiştir. Bu yöntemde birim ekserji başına maliyet hesaplanmaktadır.

3.2.1. Eksergoekonomik Denge Denklemleri

Ekserji maliyet hesaplamalarında, maliyet her bir ekserji akısıyla ilişkilidir. Sisteme giren ve çıkan kütle, ısı ve iş değerlerinin her biri ayrı ayrı şekilde maliyet hesaplamalarında dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla, bu tez çalışması kapsamında kullanılan eksergoekonomik denge denklemleri, ekserji akıları dikkate alınarak geliştirilmiştir.

Bir kütlenin ve bir enerji akısının ekserji maliyetinin, onu üretmek için gerekli ekserji miktarıyla, gücün ekserji maliyetinin ise elektrik gücünü üretmek için kullanılan yakıtın ekserjisiyle ilişkili olduğunu hatırlamak önemlidir.

Aşağıda sunulan eşitlikler kullanılarak sisteme giren ve sistemden çıkan ekserji akıları maliyet akımlarına dönüştürülmüştür (Lazaretto ve Tsatsaronis, 2006; Tsatsaronis, 2006; Abuşoğlu ve Kanoğlu, 2009).

Birim ekserji maliyet akısı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$\dot{C} = c\dot{E}_x \quad (6)$$

Bu denklemde, $\dot{C}$, ekserji maliyeti (€/h); c , birim ekserji maliyeti (€/kWh); $\dot{E}_x$, ekserji (kW)'dir.

Bu denklem dikkate alınarak ve kontrol hacmine giren-çıkan ekserji akılarından yararlanarak buhar jeneratörü, torç, kompresör, fan, pompa, çiller, organik çöp, su buharı, hava, argon ve kayıp ısı için maliyet akıları oluşturulmuştur. Burada hava için herhangi bir harcama yapılmadığından ve argon miktarı ile su buharı miktarları oldukça düşük olup maliyeti etkileyecek değerde olmadıklarından maliyet akıları dikkate alınmamış ve değerleri ihmal edilmiştir.

Giren ve çıkan birim maliyetler belirlenerek maliyet akımı dengesi en genel halde aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir (Tsatsaronis, 2006).

$$\sum c_g \dot{E}_{x_g} + \dot{Z} = \sum c_c \dot{E}_{x_c} \quad (7)$$

Bu denklem maliyet akı dengesi şeklinde aşağıdaki gibi yazılır.

$$\sum_g \dot{C}_g + \dot{Z} = \sum_{\dot{C}} \dot{C}_{\dot{C}} \quad (8)$$

Sistemden elde edilen faydalı çıktı singazdır. Dolayısıyla singazın bileşimi olarak hidrojen ve karbonmonoksit dikkate alındığında sistemden elde edilen faydalı çıktının ekserji maliyet akısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sum c_{\dot{C}} \dot{E}x_{\dot{C}} = c_{\text{singaz}} \dot{E}x_{\text{singaz}} = c_{\text{H}_2} \dot{E}x_{\text{H}_2} + c_{\text{CO}} \dot{E}x_{\text{CO}} \quad (9)$$

Sistemin eksergoekonomik değerlendirmesini yapabilmek için singaz birim maliyeti dikkate alınır.

3.2.2. Eksergoekonomik Faktör

Eksergoekonomik faktör, ekserji dışı masraflar ile toplam ekserji kaybı ile ilgili masrafları birleştiren parametredir. Eksergoekonomik faktör aşağıdaki gibi yazılabilir (Abuşoğlu ve Kanoğlu, 2009).

$$f_{\text{ekseco}} = \frac{\dot{Z}_{\text{sis}}}{\dot{Z}_{\text{sis}} + c_{\text{yakıt}}(\sum \dot{E}x_{\text{kayıp}})} = \frac{\dot{Z}_{\text{sis}}}{\dot{Z}_{\text{sis}} + c_{\text{yakıt}}(\dot{E}x_{\text{yıkım}} + \dot{E}x_{\text{kayıp}}^Q)} \quad (10)$$

Bu denklemde, $\dot{Z}_{\text{sis}}$ (Akrami vd., 2020; Ji-Chao ve Sonhani, 2021), bir değere getirilmiş ilk yatırım maliyeti ve bir değere getirilmiş işletme ve bakım maliyetlerinin toplamını göstermektedir.

Plazma gazlaştırma sisteminde ekserji yıkımı ve ısı ile gerçekleşen ekserji kaybı ile ilgili kayıp maliyet akısı ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\dot{C}_{\text{kayıp}} = c_{\text{yakıt}} \dot{E}x_{\text{kayıp}} \quad (11)$$

Bu denklemde yakıtın toplam birim maliyeti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$c_{\text{yakıt}} = c_{\text{orçöp}} + c_{\text{elektrik}} \quad (12)$$

Bu denklemde, $c_{or\dot{c}öp}$, organik çöpün birim ekserji maliyeti [€/kWh]; $c_{elektrik}$, elektriğin birim ekserji maliyeti [€/kWh]; $c_{yakıt}$, yakıtın birim ekserji maliyeti [€/kWh]'dir.

Dolayısıyla, Denklem (10-12) kullanılarak eksergoekonomik faktör ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f_{ekseco} = \frac{\dot{Z}_{sis}}{\dot{Z}_{sis} + \dot{C}_{kayıp}} \quad (13)$$

13 nolu denklemde bulunan bir değere getirilmiş toplam maliyet akısı, $\dot{Z}_{sis}$ değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir (Akrami vd., 2020; Ji-Chao ve Sonhani, 2021).

$$\dot{Z}_{sis} = \frac{Z_{sis} * CRF * \varphi}{N} \quad (14)$$

Bu denklemde, Z_{sis} , sistemin ilk yatırım maliyeti, sistemin işletme ve bakım-onarım maliyeti (€); $\dot{Z}_{sis}$, bir değere getirilmiş toplam maliyet akısı (€/h); Z^{iy} , sistemin ilk yatırım maliyeti (€); $Z^{işBO}$ sistemin toplam işletme ve bakım onarım maliyeti (€); N, yıllık işletme süresi (saat); φ , deneysel sistem için işletme ve bakım-onarım faktörü olup tecrübi olarak 1,3 olarak seçilmiştir.

Sistemin toplam maliyeti ise aşağıdaki ifadedeki gibi yazılabilir (Okereke vd., 2020).

$$Z_{sis} = Z^{iy} + Z^{işBO} \quad (15)$$

Denklem (14)'te ilk yatırım iyileştirme faktörü (CRF) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır (Tsatsaronis, 2006); Akrami vd., 2020)

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (16)$$

Bu denklemde, CRF, ilk yatırım iyileştirme faktörü; i, efektif faiz oranı [%]; n, işletme ömrü (yıl) olarak ifade edilir.

4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin ekserji ve eksergoekonomik analizlerine ait bulgular sunulmuştur. Ark plazma gazlaştırma sisteminde her bir deney için 25 kg organik çöp kullanılarak 3 test deneyi ve 3 performans deneyi olmak üzere toplam 6 deney yapılmıştır. Burada yapılan hesaplamalar ve karşılaştırmalarda deneysel çalışmaların en düşük performanslı deney ile en yüksek performanslı deneyin sonuçları dikkate alınmıştır. Çalışma süresi test deneylerinde 55 dakika ölçülürken, performans deneylerinde çalışma süresi 37 dakika olarak ölçülmüştür.

4.1. Ekserji Analizi Bulguları

Organik çöp ile sisteme taşınan ekserji değeri, yakıtın kimyasal bileşimi dikkate alınarak O/C oranının 0,667 değerinden daha küçük olması nedeniyle literatürde kullanılan ampirik bağıntılar yardımıyla kimyasal ekserji değeri hesaplanmıştır. Su buharının kimyasal ekserjisi literatürden alınmıştır (Szargut, 2005). Buhar ünitesi çıkışında 6 bar ve 202°C’de taşıdığı fiziksel ekserji değeri de dikkate alınmıştır. Havanın ve argonun ekserji değerleri fiziksel ve kimyasal ekserji değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Singazın ekserji değeri, bileşiminde bulunan gazların ekserji değerlerinden yararlanarak literatürde verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır. Üretilen singazın kimyasal ekserji değerini hesaplamak için literatürde verilen bir gaz yakıt için standart kimyasal ekserji değerinin hesabı kullanılmıştır (Szargut, 2005). Singazı oluşturan bileşenlerin her birinin standart kimyasal ekserji değerleri dikkate alınarak ve karışımındaki ağırlıkça değerleri alınarak singazın taşıdığı ekserji belirlenmiştir.

Tablo 6. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin ekserji analiz bulguları

Ekserji Etkileşimi	Birim	Miktar	
		TD1	PD3
Deney süresi	Dak	55	37
Toplam kütle ile ekserji girdisi	MJ	505,69	505,69
Toplam iş ile ekserji girdisi	MJ	167,72	113,04
Toplam ekserji girişi	MJ	673,41	618,73
Toplam kütle ile çıkan ekserji			
Singaz debisi	kg.saat ⁻¹	16,07	21,43
Singaz ile çıkan ekserji	MJ	246	316,6
Sistemde gerçekleşen ekserji kaybı	MJ	427,42	301,85
Sistemde ısı kaybıyla oluşan ekserji kaybı	MJ	273,57	180,22
Sistemde gerçekleşen ekserji yıkımı	MJ	153,85	121,63
Sistemin ekserji verimi	%	36,53	51,20

Sisteme kütle ile giren ekserjide toplam kuru hava ile giren ekserji değeri dikkate alınmamıştır. Kuru havanın ekserjisi torca giren iş formundaki ekserji içinde verilmiştir.

Sistemin ekserji verimleri dikkate alındığında, sistemin özellikle ekserji kaybının önlenmesi durumunda veriminin belirli oranda artırılabilceği sonucuna varılmıştır. Sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının ana kaynağı, reaktör bölgesinden çevreye olan ısı transferi ile gerçekleşen kayıplar, reaktörden çıkan gazın soğutulması ile çevreye atılan ısı ile gerçekleşen kayıplardır.

4.2. Eksergoekonomik Analiz Bulguları

TÜBİTAK tarafından desteklenen 117M436 nolu proje kapsamında (TÜBİTAK 117M436, 2017-2020) tasarlanan, geliştirilen ve performans araştırmaları yapılan soğutma kolonlu çift beslemeli konik plazma reaktörlü organik çöp gazlaştırma sisteminin performansının değerlendirilmesi için yapılması gereken analizlerden bir diğeri de eksergoekonomik analizdir. Ark plazma gazlaştırma torçunu da içeren sistemin eksergoekonomik analizi ile ilgili bulgular tüm halde Tablo 12’de

sunulmuştur. Eksergoekonomik analiz kapsamında ark plazma gazlaştırma torçu ile birlikte, ekserji kaybının maliyeti hesaplanmıştır. Test çalışmaları için kullanılan ark plazma gazlaştırma torçunu da içeren ark plazma gazlaştırma sistemin eksergoekonomik faktör değerleri de hesaplanmış ve sistemde yapılan teknik ve teknolojik iyileştirmeler neticesinde eksergoekonomik faktörün iyileşme derecesi araştırılmıştır. Ark plazma gazlaştırma torçu da dahil olmak üzere en iyi sonuçları veren deneylerin sonuçlarına bağlı olarak sistemin eksergoekonomik faktörü 0,51 olarak hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma test çalışmalarında kullanılan sistemin ve ark plazma gazlaştırma torçunun iyileştirilmesi neticesinde, Tablo 12’de verilen değerlere bağlı olarak eksergoekonomik anlamda ark plazma gazlaştırma torçunda ve sistemde bir bütün olarak % 6,3’lük bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

$$\text{İyileşme oranı} = \frac{f_2 - f_1}{f_1} = \% 6,3$$

Tablo 7. Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analiz bulguları

Eksergoekonomik Parametreler	Birim	Değer	
		TD1	PD3
Deney süresi	Dak	55	37
Sistem parametreleri			
İşletme ömrü	Yıl	20	20
Efektif faiz oranı	%	6	6
İlk yatırım iyileştirme faktörü	-	0.087	0.087
Sistem maliyeti			
İlk yatırım maliyeti	Euro	100000	120000
İşletme ve onarım faktörü	-	1,3	1,3
Yıllık işletme süresi	Saat	1000	1000
Bir değere getirilmiş toplam maliyet akısı	Euro.saat ⁻¹	11,33	13,60
Ekserji kaybı ile ilgili masraflar			
Ark plazma torç dahil elektrik ile sisteme giren ekserji	kW	50,82	50,92
Organik çöp ile sisteme giren ekserji	kW	151,91	225,81
Singaz ile çıkan ekserji	kW	74,55	142,61
Toplam ekserji kaybı	kW	129,52	135,97
Elektriğin birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹	0.094	0.094
Organik çöpün birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹	0.002	0.002
Singazın birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹	0,0024	0,0024
Toplam kaybın birim ekserji maliyeti	Euro.(kWh) ⁻¹	0,096	0,096
Elektriğin ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹	4,78	4,79
Organik çöpün ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹	0,27	0,41
Singazın ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹	0,175	0,348
Toplam kayıpların ekserji maliyeti	Euro.saat ⁻¹	12,41	13,03
Eksergoekonomik faktör	-	0.48	0.51

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

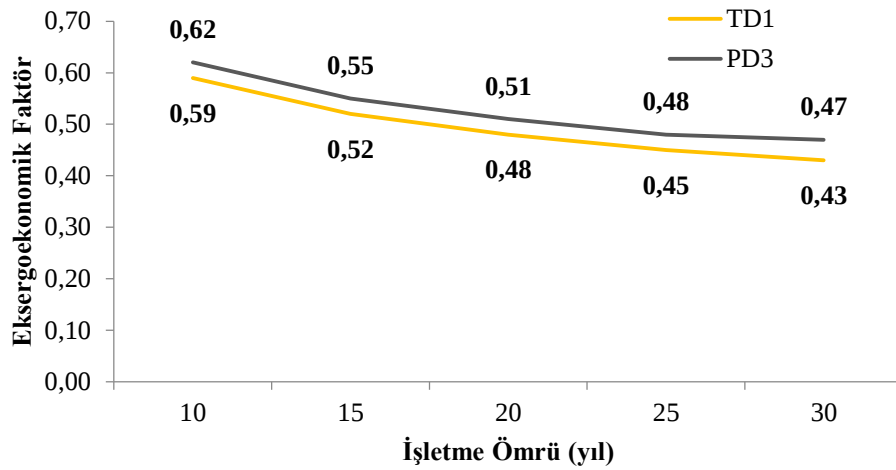
Bu tez çalışmasında, soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminde 55 dakikalık test deneyinin ve yapılan iyileştirmelerle 37 dakikalık performans deneyinin verileri kullanılarak sistemin eksergoekonomik analizi yapılmıştır.

Eksergoekonomik analiz kapsamında ark plazma gazlaştırma torçu ile birlikte, ekserji kaybının maliyeti hesaplanmıştır. Test çalışmaları için kullanılan ark plazma gazlaştırma torçunu da içeren ark plazma gazlaştırma sistemin eksergoekonomik faktör değerleri de hesaplanmış ve sistemde yapılan teknik ve teknolojik iyileştirmeler neticesinde eksergoekonomik faktörün iyileşme derecesi araştırılmıştır. Ark plazma gazlaştırma torçu da dahil olmak üzere sistemin eksergoekonomik faktörü 0,51 olarak hesaplanmıştır. Ark plazma gazlaştırma test çalışmalarında kullanılan sistemin ve ark plazma gazlaştırma torçunun iyileştirilmesi neticesinde, Tablo 7’de verilen değerlere bağlı olarak eksergoekonomik anlamda ark plazma gazlaştırma torçunda ve sistemde bir bütün olarak % 6,3’lük bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

Eksergoekonomik faktör, ekserji dışı masraflar (ilk yatırım, bakım, işletme) ile ekserji yıkımı ile ilgili masrafları birleştiren parametredir. Eksergoekonomik faktör, parasal giderin ekserji yıkımı ve kayıplarından mı yoksa ilk yatırım maliyetlerinden mi kaynaklandığının tespit edilmesinde kullanılır. Eksergoekonomik faktörün değeri belirlenirken sistemdeki tüm parametrelerin incelenmesi gerekir.

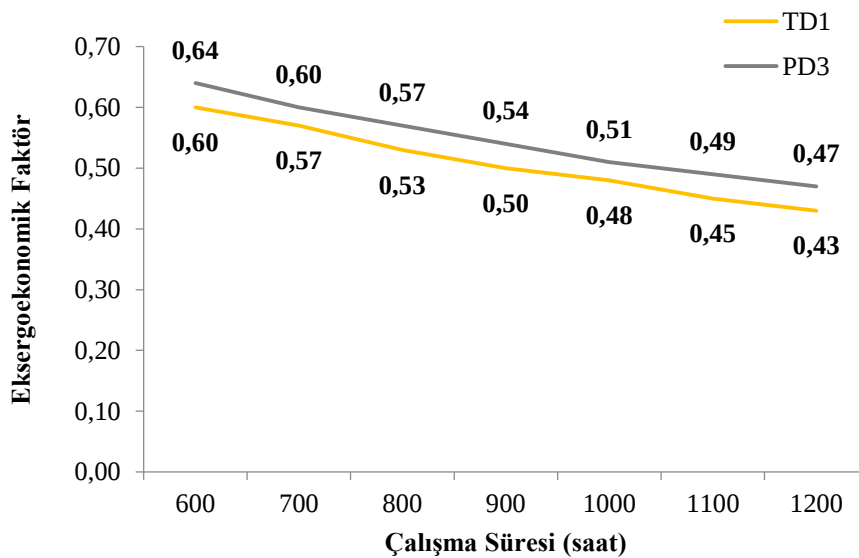
Aşağıdaki grafiklerde ekonomik değerler sabit tutulmak koşuluyla sistemin işletim ömrü, çalışma süresi, işletme ve bakım-onarım faktörü, ekserji yıkımı, elektriğin ve organik çöpün birim maliyeti parametrelerinin değiştirilmesinin eksergoekonomik faktörü ne ölçüde değiştireceği incelenmiştir.

Şekil 8’de tüm değerler sabit tutulmak koşuluyla işletme ömrü 10 ile 30 yıl arasında parametrik olarak değiştirilmiş ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneyleri için parametrik olarak hesaplanıp karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3 deneylerinin her ikisinde de işletme ömrünün artırılması, bir değere getirilmiş toplam maliyet akısını ($\dot{Z}_{sis}$) azalttığından ve ekserji kaybı ile ilgili masrafları ($\dot{C}_{kayıp}$) değiştirmediğinden eksergoekonomik faktörün değerini azaltmıştır.



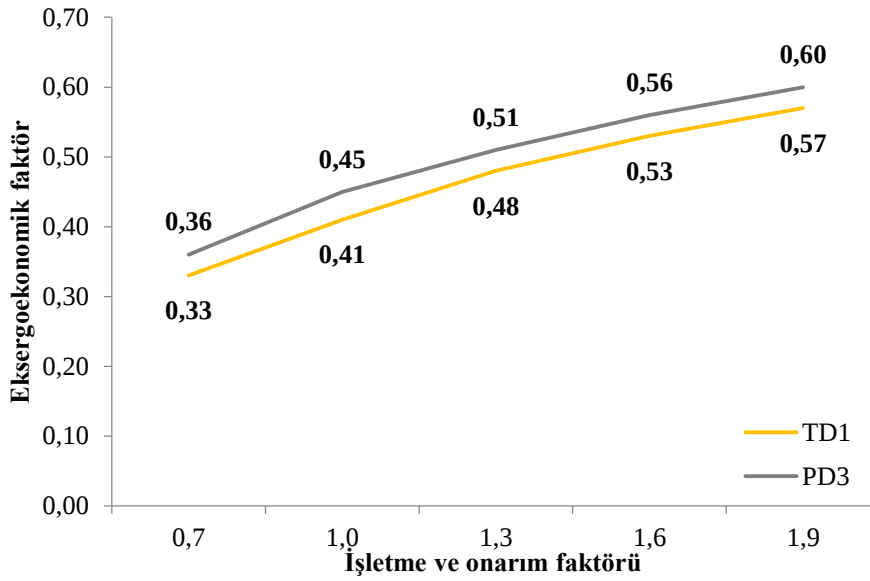
Şekil 8. Eksergoekonomik faktör - işletme ömrü karşılaştırılması

Şekil 9’da tüm değerler sabit tutulmak koşuluyla sistemin yıllık çalışma süresi 600 ile 1200 saat arasında değiştirilmiş ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneyleri için hesaplanıp karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3 deneylerinin her ikisinde de işletme ömrünün artırılmasında olduğu gibi çalışma süresi artırılması, bir değere getirilmiş toplam maliyet akısını ($\dot{Z}_{sis}$) saatlik olarak düşürmesine rağmen ekserji kaybı ile ilgili masraflar ($\dot{C}_{kayıp}$) sabit kaldığından eksergoekonomik faktörün değerini azaltmıştır. Tek başına çalışma saatini artırmak eksergoekonomik faktörü artırmamıştır. Bu nedenle kayıpların da azaltılması önem arz etmektedir. Şekil 11’de bu durum irdelenmiştir.



Şekil 9. Eksergoekonomik faktör – çalışma süresi karşılaştırılması

Şekil 10’da tüm değerler sabit tutulmak koşuluyla işletme ve bakım-onarım faktörü 0,7 ile 1,9 değerleri arasında değiştirilmiş ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneyleri için hesaplanıp karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3 deneylerinin her ikisinde de işletme ve onarım faktörünün artırılması bir değere getirilmiş toplam maliyet akısını ($\dot{Z}_{sis}$) artırdığından ve ekserji kaybı ile ilgili masrafları ($\dot{C}_{kayıp}$) değiştirmediğinden eksergoekonomik faktörün değerini artırmıştır.



Şekil 10. Eksergoekonomik faktör – işletme ve onarım faktörü karşılaştırılması

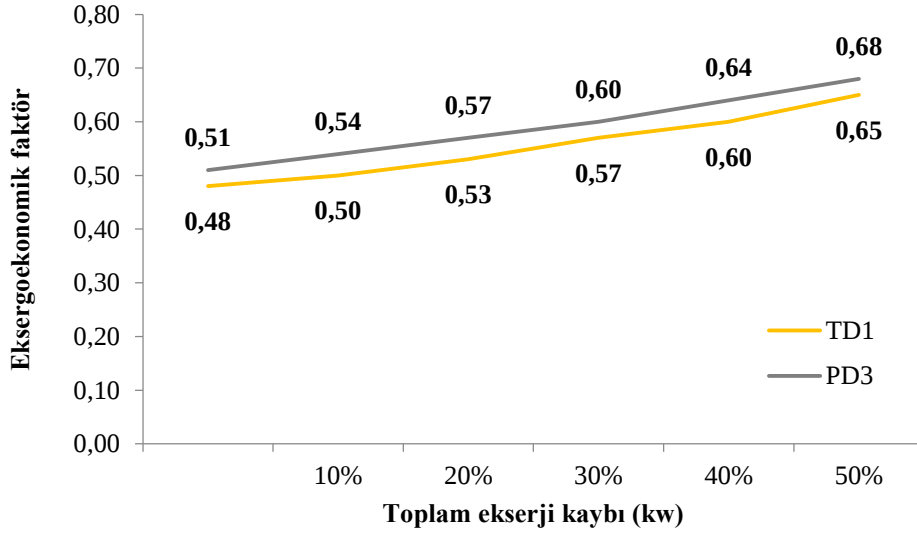
Tablo 8. Ekserji kayıpları maliyetinin değişimine göre eksergoekonomik faktörün değeri

	Ekserji Kayıpları Maliyeti (kW)		Eksergoekonomik Faktör	
	TD1	PD3	TD1	PD3
	129,52	135,97	0,48	0,51
% 10 azaltılırsa	116,57	122,38	0,50	0,54
% 20 azaltılırsa	103,62	108,78	0,53	0,57
% 30 azaltılırsa	90,66	95,18	0,57	0,60
% 40 azaltılırsa	77,71	81,58	0,60	0,64
% 50 azaltılırsa	64,76	67,99	0,65	0,68

Tablo 8’de tüm değerler sabit tutulmak koşuluyla ekserji kayıp maliyetleri % 10 ile % 50 arasında azaltılmış ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneylerileri için hesaplanmıştır.

Şekil 11’de ise ekserji kayıp maliyetlerinin yüzdelik olarak azaltılmasına karşılık gelen eksergoekonomik faktör değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3

deneylerinin her ikisinde ekserji kayplarının azaltılması ekserji kaybı ile ilgili masrafları ($\dot{C}_{\text{kayıp}}$) azalttığından eksergoekonomik faktörün değeri artmıştır.



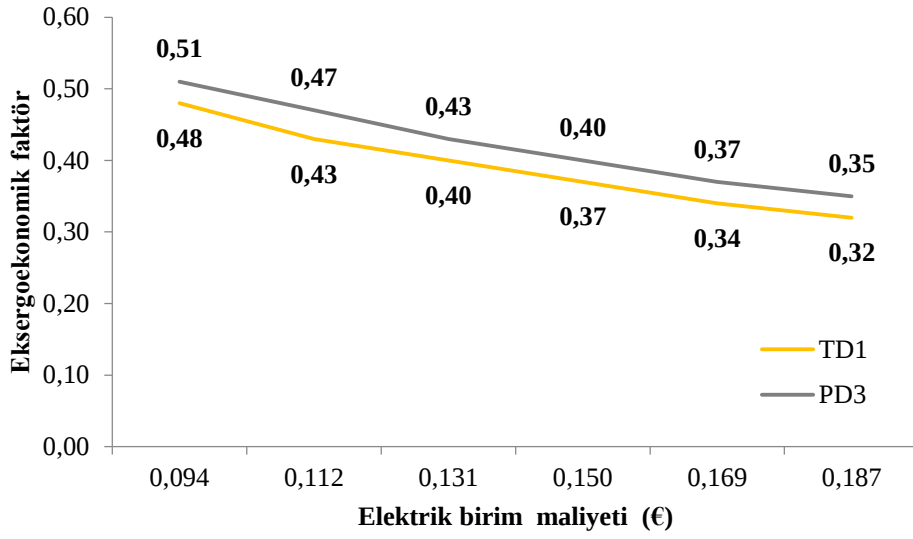
Şekil 11. Eksergoekonomik faktör – ekserji yıkımı karşılaştırılması

Tablo 9. Elektrik birim maliyetinin değişimine göre eksergoekonomik faktörün değeri

	Elektrik Birim Maliyeti (€)	Eksergoekonomik Faktör	
		TD1	PD3
	0,094	0,48	0,51
% 20 artarsa	0,112	0,43	0,47
% 40 artarsa	0,131	0,40	0,43
% 60 artarsa	0,150	0,37	0,40
% 80 artarsa	0,169	0,34	0,37
% 100 artarsa	0,187	0,32	0,35

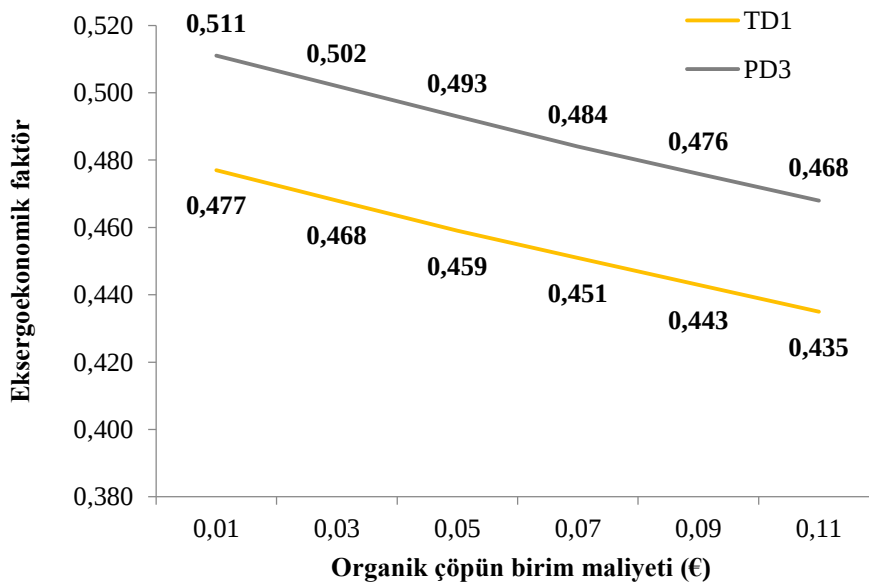
Tablo 9’da ekonomik değerler sabit tutulmak koşuluyla elektiriğin birim maliyeti % 100 oranına kadar kademeli olarak artırılmış ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneylerileri için hesaplanmıştır.

Şekil 12’de ise elektiriğin birim maliyetinin yüzdeler olarak artırılmasına karşılık gelen eksergoekonomik faktör değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3 deneylerinin her ikisinde elektiriğin birim maliyetinin artırılması, ekserji kaybı ile ilgili masrafları ($\dot{C}_{\text{kayıp}}$) artıracığından eksergoekonomik faktörün değerini azaltmıştır.



Şekil 12. Eksergoekonomik faktör – elektrik birim fiyatı karşılaştırılması

Şekil 13’de tüm değerler sabit tutulmak koşuluyla organik çöpün birim maliyeti 0,01 € ile 0,11 € arasında kademeli olarak artırılmış ve eksergoekonomik faktörün değeri TD1 ve PD3 deneylerileri için hesaplanıp karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. TD1 ve PD3 deneylerilerinin her ikisinde organik çöpün birim maliyetinin artırılması, ekserji kaybı ile ilgili masrafları ($\dot{C}_{kayıp}$) artıracığından eksergoekonomik faktörün değerini azaltmıştır.



Şekil 13. Eksergoekonomik faktör – organik çöpün birim fiyatı karşılaştırılması

Yukarıdaki karşılaştırmalı tablo ve grafiklerden de anlaşılacağı gibi eksergoekonomik faktörün değeri birçok parametreye göre değişkenlik göstermektedir. Eksergoekonomik faktör, formülünde de belirtildiği üzere ekserji kayıp masraflarına ve bir değere getirilmiş maliyete bağlıdır. Eksergoekonomik faktörün azalması demek sistemin getirisinin azaldığı, entropi, kayıplar ve yıkımın maliyetinin arttığı anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle, sistemin ekserji kayıp masrfalarının azalması demek, sistemin ekonomik değerinin arttığı anlamına gelmektedir.



6. ÖNERİLER

Bu çalışmada soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin eksergoekonomik analizi yapılmıştır. Eksergoekonomik analiz termodinamik analizi ve maliyeti birleştiren bir yaklaşım olduğu için optimum sistem tasarımı için kullanılan en iyi metotlardan biridir.

Ekserji yıkımının ve kayıpların azaltılması eksergoekonomik faktörün değerini artırdığı için ekserji yıkımının ve kayıpların azaltılmasına odaklanılmalıdır. Sistemi oluşturan elemanların termodinamik analizleri ve eksergoekonomik analizleri tek tek yapıp sistemde ekserji yıkımlarının ve kayıpların en çok nerelerde olduğu tespit edilmeli ve o bölümlerde iyileştirime yapılmalıdır.

Eksergoekonomik faktörün artması sistemin ekonomik değerinin artmasına işaret eder. Eksergoekonomik faktörün artırılması, kayıplarından bağımsız olarak düşünüldüğünde bir değere getirilmiş maliyetin artırılması ile mümkün olabilir. İlk yatırım maliyetiyle birlikte işletme ve bakım masraflarının da artmasıyla bir değere getirilmiş maliyet artırılabilir. Sistem ömrü ve yıllık çalışma saati azaltılarak bir değere getirilmiş maliyet artırılabilir. Elektriğin ve organik çöpün birim maliyeti ve ekserji kayıpları azaltılarak eksergoekonomik faktör artırılabilir.

Farklı özellikteki atıklar kullanılarak yakıt türü çeşitlendirilebilir ve performansı nasıl etkilediği incelenebilir. Makine kapasiteleri artırılarak ve uygun biriktirme alanları oluşturularak kentsel katı atıklardan gazlaştırma sistemiyle kurturulabilir. 2017 yılından bu yana ülkemizde hayata geçirilen “Sıfır Atık” projesini desteklemek amacıyla gazlaştırma sistemlerinden faydalanılabilir.

Ark plazma gazlaştırma sisteminde açığa çıkan yüksek ısıdan faydalanılabilir. Sisteme organik rankine çevrimi eklenerek elektrik üretilebilir.

Hastane atıklarının plazma gazlaştırmayla bertaraf işleminin eksergoekonomik analizi yapılabilir.

Soğutma kolonlu ark plazma gazlaştırma sisteminin hem enerji üretimi hem de çevre temizliği açısından uygulama alanları genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdul Malek, A., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A. and Al-Turki, Y. A. (2020). Energy, economic, and environmental analysis of 10-MW biomass gasification based power generation in Malaysia. *Energy & Environment*, 0(0), 1-43, 0958305X2093038. <https://doi.org/10.1177/0958305x20930386>.
- Abusoglu, A., and Kanoglu, M. (2009). Exergoeconomic analysis and optimization of combined heat and power production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2295–2308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.004>.
- Akrami, E., Ameri, M. and Rocco, M. V. (2020). Developing an Innovative biomass-based Power Plant for low-carbon Power production: Exergy and Exergoeconomic analyses. *Thermal Science and Engineering Progress*, 19, 100662. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100662>.
- Aljundi, I.H. (2009). Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. *Applied Thermal Engineering*, 29(2-3), 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.02.029>.
- Alkan, M. A., Keçebaş, A. and Yamankaradeniz, N. (2013). Exergoeconomic analysis of a district heating system for geothermal energy using specific exergy cost method. *Energy*, 60, 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.017>.
- Banu, J. R., Sharmila, V. G., Ushani, U., Amudha, V. and Kumar, G. (2020). Impervious and influence in the liquid fuel production from municipal plastic waste through thermo-chemical biomass conversion technologies-A review. *Science of The Total Environment*, 718, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137287>.
- Boyaghchi, F. A. and Heidarnajad, P. (2015). Thermoeconomic assessment and multi objective optimization of a solar micro CCHP based on Organic Rankine Cycle for domestic application. *Energy Conversion and Management*, 97, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.036>.
- Chang, J. S., Gu, B. W., Looy, P. C., Chu, F. Y. and Simpson, C. J. (1996). Thermal plasma pyrolysis of used old tires for production of syngas. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 31 (7), 1781-1799.
- Cherednichenko, V. S., Anshakov, A. S., Danilenko, A. A., Michajlov, V. E., Faleev, V. A. and Kezevich, D. D. (2002). Domestic waste plasma gasification technology and its comparison with ordinary one burning on the final products. In Proceedings 6th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. KORUS-2002 (Cat. No. 02EX565). Novosibirsk, Russia, pp. 211-213.
- Colmenar-Santos, A., Zarzuelo-Puch, G., Borge-Diez, D. and García-Diéguez, C. (2016). Thermodynamic and exergoeconomic analysis of energy recovery system of biogas from a wastewater treatment plant and use in a Stirling engine.

- Renewable Energy*, 88, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.001>.
- Danthurebandara, M., Van Passel, S., Vanderreydt, I. and Van Acker, K. (2015). Environmental and economic performance of plasma gasification in Enhanced Landfill Mining. *Waste Management*, 45, 458–467. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.022>.
- Dincer, I. (2002). The role of exergy in energy policy making. *Energy Policy*, 30(2), 137–149. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(01\)00079-9](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(01)00079-9).
- Dinçer, İ. and Çengel, Y. A. (2001). Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 3(3), 116–149. <https://doi.org/10.3390/e3030116>.
- Fabry, F., Rehmet, C., Rohani, V. J. And Fulcheri, L. (2013). Waste gasification by thermal plasma: A review. *Waste and Biomass Valorization*, 4 (3), 421–439. <https://doi.org/10.1007/s12649-013-9201-7>.
- Ferreira, E. T. de F. and Balestieri, J. A. P. (2015). Black liquor gasification combined cycle with CO₂ capture – Technical and economic analysis. *Applied Thermal Engineering*, 75, 371–383. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.026>.
- Ganesh, N. S., Maheswari, G. U., Srinivas, T. and Reddy, B. V. (2020). Exergoeconomic analysis of a novel zeotropic mixture power system. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00273-9>.
- Gomez, E., Rani, D. A., Cheeseman, C. R., Deegan, D., Wise, M. and Boccaccini, A. R. (2009). Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 614–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.017>.
- Herva, M. and Roca, E. (2013). Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 25, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.005>.
- Huang, H., Tang, L. and Wu, C. Z. (2003). Characterization of gaseous and solid product from thermal plasma pyrolysis of waste rubber. *Environmental Science & Technology*, 37 (19), 4463–4467. <https://doi.org/10.1021/es034193c>.
- Im-orb, K., Simasatitkul, L. and Arpornwichanop, A. (2016). Techno-economic analysis of the biomass gasification and Fischer–Tropsch integrated process with off-gas recirculation. *Energy*, 94, 483–496. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.012>.
- Indrawan, N., Simkins, B., Kumar, A. and Huhnke, R. L. (2020). Economics of Distributed Power Generation via Gasification of Biomass and Municipal Solid Waste. *Energies*, 13(14), 3703. <https://doi.org/10.3390/en13143703>.
- Jain, K. P. and Pruyn, J. (2016). Economic impact assessment of using a plasma gasification plant on a large ship recycling yard. *Sixth International Symposium on Energy from Biomass and Waste*, Venice, 14 - 17 November.

- Janajreh, I., Raza, S. S. and Valmundsson, A. S. (2013). Plasma gasification process: Modeling, simulation and comparison with conventional air gasification. *Energy Conversion and Management*, 65, 801–809. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.03.010>.
- Ji-chao, Y. and Sobhani, B. (2021). Integration of biomass gasification with a supercritical CO₂ and Kalina cycles in a combined heating and power system: A thermodynamic and exergoeconomic analysis. *Energy*, 222, 119980. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119980>.
- Kabalina, N., Costa, M., Yang, W. and Martin, A. (2017). Energy and economic assessment of a polygeneration district heating and cooling system based on gasification of refuse derived fuels. *Energy*, 137, 696–705. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.110>.
- Kalinci, Y., Hepbasli, A. and Dincer, I. (2011). Exergoeconomic analysis of hydrogen production from plasma gasification of sewage sludge using specific exergy cost method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(17), 11408–11417. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.11.124>.
- Kalinci, Y., Hepbasli, A. and Dincer, I. (2012). Exergoeconomic analysis of hydrogen production from biomass gasification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(21), 16402–16411. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.02.173>.
- Kalinci, Y., Hepbasli, A. and Dincer, I. (2012). Exergoeconomic analysis and performance assessment of hydrogen and power production using different gasification systems. *Fuel*, 102, 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.06.040>.
- Kesling, H. F. (2019) Economic Analysis of Wood Waste Gasification for Use in Combined Heat and Power Applications. Yüksek Lisans Tezi. North Carolina State University, The Graduate Faculty, Raleigh, North Carolina, 107 s.
- Khoshgoftar Manesh, M. H. and Jadidi, E. (2020). Conventional and advanced exergy, exergoeconomic and exergoenvironmental analysis of a biomass integrated gasification combined cycle plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1752856>.
- Lazaretto A. and Tsatsaronis G. (2006). SPECO: A systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy*, 31(8-9), 1256–1289. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.03.011>.
- Li, G., Liu, Z., Liu, F., Weng, Y., Ma, S. and Zhang, Y. (2020). Thermodynamic analysis and techno-economic assessment of synthetic natural gas production via ash agglomerating fluidized bed gasification using coal as fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 27359–27368. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.025>.
- Li, G., Liu, Z., Liu, T., Shan, J., Fang, Y. and Wang, Z. (2018). Techno-economic analysis of a coal to hydrogen process based on ash agglomerating fluidized bed

- gasification. *Energy Conversion and Management*, 164, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.035>.
- Liu, L., Qian, H., Mu, L., Wu, J., Feng, X., Lu, X. and Zhu, J. (2020). Techno-Economic Analysis of Biomass Processing with Dual Outputs of Energy and Activated Carbon. *Bioresource Technology*, 139, 124108. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124108>.
- Luz, F. C., Rocha, M. H., Lora, E. E. S., Venturini, O. J., Andrade, R. V., Leme, M. M. V. and del Olmo, O. A. (2015). Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil. *Energy Conversion and Management*, 103, 321–337. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.074>.
- Marchenko, O., Solomin, S., Kozlov, A., Shamanskiy, V. and Donskoy, I. (2020). Economic Efficiency Assessment of Using Wood Waste in Cogeneration Plants with Multi-Stage Gasification. *Applied Sciences*, 10(21), 7600. <https://doi.org/10.3390/app10217600>.
- Maya, D. M. Y., Sarmiento, A. L. E., Oliveira, C. A. V. B., Lora, E. E. S. and Andrade, R. V. (2016). Gasification of municipal solid waste for power generation in Brazil, a review of available technologies and their environmental benefits. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 10, 249-255. <https://doi.org/10.17265/1934-7375/2016.06.001>.
- Mazzucco, A. and Rokni, M. (2014). Thermo-economic analysis of a solid oxide fuel cell and steam injected gas turbine plant integrated with woodchips gasification. *Energy*, 76, 114–129. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.035>.
- Michailos, S., Walker, M., Moody, A., Poggio, D. and Pourkashanian, M. (2020). Biomethane production using an integrated anaerobic digestion, gasification and CO₂ biomethanation process in a real waste water treatment plant: A techno-economic assessment. *Energy Conversion and Management*, 209, 112663. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112663>.
- Minutillo, M., Perna, A. and Di Bona, D. (2009). Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2837–2842. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.07.002>.
- Moharamian, A., Soltani, S., Rosen, M. A., Mahmoudi, S. M. S. and Morosuk, T. (2017). A comparative thermoeconomic evaluation of three biomass and biomass-natural gas fired combined cycles using organic Rankine cycles. *Journal of Cleaner Production*, 161, 524–544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.174>.
- Mondal, P., and Ghosh, S. (2018). Bio-gasification based Externally Fired Combined Cogeneration Plant: Thermo-economic Performance Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 22963–22978. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.11.024>.
- Mountouris, A., Voutsas, E. and Tassios, D. (2006). Solid waste plasma gasification: Equilibrium model development and exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 47(13-14), 1723–

1737. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.10.015>.
- Mugi, V. R. and Chandramohan, V. P. (2020). Energy end exergy analysis of forced and natural convection indirect solar dryers: Estimation of exergy inflow, outflow, losses, exergy efficiencies and sustainability indicators from drying experiments. *Journal of Cleaner Production*, 124421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124421>.
- Nam, H., Nam, H. and Konishi, S. (2020). Techno economic analysis of hydrogen production from the nuclear fusion biomass hybrid system. *International Journal of Energy Research*, 1-21. <https://doi.org/10.1002/er.5994>.
- Okereke, C. J., Lasode, O. A. and Ohijeagbon, I. O. (2020). Exergoeconomic analysis of an industrial beverage mixer system. *Heliyon*, 6(7), e04402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04402>.
- Olgun, H., Doğru, M. and Howart, C. R. 2000. Katı atıkların enerji dönüşümünde kullanılması ve gazlaştırıcılar. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 56, 42-59.
- Park, S. R., Pandey, A. K., Tyagi, V. V. and Tyagi, S. K. (2014). Energy and exergy analysis of typical renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 105–123. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.011>.
- Paulino, R. F. S., Essiptchouk, A. M. and Silveira, J. L. (2020). The use of syngas from biomedical waste plasma gasification systems for electricity production in internal combustion: Thermodynamic and economic issues. *Energy*, 199, 117419. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117419>.
- Pichardo, P. A., Karagöz, S., Manousiouthakis, V. I., Tsotsis, T. and Ciora, R. (2019). Techno-economic analysis of an intensified integrated gasification combined cycle (IGCC) power plant featuring a combined membrane reactor - adsorptive reactor (MR-AR) system. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(6), 2430-2440. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b02027>.
- Ramos, A. and Rouboa, A. (2018). A techno-economic approach to plasma gasification. *Technologies and Materials for Renewable Energy*, 030038-1–030038-7, <https://doi.org/10.1063/1.5039225>.
- Ramos, A., Berzosa, J., Espí, J., Clarens, F. and Rouboa, A. (2020). Life cycle costing for plasma gasification of municipal solid waste: A socio-economic approach. *Energy Conversion and Management*, 209, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112508>.
- Ray, R., Taylor, R. and Chapman, C. (2012). The deployment of an advanced gasification technology in the treatment of household and other waste streams. *Process Safety and Environmental Protection*, 90 (3), 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.06.013>.
- Rokni, M. (2014). Thermodynamic and thermoeconomic analysis of a system with biomass gasification, solid oxide fuel cell (SOFC) and Stirling engine. *Energy*, 76, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.106>.

- Ruj, B. and Ghosh, S. (2014). Technological aspects for thermal plasma treatment of municipal solid waste-A review. *Fuel Processing Technology*, 126, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.011>.
- Shayan, E., Zare, V. and Mirzaee, I. (2019). On the use of different gasification agents in a biomass fueled SOFC by integrated gasifier: A comparative exergo-economic evaluation and optimization. *Energy*, 171, 1126–1138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.095>.
- Siefert, N. S. and Litster, S. (2013). Exergy and economic analyses of advanced IGCC–CCS and IGFC–CCS power plants. *Applied Energy*, 107, 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.006>.
- Suleman, F., Dincer, I. and Agelin-Chaab, M. (2014). Energy and exergy analyses of an integrated solar heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 559–566. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.08.006>.
- Szargut, J. (2005). Exerg Method. Wit Press, ISBN: 978-1-85312-753-3, 167s., 20-35.
- Şanlısoy, A. (2018). An experimental investigation on design and performance of plasma gasification systems. Doktora Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, Türkiye, 261 s.
- Tamošiūnas, A., Gimžauskaitė, D., Uscila, R. and Aikas, M. (2019). Thermal arc plasma gasification of waste glycerol to syngas. *Applied Energy*, 251, 113306. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113306>.
- Taylor, R., Ray, R. and Chapman, C. (2013). Advanced thermal treatment of auto shredder residue and refuse derived fuel. *Fuel*, 106, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.11.071>.
- Topal, H. (2015). Plazma gazlaştırma teknolojisi ile katı atık bertarafı. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4), 733–741. <https://doi.org/10.17341/gummfd.26834>.
- Tsatsaronis, G. (2006). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32(4), 249–253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.07.002>.
- Tsatsaronis, G. and Moran M., (1997). Exergy-aided cost minimization. *Energy Conversion and Management*, 38(15), 1535–1542. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(96\)00215-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(96)00215-4).
- Tumurbat, T. (2019). Energy and exergy analysis of biomass gasification in a downdraft gasifier. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 87 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.

- Ünal, F. (2019). Yer altı kömür gazlaştırma teknolojisi ile eskişehir-alpu linyit rezervinden sentez gazı üretimi: tekno-ekonomik değerlendirmeler. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 119 s.
- Wu, J., Wang, J., Wu, J. and Ma, C. (2019). Exergy and Exergoeconomic Analysis of a Combined Cooling, Heating, and Power System Based on Solar Thermal Biomass Gasification. *Energies*, 12(12), 2418. <https://doi.org/10.3390/en12122418>.
- Xu, C., Wang, Z., Li, X. and Sun, F. (2011). Energy and exergy analysis of solar power tower plants. *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), 3904-3913. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.038>.
- Yang, K., Zhu, N., Ding, Y., Chang, C. and Yuan, T. (2018). Thermoeconomic analysis of an integrated combined cooling heating and power system with biomass gasification. *Energy Conversion and Management*, 171, 671-682. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.089>.
- Yang, Q., Zhu, S., Yu, P., Yang, Q. and Zhang, D. (2019). Thermodynamic and techno-economic analysis of coal to ethylene glycol process (CtEG) with different coal gasifiers. *Energy Conversion and Management*, 191, 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.019>.
- Yang, S., Li, H., Qian, Y. (2012). Techno-economic analysis of coal gasification based co-production systems. *11th International Symposium on Process Systems Engineering*, Singapore, 15-19 Temmuz. 455–459.
- Yang, S., Qian, Y., Ma, D., Wang, Y. and Yang, S. (2017). BGL gasifier for coal-to-SNG: A comparative techno-economic analysis. *Energy*, 133, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.081>.
- Yao, E., Wang, H., Wang, L., Xi, G. and Maréchal, F. (2017). Multi-objective optimization and exergoeconomic analysis of a combined cooling, heating and power based compressed air energy storage system. *Energy Conversion and Management*, 138, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.071>.
- Yassin, L., Lettieri, P., Simons, S. J. and Germanà, A. 2009. Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context. *Chemical Engineering Journal*, 146 (3), 315-327. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.06.014>.
- Ye, C., Ye, Z., Zhu, Z. and Wang, Q. (2021). Thermodynamic and economic analysis of oxy-fuel-integrated coal partial gasification combined cycle. *Acs Omega*, 6, 4262-4272. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05277>.
- Yılmaz, C., Kanoğlu, M., Abuşoğlu, A. (2015). Jeotermal destekli hidrojen sıvılaştırma çevriminin termodinamik ve termoekonomik analizi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 8-11 Nisan, 1725-1744.

- Yücer, C. T. and Hepbasli, A. (2014). Exergoeconomic and enviroeconomic analyses of a building heating system using SPECO and Lowex methods. *Energy and Buildings*, 73, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.023>.
- Zhang, X., Li, H., Liu, L., Bai, C., Wang, S., Zeng, J., Liu, X., Li, N. and Zhang, G. (2018). Thermodynamic and economic analysis of biomass partial gasification process. *Applied Thermal Engineering*, 129, 410–420. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.069>.
- Zoghi, M., Habibi, H., Choubari, A.Y. and Ehyaei, M.A. (2021). Exergoeconomic and environmental analyses of a novel multi-generation system including five subsystems for efficient waste heat recovery of a regenerative gas turbine cycle with hybridization of solar power tower and biomass gasifier. *Energy Conversion and Management*, 228, 113702. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113702>.



ÖZGEÇMİŞ

Gonca KOÇ, 2002 yılında Amasya Anadolu Lisesini bitirdi. Lisans eğitimini 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2019 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

