



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ
BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE
ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Enes ÇELİK

Eskişehir 2024

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE
ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ**

Enes ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Emin Açikkalp

İkinci Danışman: Prof. Dr. Oğuz ARSLAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Enes ÇELİK'in GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 19/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Emin AÇIKKALP

Üye

: Prof. Dr. Önder ALTUNTAŞ

Üye

: Prof. Dr. Mesut TEKKALMAZ

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

19/01/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Enes ÇELİK, GüNEş ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAşTIRMA SİSTEMİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Emin AÇIKKALP

ÖZET
GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA SİSTEMİ
İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN İNCELENMESİ

Enes ÇELİK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2024

Danışman: Prof. Dr. Emin AÇIKKALP

İkinci Danışman: Prof. Dr. Oğuz ARSLAN

Fosil yakıtların sınırlandırılması, iklim değişikliği ve bu yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel kaygılar, son yıllarda yenilenebilir enerjilere büyük ilgi gösterilmesine vesile olmuştur. Güneş enerjisi ve biyokütle, dünyanın çoğu yerinde mevcut en kullanışlı yenilenebilir enerji kaynaklarından ikisidir. Ancak, her birinin bazı dezavantajları vardır. Bu enerji kaynaklarının birleştirilmesi ve hibrit bir sistem oluşturulması ile dezavantajlar azaltılmakta ve toplam enerji verimliliği iyileştirilebilmektedir.

Bu çalışmada, biyokütle materyalin gazlaştırılmasıyla sunucunda oluşan sentez gazından gaz motorları ile enerjimi üretim işlemleri ile prosesinin ihtiyaç duyduğu enerjinin karşılanması için yenilenebilir kaynaklı bir güç üretim sisteminin modellenmesi amaçlanmıştır. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi gazlaştırmanın verimliliğini artırma girişimlerinden biridir. Biyokütle kullanım oranını ve ürün gazının kalitesini artırmayı ve geleneksel gazlaştırma işlemine kıyasla kirletici emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Modellenen sistemin tesis tasarımı oluşturulması ve güç üretim sistemleri Aspen Plus Simülasyonu paket programı vasıtasıyla bilgisayar destekli benzetim yapılarak incelenmiştir. Ayrıca, yapılan hibrit sistem için maliyet analizi yöntemleri kullanılarak, modellenen sistemlerin maliyetleri ayrı incelenmiştir. Mühendislik uygulamalarında geri ödeme süresi (PP) yaklaşık olarak 22 – 23 yıllık bir geri ödeme süresi bulunmuştur. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde elektrik enerjisi verimliliği % 9,25 ve toplam enerji verimliliği % 85.76 olduğu görülmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda güneşten yararlanılması ile % 31.30 oranında bir doğalgaz ya da yakıt tasarruf sağlanmıştır. Böylece, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma tesisi ile biyokütlenin kullanım oranını iyileştirebileceği, sistem çıkış gücünü artırdığını ve CO₂ emisyonunu büyük oranında azaltan yenilenebilir kaynakların kullanıldığı hibrit bir güç üretim sisteminin yapılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler:Biyokütle, Güneş enerjisi, Aspen Plus, Hibrit sistemler, Simülasyon

ABSTRACT
INVESTIGATION OF ELECTRICITY PRODUCTION WITH SOLAR
ENERGY SUPPORTED BIOMASS GASIFICATION SYSTEM

Enes ÇELİK

Department of Mechanical Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2024

Supervisor: Prof. Dr. Emin AÇIKKALP

Co-Supervisor: Prof. Dr. Oğuz ARSLAN

The decrease in the use of fossil fuels, climate change and environmental concerns arising from the use of these fuels have led to great interest in renewable energies in recent years. Solar energy and biomass are two of the most useful renewable energy sources available in many places of the world. However, each has some disadvantages. By combining these energy sources and creating a hybrid system, disadvantages can be reduced and total energy efficiency can be improved.

In this study, it is aimed to model a renewable source power generation system to meet the energy required by the process through energy production processes with gas engines from the synthesis gas formed as a result of the gasification of biomass material. Solar energy-assisted biomass gasification technology is one of the attempts to improve the efficiency of gasification. It aims to increase the biomass utilization rate and the quality of the product gas and reduce pollutant emissions compared to the traditional gasification process. The facility design and power generation systems of the modeled system were examined by computer-aided simulation using the Aspen Plus Simulation package program. In addition, the costs of the modeled systems were examined separately by using cost analysis methods for the hybrid system. In engineering applications, a payback period of approximately 22 - 23 years has been found. In the system created with the Aspen Plus simulation program, it is seen that the electrical energy efficiency is %9.25 and the total energy efficiency is % 85.76 . As a result of the investigations, a natural gas or fuel saving of % 31.30 was achieved by utilizing solar energy. Thus, the feasibility of a solar energy-assisted biomass gasification plant and a hybrid power generation system using renewable resources that can improve the utilization rate of biomass, increase the system output power and greatly reduce CO₂ emissions has been investigated.

Key Words: Biomass, Solar Energy, Aspen Plus, Hybrid systems, Simulation

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren değerli yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn. Prof. Dr. Emin Açikkalp'e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her sürecinde yanımda olan ve varlıklarıyla beni mutlu eden sevdiklerime, annem Gülseren ÇELİK, babam Ali ÇELİK, kardeşlerim Selim Malik ÇELİK ve Kübra KARACALI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Enes ÇELİK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Enes ÇELİK

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
ALT ve ÜST İNDİSLER	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye’de Güneş ve Biyokütle Enerjisi	4
1.2. Literatür Taraması	7
2. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA TESİSİ	16
2.1. Biyokütle.....	17
2.1.1. Biyokütleden enerji üretimi	17
2.1.1.1. Yakma.....	19
2.1.1.2. Piroliz	19
2.1.1.3. Gazlaştırma	21
2.1.2. Biyokütle gazlaştırma tesisi	23
2.1.3. Gaz temizleme	25
2.1.4. Gaz yakalatici ve çöktürücüler.....	26
2.1.5. Gazlaştırma reaktörleri	26
2.1.5.1. Sabit yataklı gazlaştırma	27
2.1.5.2. Akışkan yataklı gazlaştırıcı	28
2.2. Güneş Enerjisi	29
2.2.1. Dünyada konsantre güneş enerjisi sistemleri (CSP)	30
2.2.2. Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri.....	31
2.2.2.1. Parabolik çanak toplayıcılar (PDC).....	35
2.2.2.2. Güneş kuleleri (ST)sistemleri.....	35
2.2.3. Konsantre güneş enerjisi (CSP) tesislerinde performans metrikleri 36	
2.3. Güneş Enerjisi Destekli Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisi.....	37

2.3.1. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma sistemlerinin önemi ...	43
2.3.2. Biyokütle gazlaştırma sistemlerinde güneş enerjisi.....	43
2.3.3. Hibrit sistemlerde reaktör tasarımları	47
2.3.3.1. Güneş enerji destekli sabit yataklı gazlaştırma	49
2.3.3.2. Güneş enerji destekli akışkan yataklı gazlaştırma.....	50
2.3.3.3. Güneş enerji destekli sürüklenmiş akış gazlaştırma.....	51
2.3.4. Hibrit sistemleri etkileyen koşullar.....	51
2.3.4.1. Gazlaştırma işleminin oksijen kaynakları	51
2.3.4.2. Parçacık boyutu	52
2.3.4.3. Hava sıcaklığı.....	52
2.3.4.4. Katalizörler.....	53
2.3.4.5. Hammadde	53
2.3.4.6. Isı transfer akışkanı (HTF)	54
2.3.4.7. Güneş kollektör malzemeleri	55
2.3.4.8. Hibrit sistemlerin yapım zorlukları.....	55
2.3.4.9. Hibrit sistemlerin ekonomik durumu.....	56
2.3.4.10. Hibrit sistemlerin çözüm yolları.....	56
3. METODOLOJİ.....	58
3.1. Aspen Plus Simülasyon Yazılımı.....	58
3.2. Güneş Enerjisi Destekli Gazlaştırma Teknolojisi Tesis Tasarımı	60
3.3. Yakıt Olarak Seçilen Kaynak:	61
3.4. Güneş Destekli Güç Üretim Modeli.....	62
3.5. Güneş Enerjisi Destekli Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisi Tesis Tasarımı	68
3.6. Ekonomik Analiz.....	76
3.7. İncelediğimiz Sistemin Enerji Hesapları.....	80
4. BULGULAR.....	84
4.1. Biyokütle Gazlaştırılması	84
4.2. İncelediğimiz Sistemin Bulguları	91
4.3. Tesis Maliyet Hesabı	92
5. SONUÇLAR.....	96
KAYNAKÇA.....	99
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bölgelere göre enerji üretimi enerji tüketiminin geçmiş ve gelecek projeksiyonu.....	1
Şekil 1. 2. Dünya enerji tüketimi geçmiş ve gelecek projeksiyonu	2
Şekil 1. 3. Enerji kaynağına göre dünya enerji tüketiminin geçmiş ve gelecek projeksiyonu.....	3
Şekil 1. 4. Türkiye’de illere göre biyokütle potansiyel dağılımı	5
Şekil 2.1. Biyokütleden enerji üretimi	18
Şekil 2. 2. Gazlaştırma teknolojisi.....	22
Şekil 2. 3. Gazlaştırma ile enerji üretimi	23
Şekil 2. 4. Gazlaştırma tesisi	24
Şekil 2. 5. Temel gazlaştırma aşamaları	27
Şekil 2. 6. Gazlaştırma ve gaz temizleme işlemlerinin birlikte uygulanması.....	28
Şekil 2. 7. Akışkan yataklı gazlaştırıcı	29
Şekil 2. 8. Güneş enerji sistemleri	32
Şekil 2. 9. Merkezi alıcı sistemin konfigürasyonu	33
Şekil 2. 10.merkezi alıcı kollektörler (crc'ler) olarak da bilinen güneş kuleleri.....	35
Şekil 2. 11. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi	38
Şekil 2. 12. Biyokütlenin gazlaştırılması için güneş reaktörünün şeması	42
Şekil 2. 13. Buhar santrali için hibrit güneş-biyokütle konseptinin şeması	42
Şekil 2. 14. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin diyagramı	45
Şekil 2. 15. Dolaylı ve doğrudan ısıtılan reaktörlerin şeması.....	49
Şekil 3. 1. Eskişehir ilinde aylık ortalama güneşlenme süreleri	64
Şekil 3. 2. Eskişehir ilinde aylık güneş ışıyım şiddeti	64
Şekil 3. 3. Eskişehir ilinde radyasyon değeri	65
Şekil 3. 4. Parabolik oluk kolektör (ptc) sistem modeli	66
Şekil 3. 5. Güneş enerjisi destekli gazlaştırma tesis tasarımı	69
Şekil 3. 6. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı	69
Şekil 3. 7. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. 1. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyeli	5
Çizelge 1. 2. Hibridizasyon seçenekleri için konsantre güneş enerjisi (csp) ve biyoenerji teknolojilerinin farklı kombinasyonlarının karşılaştırılması.....	12
Çizelge 1. 3. Hibrit güneş biyokütlesi için en kritik araştırma ve geliştirme (ar-ge) literatürünün bir özeti ve temel parametreler.....	13
Çizelge 1. 4. Hibrit güneş biyokütlesi için en kritik araştırma ve geliştirme (ar-ge) literatürünün bir özeti ve temel parametreler.....	14
Çizelge 2. 1. Ham gaz bileşimindeki kirleticiler	25
Çizelge 2. 2. Uygulamalar için kirleticilerin sentez gazında bulunmasına izin verilen maksimum değerleri.....	26
Çizelge 2. 3. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma ve geleneksel gazlaştırma arasındaki karşılaştırma	40
Çizelge 2. 4. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojilerinin özelliklerini	45
Çizelge 2. 5. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri için biyokütle hammaddeleri	54
Çizelge 3. 1. Çeşitli ısı transfer sıvılarının 1 atm basınçta bazı özellikleri	67
Çizelge 3. 2. Ls-2 ve ls-3 güneş kolektörlerinin teknik özellikleri	68
Çizelge 3. 3. Ekipman tanımı	72
Çizelge 3. 4 B16 (ısı değiştirici).....	73
Çizelge 3. 5. B18 (türbin)	74
Çizelge 3.6. B7 (compressor)	74
Çizelge 3. 7. B10 (türbin)	75
Çizelge 3. 8. B12 (ısı değiştirici).....	75
Çizelge 3. 9. B15 (türbin)	76
Çizelge 3. 10. Sermaye maliyetleri literatürdeki bazı korelasyonları.....	77
Çizelge 3. 11. Maliyet tablosu	78
Çizelge 4. 1. Biyokütlenin kimyasal özellikleri	84
Çizelge 4. 2. Aspen plus simülasyon programı B1 rstoic reaktör kütle akışları.....	85
Çizelge 4. 3. Aspen plus simülasyon programı B1 rstoic reaktör kütle oranı	86

Çizelge 4. 4. aspen plus simülasyon programı B3 ryield reaktör kütle akışları	87
Çizelge 4. 5. Aspen plus simülasyon programı B3 ryield reaktör kütle oranları	88
Çizelge 4. 6. Aspen plus simülasyon programı B1 rstoic reaktör kütle akışları.....	89
Çizelge 4. 7. Aspen plus simülasyon programı B6 rgibbs reaktör kütle oranı	90
Çizelge 4. 8. Aspen plus benzetim programı ile oluşturulan sistemden enerji çıkıtları	92
Çizelge 4. 9. Biyokütle maliyet tablosu.....	93
Çizelge 4. 10. Biyokütle gazlastırma tesisi	94



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

(B)	:Biyokütle
(C)	:Konsantrasyon oranı
(CHP)	:Birleşik ısı ve güç sistemi
(CRC)	:Merkezi alıcı kolektörler
(CSP)	:Konsantre güneş enerjisi teknolojisi
(DACR)	:Doğrudan absorpsiyonlu alıcı
(HHV)	:Üst ısı değeri
(HT)	:Yüksek sıcaklık
(HTF)	:Isı transfer sıvısının
(kW)	:Güç birimi (KiloWatt)
(LHV)	:Alt ısı değeri
(LT)	:Düşük sıcaklık
(MTCR)	:Çok tüplü alıcı
(MTER)	:Çok tüplü harici alıcı
(MW)	:Güç birimi (MegaWatt)
(PDC)	:Parabolik çanak toplayıcılar
(PTC)	:Parabolik oluk kolektörler
(S)	:Buhar
(ST)	:Güneş kuleleri sistemleri
(TES)	:Isı depolama sistemi
(VCR)	:Hacimsel alıcı

ALT ve ÜST İNDİSLER

$\dot{m}$: Kütlesel debi

$\dot{m}_b$: Biyokütle debisi

$\eta_{elektrik}$:Elektrik verimi

η_{opt} :Tesisin optik verimi

η_{PTC} : Kolektör verimi

η_{th} :Isıl verim

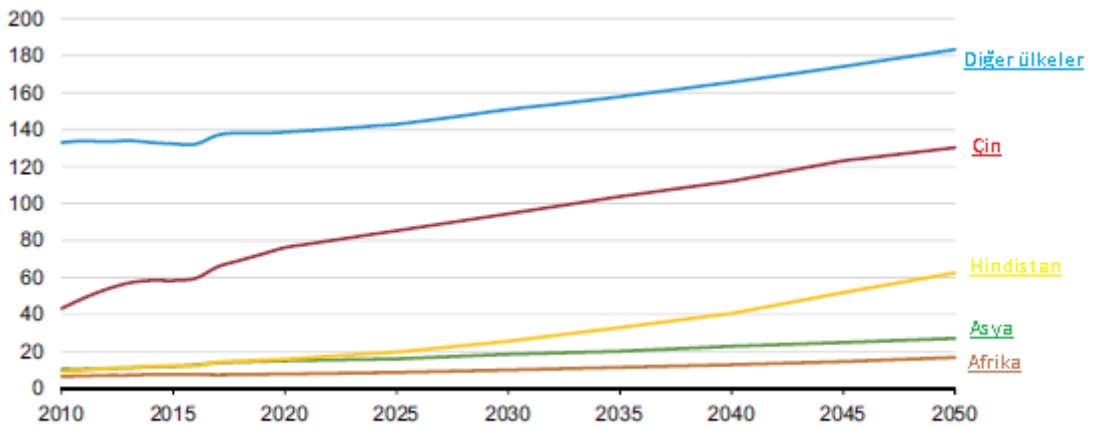
1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ile birlikte enerji talebi de artmaktadır. Fosil yakıtların sınırlandırılması, iklim değişikliği ve bu yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel kaygılar, son birkaç on yılda yenilenebilir enerjilere büyük ilgi gösterilmesine vesile olmuştur.

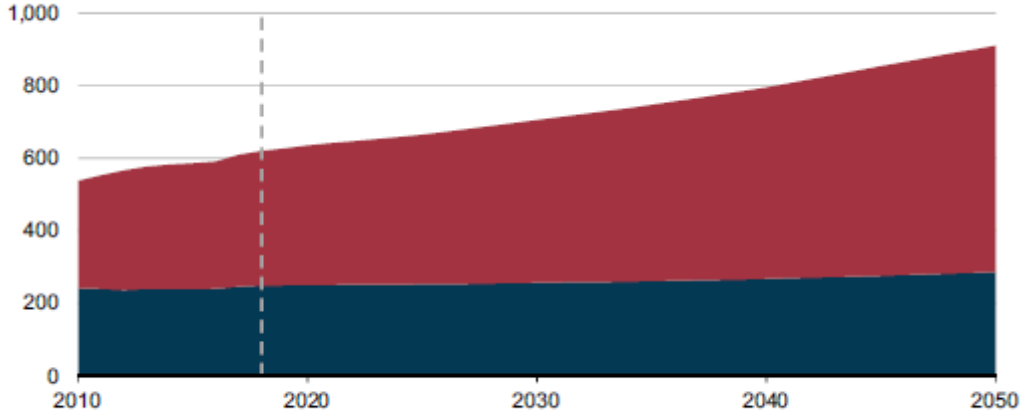
Enerji ile Ekonomi arasında ayrılmaz bir ilişki vardır. Dünyada bugün kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %86 fosil, %6 nükleer, %6 hidrolik ve %2 yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Gelişmekte olan ülkeler grubunda yer alan Türkiye'nin yerli üretimle karşılanan enerji ihtiyacı 1990 da %47,7 iken 2000 yılında %33 olmuş ve 2024 de %23,6'ya düşmesi beklenmektedir (Özbektaş, Şenel ve Sungur, 2023).

Klasik güç santrallerinde fosil esaslı yakıt enerjisinin üçte biri elektrik enerjisine dönüştürülebilir, üçte ikisi ise soğutma suyu olarak çevreye atılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji henüz yeterli seviyede değildir. Sanayileşmenin sürekli ve kaliteli enerji isteği, elektrik ve ısı enerjisine olan talebi hızla artırmakta, bu durum yatırımcıları kendi enerjilerini üretmeye zorlamaktadır (Mohaghegh, 2018).

Sürekli artan dünya nüfusu ile gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik büyüme, enerji taleplerini ve fiyatlarını önemli ölçüde artırmıştır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Bölgelere göre enerji üretimi enerji tüketiminin geçmişi ve gelecek projeksiyonu (http-1, 2023)



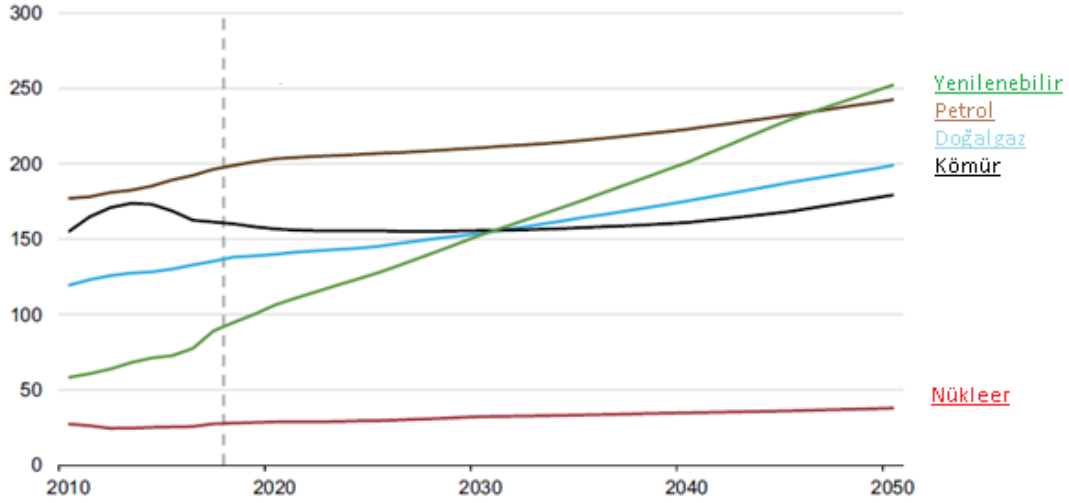
Şekil 1. 2. Dünya enerji tüketimi geçmiş ve gelecek projeksiyonu (<http-1>, 2023)

Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının küresel olarak tükenmesi, son birkaç on yılda önemli bir endişe kaynağı olmuştur. "Petrol ve Gaz Zirvesi Araştırma Derneği" (ASPO) tarafından 2009'da yayınlanan bir rapor, bu kaynakların genel olarak zamanla tükenmesini tahmin etmek için 2050 projeksiyonlu bir petrol ve gaz üretim profili projeksiyonu sunmuştur. Petrol ve gaz kaynakları için zirve sırasıyla 2008 ve 2010 yıllarında ortaya çıkmıştır (Bardi, 2019).

2020 yapılan bir çalışmaya göre dünyadaki toplam petrol (petrol kumları rezervleri dahil) ve toplam gaz rezervleri (hem doğal gaz hem de doğal gaz sıvıları rezervleri dahil) 1,64-1,66 milyar varil kaldığı tahmin edilmektedir. Son zamanlardaki tüketim hızıyla birlikte, geleneksel hidrokarbonlar olarak hem petrol hem de gaz kaynaklarının önümüzdeki kırk ila elli yıl içinde tükenmeye başlayacağı tahmin edilmektedir (Haider, 2020).

Maliyet artışı, olumsuz çevresel etkiler ve sınırlı fosil yakıt arzı ile dikkatler alternatif, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Enerji santrallerinde geleneksel fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerjilerin kullanılması, enerji güvenliğini ele alırken küresel sera gazı emisyonlarında da önemli azalmalar sağlayabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerjilerin kullanımındaki teknolojik gelişmeler uzun vadede enerji maliyetlerini azaltabilir.

Son zamanlarda, ABD Enerji Bilgi İdaresi Yönetim USEI 2020 Uluslararası Enerji Görünümü 2020 (IEO2020) tarafından değerlendirilen, 2050 projeksiyonları ile uluslararası bir enerji görünümü aşağıdaki grafikteki gibidir. Yenilenebilir enerjinin 2050 yılına kadar birincil dünya enerji tüketiminin önde gelen kaynağı haline geleceği tahmin edilmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1. 2. Enerji kaynağına göre dünya enerji tüketiminin geçmiş ve gelecek projeksiyonu (http-2, 2023)

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %0,5 oranında azalarak 331,1 TWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %1,9 azalarak 328,3 TWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışmasının sonuçlarına göre elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh, 2035 yılında ise 510,5 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. (http-3, 2023).

2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 106.152 MW'a ulaşmıştır. 2023 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %29,8'i hidrolik enerji, %23,9'u doğal gaz, %20,5'i kömür, %11'i rüzgâr, %10,6'sı güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,6'sı ise diğer kaynaklar şeklindedir. Mevcut santrallerin 755 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 363 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 344 adedi doğal gaz, 10.950 adedi güneş, 492 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (http-3, 2023).

1.1. Türkiye’de Güneş ve Biyokütle Enerjisi

Biyokütle kullanımı oranının artırılması ile fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve CO₂ emisyonlarını düşürmek için kullanılabilecek alternatif yollardan birisidir.

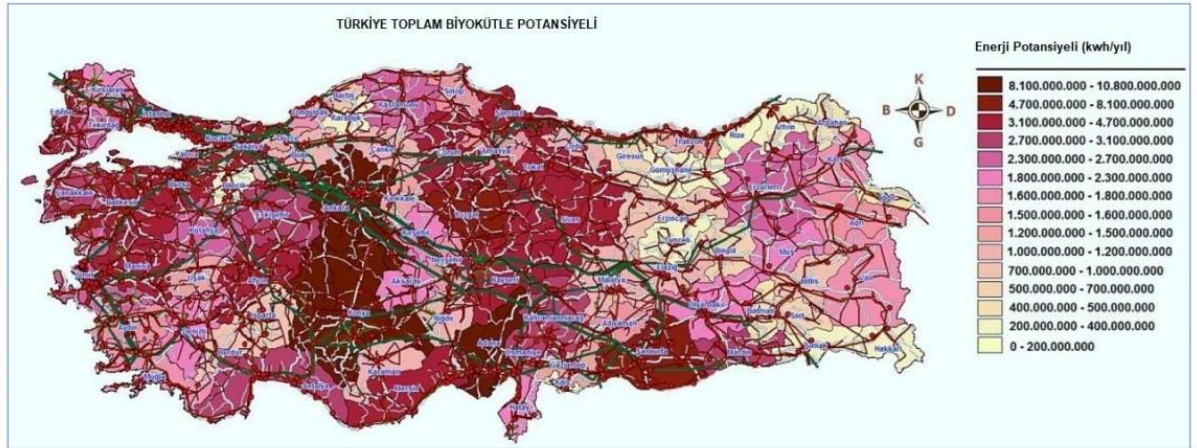
Enerjide dışa bağımlılığın bir miktarda olsa azaltılması ve yerli kaynakların enerjiye yönlendirilmesi için biyokütle atıkların değerlendirilmesi konularında daha çok çalışmalar yapılarak bu konuda dikkat çekilmesi gerekmektedir. Ülkemizin gelecek nesillerine daha temiz bir dünya bırakmak amacıyla büyük tehlike oluşturan sanayi atıklarının değerlendirmesi lazımdır. Sürdürülebilir bir gelecek için alternatiflerinin araştırılması gereklidir. Atıkların doğaya atılması veya faydasızca yakılması hem ekonomik değildir hem de çevresel güvenlik açısından tehlikelidir (Taşar, Kaya ve Özer, 2015).

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisini fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak isimlendirilir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek mümkündür. Biyokütle, tarım veya ormancılık ürünü olan ve tamamı veya bir kısmı içindeki enerjiyi geri kazanmak amacı ile yakıt olarak kullanılabilen bitkisel maddelerin tamamı veya bir kısmından oluşan ürünleri kapsar. Biyokütle enerjisi yenilenebilir, çevre dostu, yerli ve yerel bir kaynak olarak önem kazanmaktadır (Bascetincelik, 2003).

Ülkemizde bulunan biyokütle materyalleri verimli kullanılmamaktadır. Genellikle yakılan veya doğaya terk edilen bu artıklarının değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Türkiye bulunan bu artıklarının geri dönüşümünü sağlayıp, ekonomiye geri kazandırılmalıdırlar (Tolay, Baileys ve Waterschoot, 2010) (Şekil 1. 4 ve Şekil 1. 5) (Çizelge 1. 1).

Çizelge 1. 1. Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyeli (Gürel, 2020)

Ürün	Atık	Üretim miktarı (ton/yıl)	Atık katsayısı	Atık miktarı (ton/yıl)	Kullanılabilir atık miktarı (ton/yıl)	Birim Isıl değer (MJ/kg)	Toplam Yanma Enerji Değeri (GJ)
Mısır	Sap Koçan	5.700.000	4.04	23.028.000	11.514.000	17.65	203.222.100
Buğday	Saman	20.000.000	1.63	32.600.000	16.300.000	17.51	285.413.000
Arpa	Saman	7.000.000	1.12	7.840.000	3.920.000	17.31	67.855.200
Şeker pancarı	Baş Yaprak	17.436.100	2.06	35.918.366	17.959.183	18	323.265.294
Ayçiçeği	Sap	1.949.229	0.73	1.422.937	711.468	18	12.806.434
Toplam							0,892 PJ



Şekil 1. 4. Türkiye'de illere göre biyokütle potansiyel dağılımı (Toklu, 2017; bepa.enerji, 2023)

Dünya yüzeyinde, açık bir günde güneş radyasyonunun enerji yoğunluğu yaklaşık 1000 W/m^2 'dir ve dünyanın güneş enerjisi mevcut tüm kömür santrallerinin 301 katıdır (Brown PT, 2017).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Dünya Enerji Dengesi raporuna göre güneş enerjisinin 2018'de yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin %19'unu oluşturduğunu iddia edilmiştir. Güneş enerjisi tesisatları, gelişmiş ülkelerde önemli teşviklerin bulunması ile hızlı bir büyüme gerçekleştirilmektedir (Pandey, 2017).

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (http-10, 2023).

Güneş enerjisi ve biyokütle, dünyanın çoğu yerinde mevcut en kullanışlı yenilenebilir enerji kaynaklarından ikisidir. Ancak, her birinin bazı dezavantajları vardır. Güneş radyasyonu gün içinde yalnızca sınırlı bir süre için mevcuttur ve mevcudiyeti hava durumu ve mevsime bağlı olarak değişebilir. Öte yandan, biyokütleden enerji elde etmek, her yerde ve her mevsimde kolayca bulunamayan çok büyük bir hammadde gerektirir. Biyokütlenin taşınması yalnızca maliyetleri artırmakla kalmayacak, aynı zamanda taşıma sistemlerinin fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan karbon dioksit emisyonunuda artıracaktır.

Her iki kaynağın bir kombinasyonu, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve güvenilir enerji yatırımı için umut verici bir yöntemdir. Bu enerji kaynaklarının hibritizasyonu ve bir enerji santralindeki uygulamaları son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi, gazlaştırmanın endotermik reaksiyonlarının konsantre güneş termal enerjisi tarafından yönlendirildiği, gazlaştırmanın verimliliğini artırmak için umut verici bir çözüm sunmaktadır.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki son gelişmeleri, gazlaştırma için yoğunlaştırılmış güneş termali yöntemini ve konsantre güneş termal biyokütle gazlaştırmasının ele almaktadır. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi geleneksel gazlaştırmaya kıyasla üretici gazında etkin bir şekilde depolayarak biyokütle besleme stoklarının kullanımını ve toplam enerji verimliliğini sırasıyla %30 ve %40 oranında iyileştirebilir (Fang, ve diğerleri, 2021).

Olası hibridizasyon senaryoları ve performansı açısından, güneş enerjisi teknolojilerinden konsantre güneş enerjisi, biyokütle yakıtları ile hibridizasyon daha uygun ve kanıtlanmış bir teknolojidir.

Biyokütle yakıtlarından güç elde etmek için uygulanan teknolojiler ile enerji santralleri daha ekonomik olarak uygun bir girdi ısısı olduğu kanıtlanmıştır. Gazlaştırma sistemlerinde daha büyük ölçekle birlikte toplam maliyet önemli ölçüde düşmektedir.

1.2. Literatür Taraması

Bu bölüm enerji santralleri için güneş ve biyokütle enerji kaynaklarının hibridizasyonu konusunda yapılan araştırmaların kapsamlı bir incelemesini sunmayı amaçlamaktadır.

Hem güneş enerjisi hem de biyokütle enerjisi üretiminde birçok teknoloji mevcuttur ve bu alanda birçok çalışma yapılmıştır (Al Asfar, 2020; Kumar, 2003; Kumar, Prakash ve Dube, 2017; Zarza, 2006).

Bu konudaki mevcut literatür taramaları, yalnızca bir enerji kaynağıyla sınırlıdır;

- Biyokütle (Wegener, 2018)
- Güneş enerjisi santralleri (Cabrera-Tobar, 2016)
- Belirli bir hibridizasyon senaryosuyla sınırlı (Coelho, 2015)

Brezilya (Milani, 2017) ve Hindistan (Nixon, Dey ve Davies, 2012) gibi belirli bir bölgede hibridizasyonun fizibilitesini değerlendirmiştir. Yapılacak olan sistemlerin verimlilikleri bulunmaya çalışılmıştır.

Bununla birlikte, bu alandaki araştırmacıların çoğu bağımsız sistemleri araştırmıştır ve hibridizasyon üzerine daha az çalışma yapılmıştır. Biyoenerji geri kazanımını artırmaya yönelik güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki uygulamalarının avantajlarına rağmen, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki tüm sistem perspektifinden analiz edilmesiyle ilgili sınırlı sayıda inceleme bulunmaktadır.

(Loutzenhiser PG, 2017) Termodinamik ve kinetik analizlerin yanı sıra termokimyasal reaktörlerin modellenmesi, imalatı ve test edilmesini içerir. Yapılan araştırmalar sonucunda sistemlerin mümkün olabileceğini ve verim oranları gösterilmiştir.

(Pramanik S, 2017) Sentez gazı üretmek için güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki sistemlerinin kullanılmasının, CO₂ emisyonunu (<100 kg/MWh) etkin bir şekilde azaltan umut verici bir yenilenebilir yol olduğu gösterilmiştir.

(Puig-Arnavat ve diğerleri, 2013) Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki sisteminin, yüksek kaliteli sentez gazı ve yüksek verim üretebilen, geleneksel gazlaştırma işlemine ilginç bir alternatif olduğu sonucuna varmıştır.

Hibrit enerji santrallerindeki küresel eğilimleri anlamak için bir birçok analiz gerçekleştirilmelidir. Günümüz dünyasında hibrit güneş-biyokütle enerji üretimi ve hibridizasyonun tüm olası kombinasyon senaryoları hakkındaki teknolojileri ve araştırmaları kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmesi gereklidir. Sonraki bölümde hibrit santral teknolojilerinde mevcut durum ve planlanan projeler, özellikleri ve performansları verilmektedir.

(Gregg ve diğerleri, 1980) İlk hibrit sistemlerin oluşturulma aşamasında yapılan ilk solar gazlaştırıcılardan olan doğrudan güneş ile ısıtılan L-şekilli sürekli sabit yataklı bir reaktörden oluşmaktadır. Gaz ürünlerin kalorifik değerin artışı ve güneş ışığının kullanılması ile farklı karbonlu hammaddelerin sentez gazı ürünlerine dönüştürülmesinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

(Taylor ve diğerleri, 1983) Farklı besleme stoklarının (kömür, odun ve kağıt dahil) gazlaştırılması için doğrudan güneş enerjisi kullanılan sabit yataklı bir reaktör geliştirmiştir. Bu reaktör üst taraftan gelen güneş ışınımı ile ısıtılmakta ve gazlaştırma reaksiyonu ilerlerken hammadde yükü bir piston ile odak noktasına doğru yukarıya doğru hareket ettirilmektedir.

(Taylor ve diğerleri, 1983) Doğrudan güneş enerjisi kullanılan sabit yataklı reaktör ile doğrudan güneş enerjisi kullanılan bir akışkan yataklı reaktör karşılaştırılmasını yapmıştır. CO₂ kullanarak odun kömürü gazlaştırma işlemi üzerinden yürütülen sistem temel alınmıştır. %40'lık bir güneşten yakıt verimlilik ulaşan sabit yataklı muadili ile karşılaştırıldığında akışkan yataklı reaktör 950°C'de yalnızca %10 verimlilik göstermektedir. Bunun nedeni ise yüksek sıcaklıklarda reaktör tarafındaki daha belirgin kayıpların olması ve çıkış gazındaki ilave hissedilir kayıplardan kaynaklanmıştır.

(Piatkowski ve diğerleri, 2009) Kesikli modda çalışan farklı bir sabit yataklı reaktör geliştirmiştir. Bu reaktör, ısı kayıplarını en aza indirmek için iki boşluktan oluşmaktadır. Üst kısım güneş ışınlamını alınmakta ve yayıcı plakayı ısıtılmakta ve alt kısım, termokimyasal gazlaştırma reaksiyonlarını yürütmek için sıcak yayıcı tarafından ısıtılmaktadır.

Reaktör, kömür, hurda lastik tozu ve endüstriyel ve kanalizasyon çamurları dahil olmak üzere çok çeşitli karbonlu atık besleme stoklarını gazlaştırmak için çalıştırılmıştır. Ana reaktör dezavantajları, yatak boyunca önemli sıcaklık gradyanlarına neden olan zayıf iletken ısı transfer hızı ve reaktör içinde cüruflaşmaya ve sinterlemeye yol açan birikme idi. Karbon dönüşüm verimliliği ve güneşten yakıta verimlilik maksimum değerleri sırasıyla %1.30 ve %29 idi ve kayın kömürü hammaddesi ile elde edilmiştir.

(Kodama ve diğerleri, 2002) Yan taraftan bir Xe lambasıyla doğrudan güneş enerjisi kullanılan laboratuvar ölçekli bir akışkan yataklı reaktörde CO₂ kullanarak kömürün gazlaştırılmasını incelemişlerdir. Akışkanlaştırılmış kömür parçacıklarının kuvars pencere ile doğrudan teması, pencerenin temizliğine ve mekanik bütünlüğüne zarar vermiştir.

(Kodama ve diğerleri, 2002) Bir önceki çalışmada yapmış olduğu sistemde bazı parametreleri değiştirerek farklı bir akışkan yataklı reaktörün geliştirilmesi yoluyla önceki konsept geliştirilmiştir. Böylece pencere bölgesi ile reaksiyona giren akışkanlaştırılmış parçacıklar arasında uzamsal bir boşluk sağlanmıştır. Optimum koşullarda maksimum %14 güneşten yakıta verimlilik değerine ulaşılmıştır.

(Gokon ve diğerleri, 2012) Bu akışkan yataklı reaktör, karıştırmayı arttırırken yatak yüksekliği boyunca sıcaklık homojenleşmesine izin veren reaktör merkezine bir çekiş borusunun eklenmesiyle daha da modifiye edilmiştir. %73'e varan karbon dönüşüm verimliliği değerleri elde edilmiştir. Sürüklenmiş ve girdap akışlı reaktörler de güneş enerjisi ile birleştirildi ve deneysel olarak hem doğrudan hem de dolaylı ısıtma modlarında çalıştırılmıştır.

(Z'Graggen ve diğerleri, 2006) Doğrudan ısıtılmış petrokok buhar gazlaştırmasını araştırılmıştır. Vorteks-akış konfigürasyonu, 1 saniyelik kalma süresinden oluşan tek geçişle %87'ye varan bir karbon dönüşüm verimliliği ve %5 ile %9 arasında değişen güneşten yakıta verimliliğe ulaşılmıştır.

(Müller ve diğerleri, 2017) 1-6 bar aralığında basınç ile penceresiz dolaylı olarak ısıtılmış basınçlı bir reaktörde kömür/su bulamacının gazlaştırılmasını test etmiştir. İlk olarak, çevresinde gaz-parçacık akışının bir girdap şeklinde aktığı U-biçimli bir ısı transfer sıvısı boşluğunu ısıtmaktadır. %94'ün üzerinde bir karbon dönüşüm verimliliği ve %29'luk bir güneşten yakıt verimliliği ile 5 saniyeden kısa sürede elde edilmiştir.

(Hussain, 2017) Mevcut sistemler ile hibrit tesislerin birçok yönden karşılaştırılması yapılmıştır. Hibrit sistemler için uzun geri ödeme süreleri, bağımsız biyokütle tesisleriyle rekabet edemeyecekleri bulunmuştur. Ham madde fiyatları her geçen yıl katlanarak artması veya taşıma giderlerinin artması ile hibrit tesisler rekabetçi hale getirecektir. Hibrit güneş biyokütle enerji santralleri, yıllık güneş ışınımının düşük veya orta düzeyde olduğu bölgeler için arzu edilen bir seçenek olabilmektedir. Kanada ve Avrupa'nın bazı bölgeler için biyokütle kaynakları bol miktarda mevcut olsada bu bölgelerde güneş enerji sisteminin verimi düşük olmasından kaynaklı hibrit sistemler tam kapasite ile çalışmamaktadır.

(Milani, 2017) Brezilya yapılması planlanan biyokütle gazlaştırma teknolojisi ile konsantre güneş enerjisi hibridizasyonu için farklı seçenekler tarafından analiz edilmiştir. Aspentech Hysys ve System Advisor Model (SAM) yazılımı ile aynı gazlaştırıcı için seri tasarım, paralel tasarım ve buhar çıkarma tasarımı dahil olmak üzere üç farklı seçeneği simüle edilmiştir.

(Coelho, 2015) Konsantre güneş enerjisi enerji santralleri için Avrupa'nın en umut verici yerlerinden biri olan Portekiz Algarve bölgesindeki yenilenebilir kaynakların potansiyelini araştırmıştır. Bu alandaki güneş ışınlarının ulaşabileceği miktar belirlenmiştir. Mahsul atıkları ve orman gibi biyokütle kaynaklarının yıl içerisinde ne oranda bulunabileceği ve ahşap endüstrisi ve tarımdan kaynaklanan kalıntı temini sağlanmıştır.

(Bai, 2017) Hibrit konsantre güneş enerjisi-biyokütle enerji santrali için farklı biyokütle besleme seçeneklerini analizi yapılmıştır; atıktan türetilen yakıt peletleri, odun gazlaştırma, atık su anaerobik çürütücüden biyogaz, çöplükten biyogaz ve doğal gaz ürünleri sistem içinde kullanılmıştır. Sonuçlar, konsantre güneş enerjisi teknolojisi olarak atmosferik hacimsel merkezi alıcı sistemi kullanan ve biyogaz üretim teknolojisi olarak bir atık su arıtma tesisinden sistemi için ekonomik çıktı oranları araştırılmıştır.

50 MW kapasiteli bir konsantre güneş enerjisi-biyokütle hibrit enerji üretim sistemi tasarlanmıştır. Kullanılan ürünlerden çamur için (toplama ve taşıma maliyeti yok) dikkate alındığında, 13 yıllık geri ödeme süresine sahip bu hibrit sistem, tüm hibrit seçenekler arasında en iyi getiri oranını sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

(Nixon, 2012) Güneş enerjisinin biyokütle ile hibritleştirilmesi yeni bir teknoloji olduğundan, bu tür bir enerji santralinin herhangi bir yerde yapılabilirliğinin değerlendirilmesi önemlidir. Birçok çalışma, hibrit güneş-biyokütle gücünün dünyanın her yerindeki farklı konumlarında teknik ve ekonomik olarak fizibilitesini değerlendirdi Hindistan'da küçük-orta ölçekli bir güneş-biyokütle hibrit enerji santralinin (2–10 MW termik) fizibilitesini farklı uygulamalar açısından araştırılmıştır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri gibi. Tesisin seviyelendirilmiş enerji maliyetlerinin diğer konvansiyonel santrallere göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Ancak, hem rüzgar hem de fotovoltaik enerji santralleri ile rekabet ettiğini gösterilmiştir. Hibrit güneş biyokütle enerji santrallerinin küçük-orta ölçekli uygulamalar için Hindistan'da trijenerasyon için uygun bir seçenek olduğu sonucuna varmışlardır.

(Suresh, 2019)Başka bir çalışmada merkezi olmayan uygulamalarla sınırlı güç üretimi için güneş enerjisi ve biyokütle kaynaklarının hibridizasyonunu incelenmiştir. 5 MW'lık bir hibrit santralin tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmışlar ve santralin 7×24 çalışması halinde hibrit sistemin üretim maliyetini düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

(Peterseim, 2014) Farklı konsantre güneş enerjisi kombinasyonlarının karşılaştırılması Farklı hibrit seçeneklerin karşılaştırması Çizelge 1.4'te listelenmiştir Görüldüğü gibi güneş kulesi teknolojisi, biyokütle ile hibridizasyonda diğer iki seçeneğe göre nispeten daha iyi bir verim göstermektedir. Bu grubun farklı hibrit konfigürasyonları arasında, biyokütle gazlaştırma, daha yüksek sıcaklık (540°C) ve basınçta (130 bar) çalıştığı için hem direkt buhar üretimi hem de erimiş tuz sistemlerinde yakmaya kıyasla biraz daha iyi verimlilik göstermiştir.

Çizelge 1. 2. Hibridizasyon seçenekleri için konsantre güneş enerjisi (CSP) ve biyoenerji teknolojilerinin farklı kombinasyonlarının karşılaştırılması (Peterseim, 2014)

Hibridizasyon Seçenekleri İçin Konsantre Güneş Enerjisi (CSP) ve Biyoenerji Teknolojilerinin Farklı Kombinasyonlarının Karşılaştırılması					
CSP Seçenekleri	Çalışma Sıvısı	Biyokütle Seçenekleri	Buhar Sıcaklığı (°C)	Buhar Basıncı (Bar)	Tepe Verimliliği (%)
ST	DSG	Gazlaştırma	540	130	33.2
ST	Erimiş Tuz	Gazlaştırma	540	130	32.9
ST	DSG	Yanma	525	120	33.0
ST	Erimiş Tuz	Yanma	525	120	32.8
LF	DSG	Yanma	400	90	30.4
LF	DSG	Yanma	450	100	31.5
LF	DSG	Yanma	500	110	32.5
PT	Erimiş Tuz	Yanma	380	80	29.5
PT	DSG	Yanma	450	100	31.5
PT	Erimiş Tuz	Yanma	525	120	32.7
PT	Erimiş Tuz	Gazlaştırma	540	130	32.8

Hibrit güneş biyokütlesi için en kritik araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) literatürünün bir özeti ve temel parametreler vurgulanmıştır (Çizelge1.3 ve Çizelge 1. 4).

Çizelge 1. 3. Hibrit güneş biyokütlesi için en kritik araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) literatürünün bir özeti ve temel parametreler

ref	Konum	Güneş teknolojisi	Biyokütle teknolojisi/ Hammadde	HTF/güç döngüsü tipi	Metodoloji
(Milani, Szklo, and Hoffmann 2017)	Bom Jesus da Lapa (BJL), Brezilya	CSP (PT)	Gazlaştırma	Su/Doğrudan	AspenTech Hysys and the System Advisor Model (SAM))
(Bai et al. 2017)	Yulin, Batı Çin'in Shaanxi eyaleti	CSP (PT)	Yanma/pamuk sapı	Sentetik yağ/Dolaylı	Enerji ve ekserji analizi
(Srinivas and Reddy 2014)	Andra Pradeş, Hindistan	CSP (PT)	Yanma/pirinç kabuğu		
(Hashim et al. 2014)	100 konuttan oluşan bir köy, Malezya	Solar PV			GAMS (General Algebraic Modeling System),
(Suresh, Thirumalai, and Dasappa 2019)	Aurangabad bölgesi, Barun, Hindistan	Solar PV	Yanma/pirinç kabuğu		
(Coelho et al. 2015)	Portekiz Algarve bölgesi, Portekiz	CSP (CRS)		Dolaylı	
(Soares and Oliveira 2017)	Tunus, Tunus	CSP (PT)	Anaerobik sindirim/organik gıda atığı	Su/Doğrudan	EBSILON and EES
(Oliveira 2019)	Tunus, Tunus	CSP (PT)	Anaerobik sindirim/organik gıda atığı	Su/Doğrudan	
(Pedrazzi et al. 2019)	Messaad, Cezayir	CSP (PT)	Anaerobik sindirim/organik gıda atığı	Therminol VP-1	Greenius software
(Nixon, Dey, and Davies 2012)	Hindistan (beş farklı konum)	CSP (PT)	Yanma/Pirinç kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu ve Biyotuğla	Sentetik yağ ve Erimiş tuz Dolaylı	
(Peterseim et al. 2014a) and (Peterseim et al. 2014b)	Güney Galler / Avustralya	CSP (PT)	Gazlaştırma	Erimiş tuz ve Termal yağ/Hem doğrudan hem de dolaylı	Thermoflex

Çizelge 1. 4. Hibrit güneş biyokütlesi için en kritik araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) literatürünün bir özeti ve temel parametreler

ref	Çıkış gücü (MWe)	Verim %	Temel sonuçlar-Kuruluşlar
(Milani, Szklo, and Hoffmann 2017)	2.6	34.7-50.3	Seri tasarımı için en yüksek LCOE;
(Bai et al. 2017)	50	20.5	Tipik biyokütle güç sistemleriyle karşılaştırıldığında biyokütle tüketiminde %22,53 azalma
(Srinivas and Reddy 2014)	0.8	27	Yakıt verimliliğindeki artış
(Hashim et al. 2014)	1.48		Tamamen yenilenebilir enerjiyle çalışan enerji sistemi için son derece rekabetçi
(Suresh, Thirumalai, and Dasappa 2019)	5	66	LCOE her ikisi için de azaltılır
(Coelho et al. 2015)	4	14-18	Yatırımın 13 yılda geri dönüşü
(Soares and Oliveira 2017)	60kW	10	Elektrik üretiminde istikrar tüm yıl boyunca sağlandı
(Oliveira 2019)	65kW	13	REELCOOP projesi, 1 MWe'lik daha büyük bir enerji santralinin küçük ölçekli bir göstericisi olarak temsil edildi.
(Pedrazzi et al. 2019)	3.1-5	11.51	
(Nixon, Dey, and Davies 2012)	2.1- 10	20- 30	Hibrit güneş-biyokütle enerji santralleri trijenerasyon için uygun bir seçenektir
(Peterseim et al. 2014 a and b)	5.1- 30	32.9	Hibrit güneş kulesi ve gazlaştırma ticari olarak değil teknik olarak en iyi performansı gösterdi

Kapsamlı literatür taraması, hibrit santraller alanında teorik ve simülasyon çalışmalarının çok olduğunu gösterirken, daha az sayıda deneysel ve pratik çalışma yapılmıştır. Sistemlerin özellikler göz önüne alındığında, hibrit enerji santralinin gelecek vaat eden bir teknoloji olmasına rağmen hala sınırlamalardan muzdarip olduğunu görülmektedir.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİYOKÜTLE GAZLAŞTIRMA TESİSİ

Güneş fotovoltaik (PV) ve konsantre güneş enerjisi (CSP), düşük karbon teknolojileri ve kurulum maliyetlerindeki düşüş eğilimi nedeniyle elektrik enerjisi üretimi için enerji kaynakları olarak giderek daha popüler hale gelmektedir (Alotaibi, 2020).

Bununla birlikte, iki ana sorun vardır: Düşük enerji verimliliği ve güneş enerjisinin kesintili olması, geceleri güneş enerjisinin olmaması, bulutlu günlerde ışınlamanın azalması ve kış mevsimi, bağımsız bir güneş enerjisi santralının yapılabirliğini azalmaktadır. Bu sorunları ele almak için, güneş enerjisinin biyokütle ile hibridizasyonu umut verici bir teknolojidir ve literatürde devam eden bir araştırma konusu olmuştur. (Behar, 2014).

Bu hibrit yaklaşım, aşağıdakiler dahil olmak üzere farklı amaçlar için kullanılabilir:

- Elektrik enerjisi üretim sistemleri (Bai, 2017)
- Biyokütle-güneş termal sistemleri (Hartl, 2012)
- Kojenerasyon sistemleri (kombine ısı ve güç) (Morrone, 2019)
- Trijenerasyon veya çoklu üretim sistemleri (kombine soğutma, ısı ve güç) (Bellos, 2018)

Yüksek değerli ve enerji yoğun yakıtların temiz üretimi için güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri ele alınmaktadır. Gerekli proses ısını sağlamak için güneş enerjisinin kullanılması, gazlaştırma proseslerinin geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığını azaltmak ve yüksek değerli kimyasal sentetik yakıtların üretimi için CO₂ ve diğer kirleticilerin emisyonlarını azaltmak için uygundur. Endotermal reaksiyonları daha da ilerletmek için konsantre güneş enerjisinin kullanılması, biyokütle kaynaklarından tasarruf ederken yanma ürünleriyle kirlenmediği için daha yüksek gaz kalitesine sahip daha fazla sentez gazı üretilmesine olanak tanır. Dolayısıyla güneş enerjisiyle çalışan süreç, sürdürülebilir ve gelecek vaat eden bir alternatif yoldur, sentez gazı veriminin artırılmasına ve CO₂ azaltılmasına olanak tanır, böylece potansiyel olarak sentez gazı üretimi için geleneksel süreçlerin performansından daha iyi performans gösterir.

2.1. Biyokütle

Biyokütlenin enerji amaçlı değerlendirilmesinin geliştirilmesi; çevre kirliliği, iklim değişikliği, yenilenebilir enerji, enerji güvenliği, atık yönetimi, kırsal istihdam vb. alanlarda çözülmesi zorunlu birçok sorunun çözümüne katkıda bulunacaktır.

Biyokütle ürünlerinin doğaya atılarak kendi haline bırakılan veya çürümeye terk edilen biyokütle atıklarının kullanılması ve değerlendirilmesi sürdürülebilirlik için oldukça gereklidir. Ürünleri tekrardan kazanmak ve katma değeri yüksek ürünlere elde edilmesi ile çevre kirliliğine sebep olan atıkların ortadan kaldırılacaktır. Biyokütle işletmelerin bulunduğu bölgeler genel olarak kırsal alanlarda olmasından kırsal bölgelerde istihdamda olacak ve işsizliğin azalmasına da katkı sağlayacaktır.

Organik madde içeren artıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliği ve temiz enerji üretimi bakımından önemlidir. Bu amaçla özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü biyokütleden sağlanmaktadır (Başçetinçelik ve diğerleri, 2005).

Biyokütle; her yerde elde edilebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Biyolojik kökenli yakıtlardan enerji üretimi için en etkin yöntemlerden birisi, kombine ısı ve güç üretimidir (Başçetinçelik ve diğerleri, 2007).

Kombine ısı ve güç üretiminden, endüstriyel uygulamalar için işlem ısısı ve buhar üretimi amacıyla da yararlanılabilir. Endüstri sektöründe kurutma gibi birçok işlem için ısı üretimine gereksinim vardır. Bu gereksinim, bölgesel ısıtma sistemi olmaksızın kombine ısı ve güç üretimi ile karşılanabilir. Ayrıca küçük ölçekli kombine ısı ve güç tesislerinden elde edilen ısı enerjisi, kamusal ve endüstriyel binaların ısıtılmasında kullanılabilir (Tolay, 2007; Karaca, 2009).

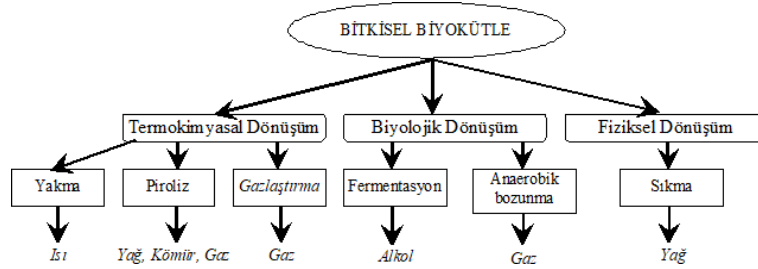
2.1.1. Biyokütleden enerji üretimi

Enerji kaynaklarından olan biyokütleden yararlanabilmek için uygulanan çok çeşitli yöntemler mevcuttur. Sonuç olarak çıkan ürünler, biyokütle uygulanan proseslere ve sisteme giren maddeler ile farklı şekillenebilir (Akgül, 2017) ;

- Kuru odunsu biyokütlenin enerji yoğunluğu fiziksel yöntemlerle pellet veya biriket halinde artırılabilirken (Cao L. Y., 2015),
- Su içeriği yüksek hayvansal atıklar, ana içeriği metan gazı olan biyogaza dönüştürülebilir (Jang, 2016),
- Yine şeker içeriği yüksek biyokütleden fermantasyon veya ısıl işlemlerle biyoetanol üretilirken (Sindhu, 2016),
- Yağ içeriği yüksek biyokütle, trigliseritlerin transesterifikasyonu ile biyodizele çevrilebilir (Kiran, 2016),
- Piroliz yöntemi ile elde edilen aromatik içeriği yüksek ve petrol naftası gibi işlenebilir biyo-yağ, biyokütleden türetilmiş enerji kaynağıdır (Alvarez, 2016),
- Hidrotermal yöntemlerle ise yandığı zaman sadece su oluşturan temiz enerji kaynağı hidrojen üretilir (Azadi, 2012).

Biyokütle ile çalışan santrallerde kullanılan akışkan yataklı sistemler sayesinde yakma sistemleri tamamen farklı bir boyut kazanmıştır. Bu sistemlerde hemen her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak olanaklıdır (Şekil 2.1) (Koopmans, 1997).

Biyokütle ısı ve buhar üreten kazanlarda direk olarak yakılarak, %20-30 verimlilikte elektrik üretilir (Tolay ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.1. Biyokütleden enerji üretimi (Karaca, 2009.)

Biyokütleden enerji üretimi için olumlu olumsuz birçok parametre bulunmaktadır. Bu sebeple maliyet ve doğal çevreye ile ilişkilendirilmesi gerekli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji üretimin sistemlerimde gerekli olan teknolojinin kullanışlı ve uygulanabilir olması, kalifiye personele ihtiyacın en az düzeyde olması işleyişin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

2.1.1.1. Yakma

Biyokütlenin en basit şekilde enerji dönüşümü doğrudan yakma yöntemidir. Bu sistemlerde hammaddeye yakınlık tesis için en gerekli koşulu oluşturmaktadır. Hammaddeye uzaklığı çok olması büyük ekonomik zorluklara yol açmaktadır. Yakma uygulamasında biyokütle içerisinde bulunan nem miktarının çok olması uzak yerlere taşınmasında fazladan yük oluşturacağından ekonomik değildir.

Doğrudan yakma aşamasında kullanılacak üründe bulunan nem oranı % 8–15 ve parça boyutu 50–100 cm boyutlarında olması ideal karışlanmaktadır. Enerji yoğunluğunu üst seviyelere gelmesi için briketleme işlemi yapılması uygun olmaktadır.

Doğrudan yakma tesislerinin verimliliklerinin düşük olmasından kaynaklı günümüz dünyasında tercih edilmemektedir. Bu sistemde bulunan olumsuz özelliklerden bazıları şunlardır; ısı değerleri az olması, hammaddeye kaynaklarına yakınlık, yakıt kalitesindeki dalgalanma, içeriğinde bulunan nem oranı yüksek olması, çevre sorunlarına sebep olması verilebilir.

2.1.1.2. Piroliz

Piroliz işlemi ortalama 500 °C sıcaklıkta ve atmosfer basıncında meydana gelmektedir. Biyokütlenin pirolizi sürecinde sisteme uygulanan sıcaklık değeri arttıkça, moleküllerin parçalanması artar, daha küçük ve aromatik formlar oluşmakta, verilen sıcaklık daha yüksek değerlerde olursa biyoküttelede gazlaşma meydana gelmektedir. Piroliz işlemi ile katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir. Piroliz sonucu ortaya çıkan ürünlerin cinsi ve miktarı birçok parametreye bağlıdır. (Kambo, 2015)

Piroliz ile odun kömürü üretimi en çok bilinen piroliz türüdür ve yavaş piroliz ile gerçekleşmektedir. Yapılan bu işleme degazifikasyon da denilmektedir. Sonuçta katı ürün eldesi sağlanmaktadır. Modern biyokömür endüstrisi yakın tarihli bir alan olmasına karşın biyokömürün geçmişi yüzyıllar öncesine dayanmaktadır (Lehmann, 2009).

Biyokömür yapı olarak saf karbon içerikli değildir yapısında hidrojen ve oksijen gibi birçok madde bulunan organik kaynaşmış molekül karışımı olarak karşımıza çıkmaktadır (Zellagui, 2016; Mcbeath, 2015; Glaser, 2014; Norgate, 2012).

Biyokütle maddesinin piroliz sonucunda üretilen kömürün yapısı tam bilinmemektedir. Normal kömür yapısı tek düzeyde uzun grafit yapıdan oluşmaktadır. Biyokütle maddesinin piroliz sonucunda üretilen kömürün yapısı ise kısa grafit yapılar, yarı küresel yapıları veya fulleren tipi konsantre halkalardan oluşmaktadır (Ho ve diğerleri, 2012).

Ilımlı piroliz diğer adıyla “Torrefaction “ ya da düşük sıcak pirolizi olarak bilinmektedir. Ilımlı piroliz işlemi ile biyokütle üründen çeşitli organik asit eldesi sağlanmaktadır. Kullanım alanlı olarak piroliz işlemi öncesi ön-hazırlık ve uçucu maddelerin uzaklaştırılmasını sağlamak amaçlanmıştır. (Chen, 2015).

Hızlı piroliz tercih sebebi ise sıvı ürün miktarında daha fazla olmasını sağlamasıdır. Bu proseste elde edilen furfural, sıvı ürün ve fenol türevler oldukça fazladır (Zellagui, 2016).

Flash piroliz türünde ise sıcaklık 1000 °C'nin üzerinde ve de süre olarak milisaniyede gerçekleşen bir prosestir. Günümüz dünyasında piroliz türleri hakkında gelişmeler ve araştırmalar devam etmektedir. Flash pirolizin tercih sebebi ise kömür oluşumunu minimize etmesi veya engellemesidir (Kan, 2016).

Piroliz sonucunda elde edilen sıvı ürün, petrol naftasına benzemektedir. Koyu renkli ve kıvamlı bir yapıda bulunmakta ve içerisinde asitler, ketonlar, alkoller, aldehytler, esterler, fenolik ve furfurallar gibi birçok bileşik bulunmaktadır.

Sıvı ürünler bazı kimyasal işlemler sonucunda ya da doğrudan yakılarak enerjisinden, gazlaştırılarak veya kimyasal hammadde kaynağı olarak birçok alanda kullanımı uygun bulunmuştur.

Bitkisel biyokütle ile enerji üretmek için kullanılan ısı yöntemleri yakma, piroliz ve gazlaştırma şeklindedir. Kullanılan bu yöntemlerde atıklar kontrollü şekilde ısı işleme maruz kalması sonucunda biyo-yakıt elde edilmektedir.

- Yakma işlemi klasik olarak çok eskidir. Hava kirliliği sorunları konusunda ve düşük enerji verimliliği nedeni ile istenilen bir şey değildir.

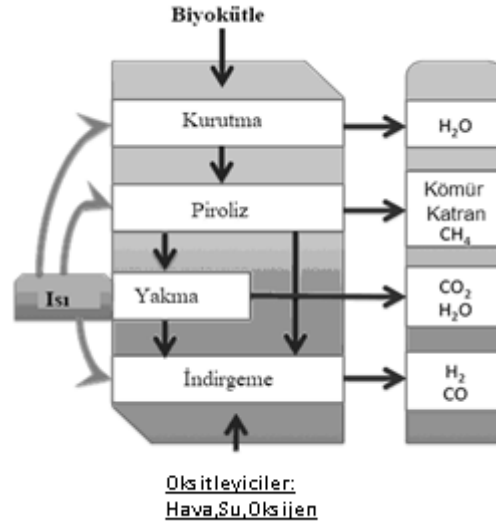
- Piroliz aşamasında kullanılan biyokütle termal degradasyonu havasız ortamda gerçekleştirilerek ürünler elde edilmektedir. Bu ürünleri: kok, piroliz yağı ve sentez gazı oluşturulur.
- Gazlaştırma aşamasında ise hidrokarbonların parçalanarak sentez gazı ürünü eldesi sağlanmaktadır. İşlem aşamasında ortamdaki oksijenin miktarı önem teşkil eder. Piroliz gazlaştırmadaki ilk aşamayı oluşturur. Gazlaştırma aşaması son ürünü olan gazlar, enerji ihtiyacı için kullanılır. (Karaca, 2009.)

2.1.1.3. Gazlaştırma

Biyokütle kullanılarak enerji üretimi için kullanılan sistemlerden birisi birleşik ısı ve güç (kojenerasyon) santralinde direkt yakarak ısı enerjisi ve elektrik üretilmesidir. Biyokütlenin yakılarak enerji üretilme yöntemi ilkel bir yöntem olmasına sebebiyle verimi düşük bir yakma sistemidir. Günümüzde verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri üretilmeye çalışılmaktadır.

Biyokütleden gazlaştırma yöntemiyle gaz yakıt ürünü elde edilir. Gaz, gaz motorunda yakılarak elektrik üretilir. Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katı yakıtların yüksek sıcaklıkta bozulması ile yanabilir gaz yakıt elde etme işlemidir. Bu yöntem sırasında yakıt hücresine kullanılan hava ile biyokütle materyal yakılır.

Üretilen gaz yakıt; karbon monoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azotun yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir (Şekil 2.2) Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır. Gazlaştırma işlemi büyük umut vadetmiş ve dünya genelinde birçok araştırma çalışmasına konu olmuştur.



Şekil 2. 2. Gazlaştırma Teknolojisi (Mutlu ve diğerleri, 2019)

Biyokütleden gazlaştırma tekniği ile yüksek bir verimle petrolle çalışan güç ve ısı sağlayan türbinlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde edilebilir. Biyokütlenin gazlaştırılması ile elde edilen gaz yakıtın doğal gazın kullanıldığı yerlerde küçük düzenlemeler yapılarak kullanımı sağlanması ile doğal gazın kullanıldığı yerlerde gerekli olan enerjinin üretilmiş olan yakıttan karşılanabilecektir. Biyokütleden gazlaştırılma ile elde edilen ürünün gerekli temizleme basamaklarından geçmesi gereklidir (Gärtner, 2008).

Girdi olarak çevreye zarar verebilen tarımsal atıkların kullanıldığı gazlaştırma yöntemi ile elektrik üretiminin faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir: (Tolay, 2007)

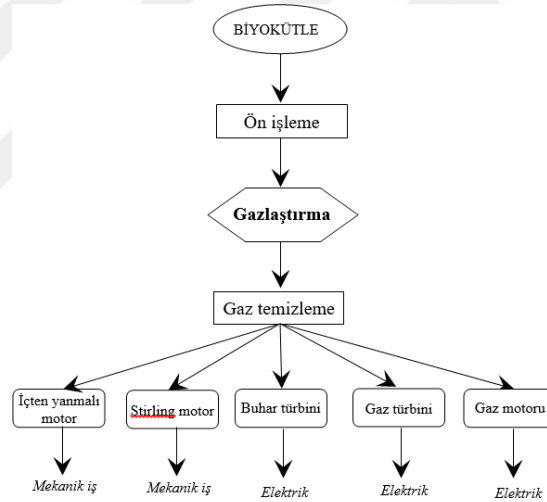
- Sentez gazı ile elektrik ve ısı üretiminde ekonomik kazanç elde edilir.
- Gazlaştırıcıdan çıkan atık kül, inşaat malzemesi olarak kullanılabilir.
- Küresel ısınmanın en önemli etkeni olan zararlı gazları azaltılır. Kömür yakan enerji tesislerinde yanma sonucu atık olarak çıkan SO_2 ve NO_x gibi zararlı gazların azalmasını sağlar. Fosil yakıtlarının tasarrufuna katkıda bulunulur.
- Ucuz ve çevreci enerji üretimi sağlanır.
- Gazlaştırma yöntemi, doğrudan yakma yönteminin en önemli alternatifidir.

Gazlaştırma yöntemi ile katı biyokütle üründen sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Biyokütlenin en verimli koşullarda işlem görebilmesi için bazı özelliklerine dikkat edilmesi gereklidir.

Bu özellikler şunlardır: Nem oranı, karbon/azot oranı (C/N), kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Enerji dönüşümünde kullanılacak biyokütle materyal için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır (Karaca, 2009.)

Daha düşük seviyede nem içeren biyokütleden enerji üretmek için gazlaştırma işlemi uygun bir teknolojidir. Açığa çıkan gaz kazanlarda, türbinlerde, mikro türbinlerde, içten yanmalı motorlarda, Stirling motorlarında ve yakıt pillerinde yakıt olarak kullanılabilir (Şekil 2.3). Hali hazırda gazlaştırıcıda üretilen gaz kazanlarda kullanılmakta olup, içten patlamalı motorlarda da kullanılmaktadır.

Piroliz ve gazlaştırma yönteminin bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak biyokütle materyalin ön hazırlığı, elektrik tüketiminin fazlalığı (özellikle akışkan yataklarda) ve ek yakıt ihtiyacı, çıktı olan gazın ürünün temizlik gereksinimi gibi nedenlerden dolayı sınırlı olarak tercih edilmektedir.

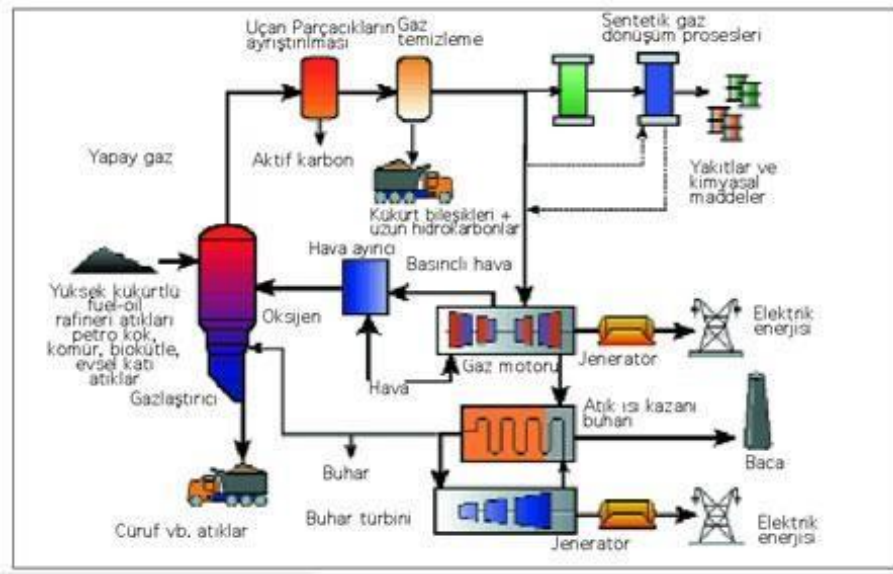


Şekil 2. 3. Gazlaştırma ile enerji üretimi (Mutlu ve diğerleri, 2019)

2.1.2. Biyokütle gazlaştırma tesisi

Biyokütle gazlaştırma işlemi, genel olarak, bir oksitleyici ile karbon içeren malzemenin gazlaştırılarak, gaz halindeki ürüne (yanıcı gaz) dönüşümü olarak tanımlanabilir. Biyokütle gazlaştırma tesisi (Şekil 2.4); biyokütle tartım ve besleme sistemi, gazlaştırıcı reaktör ve siklon, soğutma sistemi, su ile soğutulmuş boşaltım/ yıkama konveyörleri, çok bölgeli gazlaştırma hava fanı ve işlemin otomatik kontrolü için döner besleyiciden oluşur.

Depolanmış biyokütle yakıt, gazlaştırıcı deposuna aktarılır. Yakıt, gazlaştırıcıya kütle ölçüm deposunda ölçülerek beslenir. Besleme silosu ve gazlaştırıcı sisteme yakıtı taşıyan konveyörle ve sistem seviyesini ölçen cihazlardan oluşur. Çıkış besleme konveyörünün hızı, ısı geri kazanım sisteminden istenen gaz miktarına bağlı olarak otomatik olarak gazlaştırma kontrol sistemi ile ayarlanır. Yakıt suyla soğutulmuş vida konveyörle gazlaştırıcının kurutma ve ısıtma bölümüne boşaltılır. Gazlaştırma işlemi orantılı hava kullanımı ile kontrol edilerek etkili gazlaştırmayı destekler. Gazlaştırıcıdan çıkan külde bulunan karbon miktarını belirleyen asıl faktör reaktörde kalma süresidir.



Şekil 2. 4. Gazlaştırma tesisi (http-4, 2023)

Gazlaştırıcıdan çıkan yüksek sıcak gazlar külden temizlenmesi için yüksek sıcaklık siklonu tarafından temizlenir. Sonraki adımda Sıcak gaz, gaz işleme (iyileştirme) sistemi tarafından soğutma ve ısıl değerlendirme ve gaz yıkamanın işlemleri gerçekleştirilir. Tüm gazlaştırma işlemi kısmen negatif basınçta gerçekleşir. Üretilen ve temizlenen gaz negatif basınç fanı ile gaz işleme sistemi ile sağlanır.

Biyokütle hazırlama işlemlerinden sonra, gazlaştırıcıya vidalı besleyici ile orta kısımdaki ızgaranın üzerinden verilir. Gazlaştırıcıya giren biyokütle materyal, ilk olarak suyunu kaybeder ve kurur. Sıcaklığı 250°C - 400°C arasında değişmektedir.

Biyokütle materyali gazlaştırıcı boyunca hareket ederken 400°C–600°C arasında sıcaklığa ulaşır ve piroliz olmaya başlar ve kok, katran, CH₄ ve H₂'ye parçalanır. Oksijen taşıyıcı (önceden ısıtılmış hava) gazlaştırıcının altından girer. Hava hem gazlaşma hem de yukarıya doğru taşıma görevi görür. Tarımsal biyokütle 1000 °C sıcaklığa ulaştığında, giren havadaki oksijen ve H₂O, kok ile reaksiyona girer ve ortaya çıkan gaz, genel olarak CO, H₂, CO₂, CH₄ içeren genellikle 1.000°C sıcaklıkta sentez gazdır.

Tarımsal biyokütle artık küçülmüş ve sadece külü kalmıştır. Sentez gazı, yukarı doğru ilerlerken 800°C'ye kadar soğur. Sentez gazı, gazlaştırıcıdan çıkıp 400°C – 600°C'ye ulaştığında, gaz temizleme bölgesine çekilir. Burada kül ve toz toplayıcı özel siklon bulunmaktadır. Daha sonra gaz temizleme kısmına gelir.

2.1.3. Gaz temizleme

Gazlaştırıcıdan çıkan işlenmemiş ham gaz; katran, biyokütle tozu, gazlaşma sıvısı ve diğer saflığı bozan maddeler içerir. Bu kirleticiler sentezlenen gaz ısı/güç üretim ünitelerinde kullanılmadan önce uzaklaştırılmalıdır (Çizelge 2. 1).

Çizelge 2. 1. Ham gaz bileşimindeki kirleticiler (Tomlinson ve diğerleri , 1996)

<i>Kirletici</i>	<i>Örnek</i>	<i>Etkisi</i>	<i>Uzaklaştırma Tekniği</i>
<i>Partikül</i>	<i>Kül, kömür</i>	<i>Aşındırma</i>	<i>Siklon, filtre</i>
<i>Katran</i>	<i>Siklik ve polisiklik hidrokarbon</i>	<i>Tıkama, çökelme</i>	<i>Fiziksel, kimyasal ve katalizörlü yöntemler</i>
<i>Alkali metal</i>	<i>Sodyum ve potasyum bileşikleri</i>	<i>Sıcak gaz korozyonu</i>	<i>Gaz soğutucu+siklon</i>
<i>Yakıt azot</i>	<i>NH₃, HCN</i>	<i>NO_x</i>	<i>Yıkama</i>
<i>Kükürt</i>	<i>H₂S, SO₂</i>	<i>Korozyon</i>	<i>Yıkama, aktif karbon</i>
<i>Klor</i>	<i>HCl</i>	<i>Korozyon, katalizör zehirlenmesi</i>	<i>Yıkama, aktif karbon</i>

2.1.4. Gaz yakalatıcı ve çöktürücüler

Yıkama sıvısı, merkezi bir spiral helezonik dağıtıcı vasıtasıyla gazla temas ettirilir. Yüksek hızdaki gazın içerisindeki yabancı maddeleri, katı partikülleri yakalayan sıvı damlacıkları sürükleyerek veya çözerek gazın içindeki kirlilikleri temizleyerek aşağı indirir (Mutlu, 2019) (Çizelge 2. 2).

Çizelge 2. 2. Uygulamalar için kirleticilerin sentez gazında bulunmasına izin verilen maksimum değerleri
(Woolcock ve diğerleri , 2013)

Kirleticiler	Uygulamalar		
	Gaz türbini	FT sentezi	Metanol sentezi
Katran (mg/m ³)	-	<0.1–1	<1
Kükürtlü kirleticiler (ppm)	<20	0.01	<1
Azotlu kirleticiler (ppm)	<50	0.02	0.1
Alkali (ppm)	<0.02	0.01	-
Halidler (ppm)	<1	0.01	0.1

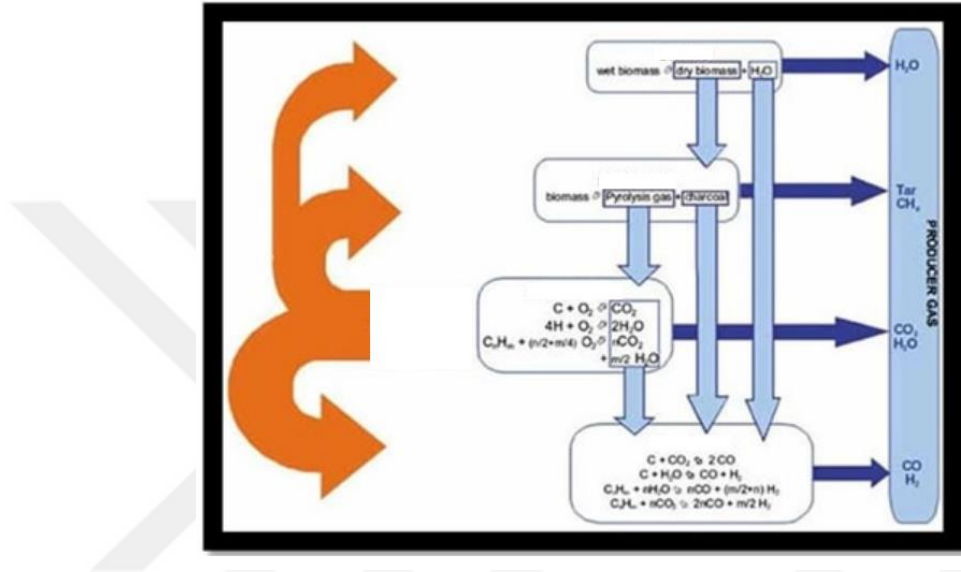
2.1.5. Gazlaştırma reaktörleri

Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç aşamada gerçekleşir. Katı atıktaki suyun uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Pelet haline gelen ve genellikle %10 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Gerçeklesen bu kurumadan sonra piroliz, indirgenme, yanma reaksiyonları gerçekleşir. İçerisinde %35'den daha fazla su bulunan katı materyal, termokimyasal dönüşümle elektrik üretimi için uygun değildir. Gazlaştırma için % 8-15 arası nem oranı uygun olup, 3-5 cm arası parça boyutu ideal olarak kabul edilir. Katı atık içerisindeki bulunan nem gazlaştırma reaksiyonlarından önemli olan su buharı reaksiyonunda kullanılmaktadır (Mutlu, 2019).

Gazlaştırıcı içerisinde oluşan reaksiyonlarını sırası:

1. Kuruma
2. Suyun buharlaşması
3. Piroliz
4. Oksidasyon
5. İndirgeme

Gazlaştırma reaktörleri, kimyasallar, sıvı yakıtlar ve enerji üretimindeki mevcut uygulamalarla yüzyıldan fazla bir süredir piyasada bulunmaktadır. Bu endüstriyel reaktörler, malzeme verimini ve enerji dönüşüm verimliliğini güçlü endotermik gazlaştırma reaksiyonlarını etkinleştirmek için ve gerekli enerjiyi sağlamak için besleme stoğunun bir kısmının yanmasına dayanır.



Şekil 2. 5. Temel gazlaştırma aşamaları (<http-11>, 2023)

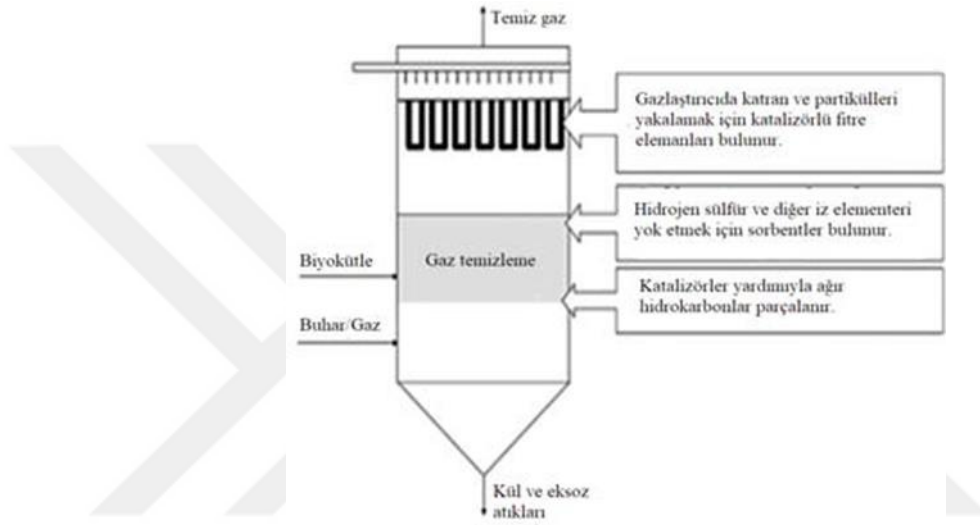
Gazlaştırma için birçok teknoloji geliştirilmiş olup, yaygın olarak kullanılanlar şunlardır:

- Sabit yataklı gazlaştırma(aşağı yönlü ve yukarı yönlü gazlaştırıcılar)
- Akışkan yataklı gazlaştırma (köpüren akışkan yataklı ve dolaşımdaki akışkan yataklı gazlaştırıcılar)
- İndirekt (dolaylı) gazlaştırma
- Hızlı akışkanlı gazlaştırma

2.1.5.1. Sabit yataklı gazlaştırma

Bir aşağı yönlü reaktörde, gazlaştırma maddesi (örneğin hava) ve besleme stokları üst kısımdan verilir ve ürünler alttan ayrılır. Ayrıca, sentez gazı ile alttan büyük miktarda ısı atılır ve sonuçta sistemin genel verimliliğini azaltır.

Bir yukarı çekişli sabit yataklı gazlaştırıcı için, gazlaştırma maddeleri ve besleme stokları genellikle alttan verilir ve sentez gazı üstten ayrılır ve termokimyasal reaksiyonlar genellikle ızgaraya yakın altta meydana gelir. Katran oluşumu, yukarı yönlü gazlaştırmanın en önemli teknik zorluklarından biridir. Katran verimi, kalma süresiyle ters orantılıdır ve reaktörün ortalama sıcaklığıyla orantılıdır (Heidenreich, 2015) (Şekil 2. 6) .

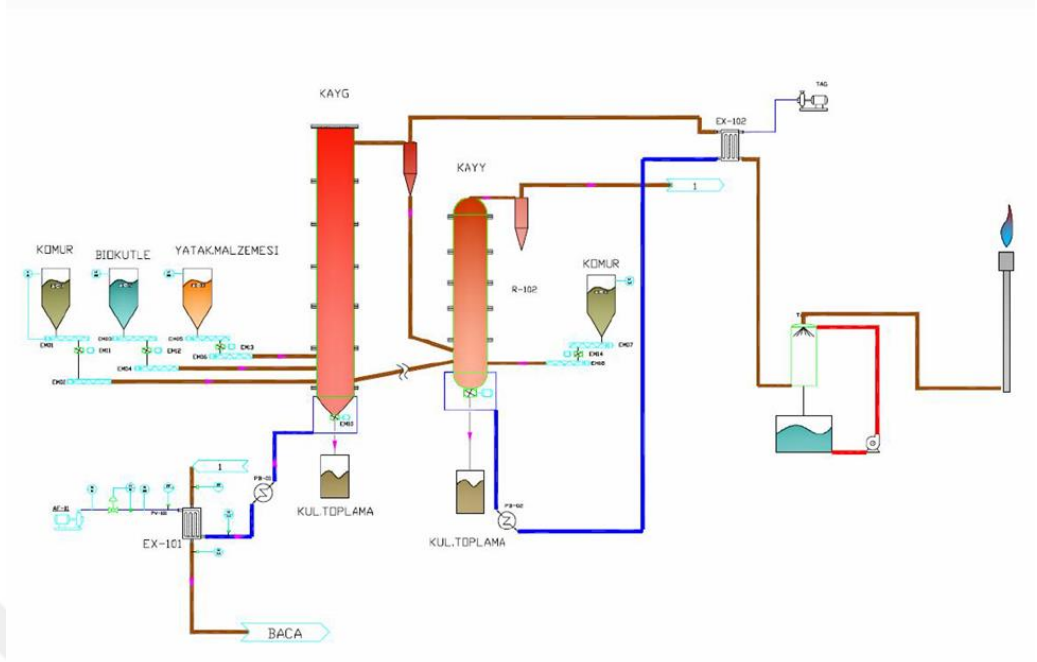


Şekil 2. 6. Gazlaştırma ve gaz temizleme işlemlerinin birlikte uygulanması (Heidenreich, 2015)

2.1.5.2. Akışkan yataklı gazlaştırıcı

Akışkan yatak yakma sistemlerinde alttan giren katı yatak materyali içinde yanma meydana gelmektedir. biyokütle yakıt, yanma gazı ve gazın kendi karışımı yakılarak meydana gelir. Akışkanlaştırma hızına bağlı olarak, kabarcıklı akışkan yataklı ve dolaşımli akışkan yataklı yakma olarak ayrılabilir (Şekil 2. 7) .

Akışkan yataklı gazlaştırıcılar, genellikle sabit yataklı gazlaştırıcılara göre daha yüksek güçlerde kullanılırlar. Günümüz dünyasında ısı enerjisi ve elektrik üretildiği çevre dostu gazlaştırma tesisleri akışkan yatak teknolojisi ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayahan,2009).



Şekil 2. 7. Akışkan yataklı gazlaştırıcı (Kayahan, 2009)

2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi çevreyi kirletmemesi, zararlı atık oluşturmaması ve tükenmeyen sürekli bir enerji oluşu sebebiyle yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerji sistemlerinin yapımı kurulumu kullanım alanları ve kullanım kolaylığı gibi özellikleri ile günümüz dünyasında yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerindendir.

Güneş elektriği, güneş fotonları veya güneş ısısı ile çalışan bu kavramlar üç grupta sınıflandırılır:

- Elektrokimyasal grup, bir elektrolitik işlem kullanarak elektrik gücünü kimyasallara dönüştürür.
- Fotokimyasal ve fotobiyolojik grup, güneş fotonlarını fotokimyasal ve biyolojik süreçler için kullanır.
- Termokimyasal grup, endotermik kimyasal reaksiyonları yürütmek için yüksek sıcaklıkta güneş ısısı kullanır.

Dünya yüzeyinde alınan doğrudan güneş enerjisi yakalamak ve ısıya dönüştürmek için özel güneş enerjisi cihazları kullanılmalıdır. Güneş enerjisini ısıya dönüştüren iki ana güneş enerjisi teknolojisi vardır. Düz levha teknolojileri ve yoğunlaştırıcılar.

Birinci tür genellikle evsel ısıtma/iklimlendirme için ve bazı durumlarda endüstride proses ısısı üretimi için kullanılır. Aşırı ısı kayıpları nedeniyle, bu sistemler zar zor 100–200 °C'ye ulaşır.

Güneş yoğunlaştırıcılar, enerjinin yüksek sıcaklıkta iletilmesini sağlar, bu da onları birçok endüstriyel ve enerji uygulaması için çok önemli kılar. Bu tür teknolojiler, yüzey açıklığı en aza indirilmiş (termal ışıınım kayıplarını azaltmak için) bir alıcının ve güneş ışığını toplayıp alıcıya doğru yoğunlaştıran optik sistemlerin kullanımına dayanmaktadır.

Konsantre güneş enerjisinin iki ana ilgi alanı vardır: Kimyasallar ve enerji üretimi. Konsantre güneş enerjisi ile elektrik üretimi en çok kullanılan alanıdır. Ekonomik olarak uygulanabilir ve çevre dostu bir ısı kaynağı olarak konsantre güneş enerjisini kullanmak için kapsamlı çalışmalar yapılmıştır.

Konsantre güneş enerjisi (CSP) tesisleri, bir ısı transfer sıvısını ısıtmak için güneş ışığını kullanır; ikincisi, aşırı ısınan ve geleneksel bir buhar türbini jeneratörünü çalıştıran suyla enerji alışverişi yapar. (Stéphane Abanades, 2021)

Çoğu zaman, bulutlu ve gece saatlerinde enerji dağıtımını kolaylaştırmak için, konsantre güneş enerjisi (CSP) tesisleri ayrıca bir enerji depolama ortamından yararlanan termal enerji depolama (TES) üniteleri ile donatılır. (Achkar ve El Fadar, 2020)

2.2.1. Dünyada konsantre güneş enerjisi sistemleri (CSP)

Sahra Çölü bölgesinin sadece %1'inin günümüz dünyasının elektrik talebini karşılayabildiğine sonucuna varılmaktadır (Letcher, 2020).

Konsantre güneş enerjisi (CSP) 1984 yılından beri ticari olarak mevcuttur ve 2018 yılında dünya elektrik üretim kapasitesi 5500 MW'a ulaşmıştır. İspanya ve ABD bugün, toplam enerji üretim kapasitesinin yaklaşık % 66'sını elinde bulunduran konsantre güneş enerjisi (CSP) dünyanın önde gelen ülkeleridir (Renewables, 2020).

Ek olarak, özellikle Çin, Şili, Avustralya, Güney Afrika ve Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinde, büyük konsantre güneş enerjisi projelerinin üçte birinden fazlası ya geliştirme aşamasında ya da yapım aşamasındadır ve bu da dünya çapında konsantre güneş enerjisine artan ilgiyi göstermektedir.

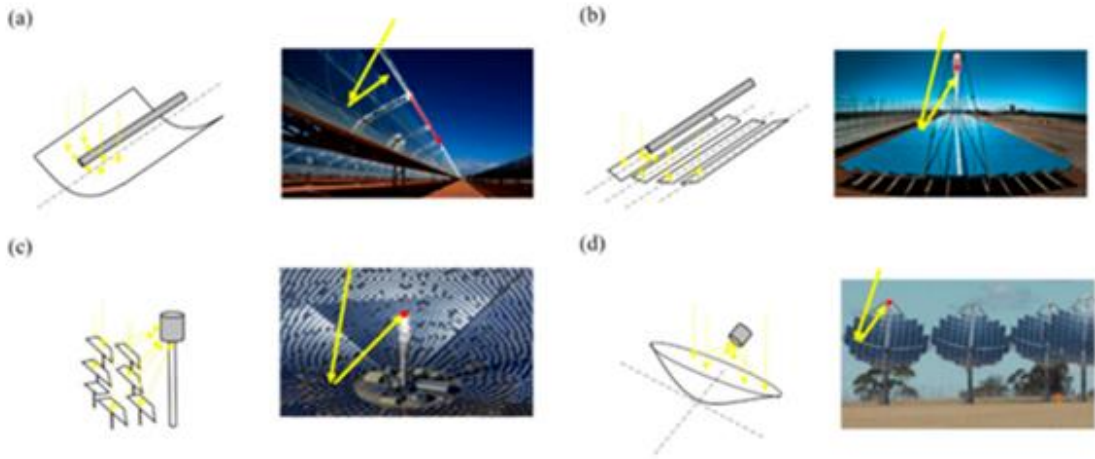
Santrallerin ticari uygulanabilirliği, santrallerin konumu da dahil olmak üzere çok sayıda kritere bağlıdır. Aslında güneş konsantrasyonu, mümkün olduğu kadar yüksek olması gereken doğrudan güneş ışığı bileşeniyle ilgilidir. Bu nedenle, konsantre güneş enerjisi (CSP) tesisleri için en iyi konumlar, tüm yıl boyunca yüksek düzeyde DNI (doğrudan normal ışı nım) garanti etmesi gereken Dünya üzerindeki sınırlı alanlara karş ılık gelir. (Argentiero ve Falcone, 2020)

Yenilenebilir enerji üretiminin verimliliğini en üst düzeye çıkarmada uydularının rolü de önemlidir. Uydu haritalama, uygun tesis konumlarını belirlemek için yardımcı olabilir (Trieb, 2009).

2.2.2. Yoğunlaşt ırıcı güneş sistemleri

Elektrik üretimi için genel olarak kabul edilen ve ticari olarak temin edilebilen dört konsantre güneş enerjisi (CSP) teknolojisi vardır (Ş ekil 2.8). Her teknolojinin, konsantrasyon oranı (C) ile ifade edilen kendi konsantrasyon seviyesi vardır. Enerji açısından bu oran, toplayıcıya giren ak ı üzerinden alıcıya ç arpan güneş ışı nımı olarak tanımlanabilir.

Bununla birlikte, alıcı üzerindeki ak ı ne düzgün bir şekilde dağıtılır ne de kolayca ölçülebilir. Ayrıca gün içerisinde değiş kenlik göstermektedir. Bu nedenle geometrik konsantrasyon bilinmesi gereklidir. Bu parametre, üretilen teknolojinin geometrisine bağlı olduğundan pratik mühendislik uygulamaları için daha uygundur. Yoğunlaşt ırıcı açıklık yüzeyi ile alıcı açıklığının yüzeyi arasındaki oran olarak ifade edilir.



Şekil 2. 8. Parabolik oluk (PT) (a), lineer Fresnel (LF) reflektörler (b), kule konfigürasyonu (c) ve parabolik çanak yoğunlaştırıcılar (d) (Fernández-García, ve diğerleri, 2014)

Bir konsantre güneş enerjisi (CSP) teknolojisi tarafından sağlanan maksimum sıcaklık seviyesi her şeyden önce bu parametre konsantrasyon oranı (C) bağlıdır. Parabolik oluk (PT) ve lineer Fresnel (LF) reflektörler (Şekil 2.8.a,b), tek eksenli izleme ve hat odaklama teknolojileridir. Çalışma sıcaklık aralığı 250–400 °C'dir ve konsantrasyon oranları yaklaşık 50–100'dür.

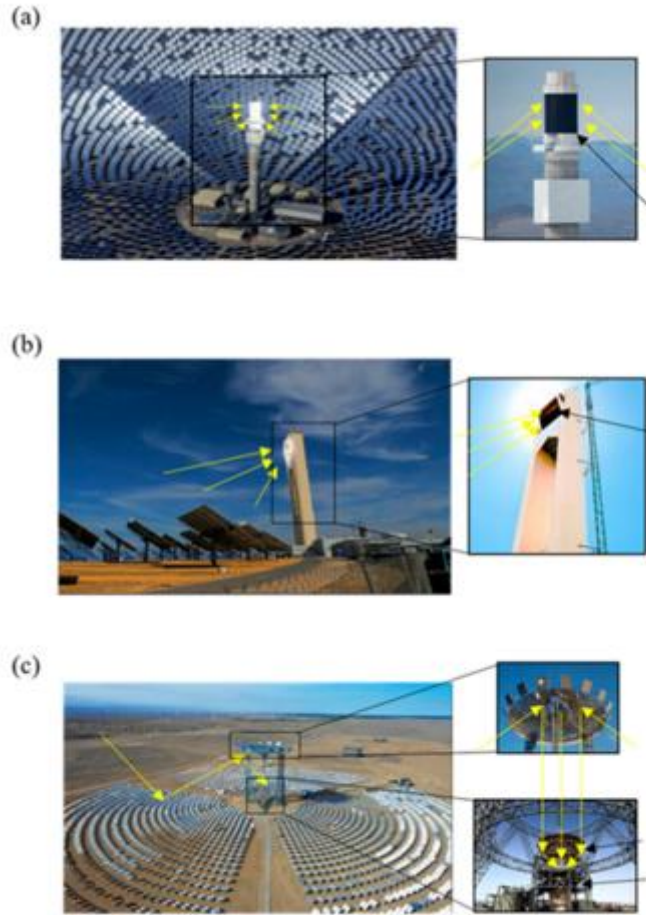
Merkezi alıcılar kule konfigürasyonu (Şekil 2.8.c) ve parabolik çanak yoğunlaştırıcılar (Şekil 2.8.d) iki eksenli izleme ve nokta odaklama teknolojileridir ve bunların konsantrasyon oranları, daha büyük bir maliyet ve karmaşıklık pahasına kolayca 1000'e ulaşabilir (Elsevier 2014).

Bu, güneşten elektriğe verimliliği artıran ve enerji maliyetlerini azaltan alıcıda daha yüksek sıcaklıklara ulaşmayı sağlar. Dört konfigürasyonda, konsantrasyon oranı ve dolayısıyla alıcı sıcaklığı, bileşik parabolik toplayıcılar gibi başka optik bileşenler eklenerek artırılabilir. Son yirmi yılda parabolik oluk (PT) teknolojileri pazara hakim olsa da, günümüzde kule tesisleri artan bir ilgi gösterilmektedir (Weinstein, ve diğerleri, 2015) (Tian, ve diğerleri, 2018).

Aslında, yapım veya geliştirme aşamasındaki kule tesislerinin toplam güç kapasitesi, parabolik oluk (PT) iki katıdır. Lineer Fresnel (LF) reflektörlerin ve çanak toplayıcıların kullanımı, dünya çapındaki bazı küçük projeler dışında marjinal kalmaktadır.

Güneş kulesi konfigürasyonu çekicilik kazanmaktadır ve büyük ölçekte yüksek sıcaklıklı termokimyasal proseslerle birleştirme için yüksek bir potansiyel göstermektedir.

Konfigürasyon, heliostatların (yani izleme aynaları) düzenine ve merkezi alıcı tasarımına ve konumuna bağlı olarak çeşitli olası düzenlemeler sunmaktadır (Şekil 2.9) (Yadav ve Banerjee, 2016).



Şekil 2. 9. Merkezi alıcı sistemin konfigürasyonu (Yogev ve diğerleri, 1998).

Şekil 2. 9.a çevre boyunca radyasyon alan bir açıklığa sahip bir harici alıcıyı göstermektedir. Bu konsept, Fas'ta Noor ve Kaliforniya'da Ivanpah gibi bir dizi büyük kapasiteli kule fabrikasında kullanılmaktadır. (Yogev ve diğerleri, 1998).

Şekil 2. 9.b bir kutup helyostat alanına sahip bir kulenin tepesine monte edilmiş bir boşluk alıcısını göstermektedir. Alıcı, kulenin yalnızca bir tarafından ısınlanan bir açıklığa sahip yalıtımlı bir mahfazadır. İspanya'da Sevilla yakınlarındaki PS10 fabrikası, inşa edilen ilk ticari güneş kulesi tesisidir ve bu prensibe dayanmaktadır. (Yogev ve diğerleri, 1998).

Şekil 2.9. c gösterilen üçüncü olası konfigürasyon, teleskoplardan alınan Cassegrain optik düzenlemesini kullanır. Kavite alıcısı zemin üzerine kuruludur ve kulenin tepesindeki ikincil bir reflektör, çarpan ışığı alıcıya doğru yönlendirir. Bu, kulenin ağırlığını ve maliyetini önemli ölçüde azaltır, böylece yalnızca ikincil yansıtıcı bileşeni destekler (Yogev ve diğerleri, 1998).

Güneş radyasyonunun yoğunluğu esas olarak açık bir gökyüzü altında doğrudan güneş radyasyonu ile belirlenir; gökyüzü kapalıyken saçılan radyasyona bağlıdır; gökyüzü parçalı bulutlu olduğunda doğrudan radyasyonun yoğunluğu azalır ve saçılan radyasyonun yoğunluğu artar. Genel olarak, güneş radyasyonunun %20'si atmosferdeki aerosoller tarafından emilir veya saçılır. Yükselti arttıkça, atmosfer tarafından emilen güneş radyasyonu daha az olur. (Gauché, ve diğerleri, 2017)

Konsantre güneş enerjisi (CSP) sisteminde konsantre güneş akısının dağılımı, bir güneş alıcısında yüksek yerel sıcaklık ve büyük bir sıcaklık gradyanı ile sonuçlanan tek tip değildir. Düzgün olmayan güneş akısı, hem çizgi odaklı toplayıcılar hem de nokta odaklı toplayıcılar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Tekdüze olmayan güneş akısı, alıcı tüpünün altında büyük miktarda ısının yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Alıcının sınırlı termal iletkenliği ve ısı iletim kabiliyeti nedeniyle, düzgün olmayan akı dağılımı, kaçınılmaz olarak alıcının duvarında düzgün olmayan bir sıcaklık alanına yol açar. Yüksek yerel sıcaklık, sistemin güvenliği ve verimli çalışması için büyük zorluklar doğurur ve ısı transfer sıvısının bozunmasına neden olabilir.

Çoğu Konsantre güneş enerjisi (CSP) sistemi, temel ısı transfer sıvılarını kullanır ve tepe ısı transfer değerleri $0,2-1,5 \text{ W/m}^2$ civarındadır, bu da düzgün olmayan güneş akışının neden olduğu aşırı yerel sıcaklıkla baş edemez. Gelişmiş ısı transferi, genel verimliliğin iyileştirilmesi için önemlidir. Temel ısı transfer sıvılarında bulunan nano akışkanların, termal performansı arttırmada etkili olduğu kanıtlanmıştır.

Temel ısı transfer sıvılarında askıya alınan nano partiküllerin (difenil oksit, bifenil ve Ag) eklenmesi, termal iletkenliği (%6 arttı) ve ara verimliliği (%3 arttı) arttırdı.

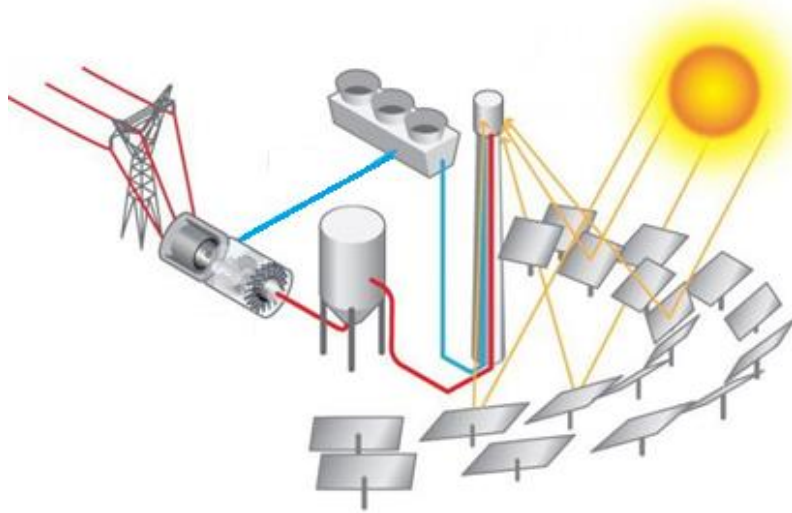
2.2.2.1. Parabolik çanak toplayıcılar (PDC)

Parabolik çanak toplayıcılar güneş ışınımını, ısı transfer sıvısının gerekli çalışma sıcaklığına ve basıncına kadar ısıtıldığı çanak aynaların odak noktasında bulunan alıcı üzerine yoğunlaştırmak için parabolik çanak aynaları kullanır. Parabolik çanak toplayıcılar en pahalı nokta odaklı teknoloji olmasına rağmen, nispeten daha yüksek güneş konsantrasyon oranı ve termal verimlilik sağlayabilirler. Parabolik çanak toplayıcılar çalışma sıcaklığı aralığı, 1000 ve 3000 kW/m² arasında bir konsantrasyon oranı ile 673 K ila 1773 K arasındadır, ortalama ısı verim %18-25 ve tepe ısı verim %28-32'dir (Üçgül ve diğerleri, 2019).

2.2.2.2. Güneş kuleleri (ST) sistemleri

Merkezi alıcı kolektörler (CRC) olarak da bilinen güneş kuleleri (ST), bir heliostat alanı, bir kuleye monte edilmiş bir alıcı, termal enerji deposu ve bir gazlaştırıcıdan oluşan bir güneş enerjisi sistemidir.

Ayna dizisi, gelen güneş ışıklarını, merkezi alıcının güneş radyasyonunu emdiği ve güneş radyasyonunu doğrudan erimiş tuzlar gibi termal akışkanlara aktarılabilen yüksek sıcaklıktaki ısıya dönüştürdüğü sıradan bir kuleye yansıtır (Şekil 2. 10).



Şekil 2. 10. Merkezi alıcı kolektörler (CRC'ler) olarak da bilinen güneş kuleleri (http-12, 2023)

Merkezi alıcı kollektörler (CRC) olarak da bilinen güneş kuleleri (ST) sistemleri için dört tipik alıcı konfigürasyonu vardır:

1. (MTCR) Çok tüplü alıcı (Qiu Y, 2017; Zhu H-H, 2017)
2. (MTER) Çok tüplü harici alıcı (Lubkoll M, 2014)
3. (VCR) Hacimsel alıcı (Avila-Marin A, 2019)
4. (DACR) Doğrudan absorpsiyonlu alıcı (Minardi JE, 1975; Simonetti M, 2020)

2.2.3. Konsantre güneş enerjisi (CSP) tesislerinde performans metrikleri

CSP tesislerinde enerji kayıpları temel olarak iki tiptir: optik ve termodinamik. Optik kayıplar, ayna özelliklerine, tesis yerine ve yılın dönemine göre değişen farklı faktörlerden kaynaklanmaktadır (Stéphane Abanades, 2021).

Bu kayıplar genel olarak şu şekilde sınıflandırılır: (Pescheux ve diğerleri, 2019)

- Yansıma kayıpları, ayna yüzeyindeki mükemmel olmayan aynasal yansımadan kaynaklanır,
- Kosinüs kayıpları, gelen güneş ışınları ile aynanın normal vektörü arasındaki açıdan kaynaklanır,
- Gölgeleme kayıplarına, diğerlerine göre bazı güneş bileşenlerinin neden olduğu gölgeleme neden olur (örneğin, güneş kulesi/heliostat alanı),
- Bazı reflektörler, özellikle düşük güneş yükseklik açılarında yansıyan güneş ışınlarının bir kısmını bloke ettiğinde blokaj kayıpları meydana gelir,
- Dökülme kayıpları, izleme yanlışlıkları ve ayna şekli kusurları nedeniyle alıcı açıklığını kaçıran ışınlama oranından kaynaklanmaktadır ve
- Zayıflama kayıpları, özellikle toplayıcı/alıcı mesafesinin yüksek olduğu büyük kule tesislerinde, radyasyonun atmosferik saçılması/soğurulmasından kaynaklanır.

Bunu göz önünde bulundurarak, tesisin optik verimi (η_{opt}) her bir verimlilik faktörünün ürünü olarak yazılabilir. Buna göre, bir güneş santralinin optik verimi ne sabit ne de önceden belirlenmiş bir değerdir. Sıcaklık, nem, tuzlu sis, rüzgar ve kum fırtınaları gibi agresif ve tekrarlayan stres faktörleri nedeniyle gün içinde ve yıllar boyunca önemli ölçüde değişir ve azalır.

Aynaların bakımı ve sık sık yıkanması, uzun vadede iyi bir dönüşüm verimliliği sağlamak için çok önemlidir. Küresel olarak, güneş aynalarının ömrü yaklaşık 25-30 yıldır.

Genel Konsantre güneş enerjisi (CSP) tesisinin verimliliği (güneşten elektriğe), döngünün optik verimliliği, alıcı absorpsiyon verimliliği ve termodinamik verimliliğinin birleşiminden kaynaklanır (Pescheux, Le Baron ve Raccurt, 2019).

Termokimyasal uygulamalar için birincil amaç elektrik üretmek değildir, bu nedenle termodinamik çevrim ile bağlantı genellikle dikkate alınmaz. Güneş sisteminin enerji verimliliği bu nedenle yalnızca alıcı verimliliği ile sınırlıdır. Termokimyasal süreçlerin ekserji verimliliği, güneş enerjisinin kimyasal enerjiye ne kadar iyi dönüştürüldüğünün bir göstergesi olduğu için ölçülmesi gereken başka bir parametredir (Irena, 2017).

Çıktı ürünlerinden elde edilebilecek maksimum işin, süreci yönlendiren güneş enerjisi girdisine oranı olarak tanımlanır. Termodinamiğin ikinci prensibini uygulayarak, bir güneş termokimyasal prosesinin ekserji verimliliği ile benzer bir şekilde ifade edilebilir (Fletcher ve Moen, 1977).

Daha yüksek konsantrasyon oranları ile absorpsiyon etkinliğinin arttığı gözlemlenebilir. Ayrıca, belirli bir konsantrasyon oranı için, absorpsiyon etkinliği sıcaklıkla büyük ölçüde azalır. Ayrıca, ekserji verimlilik eğrileri, her bir konsantrasyon oranında dönüşüm verimliliğini en üst düzeye çıkaran bir optimum sıcaklık olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklığın üzerinde, yeniden radyasyon kayıpları daha yüksek olur.

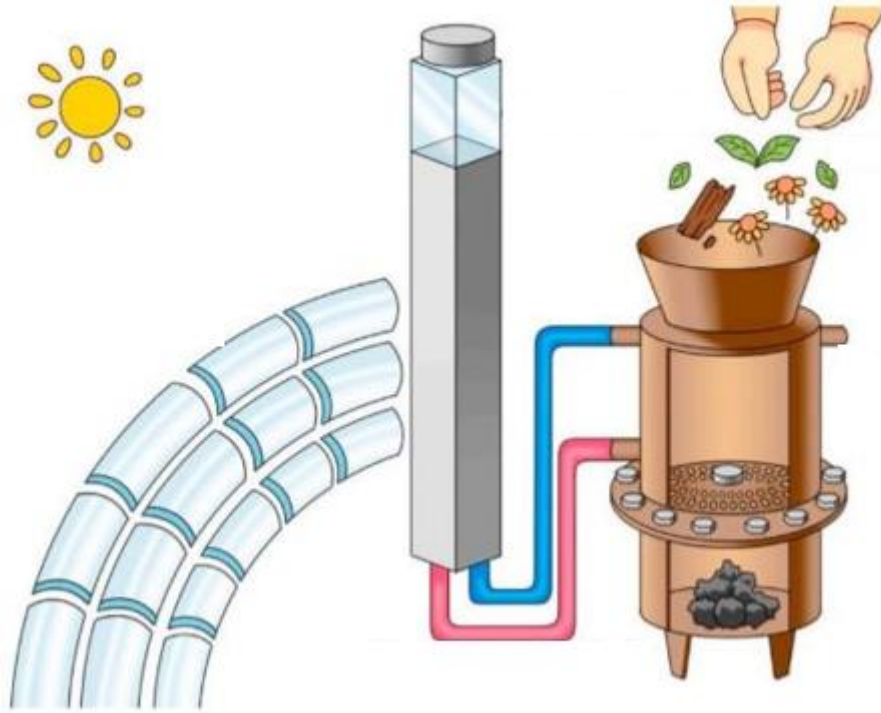
2.3. Güneş Enerjisi Destekli Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisi

Günümüz dünyasında karşı karşıya kaldığımız en önemli küresel zorluklardan olan iklim değişikliği, fosil yakıtların tükenmesi ve fosil yakıtların fiyatlarının istikrarsız olması insanların çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Yenilenebilir enerji, artan enerji talebini karşılamada kritik bir rol oynamaktadır ve iklim değişikliğini azaltmak için önemli bir araç olarak hizmet etmektedir (Fang, ve diğerleri, 2021).

Biyokütle birincil yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. 2017 ve 2018 yılları arasında Avrupa Birliği'nde elektrik üretimi (%29,9–32,53) ve 2018'de dünya yakıt tüketiminin %15– 20'sini oluşturmaktadır. Gazlaştırma, biyokütleden enerji geri kazanımı için ana teknolojilerden biridir. Karbonlu malzemeleri sentez gazına ve kül ve biyokömürden oluşan katı bir artık yan ürüne dönüştürmek için oksijenle sınırlı bir ortamda biyokütle malzemelerinin yanması olarak ifade edilebilir.

Konvansiyonel gazlaştırma için gereken ısı, hammaddenin yanması ile sağlanır. Yüksek enerji verimliliği, özellikle küçük ölçekli kalkınma için, teknolojinin ekonomisi ve yaygın olarak uygulanması için kritik öneme sahiptir (M.Balat, 2011; IEA, 2019; REN21, 2019).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi gazlaştırmanın verimliliğini artırma girişimlerinden biridir (Şekil 2.11).



Şekil 2. 11. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi (Fang, ve diğerleri, 2021)

Bu süreçte, biyokütle gazlaştırma işlemini yürütmek için güneş enerjisi kullanılmaktadır, bu da biyokütle kullanım oranını ve ürün gazının kalitesini artırmayı ve geleneksel gazlaştırma işlemine kıyasla kirletici emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminde, konsantre güneş kolektörleri (örneğin güneş kulesi ve güneş çanağı) güneş radyasyonunu emer ve onu daha sonra gazlaştırıcıya aktarılan termal enerjiye dönüştürür. Gelen enerji akışındaki artışı tanımlayan güneş konsantrasyon oranı 250 ila 3000 arasında değişir (Brendelberger S, 2020).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin verimliliği, güneş enerjisinin sıcaklık ve konsantrasyon oranına ($1000\text{--}3000\text{ kW/m}^2$) bağlıdır. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma sistemi, diğer avantajlarının yanı sıra, güneş enerjisinin kolay taşınabilir yakıt şeklinde kimyasal olarak depolanmasına olanak tanır (Liu M, 2016; Islam MT, 2018).

Biyokütlenin kimyasal enerji taşıyıcısı olarak sentez gazına dönüştürüldüğü gazlaştırma işleminin ısı kaynağı olarak hizmet veren $523\text{--}2273\text{ K}$ sıcaklık aralığına sahip bir termal akışkan (örneğin erimiş güneş tuzu) tarafından taşınır (Wu J, 2019).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma genel olarak geleneksel gazlaştırma işleminden daha yüksek (%25-50) bir verim elde edebileceğini ve aynı seviyede enerji üretimi için besleme stoğu miktarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 2.3) .

Çizelge 2. 3. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma ve geleneksel gazlaştırma arasındaki karşılaştırma (Chuayboon ve diğerleri, 2018; Reyes L, 2021; Arribas L, 2017; Im-orb K, 2016; Kruesi M, 2013)

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma ve geleneksel gazlaştırma arasındaki karşılaştırma				
Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi			Geleneksel gazlaştırma	
Hammadde	Verimlilik	Sentez Gazı Verimi	Verimlilik	Sentez Gazı Verimi
Kayın Ağacı	58.7-73%	H ₂ :31.9-41.9% CO:26.8-31.1%	65%	H ₂ :2.65-12.35 CO:6.61-14.26
Çilek	79%	H ₂ :18 CO:52 CH ₄ :9	42%	H ₂ :9.71-26.8 CO:0.69-18.14 CH ₄ :0-12.67
Şeker Kamışı	61.5-99.9%	H ₂ :30-54.5 CO:30.7-34.3 CH ₄ :0.8-13.4	60%	H ₂ :25-31 Syngas:57-60

Konsantre güneş enerjisi ve karbonlu malzemelerin termokimyasal gazlaştırmasını birleştirerek, her iki kaynaktan da yararlanmak mümkündür. Gerçekten de, reaksiyonun entalpisini sağlamak için yüksek sıcaklıktaki güneş ısısı kullanılabilirdiğinden, tüm hammadde (biyokütle, atık) sentetik gaza dönüştürülebilir.

Güneş enerjisi ve termokimyasal gazlaştırmanın birleştirilmesi, iki ayrı sistem ayrı ayrı veya birlikte ele alınarak gerçekleştirilebilir. Dolaylı bağlantıya sahip süreç, radyat enerjisiyi kullanmak ve alıcı ile kimyasal reaktör arasında akan buhar, partikül maddeler, erimiş tuz veya cüruflar gibi bir ısı transfer sıvısına iletmek için harici güneş alıcılarını kullanır.

Doğrudan bağlantılı işlem, güneş reaktörünün aynı zamanda güneş alıcısı ve gazlaştırıcı olduğu reaksiyon bölgesinde güneş radyasyonunu doğrudan alan boşluk tipi güneş reaktörlerinden yararlanır. Geliştirilen sistem ile birçok farklı karbonlu malzemeleri dönüştürmek için kullanılmaktadır. Gelen güneş ışığının %20'sinden fazlasının ürün gazında yakıt kalorifik değeri olarak etkin bir şekilde depolanmasıyla umut verici sonuçlar göstermektedir.

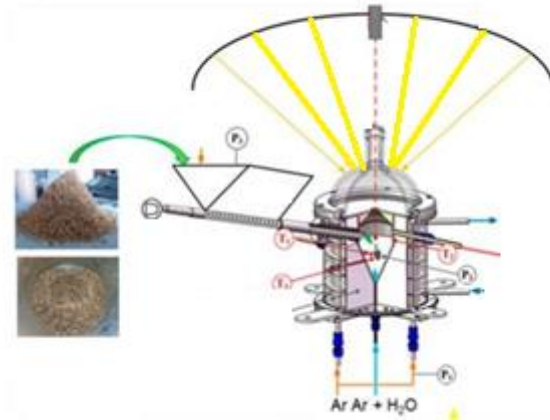
Hibrit güneş enerjisiyle gazlaştırma üzerine yapılan son keşif çalışmaları, kombine güneş enerjisi ısıtması ve yerinde oksijen-yanma sayesinde güneşin olmadığı dönemlerde işlem sıcaklığını korumak için bir araç olarak O_2 'yi kullanır. Son zamanlarda, biyokütleyi enerjik olarak yükseltmek için güneş enerjisini termokimyasal reaksiyonlarla birleştirme kavramı, hidrotermal işlemlere kadar genişletildi (Fang, ve diğerleri, 2021).

Güneş reaktörü (Şekil 2.12) konseptini kullanarak, %94'e varan karbon dönüşüm oranı ve hammaddenin kalorifik değerinin 1,21'e kadar yükseltilmesiyle yüksek dönüşüm verimlilikleri elde edildi. Bununla birlikte, reaktörün atıklar gibi daha çeşitli yükleri işleme yeteneği hakkında sorular devam etmektedir. Atığın karmaşık doğası ve yüksek kül içeriği nedeniyle, reaktörde verimli güneş enerjisi dönüşümü dikkatle incelenmelidir. Hammaddenin mevcudiyeti ve genellikle negatif maliyeti ile ilgili olası ekonomik fayda nedeniyle atık dönüşümü özellikle caziptir.

Bu çerçevede, ilk kez sadece güneş enerjisi (buharla gazlaştırma) ve hibrit güneş/ototermal (O_2 ilavesiyle buharla gazlaştırma) ısıtma koşullarında ağaç parçacıkları ile gazlaştırma deneyleri yapılmıştır.

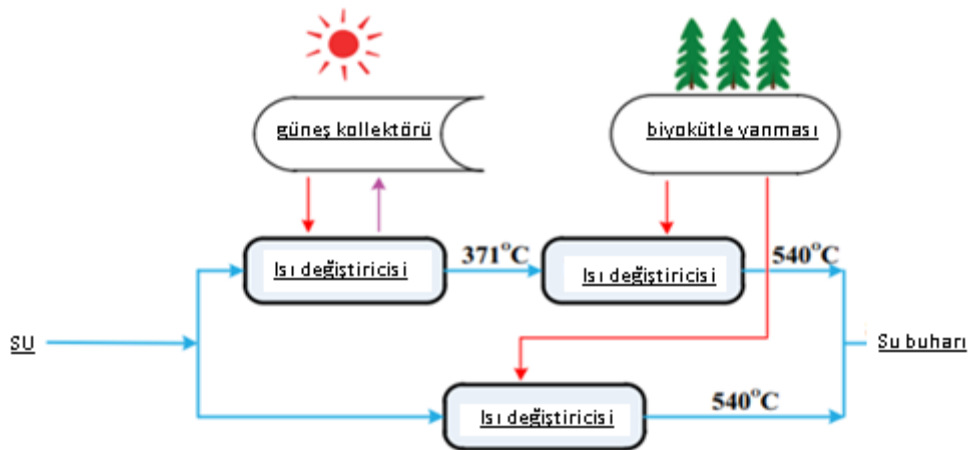
Reaktörün türü ile odun ve atık partiküllerini güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinin çalışma modlarında dönüştürme yeteneğini değerlendirmek, gaz verimi karşılaştırması için gaz ürünlerini ölçmek ve güvenilirliği artırmak için ele alınması gereken potansiyel teknik sorunları belirlemektir. Sonuç ürünü olan sentez gazın oluşumunu etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır.

Sentez gazının verimliliği; sıcaklık, gaz akış hızları ve reaktör performans ölçütleri gibi bir çok faktöre bağlıdır.



Şekil 2. 12. Biyokütlenin gazlaştırılması için güneş reaktörünün şeması

Dünyanın birçok yerinde mevcut en iyi yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve biyokütle olduğundan güneş ve biyokütle hibridizasyon sisteminin yapılabilirliği daha fazladır (Şekil 2. 13).



Şekil 2. 13. Buhar santrali için hibrit güneş-biyokütle konseptinin şeması (Bai, 2017)

Hibridizasyon, yalnızca bağımsız bir güneş enerjisi sisteminin sorunlarını ele almakla kalmaz, aynı zamanda yalnızca biyokütle enerji santrallerinin sorunlarını ve sınırlamalarını da çözer. Biyokütle enerji tesisi, yüksek yatırım maliyetlerine neden olan biyokütlenin depolanması ve taşınması gibi bir altyapısal tedarike ihtiyaç duyar. Ayrıca, bir biyokütle enerji santrali, yıl boyunca tüm bölgelerde kolayca bulunamayan büyük miktarlarda hammadde gerektirir. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerini sayesinde hammadde kullanım oranının düşürülmesi ve mevcut sistem verimliliğinin artışı amaçlanmaktadır.

2.3.1. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma sistemlerinin önemi

Gelişmiş ülkeler için güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinin geliştirilmesi daha çok önem teşkil etmektedir. Enerji ihtiyacını karşılamak ve sürekli bir üretim için güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi kullanılması gerekmektedir. Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Hindistan gibi fosil yakıt ithalatına bağımlılığı yüksek bazı ülkelerde, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri enerji çeşitlendirmesi ve yenilenebilir enerji arzının payını artırma konusunda büyük potansiyele sahiptir (Chambon ve diğerleri, 2020; Bai ve diğerleri, 2016; Kar ve Keles, 2019; Wu R, 2017).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinin geleneksel biyokütle gazlaştırmaya göre %30 daha yüksek biyokütle kullanım oranına sahip olduğunu ve önemli ölçüde daha düşük CO₂ emisyonu ile yaklaşık %99,99 saflıkta hidrojen üretebildiğini göstermektedir (Bai ve diğerleri, 2019; Moharramian ve diğerleri, 2019).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri, geleneksel biyokütle gazlaştırmaya kıyasla sadece enerji/ekserji verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda karbon emisyonlarını teorik olarak %99'a düşürür. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinin ayrıca, daha düşük nakliye maliyetleri için hammadde bulunabilen bölgelere yakın inşa edilmesi gerekir bu sayede enerjiyi yerinde üretimde sağlanmış olur (Wu ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2019).

2.3.2. Biyokütle gazlaştırma sistemlerinde güneş enerjisi

Gazlaştırma işlemi endotermiktir ve biyokütlenin çeşitli pazarlanabilir ve katma değerli ürünlere dönüştürülmesini içerir. Güneş enerjisi kullanımına dayalı olduğunda, güneş destekli gazlaştırma, biyokütlenin sentez gazına tam termokimyasal dönüşümünü potansiyel olarak sağlamak için uygun bir araçtır. Güneş enerjisinden faydalanmak ve bu yenilenebilir kaynağı katma değerli kimyasal ürünlere dönüştürmek için çeşitli yenilikçi konseptler geliştirilmiştir.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri, daha yüksek bir verimlilik ve biyokütle kullanım oranı elde etmek için yanma aşamasından üretilen ısıyı karşılamak için güneş termal enerjisini kullanır.

Buna göre, güneş enerjisi dönüştürülür ve esas olarak hidrojen ve karbon monoksit karışımından oluşan gaz türleri biçiminde depolanır. Hidrojen ve sentez gazı (yani bir CO ve H₂ karışımı) üretimi için su, karbon dioksit veya karbonlu kaynakları veya üçünün herhangi bir kombinasyonunu birincil hammadde olarak kullanan bir dizi öncü proses araştırılmıştır (Puig-Arnavat ve diğerleri, 2013)

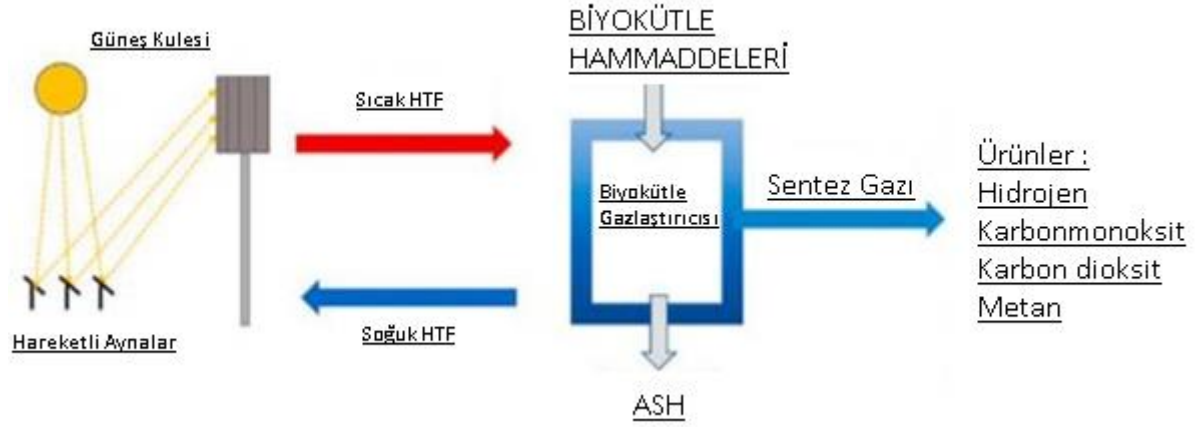
Çizgi odaklı toplayıcılar (yani parabolik oluk toplayıcı ve lineer Fresnel reflektör) Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemi için uygun değildir çünkü nispeten düşük bir çalışma sıcaklığına (yaklaşık 423 K -823 K), genellikle düşük verimliliğe (%14-22) ve düşük konsantrasyon oranına (30-80 kW/m²) sahiptirler.

Nokta odaklı toplayıcılar (yani merkezi alıcı sistemi ve parabolik çanak) yüksek çalışma sıcaklıkları (872 K–1773 K) ve konsantrasyon oranları (200–3000 kW/m²) nedeniyle Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemi için uygundur.

İki tür konsantre toplayıcı (çizgi-odak ve nokta-odak) üzerinde özetlenmiş ve detaylandırılmıştır. Çizelge 2.4 Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi teknolojilerinin özelliklerini özetlemiş ve Konsantre toplayıcılar (CC'ler)teknolojisinin yüksek bir konsantrasyon oranına (800–2000 kW/m²) sahip olduğunu, dolayısıyla güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi için daha uygun olduğunu göstermiştir (He ve diğerleri, 2019; Sun ve diğerleri, 2020) .

Çizelge 2. 4. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojilerinin özelliklerini (Loutzenhiser ve Muroyama, 2017; Pramanik ve Ravikrishna, 2017; Puig-Arn timer ve diğerleri, 2013; Brown ve Caldeira, 2017; A.Energiewende, 2019)

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojilerinin özellikleri				
	Isı Verimliliği	Yer İşgali	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°K)	Güneş Konsantrasyon Oranı (Kw/m ²)
SPT	Orta	Yüksek	573-838	250-1500
SPT	Orta	Orta	523-923	300-1000
SPT	Düşük	Yüksek	873-2273	1000
PDC	Düşük	Yüksek	1073	1000-3000
PDC	Düşük	Orta	0	1300-1600



Şekil 2.14. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin şematik bir diyagramıdır (Fang, ve diğerleri, 2021)

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemi güneş enerjisi kulesi aracılığıyla güneş ısısını biriktirir ve ısıyı tuz ve kum gibi HTF aracılığıyla gazlaştırma reaktörüne aktararak biyokütle besleme stoğunun sentez gazına (H₂, CO, CH₄, vb.) dönüştürülmesini sağlar.

Sentez gazı, entegre gazlaştırma kombine çevrim sistemi aracılığıyla elektriğe veya sentez yöntemleri ile sıvı yakıtlara dönüştürülebilir.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin gazlaştırma reaktörü, geleneksel bir gazlaştırıcıya benzer olabilir (Widjaya ve diğerleri, 2018; Parvez ve diğerleri, 2019).

Geleneksel ototermal gazlaştırma reaktörleriyle ilgili olarak, gerekli proses ısısı, ilk besleme stoğunun en az %30'unun yanmasıyla sağlanır. Harici proses ısı kaynağı olarak güneş ısısının kullanılması, hammaddenin bir kısmının yakılması ihtiyacını ortadan kaldırırken CO₂ ve kirletici madde emisyonlarını azaltır ve yanma yan ürünleriyle sentez gazı kontaminasyonunu önler böylece aşağı akış sentez gazı son işleme maliyetlerini potansiyel olarak azaltır. Bu nedenle, endotermal piro-gazlaştırma reaksiyonlarını yürütmek için yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin kullanılması, biyokütle ham madde kaynaklarından tasarruf edilmesine olanak tanırken, daha iyi bir gaz kalitesiyle birim ham madde kütlesi başına daha fazla sentez gazı çıkışı sağlar.

Güneş enerjisi üretimindeki istikrarsızlık, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinin uygulanmasının önündeki en büyük engellerden biridir.

Güneş radyasyonunun ve güneşlenme süresinin değişkenliği ve kesintili olması, bu durumda, gazlaştırmanın sıcaklık değişimine yol açar. Isı depolama, kararlı bir sıcaklık koşulu altında sürekli sentez gazı üretimi için prosesin çalışmasını sürdürmek için kararsızlık sorununu ele almak için umut verici bir yaklaşımdır. Bir ısı depolama sistemi ile güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemi tüm gün boyunca ilerleyebilir ve ön ısıtma süresinden kaçınabilir, bu da ısı depolaması olmayan güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemine kıyasla ürün gaz veriminde 2,77 kat artışa yol açar. (Sert ve diğerleri, 2011)

Konsantre güneş enerjisi termal enerjisini, bir ısı eşanjöründeki suyun, enerji bir gazlaştırma işlemine aktarılmadan önce buhara veya aşırı ısıtılmış buhara ısıtıldığı bir güç bloğunda depolamak için termal enerji deposunu (TES) kullanır.

Termal enerji deposunu (TES) sistemleri kabaca üç kategoriye ayrılabilir:

- Isı depolaması (SHS) katılarda, sıvılarda ve gazlarda depolanan maddelerin sıcaklığını yükselterek ısıyı depolar

- Termokimyasal ısı depolaması (THS) yükleme ve boşaltmanın sırasıyla endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar yoluyla gerçekleştirildiği tersinir kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır
- Gizli ısı depolaması (LHS) teknolojisi, ısıyı faz değiştiren malzeme (PCM) füzyon gizli ısı şeklinde depolar.

Güneş tuzu ile karşılaştırıldığında, Fe-Ge alaşımı, daha yüksek depolama kapasitesi, hızlı ısı tepkisi ve yapının termodinamik kararlılığı gibi çeşitli güçler nedeniyle güneş termal uygulaması için gelecek nesil olarak mükemmel bir potansiyel gösterir.

2.3.3. Hibrit sistemlerde reaktör tasarımları

Gazlaştırma reaktörleri, kimyasallar, sıvı yakıtlar ve enerji üretimindeki mevcut uygulamalarla, bir yüzyıldan fazla bir süredir geliştirilmekte ve piyasada ticari olarak kullanılmaktadır. Bu tür endüstriyel reaktörler, güçlü endotermik gazlaştırma reaksiyonlarını etkinleştirmek ve yürütmek için gereken gerekli enerjiyi sağlamak için enjekte edilen ham maddenin kısmi yanmasına dayanır.

Bu, genel malzeme dönüştürme veriminde bir azalmaya yol açar ve proses enerji dönüşüm verimliliğini azaltır. Termokimyasal biyokütle gazlaştırma ile konsantre güneş enerjisinin kombinasyonu avantajlıdır çünkü her iki kaynaktan da yararlanma imkanı sunar.

Aslında, gazlaştırma reaksiyonu entalpisini sağlamak için yüksek sıcaklıktaki güneş ısısından avantajlı bir şekilde yararlanıldığı için, tüm biyokütle kaynağı bir hidrojen ve karbon monoksit karışımına dönüştürülebilir. Bunun nedeni, reaksiyonlar için gerekli tüm enerjinin güneş enerjisi tarafından sağlanmasıdır böylece hammaddenin bir kısmının yanması önlenir, bu da kaynakları korur ve ürünlerin yanma yan ürünleriyle kirlenmesini önler.

Endotermal reaksiyonları yürütmek için harici proses ısı kaynağı olarak konsantre güneş enerjisinin kullanılması, böylece biyokütle kaynaklarının korunmasına ve daha yüksek bir sentez gazı kalitesiyle (yanma ürünleri tarafından kontamine olmadığı için) hammaddenin birim kütlesi başına daha fazla sentez gazı çıkışı üretilmesine olanak tanır.

Güneş enerjili gazlaştırma, kesintili güneş enerjisini yenilenebilir, dağıtılabilir ve depolanabilir güneş yakıtları biçiminde depolamanın verimli bir yolu olurken, biyokütlenin kullanımını teşvik eder.

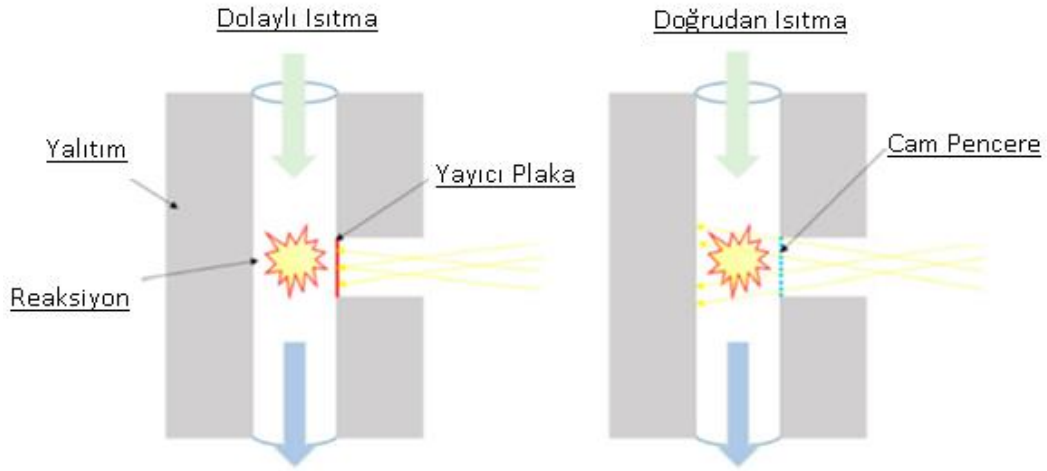
Güneş enerjisiyle gazlaştırma sürecinin endüstriyel uygulama için ölçeklendirilmesinden önce ele alınması gereken bir dizi engel ve zorluk var. Ele alınması gereken güncel sorunlardan bazı örnekler aşağıdaki gibi vurgulanabilir:

- Biyokütle parçacıkları/gaz akış hidrodinamiği ve bunun kimya ve radyasyonla etkileşimi (birleşik ısı ve kütle transferi) optimize edilmelidir.
- Aralıklılık (gündüz/gece döngüsü) ve günlük güneş dalgalanmalarından yararlanmayı gerektiren sürekli proses çalışması ve kararlı sentez gazı üretimi için güneş enerjisinin değişken doğası ve reaktör çalışması üzerindeki etkisi değerlendirilmelidir. (günlük/mevsimsel değişimler ve meteorolojik olasılıklar).
- Güneş reaktörü tasarımının çeşitli yükleri ve heterojen bileşimleri (örneğin, biyokütle, atık, katı atık yakıtlar, vb.) dönüştürme yeteneğinin değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Büyük ölçekte güneş enerjisi prosesinin teknik fizibilitesinin ve ekonomik/finansal uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmektedir.

DeneySEL laboratuvar ölçekli araştırma çalışmaları, güneş boşluğunun aynı zamanda alıcı ve reaktör olduğu boşluk tipi güneş reaktörlerinin üstün performansını göstermiştir. Bu konfigürasyon en yüksek sıcaklıkları sağlar, bir ısı transfer sıvısının (güneş alıcısı ile kimyasal reaktör arasında akan) kullanımını önler ve ısı kayıplarını sınırlar. (Stéphane Abanades, 2021)

Boşluk tipi güneş reaktörleri genellikle reaktanların ısıtılma yöntemine göre yani doğrudan veya dolaylı olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.15). Doğrudan ısıtılmış solar gazlaştırıcılar, konsantre güneş ışığının doğrudan reaksiyon odasına girmesine izin vermek için genellikle şeffaf bir pencere kullanır.

Böyle bir konfigürasyon, ısı kayıplarını (esas olarak ışımsal) azaltarak verimli güneş enerjisi emilimi elde edilmesini sağlar ve bu da yüksek çalışma sıcaklıklarına (1000°C –1500°C arasında) ulaşılmasını ve sürdürülmesini sağlar.



Şekil 2. 15. Dolaylı ve doğrudan ısıtılan reaktörlerin şeması (Stéphane Abanades, 2021)

Bununla birlikte, şeffaf pencerenin mekanik direnci ve temizliği, basınçlı sistem çalışması ve parçacıklar/toz/duman kirlenmesi veya birikmesi ile ilgili doğal kısıtlama faktörlerine atfedilen sınırlamalardır.

Alternatif olarak, dolaylı olarak ışınlanan güneş reaktörleri, yüksek oranda konsantre gelen güneş ışınımı akışını verimli bir şekilde yakalamak ve bunu reaksiyon odasına daha fazla aktarmak için opak (emici) bir ısı transfer duvarı içerir, böylece şeffaf bir pencereye olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

Yayıcı ısı transfer duvarı için seçilen malzeme tipi, maksimum çalışma sıcaklığı, termal şoklara karşı direnci ve geçici çalışma için uygunluğu ile sınırlandırılmıştır.

2.3.3.1. Güneş enerjisi destekli sabit yataklı gazlaştırma

Sabit yataklı gazlaştırıcı, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi için uygun değildir, çünkü termokimyasal reaksiyonlarda güneş enerjisinin termal enerji kullanımının verimliliğini sınırlayan ve sentez gazının kalorifik değerini potansiyel olarak azaltan diğerlerinden daha düşük ısı transfer oranlarına sahiptir (Cerone N, 2020).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi perspektifinden, termal enerjinin depolanmasını ve kontrolünü kolaylaştırdıkları için, kombine ısı depolama ve kontrol sistemlerine sahip yükseltilmiş/değiştirilmiş yukarı çekişli sabit yataklı gazlaştırıcılar kullanılmıştır (Bellouard Q, 2017).

Küçük biyokütle parçacıkları için uygun olduğunu ve kararlı bir termokimyasal reaksiyon işlemi, yüksek ürün verim oranları, yüksek dönüşüm oranları ve yüksek hammadde kullanım oranları gibi çeşitli avantajlara sahip olduğunu göstermektedir (Boujjat ve diğerleri, 2020).

Güneş enerjisi süreksizliğinin dezavantajının üstesinden gelmek için güneş enerjisi depolama ekipmanını içeren güneş enerjisiyle çalışan gazlaştırma model geliştirilmelidir. Aralıklı güneş enerjisinin bir ısı depolama sistemine depolanması gece ve bulutlu dönemlerde sürekli sentez gazı üretimini sağlama bilmesi gereklidir (Boujjat ve diğerleri, 2019; Jin ve diğerleri, 2020).

2.3.3.2. Güneş enerji destekli akışkan yataklı gazlaştırma

Akışkan yataklı gazlaştırıcılar yatak malzemesini akışkanlaştıran gazlaştırma akışıyla artan ısı ve kütle transferleri nedeniyle sabit yataklı ve sürüklenen akışlı gazlaştırıcılardan güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri için daha uygundur. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar gaz ürününde daha yüksek hidrojen konsantrasyonlarına yol açan gaz ve katı fazlar arasındaki gelişmiş etkileşimi sunar. Ayrıca hammadde seçimi açısından daha yüksek esneklik sunarlar. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar ayrıca köpüren ve dolaşan olarak sınıflandırılır (Li ve diğerleri, 2020; Wan ve diğerleri, 2020).

Akışkan yataklı gazlaştırıcılar biyokütle parçacıkları askıya alınır, termokimyasal reaksiyonlar için daha geniş bir yüzey alanı sağlar ve güneş enerjisinin termal enerjisinin kullanımını iyileştirir. Güneş enerjisiyle çalışan bir çift akışkan yataklı gazlaştırıcıda güneş enerjisi kullanan biyokütle buharla gazlaştırma için bir yöntem kullanılabilir ve geleneksel gazlaştırma ile karşılaştırıldığında optimum gazlaştırma sıcaklık koşullarında (1173–1273 K) verimlilikte %115 artış olabilmektedir. Ayrıca güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisinin geleneksel olana kıyasla (ortalama kömür dönüşüm oranı %50'den az) %78'lik bir kömür dönüşüm oranına ve daha kısa reaksiyon süresine (20-30 dakika) sahip olduğu belirtilmiştir (Ram ve Mondal, 2019; Safarian ve diğerleri, 2019; Zang ve diğerleri, 2019; Suárez-Almeida ve diğerleri, 2020).

2.3.3.3. Güneş enerji destekli sürüklenmiş akış gazlaştırma

Sürüklenmiş akışlı gazlaştırıcılar içinde oksidanların (hava/oksijen) ve suyun aynı anda verildiği küçük parçacıklarla beslenir. Oksitleyici ve buhar çevresi, reaktörden geçerken katı parçacıkların sürüklenmesine neden olur. Yüksek çalışma sıcaklıkları (1200 K –1400 K), ince pulverizasyon ve aşırı türbülanslı akış nedeniyle yüksek hammadde dönüşüm oranlarına (%98–99,5) sahiptirler. Biyokütle, kuru biçimde (bir kilitli hazne sistemi kullanılarak) veya biyokütle bulamacı olarak (yüksek basınçlı su pompaları kullanılarak) eklenebilir (Ku ve diğerleri, 2019; Feng ve diğerleri, 2020).

2.3.4. Hibrit sistemleri etkileyen koşullar

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi gazlaştırma işleminin oksijen kaynakları, biyokütle partikül boyutu, sıcaklık, katalizörün varlığı vb. gibi çeşitli proses koşullarından etkilenir.

2.3.4.1. Gazlaştırma işleminin oksijen kaynakları

Hava, oksijen, hava-buhar ve buhar gibi bir gazlaştırma maddesi, gazlaştırma işleminin oksijen kaynakları olarak hizmet eder. Gazlaştırılma sisteminde Havanın kullanılması için gerekli ekipman basit, çalıştırması ve bakımı kolay ve düşük işletme maliyetine sahiptir. Bununla birlikte, havanın içeriğinde büyük oranda nitrojen (azot) bulunmaktadır; nitrojen gazlaştırma reaksiyonlarına elverişli değildir ve ürün gazının kalorifik değerini düşürür.

Oksijenle gazlaştırma, havayla gazlaştırmaya göre daha yüksek bir reaksiyon sıcaklığı ve daha yüksek verimin yanı sıra ürün gazının daha yüksek bir kalorifik değerine ulaşabilir. Gazlaştırma için oksijen kaynağı miktarını artırmanın, üretilen gazın düşük ısıtma değerini yaklaşık %30-40 oranında artırdığını buldu (Cao ve diğerleri, 2019).

Buharla gazlaştırma için, buhar beslemesi H₂ üretimini teşvik eder ve ürün gazının kalorifik değerini etkiler. Buhar kullanımı gazlaştırma sıcaklığını düşürmeyi amaçlar (Siwal ve diğerleri, 2019; Cao ve diğerleri, 2006).

Buharın ürün gazının bileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Daha fazla buhar sağlandıkça katı karbon ve metan CO ve H₂'ye dönüştürülür.

Buhar kaynağı biyokütle içeriğini aştığında, katı karbon ve metan oluşumu azalacak ve CO ve H₂ verimi artacaktır. Genel olarak, buhardaki artışlar gazlaştırmada H₂ oluşumunu büyük ölçüde kolaylaştırır. Fazla buhar, reaksiyon sıcaklığını, büyük miktarlarda katranın üretildiği ölçüde düşürür (Sepe ve diğerleri, 2016).

2.3.4.2. Parçacık boyutu

Biyokütle parçacıklarının boyutu, termokimyasal reaksiyon süreçlerini, özellikle de ısı transfer hızını etkileyebilir. Partikül boyutunun artmasıyla partiküllerin yüzeyindeki ve içindeki ısı transferinin azaldığını ve ürün gazının verimini ve bileşimini etkilediğini belirtilmiştir. Daha büyük spesifik yüzey alanları nedeniyle küçük partiküllerin ısıtma hızının daha yüksek olduğunu, termokimyasal reaksiyon işlemi sırasında partiküller arasındaki ısı ve kütle transferini ve dolayısıyla gazlaştırma verimliliğini iyileştirdiği görülmektedir. Partikül boyutu küçüldükçe piroliz reaksiyonlarının arttığını göstermiştir (Chuayboon ve diğerleri, 2019).

Parçacık boyutu küçüldüğünde, belirli bir hacim için toplam ısı transfer alanı, hızlı ve homojen bir reaksiyon için daha uygun şekilde artmaktadır. Ayrıca aşırı küçük partikül boyutlarının reaktör duvarından artan ısı kaybına yol açtığını vurguladılar. Optimum parçacık boyutu 0,28–2 mm olarak özetlenmiştir, aşırı düşük veya aşırı yüksek parçacık boyutu kömür verimini artırır ve gaz verimini azaltır. Optimum parçacık boyutu, saflığı ve sentez gazı verimini artırır; ürünün CO₂ ve katran/kömür içeriğini azaltır; termal enerjinin verimli ve akılcı kullanımını sağlar, hızlı ve homojen reaksiyonları teşvik etmektedir. (Kodama ve diğerleri, 2017).

2.3.4.3. Hava sıcaklığı

H₂ verimini artırmak için daha yüksek bir sıcaklık elverişlidir. Besleme hızının besleme sıcaklığı ile aynı anda artırılması sonucunda sentez gazı verimini iyileştirmiştir ve karbon dönüşüm oranını %90'ın üzerine ulaştırmıştır. Bu nedenle güneş enerjisi kollektörünün sağladığı optimum sıcaklık kritik tasarım parametrelerinden biridir. Daha yüksek sıcaklıklarda, pirolizdeki ikincil katran kırma reaksiyonları hızlanır, bu da H₂, CO ve hidrokarbon oluşumunu artıracak ve katranın ayrışmasını artıracaktır (Salem ve diğerleri, 2019).

2.3.4.4. Katalizörler

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemlerinde katalizörlerin kullanımı hakkında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi spesifik özelliklerini göz önünde bulundurarak prosessin optimizasyonu için ilgili ilkeleri uyarlamak için artan araştırmalara ihtiyaç duyulsa da, geleneksel gazlaştırma işleminde katalizörlerin kullanımı hakkında birikmiş bilginin güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi içinde uygulanabilir olması beklenmektedir (Ren ve diğerleri, 2020; Quitete ve Souza, 2017).

Geleneksel gazlaştırma işleminde kullanılan tipik katalizörler arasında dolomit katalizörleri (örneğin CaO ve MgO), alkali metal katalizörleri (örneğin Li, Na, K, Rb, Cs ve Fr) ve asil metal katalizörleri (Pt, Pd, Au, vb.) bulunur. Katalizörlerin kullanılması, güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisinin karşılaştığı katran oluşumu sorununu ele almak için etkili bir yöntem olabilir (Richardson ve diğerleri, 2012).

Katalizörlerin piroliz reaksiyonu için gereken aktivasyon enerjisini azaltabileceğini ve biyokütle gazlaştırıcıda katranların yönlü katalitik parçalanması yoluyla daha faydalı ürünler elde edebileceğini sundular. FeTiO₃'ün katalizör olarak kullanılmasının, H₂/CO oranında 0,7'den 3'e bir artışla sonuçlandığını göstermiştir (Simell ve diğerleri, 1996).

2.3.4.5. Hammadde

Hammaddelerin güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi üzerindeki etkilerini incelemesi alakalı çok az ilgi gösterilmiştir.

Hammaddelerin çeşitliliğinin farklılık göstermesi tarımsal atıklar, enerji bitkileri, ormancılık atıkları, endüstriyel atıklar, vb. ürünlerin sentez gazı verimini ve bileşimlerini doğrudan etkilediğinden, prosessin optimizasyonu için etkilerin tam olarak karakterize edilmesini önemli teşkil etmektedir (Ruiz ve diğerleri, 2013).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemi tarafından üretilen sentez gazı verimlerini ve aynı hammaddeleri kullanan geleneksel gazlaştırmayı karşılaştırır ve güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin geleneksel olandan daha yüksek sentez gazı verimine (%20-50) sahip olduğunu bulur (Çizelge 2. 5).

Çizelge 2. 5. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri için biyokütle hammaddeleri (Fang, ve diğerleri, 2021)

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi			Geleneksel gazlaştırma	
Hammadde	Sıcaklık	Sentez Gazı Verimi (mmol/gbiyokütle)	Sıcaklık	Sentez Gazı Verimi (mmol/gbiyokütle)
Kayın Ağacı	1373-1573 °K	H ₂ :31.9-41.9 CO:26.8-31.1	1173-1473 °K	H ₂ :2.65-12.35 CO:6.61-14.26
Mikro alg	1073-1223 °K	H ₂ :8-9 CO:12	973-112 °K	H ₂ :2-7 CO:10-15 CH ₄ :0
Saman	953-1223 °K	H ₂ :18 CO:52 CH ₄ :9	773-1273 °K	H ₂ :9.71-26.8 CO:0.69-18.14 CH ₄ :0-12.67
Lağım pisliği	1093 °K	H ₂ :9-15 CO:15-30	1023-1073 °K	H ₂ :7.6-16.8 CO:6.1-12.7 CH ₄ :2.7-3.4
Şeker kamışı	1073-1573 °K	H ₂ :30.0-54.5 CO:30.7-34.3 CH ₄ :0.8-13.4	1073-1273 °K	H ₂ :25-31 Syngas :57-60

Kullanılacak hammaddenin kurulacak güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemleri için yüksek sentez gazı verimliliği, yüksek H₂ ve CO içeriği tatmin edici olması gerekmektedir.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi için kullanılabilecek biyokütlenin incelenmesi ve karakterizasyonunun daha detaylı araştırılması gerekmektedir (Zeng ve diğerleri, 2017; Zhao ve diğerleri, 2019).

2.3.4.6. Isı transfer akışkanı (HTF)

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi geliştirmesinin karşılaştığı kritik teknik zorluklardan biri ısı transfer akışkanı (HTF) kaynaklanmaktadır.

Isı transfer akışkanı (HTF) malzemesinin genel verimlilik üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını ve daha yüksek çalışma sıcaklıklarında ısı depolama ve ısı transferi için daha uygun olduğu belirtilmiştir. Parçacık çapı azaldığında parçacık hacim konsantrasyonunun ve Reynolds sayısının artmasıyla ısı transfer hızının arttığını bulmuşlardır. Daha yüksek bir ortalama kesme gerilimi oranına, daha yüksek termal iletkenliğe ve daha yüksek termal performans faktörüne sahip olduğuna sonucuna ulaşmıştır (Karim ve diğerleri, 2020).

2.3.4.7. Güneş kolektör malzemeleri

Güneş kolektörünün yalıtımı ve iç malzemeleri, yüksek sıcaklığa, büyük termal gradyanlara ve yüksek ısıtma oranlarına dayanabilmelidir. Konsantre güneş radyasyonunun neden olduğu termal strese direnmek için enerji yoğun malzemeler alaşım, seramik, metal kullanmıştır; ancak bu malzemeler, yoğun güneş radyasyonu uygulamalarında sıklıkla meydana gelen şiddetli termal şok nedeniyle reaktörün içini koruyamazlar (Agrafiotis ve diğerleri, 2014).

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminde farklı parçaların farklı genişlemesine neden olabilir. Bu stres malzemenin çekme mukavemetini aştığında, sistemin bozulmasına yol açan çatlaklar oluşacaktır. Toplayıcının şiddetli termal şoka dayanma kabiliyeti hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Güneş kolektörlerindeki ısı yalıtım malzemelerinin kapsamlı bir araştırma, bu sektördeki malzemenin güçlü ve zayıf yönlerinin öğrenilmesi gereklidir (Evangelisti ve diğerleri, 2019).

2.3.4.8. Hibrit sistemlerin yapım zorlukları

Hibrit güneş-biyokütle enerji santrallerinin uygulanabilir bir alternatif teknoloji olduğu teknik olarak kanıtlanmış olsa da, bu enerji santrallerini geleneksel fosil yakıtlı enerji üretimi ile rekabet edemez hale getiren önemli ekonomik ve teknolojik zorluklar hala var.

Güneş enerjisi, fosil yakıtlar veya biyokütle kaynakları gibi gönderilmez. Bununla birlikte, biyokütlenin uzun mesafeler için taşınması, yalnızca elektrik üretiminin nihai maliyetini artırmakla kalmaz, aynı zamanda büyük miktarda CO₂ üretir, bu da yenilenebilir enerji santrallerinin düşük emisyon özelliklerini anlamsız hale getirir (Christoforou ve Fokaides 2016).

Fosil yakıt fiyatlarının şu anda enerji üretimi için hibrit yenilenebilir sistemlerle karşılaştırıldığında daha düşük olması nedeniyle, hibrit enerji santrali projelerini ve üretilen elektriğin nihai oranını teşvik etmek için, tarife garantileri ve vergilerin serbest bırakılması şeklinde devlet destekleri gereklidir. Bu nedenle, hükümetler sera gazı emisyonlarının azaltılması ve uygunluğu yönünde yeni politikalar almalıdır. Şunu belirtmek gerekir ki, tipik bir hibrit tesisin verimliliği şu anda fosil yakıtlı bir santralden daha azdır, ancak bu sistemler çevre dostudur ve çok daha az CO₂ üretir, bu da iklim değişikliğini azaltır. Hibrit sistemlerde güneş enerjisinin büyük bir katkısının, daha sürdürülebilir enerji üretimine yol açabilen sistemlerin tasarlanması için enerji desteği sağlamasıdır (Mohaghegh ve diğerleri, 2021).

2.3.4.9. Hibrit sistemlerin ekonomik durumu

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminin ekonomik bir analizini yapılması gerekmektedir. Dönüşüm sürecini enerji üretim biçimlerine kıyasla tamamen yenilenebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı hammaddeler olarak kullanarak güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemini simüle etmek için bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi altyapı maliyetlerinden veya daha yüksek sermaye maliyetleri olmasına karşın fosil yakıt fiyatlarının dünya koşullarından kolayca etkilenmesi ve enerji maliyetlerinin her geçen gün değişmesi fark edilebilir seviyelerdir.

Fosil yakıtın giderek artan fiyatları, karbon vergisi kredisi ve hükümet politikaları ile güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sistemini ekonomik olarak uygulanabilir ve gelecekte %100 yenilenebilir kılmaktadır (Fang ve diğerleri, 2021).

2.3.4.10. Hibrit sistemlerin çözüm yolları

Hibrit güneş-biyokütle enerji santrali, yalnızca dağıtılabilir bir enerji üretimi önermekle kalmayan, aynı zamanda güneş ve biyoenerji de dahil olmak üzere esnek bir girdi kaynağına sahip olmaktan da yararlanan yeni bir yenilenebilir teknoloji ve devam eden bir araştırmadır. Ayrıca, gelecekte sera gazı emisyonlarını ve fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltır.

Güneş enerjisi teknolojileri arasında konsantre güneş enerjisinin biyokütle yakıtlarla hibridizasyonu için fotovoltaiik güneş enerjisine göre daha uygun ve kanıtlanmış bir teknolojidir. Farklı konsantre güneş enerjisi türleri arasında, parabolik teknenin daha basit teknoloji ve donanıma sahip olması ve aynı zamanda iyi performans seviyeleri sağlaması nedeniyle güneş kulesi teknolojisinden daha uygun olduğu görülmüştür. Güneş kuleleri daha büyük miktarlarda araziye ve karmaşık teknik operasyonlara ihtiyaç duymaktadır. Termokimyasal yöntemler, yani yakma ve gazlaştırma, büyük ölçekli elektrik üretimi için yaygın olarak kullanılırken, mevcut biyolojik sistemlerin çoğu sürekli güç üretmek için çok yavaştır ve büyük bir depolama kapasitesi gerektirir.

Bir hibrit tesisin biyokütle alt sisteminde konvansiyonel pulverize kömür kazanlarının sirkülasyonlu akışkan yataklı kazanlarla değiştirilmesi, emisyon seviyesinin düşürülmesi ve biyokütlenin türü ve boyutuna göre esnek bir şekilde artırılması gibi faydalar sağlayacaktır.

Hibrit santraller kaynak mevcudiyetine bağlı olduğundan, enerji kaynaklarının biri veya her ikisi ile çalışabilirler. Bu işlemi kontrol etmek ve optimize etmek için bir kontrol sistemine sahip olmak şarttır. Hibrit santrallerin kontrol sistemleri ve iyileştirilmesi konusunda çok az çalışma yapılmıştır.

3. METODOLOJİ

Ülkemiz güneş enerjisi bakımından zengin bir konumda bulunması nedeniyle enerji kaynağı olarak kullanılması ve Eskişehirde kurulabilecek biyokütle kaynaklı hibrit bir sistem güç üretim sistemleri modellenmesi yapılmıştır. Eskişehir çevre illerindeki biyokütle miktarı kurulacak sistem için yeterli miktardadır. Ayrıca, belirlenen bölgede güneş enerjisi potansiyeli de görülmektedir. (Toklu, 2017; Bepa.enerji, 2023)

Yapılan çalışma ile kojenerasyon sistemlerin ve hibrit sistemlerin yapılabilirliğinin bilgisayar destekli olarak modellenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada biyokütle ürünlerini güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı için tesis sistemin modellenmesi amacıyla prosesinin benzetiminin yapıldığı Aspen Plus benzetim programında girdi parametresi belirlenmesi ile sistem verimliliği ve enerji verimliliği incelenmiştir. Yapılan sistemin ekonomik analizi yapılmış ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada elektrik ve ısı enerjisinin üretildiği güç sistemi tasarlanmaya çalışılmıştır. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde ısı girdisi ve ısı çıkışı olan ekipmanlar görülmektedir. Yapmayı amaçladığımız modelde sistemde ilk olarak kendi ısı ihtiyacını karşılama yönelik yetersiz kaldığı ekipmalarda ise güneş enerjisi desteği ile ısı ihtiyacımızı karşılamak amaçlanmaktadır. Gazlaştırma sistemi endotermik bir yapıda olduğundan ekipmanın yüksek miktarda ısı ihtiyacı olduğu görülmektedir. Aspen Plus benzetim programı ile yaptığımız sistemde gazlaştırma ekipmanının ısı miktarı belirlenerek ihtiyacımız boyutunda bir güneş enerji sistemi kurulması amaçlanmaktadır.

Mevcut güneş potansiyeline bağlı olarak geceleri ve güneşsiz günlerde kullanmak üzere yardımcı kaynak olarak doğalgazlı bir güç çevrimi yapılabilecektir. Güneş enerjisinin kullanılmadığı zaman ve durumlarda entegre doğalgazlı güç sistemi ile elektrik enerjisi üretimi süreklilik kazandırılması amaçlanmıştır.

3.1. Aspen Plus Simülasyon Yazılımı

Bilgisayar destekli benzetiminin programlarının kullanılması ile farklı koşullarda, farklı tasarım parametrelerinin kullanarak tüm bir tesis için uygun ekipmanlar ve uygun güç üretim sistemlerinin incelenmesi yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

Aspen Plus programı ABD kökenli AspenTech adlı şirket yaptığı bir bilgisayar yazılım programıdır. Deneysel yöntemlerden elde edilen verilerden oluşturulan bir program olan Aspen (“Advanced System for Process ENgineering”) Plus benzetim çalışması yapılmada kullanılmaktadır (http-5, 2023).

Aspen Plus programı günümüz piyasasında ve Kimya Mühendisliği alanında en çok kullanılan Kimyasal Proses Simülatörüdür.

Model oluşturmada kolaylık sağlanması ve karmaşık hesaplamalar modeller, denklemler, matematik hesaplamaları, regresyonlar gibi birçok parametreyi kullanarak simüle etmesi kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. Yeni modelleme süreçlerin tasarlanmasından veya mevcut süreçlerin iyileştirilmesine kullanılabilen bir yapısı olması çok avantajlı olduğunu gösterir. Termodinamik özelliklerin doğru modellenmesi özellikle ideal olmayan karışımların ayrılmasında önemlidir. Ayrıca birçok karmaşık süreçleri de yönetebilmesinde olanak sağlamaktadır.

Yapılan simülasyon zamandan tasarruf sağlayan iş akışlarıyla çözüme ulaştıran bir yapısı bulunmaktadır. Birleştiren tesis bir simülasyon üzerinden kârınızı en üst düzeye çıkarılmasını ve verimin artırılmasını sağlamak içinde kullanılabilir.

Kullanıcının yeni akış şeması veya mevcut şablonlar aracılığıyla girdiği materyalini eklediği sistemin Performansını simüle etmek ve geliştirmek için mevcut bir tasarım oluşturur (http-6, 2023).

Aspen Plus Simülasyonu ile kullanıcının makine ile etkileşim içerisinde bulunmakta ve kullanımı çok kolay, sezgisel ve yaratıcı bir ara aşama oluşturmaktadır.

Günümüz dünyasında yazılımın önemini ve neden bu kadar güçlü olduğunu bilinen bir gerektir. Aspen Plus En yaygın kullanılan endüstriler alanları şunlardır:

- Petrol ve Gaz
- Petrol arıtma
- Doğal gaz
- Petrokimya
- Kimyasal endüstri
- Polimerler
- İlaçlar
- Boyama ve Kaplamalar
- Yiyecek ve İçecek

Gerçek hayatta kurulması zor olan deney düzeneklerinin kısa zamanda incelenmesini ve geliştirmesine olanak sağlanması ile birlikte dinamik proseslerin modellemesi yapılabilmesi bu çalışmada Aspen Plus kullanmasının nedenidir (http-7, 2023).

Proseslerin modellemesi sistemlerin benzetiminde yapılabilecek hesaplamalar ve çalışmalar:

- Proses tasarımı
- Proses ekipman tasarımı
- Akım değerlerinin optimizasyonu
- Ekonomik analiz ve enerji güvenliği

3.2. Güneş Enerjisi Destekli Gazlaştırma Teknolojisi Tesis Tasarımı

Sistem tasarımı için mevcut kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Sistem prosesi ve entegre güç çevrimleri sürekli rejimde bulunmaktadır.
- Sistemler için referans çevre koşulları 25 °C ve 1 atm'dir
- Gazlaştırma işleminden elde edilen ürünlerden farklı bir işlem uygulanmadan son ürün çıktısı olarak sonuçlanmaktadır.
- Gazlaştırma işleminden elde edilen ürün olan gaz ürün herhangi bir iyileştirme, filtreleme gibi bir işlem tabi tutulmadan yakılacak kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir.
- Sistemler içerisinde gerçekleşen tüm reaksiyonlar dengeye ulaşmıştır.
- Proseslerin modellemesi için kullanılan Aspen plus programında en uyumlu akış paketlerinden olan Peng-Robinson hâl denklemi kullanılmıştır. Peng-Robinson hâl denklemi otomatik hesaplama yöntemi kullanılan komponentler ve modellenen akış paketlerini içermektedir. Kullanılacak materyal için basınç (P), hacim (V) ve sıcaklık (T) fonksiyonlarına bağlı olarak gerçekleşen durum değişimlerinin hesaplanmasında daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Aspen plus simülasyonun programında çoğunlukla Peng-Robinson hâl denkleminin varsayılan akış paketi olarak seçilmesinin ana sebebi budur.
- Gazlaştırma sonucunda meydana gelen ürünlerin içerisindeki bileşen çeşitliliği oldukça fazladır. Yapılan işlemlerin kolaylığı için ürünlerin içerisinde yoğun olarak bulunan bileşenler kabul edilmiştir.

- Sürekli olarak faaliyet gösteren kimyasal reaksiyonlarda, sisteme bir yandan sürekli olarak yeni maddeler girer ve elde edilen ürünlerde sürekli olarak dışarı atılır. Bu tür reaksiyon başlangıçta kararlı halde değildir. Reaktör içinde sıcaklık, basınç ve konsantrasyon zamanla değişir. Eğer reaksiyon koşulları sabit tutulabilirse, reaksiyon başladıktan belli bir süre sonra sisteme giren ve çıkan akımların, sıcaklık, basınç, debi ve konsantrasyon ve diğer tüm özellikleri zamanla değişmediği görülür. Buna “yatışkın hal” denir. yatışkın halde sistem içinde, birikme ve boşalma söz konusu olmaz. Sistem programı yatışkın hal durumunda çalıştırılmıştır.
- Isıtıcılarda tam yanma meydana gelmiştir.
- Parabolik oluklu toplayıcıların gün içerisinde tam kapasitede çalışmaktadır.
- Isı transfer sıvısı olarak termal yağlardan olan Terminol-55 seçilmiştir ve tam saflıkta olup enerji kayıpları göz ardı edilmiştir.
- Taşıyıcı sistemlerde, Borulardaki ve diğer ekipmanlarındaki basınç dalgalanmaları ihmal edilmiştir.
- Gazlaştırma işleminden elde edilen ürünlerin nihai ürüne dönüşme süreçleri tam olarak verilmemiştir. Sistem içerisinde kullanılan bir çok proses ekipmanları, kontrol ekipmanları çalışma şekilleri akım semasında yer verilmemiştir.

Bu bölümde aşağıda sıralanan başlıklar altında yürütülen yapılabirlik çalışması sunulmaktadır:

- Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminde yakıt olarak seçilen kaynak
- Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi sisteminde kullanılan güneş destekli güç üretim modeli
- Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı
- Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis için maliyet analizi

3.3. Yakıt Olarak Seçilen Kaynak:

Türkiye’de sanayi, tarımsal ve orman gibi birçok alanda zengin biyokütle kaynakları bulunmaktadır. Biyokütle çeşitleri içerik olarak ortalama olarak %41-51 C, %5-6 H ve %36- 44 O oranındadır ayrıca yapısında S, N ve Cl elementleri bulunmaktadır.

Ülkemizde bulunan diğer zengin orman ve tarımsal atık rezervlerinin ilerki zamanlarda kullanarak daha verimli sistemlerin tasarlanması gereklidir. Kullanılabilecek yüksek potansiyeli olan maddelerin bu tür işlemlerde kullanılması dünyanın geleceği için avantajlı olacaktır.

İncelediğimiz sistemde kullanılacak yakıtın hammadde potansiyeli sürdürülebilirliğinin olması önemlidir. Hammaddenin ülkemizde rezervin yeterli olması, kolay temin edilebilir ve işlenebilir olması gereklidir. Hammadde kaynağımız sistem içinde ısı değeri, kükürt oranı, uçucu madde miktarları ve kül miktarının optimum oranları veriyor olması gereklidir.

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı için seçtiğimiz hammaddelerden birisi biyokütle kaynaklı atık ürünlerdir.

Türkiye yıllık 4.800.000 ton orman kaynaklı biyokütle ve tarımsal biyokütle potansiyeline 11.000.000 ton miktarı ile büyük bir potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye yıllık toplamda 15.336.000 ton civarında biyokütle bulunduğu tahmin edilmektedir. Toplam ısı değeri miktarı 304 PJ (petajoule) olması beklenmektedir. Günümüz Türkiye'sinde mevcut kaynakların kullanılmasıyla kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi 600 MW değerindedir. Eskişehir civarında yılda ortama olarak 200,000 ton biyokütle bulunmaktadır (Gürel, 2020).

Biyokütle gazlaştırma tesisimizde kullanılan hammaddenin alt ısı değeri (LHV) araştırıldığımızda içeriğinde bulunan nem ve kül miktarlarının oranlarının kıyasını yaptığımız literatür araştırmasında LHV = 18 (MJ/Kg) alınmıştır. (Nofal ve diğerleri, 2019; Al-Sulaiman ve diğerleri, 2012).

3.4. Güneş Destekli Güç Üretim Modeli

Günümüz Türkiye'sinde her geçen yıla oranla elektrik ihtiyacı yıllık %8–10 büyüme ihtiyacı ile karşı karşıyadır. Türkiye'de bulunan illere arasında Eskişehir enerji kullanım sıralamasında 25. sıradadır ama yakın tarihte yapılan sanayi alanları ve hızlı nüfus artışı sebebiyle enerji ihtiyacı ve enerji kullanımı diğer şehirlere oranla daha hızlı bir şekilde artması beklenmektedir.

Eskişehir ili sınırları içinde kurulu güç değeri 3.660 MVA ve satılan enerji: 3.550.000 kWh'dır. Eskişehir ili enerji konusunda Türkiye'nin % 1,2 kısmını karşılamaktadır (Gnssolar, 2023).

Sürdürülebilir bir gelecek için güç üretimi ve toplam verimlilik önemi göz önüne alındığında hibrit sistemlerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız sistem ile güneş destekli bir güç üretim sistem tasarımıyla biyokütleden sonuç ürünü olan sentez gazından enerji üretimi ve elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

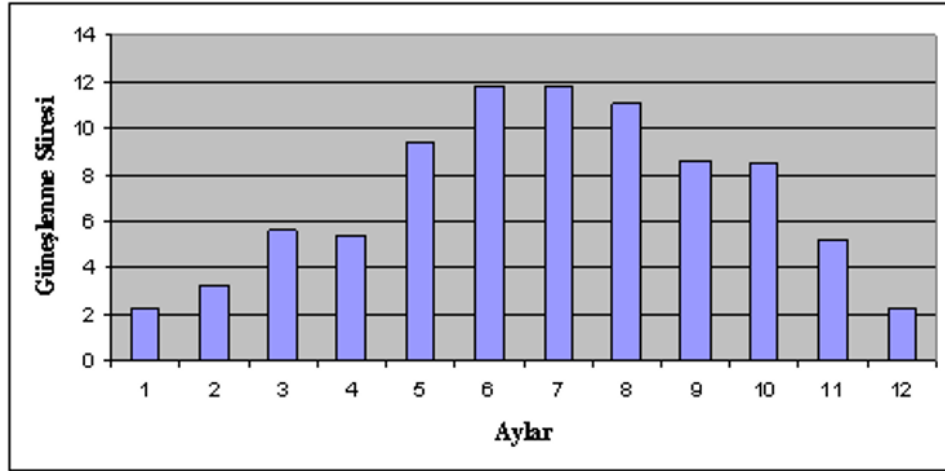
CO₂ emisyonunu azaltmak ve maksimum güç üretiminin sağlanmak amacıyla sistemimiz için gerekli olan enerji kaynağını yenilenebilir güneş enerjisi ile karşılama çalışacağız. Güneş destekli güç üretim modelinde yanma prosesinin ve yakıt maliyetinin olmaması çevre dostu ve temiz enerji sistemi oluşturur.

Güneş destekli güç üretim modelili hibrit sistemimiz yapılması düşünülen Eskişehir ili güneş enerjisi potansiyeli bilinmesi gerekmektedir. Yapılan hibrit sistemimizde parabolik oluk kolektör alanında transfer akışkanının ısıtıldığı bir üretim planı bulunmaktadır.

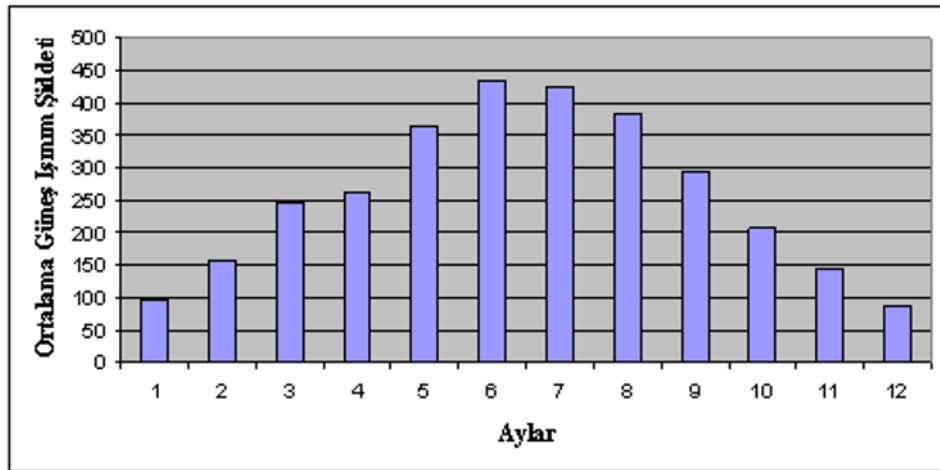
Biyokütle tabanlı sentez gazından enerji üretim prosesine entegre edilecek güneş destekli bir güç üretim sistem ile hibrit bir tasarım eldesi sağlanılacaktır. Bu sistem için kullanılacak hammaddenin bölgesel atık miktarları ve kalitesi kurulacak prosesin büyüklüğünü belirleyecek asıl faktördür (Burulday, 2019).

Eskişehir ili güneş enerjisi potansiyeli göz önüne alınarak sistemin ihtiyaç duyduğu ısı güneş enerjisi yoluyla karşılanması amaçlanmıştır. Güneş enerjisi için yapılan kabuller aşağıda verilmiştir (Şekil 4.1 , Şekil 4. 2 ve Şekil 4. 3) (Gnssolar, 2023).

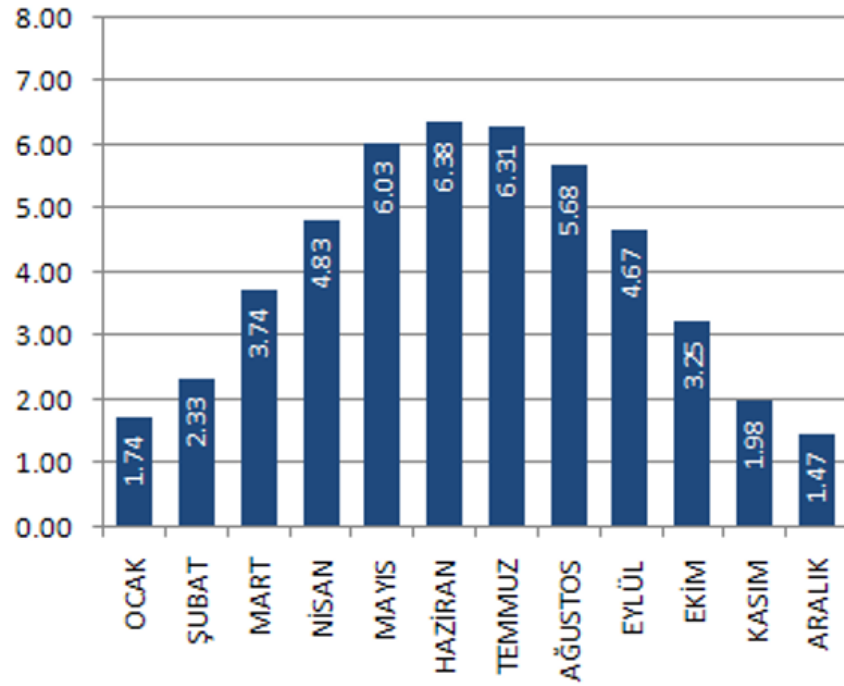
- Toplamda yıllık güneşlenme süresi 2479 saat/yıl
- Günlük güneşlenme süresi 6.79 saat/ gün
- Düşen ortalama radyasyon değeri 1,472 kWh/m²-yıl ortalama
- Metrekare başına güneşten gelen enerji değeri 0,593 kW/m²
- Aylık ortalama radyasyon ise 4,031 kWh/m² gün



Şekil 3. 1. Eskişehir ilinde aylık ortalama güneşlenme süreleri (Filik ve diğerleri, 2006)



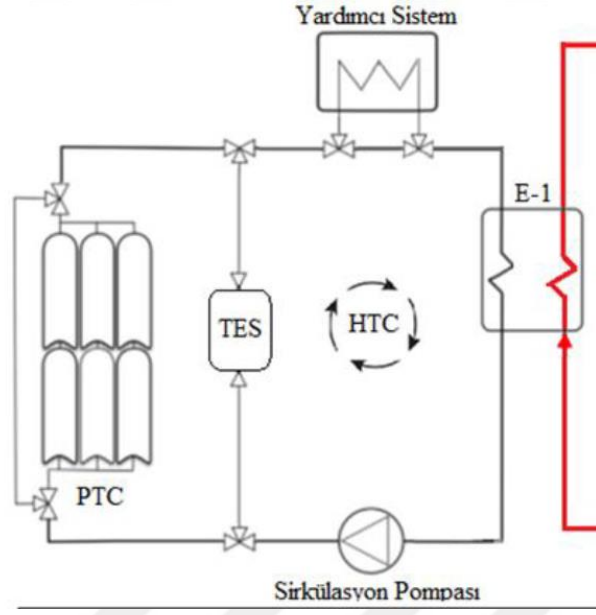
Şekil 3. 2. Eskişehir ilinde aylık güneş ışıınım şiddeti (Filik ve diğerleri, 2006)



Şekil 3. 3. Eskişehir ilinde radyasyon değeri (Gnssolar, 2023)

Parabolik oluk kolektör sistemlerinin bir bütün olarak Güneş tarlasını oluşturmaktadır. Parabolik oluk kolektör sistemlerinin içerisinde bulunan alıcı borulara güneşten gelen enerjinin ısı enerjisi olarak tutulduğu güneş ışını radyasyonunu yoğunlaştıran bir çalışma prensibi vardır (Şekil 3. 4).

Parabolik güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisini ısı transfer çevrimi sistemi içerisinde bulunan ısı enerji taşıma kabiliyeti yüksek olan ısı transfer akışkanına ısı aktarımı yapılmasıyla gerçekleşir. Yoğunlaştırılan güneş ışınımı, alıcılardan sistem boyunca akan bir ısı transfer akışkanı tarafından absorbe edilerek ısı enerjisi aktarılmasını sağlamaktadır. Güneş enerjisini absorbe eden ısı transfer akışkanı ile ısı eşanjörü iletilir burdan sistemde gerekli görülen kısımlara enerji aktarılması amaçlanmıştır (Burulday, 2019)



Şekil 3. 4. Parabolik oluk kolektör (PTC) sistem modeli (Burulday, 2019)

Hibrit sistemimiz yapılması için Aspen Plus benzetimi programından yararlanılmıştır. Benzetim programından ısı girdisi gerekli olan bölümlerin olduğu görülmüştür. Bu sistemde gerekli olan ısınn karşılanması için parabolik güneş kolektörlerinden temin edilen ısı ile sistem içinde verim artışı ve enerji kayıplarının azaltılması amaçlanmaktadır.

Parabolik oluk kolektör sistem Modelinin yüksek verimlilikte çalışması için uygun bir ısı transfer akışkanının seçilmesi lazımdır. Isı transfer akışkanının sistem icinde dolaştığından farklı sıcaklık değerlerine maruz kalmaktadır (Çizelge 3.1).

Parabolik oluk kolektör sistemlerinin içerisinde bulunan alıcı borulara icerisindeki ısı transfer akışkanının türleri şunlardır: Termal yağlar, Su, Glikol-su karışımı ve Tuz çözeltileri çalışma parametrelerinin uygun ısı transfer akışkanının seçilmesi;

- Düşük buharlaşma basıncı ve minimum basınç düşüşü
- Düşük sıcaklık değerlerinde yüksek akışkanlık özelliği
- 500 °C 'in üzerinde yüksek yanma noktası ve yoğunluk değeri
- 300 °C ve üzerindeki yüksek sıcaklıklarda sürekli olarak çalışabilme

PTC güneş alanının büyüklüğü sistem içinde gerekli olan ısı miktarı ile doğru orantılı bir sekilde artmaktadır. Isı transfer akışkanının dolaştığı parabolik güneş kolektörlerinin verimlilikleri ve çalışılabilecek sıcaklık aralıklarının tam olarak bilinmesi gereklidir.

Sistemde içinde bulunan çalışma sıvısının miktarı ve basınçlarının kurulacak sisteme göre tasarlanması ve yüksek ısı verimliliği sağlanmalıdır.

Güneş enerjisi potansiyelinin yeterli, yetersiz olması ya da hiç bulunmaması durumlarına göre modellenen sistem farklı şekillerde çalıştırılabilir. Fosil yakıtlı bir yedekleme sistemi kullanılmadan, sistemin sürekli enerji üretimini gece veya bulutlu bir günde de sağlamak amacıyla bir ısı enerji depolama sistemi (TES) dâhil edilebilmektedir. Sıcak depolama tankı, güneş ışınımının mevcut olduğu süre içerisinde PTC güneş alanından gelen enerjiye bağlı olarak yüksek sıcaklıkta enerji depolamak için kullanılmıştır. Sürekli elektrik üretiminin sağlanması amacıyla depolanan bu ısı enerjisi geceleri ya da güneş radyasyonunun bulutlanma sebebiyle kullanılmadığı süreçlerde, güç bloğuna beslenebilmektedir.

Çizelge 3. 1. Çeşitli ısı transfer sıvılarının 1 atm basınçta bazı özellikleri (Pharmacalculations, 2023)

Akışkanlar	Tmin. (°C)	Tmaks. (°C)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı Kapasitesi (kJ/kg.K)	Viskozite (cP)
Su	0	100	998,00	4,20	0,89
Etilen Glikol	-13	190	1109,19	2,48	15,35
Terminol-55	-25	290	866,76	1,92	108,49
Dowtherm-HT	0	345	996,41	1,52	287,86
Syltherm-800	-40	400	925,07	1,62	8,65

İçanadolu bölgesinde kurulacak olan Eskişehir ili güneş enerjisi potansiyeli ortalama radyasyon değerinin bilinmesi ve parabolik güneş kolektör alanından ısı girişinin sağlanması için gereken güneş tarlası alanı, kolektör verimi gibi bir çok parametere hesaplama için gereklidir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3. 2. LS-2 ve LS-3 güneş kolektörlerinin teknik özellikleri (Harats & Kearney, 1989)

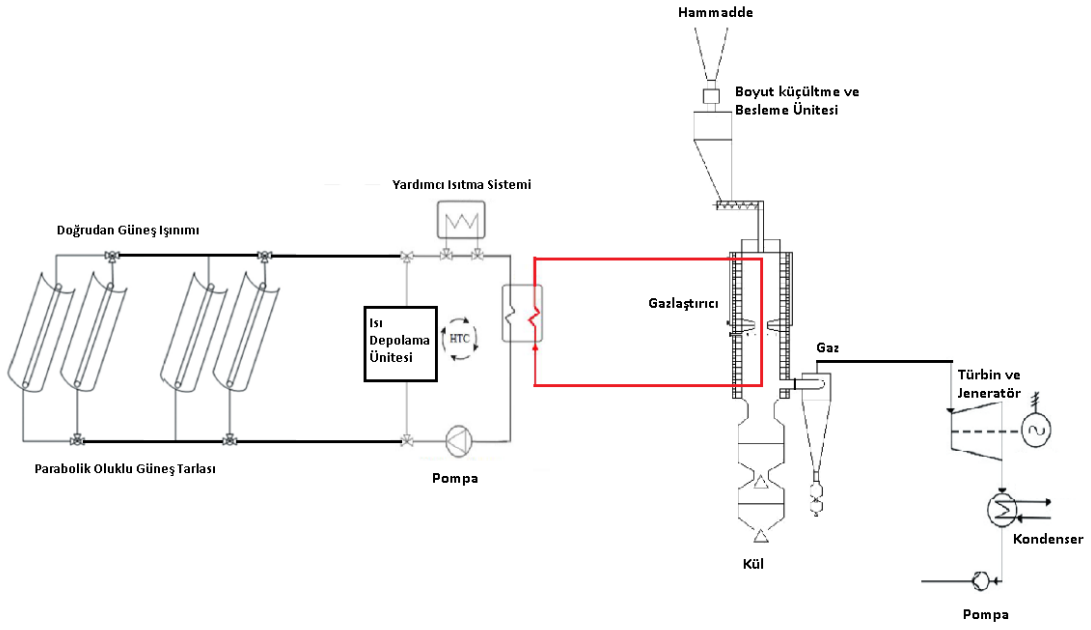
Parametre	LS-2	LS-3
Alan, (m ²)	235	545
Genişlik, (m)	5	5.76
Uzunluk, (m)	47.1	95.2
Odak uzaklığı, (m)	1.84	2.12
Konsantrasyon oranı	71	82
Optik verim	0.75	0.8

Eskişehir’de yapılması planlanan sistem için gerekli verilere ulaşılması için Türkiye’de ve daha önemlisi kurulması planlanan ilde bulunan yapılardan veriler elde edilmelidir. Çalışma kapsamında modellenen hibrit sistem için gerekli birçok parametrelerden bazıları:

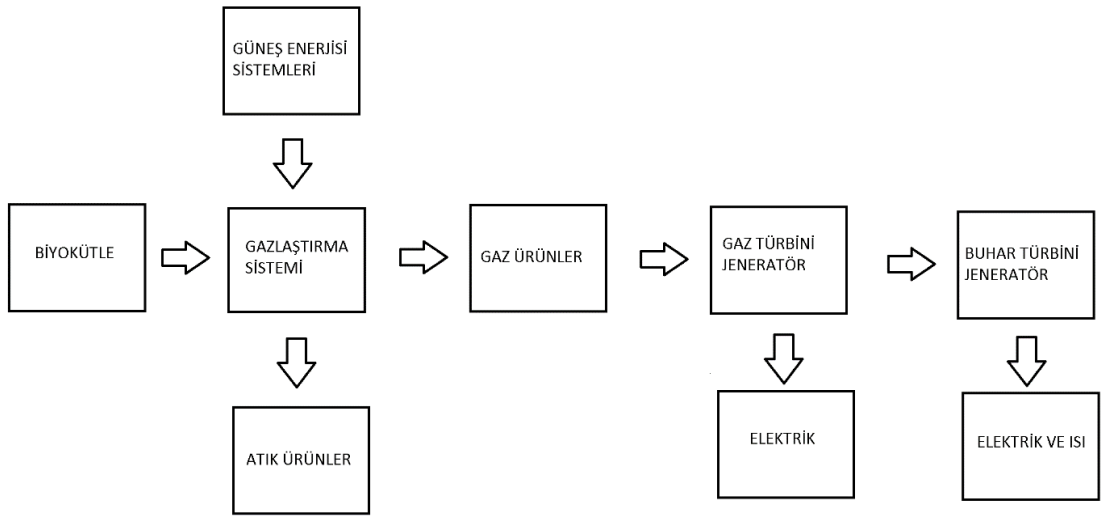
- Güneşten gelen radyasyon miktarı
- Normal ışıınım değerleri
- Ortam sıcaklığı
- Rüzgâr hızı
- Bağıl nem

3.5. Güneş Enerjisi Destekli Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisi Tesis Tasarımı

Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı için kurulu tesislerin ve literatür araştırmaları neticesinde endüstriyel boyutta gerçekleştirebilecek sürekli bir tesis için seçilen blok sema ve proses akım seması verilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı gösterilen proses doğrultusundadır (Şekil 3. 5 ve Şekil 3.6).



Şekil 3. 5. Güneş enerjisi destekli gazlaştırma tesis tasarımı



Şekil 3. 6. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı

Çalışma kapsamında güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı pilot ölçekte yapılması amaçlanmıştır. Biyokütle materyalimizin uygun koşullarda sağlanması ile gazlaştırma işlemi ve sonrasındaki termokimyasal işlemler vasıtasıyla istenilen enerji eldesi sağlanmıştır.

Akışkan yataklı gazlaştırma yöntemi kullanıldığı varsayılmıştır. Sonuç ürünlerinden gaz ilk olarak gaz temizleme işlemin ile içerisinde bulunan hafif hidrokarbonlar, katran, sülfürlü bileşikler ve istenmeyen parçacıklar sistemden uzaklaştırmıştır. Katran oluşumunun en aza indirilmesi, kirletici içeriğinin minimize edilmesi gereklidir. Sistemin içerisindeki istenmeyen bazı maddelerde bulunması büyük dezavantajdır. Bu sebeple, sistemde gerekli olan optimum koşullar sağlanmaya çalışılmıştır

Gazlaştırma prosesi ile biyokütle gazlaşması ile çoğunlukla CO, CO₂, CH₄, H₂ ve N₂ bileşikler oluşmaktadır.

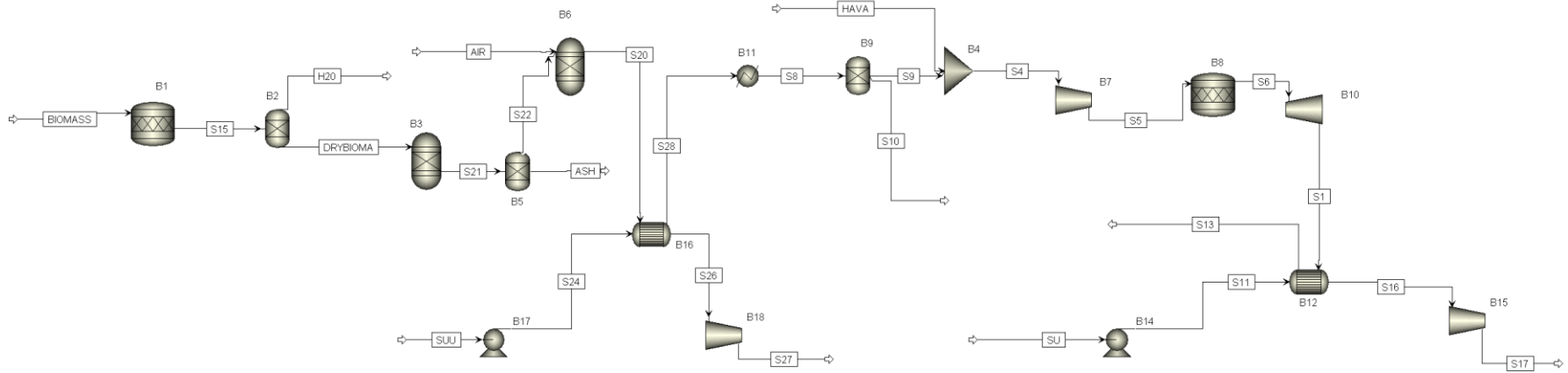
Gazlaştırma sisteminde başta reaktörünün ısıtma ihtiyacı olmak üzere sistemde bulunan kompresör ve pompa gibi diğer bazı ekipmanların kullanımından kaynaklı enerjisi ihtiyacı gerekmektedir.

Gazlaştırma sisteminde meydana gelen farklı adımlarında fiziksel işlemler ve gerçekleştirilen termokimyasal olaylar sonucunda sistemden önemli miktarda ısı çıkışları meydana gelmektedir. Gazlaştırma sisteminde atıl vaziyete bulunan bu ısıнын sistem içinde geri kazanılması ya da faydalı işe dönüştürülmesi ile verimi olabildiğince artması amaçlanmıştır.

Yapılan işlemler ve çıkan ısıların durumuna bakılarak ilk olarak sistem içinde kullanılması fazla ısı bulunması halinde ısı değiştirici yardımıyla atık ısıyı geri kazanarak türbinlerde kullanılması ile elektrik enerjisi üretilmektedir.

Gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı amacıyla modellenen sistemin içerisinde meydana gelen enerji verimliliğinin sağlanması ve enerji kayıplarının minimize edilmesi için türbinlerden çıkan buhar ısı enerjisi olarak kullanılmıştır.

Çalışmada güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı amacıyla modellenen sistemin benzetim ekran görüntüsü gösterilmiş (Şekil 3. 7).



Şekil 3. 7. Güneş enerjisi destekli biyokütle gazlaştırma teknolojisi tesis tasarımı

Çizelge 3. 3. Ekipman tanımı

Ekipman	Ekipman tanımı
B1	(RStoic) reaktörü
B2	Seperatör
B3	(RYield) reaktörü
B5	Seperatör
B6	(RGibbs) reaktörüne
B16	Isı değıştirici
B17	Pompa
B18	Türbin
B11	Istııcı
B9	Seperatör
B4	Karıştııcı
B7	Kompresör
B8	(RStoic) reaktörü
B10	Türbin
B12	Isı değıştirici
B14	Pompa
B15	Türbin

- Hammaddemiz 1 bar basınç ve 25 °C sıcaklık değeriinde 20000 kg/hr miktarında sisteme girişı bulunmaktadır.
- B1 (RStoic) reaktörü olarak belirttiğimiz ekipman kurutucu olarak kullanılmaktadır. B1 (RStoic) reaktörü reaksiyon kinetiğinin bilinmediğı durumlarda kullanılmaktadır. B1 (RStoic) reaktöründe 1 bar ve 100°C sıcaklık değeriinde çalışmaktadır.
- Sistemden ayırmak istediğimiz ürünün uzaktaştırılması için kullanılan B2 (Seperatör) ekipmandır. B2 (Seperatör) ekipmanı yardımı ile sistemde bulunan buhar (su) dışarı atılmaktadır.

- Kuru hale gelen hammadde B3 (RYield) reaktörüne ulaşmakta 1 bar ve 750 °C sıcaklığa maruz bırakılmaktadır. B3 (RYield) reaktöründe gazlaştırmanın piroliz aşaması gerçekleşmektedir. B3 (RYield) reaktörü reaksiyon kinetiğinin bilinmediği durumlarda ve denklemler yazılarak kullanılan reaktör çeşitidir. Sisteme giren materyalin ayrışmasını simüle etmek amacıyla sisteme eklenmektedir. Proseste tanımlanan reaksiyon setleri girilerek elde edilen ürünlerin özellikleri değişmektedir.
- Sistemden ayırmak istediğimiz ürünün uzaktastırılması için kullanılan B5 (Seperatör) ekipmandır. B5 (Seperatör) yardımı ile sistemde bulunan kül dışarı atılmaktadır.
- B6 (RGibbs) reaktörü uçucu reaksiyonların gerçekleştiği yanma ve gazlaştırma proseslerinin simüle edildiği reaktörlerdir. Bu reaktörde gerçekleşecek işlemin çalışma koşullarının (sıcaklık ve basınç değerleri) bilindiği ancak reaksiyon stokiyometrisinin tanımlanmadığı durumlar modellenmektedir. B6 (RGibbs) reaktöründe Gibbs serbest enerjisini en aza indirerek sentez gaz bileşimini hesaplar. Gazlaştırma reaksiyonları burada gerçekleşir. B6 (RGibbs) reaktörüne 1 bar ve 750 °C sıcaklığında bulunan materyal ve 1 bar basınç ve 25 °C sıcaklık değerinde 20000 kg/hr miktarında hava reaktöre giriş yapmaktadır. B6 (RGibbs) reaktörü 1 bar ve 600° C sıcaklığında çalıştırılmaktadır.
- 1 bar ve 600 °C sıcaklığında bulunan materyal miktar ve sıcaklık bakımında sistem içi verimliliğin artırılması için B16 (ısı değiştirici) yardımı ile su ısıtılması ve basınçlandırıldıktan sonra türbin yardımı ile enerji eldesi sağlanılmıştır. B16 (ısı değiştirici) olmasaydı materyalin sıcaklığını 600 °C - 25 °C düşürülmesi gerekmektedir ve mevcut enerjiyi kurulan sistem ile tekrardan kazanılmaya çalışılmaktadır.

Çizelge 3. 4. B16 (Isı değiştirici)

Toplam Akış					
Sıcaklık	C	600	26.718	450	78.320
Basınç	bar	1	50	50	1
Buhar Kütle Oranı		0.917	0	1	0.917
Sıvı Kütle Oranı		0	1	0	0
Katı Kütle Oranı		0.082	0	0	0.082

- B16 (ısı değiştirici) sisteme giriş yapan suyun 1 bar basınç ve 25 ° C sıcaklık değerinde 8500 kg/hr miktarında girdisi yapılmıştır. B 17 (pompa) yardımı ile suyun 50 bar basınca ulaşması sağlanmıştır. B16 (ısı değiştirici) sisteminden çıkan 50bar basınç ve 450 ° C sıcaklık değerinde 8500 kg/hr miktarında su B18 (Buhar Türbini) ulaşmaktadır. İzentropik proses (0.85) ve 1.85 bar basınçta çalışmaktadır.

Çizelge 3. 5. B18 (Buhar Türbini)

Sıcaklık	C	450	119.353
Basınç	bar	50	1.850
Buhar Kütle Oranı		1	0.984
Sıvı Kütle Oranı		0	0.015
Katı Kütle Oranı		0	0

- B16 (ısı değiştirici) 1 bar basınç ve 78 ° C sıcaklık değerinde bulunan materyal içerinde bulunan suyun uzaklaştırılması için 25 C sıcaklığa düşürülmesi için B11 (Isıtıcı) ekipmanı kullanılmıştır.
- 1 bar basınç ve 25 ° C sıcaklık değerinde bulunan materyal gaz türbini sistemine girmeden istenmeyen materyallerin ve su uzaklaştırılması için B9 (Seperatör) kullanılmıştır.
- 1 bar basınç ve 25 ° C sıcaklık değerinde 40000 kg/hr miktarında hava ve B9 (Seperatör) temizlenmiş ve ayrılaştırılmış 1 bar basınç ve 25 ° C sıcaklık değerinde bulunan materyal B4 (Karılaştırıcı) ekipmanı ile karılaştırılmaktadır.
- B7 (Kompresör) ekipmanına ulaşan materyal 10 bar basınca çıkarılmaktadır.

Çizelge 3.6. B7 (Kompresör)

Sıcaklık	C	24.975	396.014
Basınç	bar	1	10
Buhar Kütle Oranı		1	1
Sıvı Kütle Oranı		0	0
Katı Kütle Oranı		0	0

- B7 (Kompresör) çıkan 10 bar basınç ve 396 ° C sıcaklık değerinde bulunan materyal B8(RStoic) reaktörü girmektedir. B8(RStoic) reaktörü 10 bar basınç ve 1200 ° C sıcaklık değerinde çalışmaktadır.
- B10 (Gaz Türbin) ekipmanına İzentropik proses ve 1,5 bar basınçta çalışmaktadır.

Çizelge 3. 7. B10 (Gaz Türbini)

Sıcaklık	C	1200	834.829
Basınç	bar	10	1.5
Buhar Kütle Oranı		1	1
Sıvı Kütle Oranı		0	0
Katı Kütle Oranı		0	0

- 1.5 bar ve 835 ° C sıcaklığında bulunan materyal miktar ve sıcaklık bakımında sistem içi verimliliğin artırılması için B12 (ısı değiştirici) yardımı ile su ısıtılması ve basınçlandırıldıktan sonra buhar türbini yardımı ile enerji eldesi sağlanılmıştır. B12 (ısı değiştirici) olmasaydı materyalin sıcaklığını 835 °C dışarıya atılacaktır mevcut enerjiyi kurulan sistem ile tekrardan kazanılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3. 8. B12 (Isı değiştirici)

Sıcaklık	C	834.829	26.558	219.880	450
Basınç	bar	1.5	50	1.5	50
Buhar Kütle Oranı		1	0	1	1
Sıvı Kütle Oranı		0	1	0	0
Katı Kütle Oranı		0	0	0	0

- B12 (ısı değiştirici) sisteme giriş yapan suyun 1 bar basınç ve 25 ° C sıcaklık değerinde 10000 kg/hr miktarında girdisi yapılmıştır. B 14 (pompa) yardımı ile suyun 50 bar basınca ulaşması sağlanmıştır.
- B12 (ısı değiştirici) sisteminden çıkan 50bar basınç ve 450 ° C sıcaklık değerinde 10000 kg/hr miktarında su B15 (Buhar Türbin) ulaşmaktadır. İzentropik proses (0.85) ve 1.85 bar basınçta çalışmaktadır.

Çizelge 3. 9. B15 (Buhar Türbini)

Sıcaklık	C	450	119.353
Basınç	bar	50	1.850
Buhar Kütle Oranı		1	0.984
Sıvı Kütle Oranı		0	0.015
Katı Kütle Oranı		0	0

3.6. Ekonomik Analiz

Bileşen maliyetleri literatürdeki bazı korelasyonlar kullanılarak elde edilmiş ve Çizelge 3.10’de listelenmiştir.

Çizelge 3. 10. Sermaye maliyetleri literatürdeki bazı korelasyonları

(Bejan ve diğerleri, 1996; Sanaye ve Hajabdollahi, 2010; Cavalcanti, 2017)

Bileşen	Sermaye Yatırımı için Maliyet Korelasyonu
Gaz türbini(1996)	$\left(\frac{266.3 \cdot \dot{m}_g}{0.97 - \eta_t} \right) \cdot \ln \left(\frac{P_i}{P_o} \right) \cdot (1 + \exp(0.036T_i - 54.4)) (\$)$ (3.1)
Yanma Odası (1996)	$\left(\frac{46.08 \cdot \dot{m}_a}{0.995 - \frac{P_o}{P_i}} \right) \cdot (1 + \exp(0.018T_i - 26.4)) (\$)$ (3.2)
Kompresör(1996)	$\left(\frac{39.5 \cdot \dot{m}_a}{0.95 - \eta_c} \right) \cdot \ln \left(\frac{P_i}{P_o} \right) \cdot \left(\frac{P_i}{P_o} \right) (\$)$ (3.3)
HRSG (1996)	$6570 \left(\frac{\dot{Q}_{HRSG}}{\Delta T_{LMTD,HRSG}} \right)^{0.8} + 21276 \dot{m}_{steam} + 1184.4 \dot{m}_{gas}^{1.2} (\$)$ (3.4)
Pompa (1996)	$2100 \cdot \left(\frac{W}{10} \right)^{0.26} \cdot \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right)^{0.5} (\$)$ (3.5)
Isı değiştiricisi (2010)	$\left(\frac{638\beta^2 - 1148\beta + 591.3}{\beta^2 + 461.8\beta^2 - 1541\beta + 1040} \right) \times 1000 (\$)$ (3.6)
Gazlaştırıcı (2005)	$1600 \times \dot{m}_{syn} \times 0.9 \times 3600^{0.67} (\$)$ (3.7)
Solar sistem (2017)	$355 (\$) / m^2$ (3.8)
Buhar türbini (1996)	$2210 \times W^{0.7}$ (3.9)

Bileşen maliyetleri literatürdeki bazı korelasyonlar kullanılarak elde edilmiştir. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemden elde ettiğimiz sonuçları formüllerde yerine koyarak sonuçlara ulaşılmıştır. Ama kullanılan korelasyonlarda bulunan sonuçlar geçmiş tarihli olarak bulunmaktadır. İncelediğimiz çalışmada maliyetleri güncel tarihli olarak bulmak amaçlanmaktadır.

Güncellenmiş maliyeti belirlemek için denklem kullanılarak hesaplanabilir. Burada CEPCI Kimya Mühendisliği Tesisi Maliyet Endeksidir

$$Z_{k,2022} = Z_{k,reference} \frac{(CEPCI_{2022})}{(CEPCI_{Reference})} \quad (3.10)$$

Ekipmanların her birinin yatırım korelasyonunun bulunması sonrasında denklem (3.10) kullanılarak geçmiş tarihli olan korelasyonu 2022 tarihine dönüştürülmektedir. Güncel tarih (CEPCI) oranı ve referans tarih (CEPCI) oranları bulunur ve korelasyonla bulunan sonuçla çarpılarak istenilen güncel maliyetler elde edilmektedir.

Denklem (3.10) kullanılarak güncel hale gelen fiyatlar tabloda uygun yerlere yazılarak doğrudan ve dolaylı maliyet hesapları yapılmıştır (Çizelge 3. 11).

Çizelge 3. 11. Maliyet tablosu

Doğrudan maliyetler (DC)	
Yatırım maliyeti	$\sum Z_k$
Elektrikli ekipman ve malzemeler	$0.13 \sum Z_k$
Borular	$0.33 \sum Z_k$
Satın alınan ekipmanın kurulumu	$0.35 \sum Z_k$
İnşaat, yapı ve mimari işler	$0.21 \sum Z_k$
Arazi	$0.05 \sum Z_k$
Servis olanakları	$0.35 \sum Z_k$
Dolaylı maliyet (IC)	
İnşaat maliyetleri	$0.15 \sum DC$
Beklenmedik Durumlar	$0.15(1.23 \sum DC)$
Mühendislik ve denetim	$0.08 \sum DC$
	Z_{Toplam}

Mühendislik uygulamalarında geri ödeme süresi (PP), yatırım kararları için önemlidir. Bu çalışmada sistemin ekonomik performansını değerlendirmek için PP kullanılmıştır. PP, yıllık amortisman maliyeti ve gelir esas alınarak hesaplanır (Cavalcanti, 2017; Naserian ve diğerleri, 2016).

$$PP = \frac{\ln\left(1 - \frac{Z_{total}}{C_{IM}}(I - In)\right)}{\ln\left(\frac{1+In}{1+I}\right)} \quad (3.11)$$

Mühendislik uygulamalarında geri ödeme süresi (PP), yatırım kararları için önemlidir. Bu çalışmada sistemin ekonomik performansını değerlendirmek için PP kullanılmıştır. PP, yıllık amortisman maliyeti ve gelir esas alınarak hesaplanır. Burada faiz oranı (I) ve enflasyon oranı (In) güncel değerlerinin bilmesi gereklidir. Türkiye için 2022 yılı ortalama faiz ve enflasyon oranları % 16,17 ve 61.98 ve N, 20 yıl olarak kabul edilen sistem ömürdür (Cavalcanti, 2017; Naserian ve diğerleri, 2016).

$$C_{IM} = P_E * C_E \quad (3.12)$$

Burada PE güç, CE elektrik fiyatıdır. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemden bulunan bir adet gaz türbini ve iki adet buhar türbini ile elektrik üretilmektedir. Üretilen elektrik miktarını sistem içerisinde görülmektedir. Denklem (3.12) bulunan güç (PE) miktarını oluşturduğumuz sistemin günde kaç saat çalıştığı, yılda toplam kaç gün tam verimlilikte faaliyet gösterdiği gibi parametreleri göz önüne alarak belirlediğimiz değerleri yerine yazdığımızda sonuca ulaşmaktayız (Hosseinpour ve diğerleri, 2020; Bellotti ve diğerleri, 2019; Roya ve diğerleri, 2020).

Denklem (3.12) bulunan elektrik fiyatı (PE) belirlenmesi için Türkiye'deki güncel elektrik fiyatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Gelir, elektriğin şebekeye satılması dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Elektrik satış fiyatları Türkiye için 2022 yılı 2,6 (₺)/kWh. Gelir Denklem ile hesaplanır (Bloomberght, 2023).

İncelediğimiz çalışmanın bir bütün olarak değerlendirilmesi için tüm hesaplarımızın dolar kuru üzerinden yapılması gerekmektedir. Güncel olan türk lirası ve dolar kuru oranı belirtilmelidir. 2022 yılı ortalama dolar kuru 1(\$)= 16,55 (₺) olarak alabiliriz (http-11, 2023).

3.7. İncelediğimiz Sistemin Enerji Hesapları

Güneş ışıını ile gelen radyasyon miktarı zamana bağılı olarak gerçekleşen değişimler göz önünde bulundurularak, ölçülmüş veriler üzerinden aylık ortalama değerler olarak alınmıştır. Toplamda anlık gelen doğrudan ışıını değeri (E_{tdi}) bulunması gereklidir. Doğrudan ışıını değeri (E_{tdi}) bulunması için 6,79 saat/günlük güneşlenme süresinde ve aylık ortalama radyasyon miktarı olan 4,031 kWh/m²gün değeri üzerinden yaklaşık 0,593 kW/m²'dir. Günlük toplam tutulan ısı enerji (Q_{PTC}) Denklem (3.13) ile hesaplanır.

$$Q_{PTC} = E_{tdi} * \eta_{PTC} * A_{PTC} \quad (3.13)$$

Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde gazlaştırma aşamalarından olan B3(RYield) reaktöründe endotermik bir reaksiyon meydana gelmektedir. İncelenen sistemde reaktörün ihtiyaç duyduğu ısıyı güneş enerjisi ile sağlamak istenmektedir. Gerekli olan ısı miktarının belirlenmesi için Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemden faydalanılmıştır.

Güneş destekli güç üretim sisteminde ($Q_{Giriş}$) enerji akımı vasıtasıyla PTC alanından temin edilen güneş kaynaklı ısı enerjisinin belirlenmesi gerekmektedir. Entegre edilen güç çevrimlerinde kondenserler vasıtasıyla dışarı atılan kayıp enerji miktarı olmaktadır. Bu durumda güneş destekli entegre güç sisteminde giren ısı enerji ($Q_{Giriş}$) miktarı ile, net güç çıkışı ($Q_{Çıkış}$) miktarı arasında farklılık meydana gelmektedir. Denklem (3.14) ile net güç çıkışı ($Q_{Çıkış}$) miktarını Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistem sonuçlarından elde etmekteyiz.

$$Q_{Çıkış} = Q_{Giren} * \eta_{PTC} \quad (3.14)$$

Parabolik güneş kolektör alanının bulunması için metrekaşe başına güneşten gelen radyasyon değeri ile PTC alanından temin edilen güneş kaynaklı ısı enerjisinin belirlenmesi ve kolektör verimi göz önünde bulundurulması ile hesaplanmaktadır. Denklem (3.15) ile PTC alanı bulunmektedir.

$$Alan_{(PTC)} = Q_{Giren} / (E_{tdi} * \eta_{PTC}) \quad (3.15)$$

Güneş enerjisinin olmadığı yılın diğer saatleri için de yardımcı bir yakma sistemi ile doğalgaz yakılarak sürekliliği sağlamaktayız.

Hibrit sistemimizde güneşin hiç olmadı gece saatlerinde ya da güneşten gelen ısı enerjisi düşük olduğunda ısı yükünün sağlanması amacıyla doğalgaz yakıcı yardımcı bir ısıtıcı kullanılmıştır.

Evaporatöre sabit bir ısı akışı sağlamak için bir dizi kontrol valfi kullanılarak güneşten gelen ısı enerjisi düşük olduğunda gelen ısı değerini sistem için gerekli olan değere ulaşması için doğalgaz yakılması ile sağlanacaktır.

Bölgenin hava durumuna ve çevre koşullarına bağlı olarak entegre güç çevrimleri güneşe dayalı olarak belli bir süre daha çalıştırılabilse de günde 24 saat kesintisiz güç üretimi için doğalgazlı yakma sistemine ihtiyaç duyulacağı öngörülmüştür.

Yapılması planlanan sistemin yılın 330 günü tam verimlilikte çalıştığını düşünürsek yıllık 7,920 saatlik çalışma süresi elde etmekteyiz. Yaptığımız sistemin sürekli bir enerji çıkışı sağlamayı amaçlamaktadır. Eskişehir ili yılda 2479 saatlik güneşlenme süresine sahiptir. Denklem (3.16) ile doğalgaz enerjisi destekli yapılacak sistemin ne kadar süre ile çalışacağı bulunacaktır.

$$t_{\text{Toplam}} = t_{\text{Güneş}} + t_{\text{Doğalgaz}} \quad (3.16)$$

Doğalgaz destekli güç çevrimi sisteme ihtiyaç duyulan enerji miktarının karşılanması için gerekli olan doğalgaz miktarı hesaplanmıştır. Güneş destekli güç modelinde PTC alanından sisteme aktarılan ısı enerjisi 190 MW değerinde gerçekleşmektedir. Bu sebeple doğalgazlı modellenen sistemde, ihtiyaç duyulan enerji miktarının karşılanması ve sistemin çalışması için doğalgazın yakılması sonucunda en az 190 MW değerinde ısı açığa çıkması gerekmektedir. Yoğunluğu 0,923 kg/m³ olan doğalgazın alt ısı değerinin 9,59 kWh/m³ olduğu durumda gerekli doğalgazın hacimsel ve kütsel debisi sırasıyla 5,48 m³/s ve 5,05 kg/s 'dir. Denklem (3.17) ile sistem için gerekli olan doğalgaz miktarının bulunması amaçlanmaktadır (Mert ve diğerleri, 2019).

$$\text{Doğalgaz miktarı (m}^3\text{)} = (Q_{\text{Giren}} * t_{\text{Doğalgaz}}) / \text{Doğalgazın alt ısı değeri (LHV)} \quad (3.17)$$

TÜİK'in açıkladığı verilere göre 1 m³ doğal gaz için tüketicilerin 2022 yılı ödediği tutar ortalama 6.06 tl olmuştur ([http-8, 2023](#); [http-9, 2023](#)).

Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde hammaddenin bileşen değerleri girildikten sonra miktarı ayarlanabilmektedir. Kullanılan miktar belirlenmesi ile sisteme bir giriş gücümüz (Q_{in}) bulunmaktadır.

İncelediğimiz sistem verimliliğinin bulunması ve enerji kayıplarının belirlenmesi için yapmış olduğumuz Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde aldığımız veriler kullanılmıştır.

Oluşturulan sistemde farklı bölümlerden elektrik üretilmekte toplam elektrik üretimi ($\dot{W}_{\text{Elektrik}}$) ve birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda su çıkışı (Q_{Buhar}) bulunmaktadır. İncelediğimiz sistemde mevcut ısının kullanılması ile sistem verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Denklem (3.18) ile sistem içerisinde oluşan güç kayıp miktarının bulunması amaçlanmaktadır.

$$Q_{\text{in}} = \dot{W}_{\text{Elektrik}} + Q_{\text{Buhar}} + Q_{\text{Kayıp}} \quad (3.18)$$

Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde giriş gücümüz (Q_{in}) belirlenme aşamasından sonra sistem verimliliğinin bulunması için elde ettiğimiz elektrik verimliliği (η_{Elektrik}) ya da toplam verimliliğin (η_{Toplam}) bulunması gibi eldelerin sağlanması gerçekleştirilebilmektedir. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde 3 farklı bölümden elektrik eldesi sağlanmaktadır. Bu üç türbin sisteminden elde edilen elektrik gücünün ($\dot{W}_{\text{Elektrik}}$) toplamı ile toplam elektrik üretimi bulunur ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin elektrik verimliliği (η_{Elektrik}) bulunmaktadır. Denklem (3.19) ile sistem içerisinde oluşan elektrik verimliliği (η_{Elektrik}) bulunması amaçlanmaktadır.

$$(\eta_{\text{Elektrik}}) = (\dot{W}_{\text{Elektrik}}) / (Q_{\text{in}}) \quad (3.19)$$

Aynı şekilde incelediğimiz sistemde birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda buhar çıkışı bulunmaktadır. Toplam sistemden çıkışı bulunan yüksek ısı içeren buhar materyallerinin toplanması ile buhar çıkış gücü (Q_{Buhar}) sağlanmakta ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin ısı verimliliği ($\eta_{\text{Isı}}$) bulunmaktadır. Denklem (3.20) ile sistem içerisinde oluşan ısı verimliliği ($\eta_{\text{Isı}}$) bulunması amaçlanmaktadır.

$$(\eta_{\text{Isı}}) = (Q_{\text{Buhar}}) / (Q_{\text{in}}) \quad (3.20)$$

Toplam verimliliğin bulunması için elektrik üretimi ($\dot{W}_{\text{Elektrik}}$) ve buhar çıkış gücü (Q_{Buhar}) toplanmakta ve belirlenmiş olan giriş gücü (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin toplam verimliliği (η_{Toplam}) bulunmaktadır. Denklem (3.21) ile incelediğimiz sistemin toplam verimliliği (η_{Toplam}) bulunması amaçlanmaktadır.

$$(\eta_{\text{Toplam}}) = ((Q_{\text{Buhar}}) + (\dot{W}_{\text{Elektrik}})) / (Q_{\text{in}}) \quad (3.21)$$

4. BULGULAR

4.1. Biyokütle Gazlaştırılması

Tasarladığımız sistemde kullanılacak gazlaştırma işlemi için farklı yakıt türleri kullanılmaktadır. Bunlar biyokütle kaynaklı yakıtlar olup bulunduğumuz bölgede bulunan ve devamlılığı olan ürünlerden oluşmaktadır. Genel özelliklerine baktığımızda maliyet ve kolay ulaşılabilir olması ürünün kullanımını daha cazip hale getirmektedir.

Çalışma kapsamında biyokütle özellikleri ve bu hammaddelerin gazlaştırılmaları ile ortaya çıkan sentez gazı bileşimleri incelenmiştir. İlgili hammaddede kaynağı olan biyokütlenin kimyasal özellikleri verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4. 1. *Biyokütlenin kimyasal özellikleri*

C	H	N	Cl	S	O	Kül
42,54	6,25	0,8	0,49	0,23	38,68	11,01

Aspen PLUS simülasyon programı ile yapılan modellemeler sonucunda yukarıda özellikleri verilen kaynaklarının gazlaştırılması sonucu elde edilen sentez gazı bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 4. 2. *Aspen Plus Simülasyon Programı B1 Rstoic Reaktör Kütle Akışları*

Toplam Akış			
Sıcaklık	C	25	100
Basınç	bar	1	1
Buhar Kütle Oran		0	0
Sıvı Kütle Oran		0	0.083
Katı Kütle Oran		1	0.916
Kütle Entalpisi	MJ/kg	-6.162	-6.027
Kütle Yoğunluğu	kg/cum	1302.793	1258.935
Entalpi Akışı	kW	-34233.600	-33485.700
Kütle Akışları	kg/hr	20000	20000
Su	kg/hr	0	1664.017
Biyokütle	kg/hr	20000	18336
Hacim Akışı	m ³ /h	15.351	15.886

Çizelge 4. 3. *Aspen Plus Simülasyon Programı B1 Rstoic Reaktor Kütle Oranı*

Toplam Akış			
Sıcaklık	C	25	100
Basınç	bar	1	1
Buhar Kütle Oran		0	0
Sıvı Kütle Oran		0	0.083
Katı Kütle Oran		1	0.916
Kütle Entalpisi	MJ/kg	-6.162	-6.027
Kütle Yoğunluğu	kg/cum	1302.793	1258.935
Entalpi Akışı	kW	-34233.600	-33485.700
Kütle Akışları	kg/hr	20000	20000.020
Su		0	0.083
Biyokütle		1	0.916
Hacim Akışı	m ³ /h	15.351	15.886

Çizelge 4. 4.Aspen Plus Simülasyon Programı B3 Ryield Reaktör Kütle Akışları

Toplam Akış			
Sıcaklık	C	100	750
Basınç	bar	1	1
Buhar Kütle Oran		0	0.462
Sıvı Kütle Oran		0	0
Katı Kütle Oran		1	0.537
Kütle Entalpisi	MJ/kg	-5.155	1.469
Kütle Yoğunluğu	kg/cum	1302.793	0.270
Entalpi Akışı	kW	-26260.500	7482.953
Kütle Akışları	kg/hr	18336	18336
H ₂	kg/hr	0	1146
O ₂	kg/hr	0	7092.364
N ₂	kg/hr	0	146.688
CL ₂	kg/hr	0	89.846
Biyokütle	kg/hr	18336	0
Kül	kg/hr	0	2018.793
C	kg/hr	0	7800.134
S	kg/hr	0	42.172
Hacim Akışı	m ³ /h	14.074	67784.570

Çizelge 4. 5. *Aspen Plus Simülasyon Programı B3 Ryield Reaktör Kütle Oranları*

Toplam Akış			
Sıcaklık	C	100	750
Basınç	bar	1	1
Buhar Kütle Oran			0.462
Sıvı Kütle Oran			0
Katı Kütle Oran			0.537
Kütle Entalpisi	MJ/kg	-5.155	1.469
Kütle Yoğunluğu	kg/cum	1302.793	0.270
Entalpi Akışı	kW	-26260.500	7482.954
Kütle Akışları	kg/hr	18336	18336
H ₂		0	0.062
O ₂		0	0.386
N ₂		0	0.008
CL ₂		0	0.004
Biyokütle		1	0
Kül		0	0.110
C		0	0.425
S		0	0.002
Hacim Akışı	m ³ /h	14.074	67784.570

Çizelge 4. 6. Aspen Plus Simülasyon Programı B1 Rstoic Reaktör Kütle Akışları

Toplam Akış		Hava	Girdi	Çıktı
Sıcaklık	C	25	750	600
Basınç	bar	1	1	1
Buhar Kütle Oran		1	0.519	0.917
Sıvı Kütle Oran		0	0	0
Katı Kütle Oran		0	0.480	0.082
Kütle Entalpisi	MJ/kg	0	1.662	-3.033
Kütle Yoğunluğu	kg/m ³	1.164	0.240	0.343
Entalpi Akışı	kW	-1.548	7534.874	-30605.800
Kütle Akışları	kg/hr	20000	16317.210	36317.210
H ₂	kg/hr	0	1146	679.485
CH ₄	kg/hr	0	0	540.067
C ₂ H ₄	kg/hr	0	0	0
C ₂ H ₆	kg/hr	0	0	0.005
CO	kg/hr	0	0	4477.741
CO ₂	kg/hr	0	0	9094.764
O ₂	kg/hr	4658.340	7092.365	0
N ₂	kg/hr	15341.660	146.688	15486.220
NH ₃	kg/hr	0	0	2.587
H ₂ S	kg/hr	0	0	44.824
CL ₂	kg/hr	0	89.846	0
HCL	kg/hr	0	0	92.400
H ₂ O	kg/hr	0	0	2905.510
Biyokütle	kg/hr	0	0	0
Kül	kg/hr	0	0	0
C	kg/hr	0	7800.134	2993.600
S	kg/hr	0	42.172	0

Çizelge 4. 7. Aspen Plus Simülasyon Programı B6 Rgibbs Reaktor Kütle Oranı

Toplam Akış		Hava	Girdi	Çıktı
Sıcaklık	C	25	750	600
Basınç	bar	1	1	1
Buhar Kütle Oran		1	0.519	0.917
Sıvı Kütle Oran		0	0	0
Katı Kütle Oran		0	0.480	0.082
Kütle Entalpisi	MJ/kg	0	1.662	-3.033
Kütle Yoğunluğu	kg/ m ³	1.164	0.240	0.343
Entalpi Akışı	kW	-1.548	7534.874	-30605.800
Kütle Akışları	kg/hr	20000	16317.210	36317.210
H ₂		0	0.070	0.018
CH ₄		0	0	0.014
C ₂ H ₄		0	0	0
C ₂ H ₆		0	0	0
CO		0	0	0.123
CO ₂		0	0	0.250
O ₂		0.232	0.434	0
N ₂		0.767	0.008	0.426
NH ₃		0	0	0
H ₂ S		0	0	0.001
CL ₂		0	0.005	0
HCL		0	0	0.002
H ₂ O		0	0	0.080
Biyokütle		0	0	0
Kül		0	0	0
C		0	0.478	0.082
S		0	0.002	0
Hacim Akışı	m ³ /h	17175.450	67783.990	105680.200

Çizelge görüldüğü üzere biyokütle gazlaştırılmasıyla elde edilen sentez gazı oranları belirtilmektedir. Biyokütle atık potansiyeline yüksek ve kaliteli olmasına bağlı olarak atıklar biyokütlenin gazlaştırılması işlemi ile değerlendirildiğinde yüksek miktarlarda sentez gazı üretimi yapılabilir. Sonuç ürünü içerisinde istenmeyen maddelerden ve katranlı bileşiklerden uygun işlemler sonrası ayrıştırılmasıyla elde sentez gazı kullanılarak yüksek miktarda enerjisi üretimi yapılabilir.

Ülkemizde zengin biyokütle atık potansiyellerinin bulunması ve atıl vaziyette bulunan maddeler sentezgaz üretimi için kaynak oluşturabilirse gelecekte umut vaat eden çalışmaları getirecektir. Biyokütle ile çalışan sisteme jeotermal, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları bir bütün olarak hibrit sistemler oluşturulması bağımsız enerji üretimi gerçekleştirilir.

4.2. İncelediğimiz Sistemin Bulguları

Güneş destekli güç üretim sisteminde ($Q_{Giriş}$) numaralı enerji akımı vasıtasıyla PTC alanından temin edilen güneş kaynaklı ısı enerjisi 190 MW'tır. Entegre edilen güç çevrimlerinde kondenserler vasıtasıyla dışarı atılan enerji miktarı ise toplamda 150 MW'tır. Bu durumda güneş destekli entegre güç sisteminde giren ısı enerjisi ($Q_{Giriş}$) 190 MW, net güç çıkışı ise 40 MW değerinde gerçekleşmektedir. Böylece sistemin enerji verimi %21,05 olarak hesaplanmıştır.

Güneş destekli güç santralinde ısı verim % 21,05 'dir. Bu durum evaporatörde mevcut olan enerjinin % 78.95 'unun kondenserlerde boşa harcanması anlamına gelmektedir. Bu sebeple kondenserler ile atılan ısı, kullanım suyu ya da ortam ısıtması gibi diğer uygulamalar için kullanılması sistem verimliliğinin artmasını sağlayacaktır. 190 MW'lık ısı girişi sabit tutulurken ortalama 6.79 saatlik güneşlenme süresi boyunca her gün 40 MW gücü üretecektir.

Ortalama $0,593 \text{ kW/m}^2$ radyasyon değerinde Eskişehir ilinde kurulacak parabolik güneş kolektör alanından 190 MWth ısı girişinin sağlanması için gereken PTC alanı, %80 kolektör verimi göz önünde bulundurulduğunda 400.505 m^2 olarak hesaplanmaktadır.

Güç çevrimlerinin en büyük özelliklerinden biri kesintisiz güç sağlamasıdır. Parabolik oluk kolektörlü güç çevrimi, günün belirli saatlerinde güneşten gelen enerji ile çalışması sebebiyle tüm gün kesintisiz güç sağlayamamaktadır. Yapılması planlanan sistemin yılın 330 günü tam verimlilikte çalıştığını düşünürsek yıllık 7,920 saatlik çalışma süresi elde etmekteyiz. Yaptığımız sistemin sürekli bir enerji çıkışı sağlamayı amaçlamaktadır. Eskişehir ili yılda 2479 saatlik güneşlenme süresine sahiptir. Güç eldesinin sürekliliği için yaklaşık olarak 5441 saat boyunca doğalgaz kaynaklı bir sistem kullanması düşünülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda güneşten yararlanılması ile % 31.30 oranında bir doğalgaz ya da yakıt tasarruf sağlanmıştır.

Modellediğimiz sistemin ısı enerji depolama sisteminin olmadığı düşünülürse doğalgaz kullanılarak çalıştırılması gereken saatin bilinmesi sonucunda yılda yaklaşık olarak 109,494,684 m³ doğalgaz miktarı gerekli olduğu bulunmuştur.

Yapılan sistemin yılın 330 gün sürekli olarak çalıştığı düşünülürse yaptığımız bulgulara göre ortalama olarak 5441 saat boyunca yakıt olarak doğalgaz kullanım saati karşımıza çıkmaktadır. Doğalgaz fiyatlarının günümüz dünyasında her geçen gün artışı göz önüne alındığında olabildiğince az kullanılması amaçlanmaktadır.

Çizelge 4. 8. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemden enerji çıkışları

Ekipman	Ekipman Tanımı	$\dot{W}_{\text{Elektrik}}$
B18	Buhar Türbini	1484 kW
B15	Buhar Türbini	1746 kW
B10	Gaz Türbini	6028 kW
	Toplam Elektrik Üretimi	9258 kW

Ekipman	Ekipman Tanımı	$\dot{Q}_{\text{Buhar}}$
B2	Seperatör	7225.1 kW
B18	Buhar Türbini	31372.3 kW
B15	Buhar Türbini	36908.6 kW
	Toplam Sıcak Buhar Üretimi	75505 kW

4.3. Tesis Maliyet Hesabı

Doğrudan ve dolaylı maliyetleri içeren diğer maliyetler tabloda görüldüğü gibi hesaplanır (Çizelge 4. 8).

Çizelge 4. 9. Biyokütle maliyet tablosu

Doğrudan maliyetler (DC)	\$ 21,328,513
Yatırım maliyeti	\$ 8,813,437
Elektrikli ekipman ve malzemeler	\$ 1,145,746
Borular	\$ 2,908,434
Satın alınan ekipmanın kurulumu	\$ 3,084,702
İnşaat, yapı ve mimari işler	\$ 1,850,821
Arazi	\$ 440,671
Servis olanakları	\$ 3,084,702
Dolaylı maliyet (IC)	\$ 8,840,668
İnşaat maliyetleri	\$ 3,199,277
Beklenmedik Durumlar	\$ 3,935,110
Mühendislik ve denetim	\$ 1,706,281
ZToplam Gazlaştırma	\$ 30,169,181
ZToplam Güneş Sistemi	\$ 204,116,278
ZToplam	\$ 234,285,459

175110648 (₺)/yıl = 10580703 (\$)/yıl gibi bir elektirk satışından gelirimiz olduğu görülmektedir.

Mühendislik uygulamalarında geri ödeme süresi (PP) yaptığımız bulgular ve hesaplar sonucunda yaklaşık olarak 22 – 23 yıllık bir geri ödeme süresi bulunmuştur.

Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde 3 farklı bölümden elektrik eldesi sağlanmaktadır. Bunlardan kısaca bahsederek incelenen sistemde bulunan gazlaştırma ekipmanından yüksek miktarda ısı içeren hammadde çıkışı bulunmaktadır. Mevcut ısının kullanılması ile sistem verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Yüksek ısı kullanılarak buhar türbinlerinden elektrik eldesi sağlanmaktadır. Gaşlaştırma sonuç ürününü mevcut ısısı kullanıldıktan sonra bir dizi işlemde geçirilerek gaz türbin ekipmanı ile yüksek miktarda elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Gaz türbin sisteminden çıkan materyalde yüksek miktarda ısı çıkışı olduğu görülmektedir. İkici bir buhar türbin sistemi ile bu ısıdan faydalanılarak elektrik eldesi sağlanmaktadır. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde toplamda 9258 kW bir elektrik enerjisi üretimi görülmektedir.

İncelediğimiz sistemde birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda su çıkışı bulunmaktadır. Sistemden çıkışı olan bu suların sistem içerisinde kullanılması ya da kojenerasyon sistemleri gibi farklı alanlarda kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde toplamda 75,505 kW değerinde sıcak su çıkışı olduğu görülmektedir.

İncelediğimiz sistemde kullanılan hammaddenin yapısal bileşenlerinin ve nem oranlarının bilinmesi ile alt ısı değeri bulunmuştur. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde kullanılacak hammaddenin ne kadar miktarda sisteme giriş yapılacağı ayarlana bilmektedir. Kullanılan miktar belirlenmesi ile toplamda sisteme 100000kW miktarında bir giriş gücümüz bulunmaktadır.

Çizelge 4. 10. *Biyokütle gazlastırma tesisi*

Q_{in}	100000 kW
$\dot{W}_{Elektirik}$	9258 kW
$\eta_{Elektirik}$	9.26%
$\dot{Q}_{Buhar}$	75505 kW
η_{Buhar}	75.5%
η_{Toplam}	85.76%

Oluşturulan sistemde farklı bölümlerden elektrik üretilmekte toplam elektrik üretimi ($\dot{W}_{Elektirik}$) ve birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda buhar ($\dot{Q}_{Buhar}$) çıkışı bulunmaktadır. Sisteme giren (Q_{in}) bilinmesiyle sistem içerisinde oluşan güç kayıp ($Q_{Kayıp}$) miktarının bulunmaktadır.

Sistem verimliliğinin bulunması için elde ettiğimiz elektrik verimliliği ($\eta_{Elektirik}$) ya da toplam verimliliğin (η_{Toplam}) bulunması gibi eldelerin sağlanması gerçekleştirilebilmektedir. Sisteminden elde edilen elektrik gücünün ($\dot{W}_{Elektirik}$) toplamı ile toplam elektrik üretimi bulunur ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin elektrik verimliliği ($\eta_{Elektirik}$): 9.26% bulunmaktadır.

Aynı şekilde incelediğimiz sistemde birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda buhar çıkışı bulunmaktadır. Toplam sistemden çıkışı bulunan yüksek ısı içeren buhar materyallerinin toplanması ile buhar çıkış gücü (Q_{Buhar}) sağlanmakta ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin ısı verimliliği ($\eta_{\text{Isı}}$): 75.5% bulunmaktadır.

Toplam verimliliğin bulunması için elektrik üretimi ($\dot{W}_{\text{Elektrik}}$) ve buhar çıkış gücü (Q_{Buhar}) toplanmakta ve belirlenmiş olan giriş gücü (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin toplam verimliliği (η_{Toplam}) : 85.76% bulunmaktadır.



5.SONUÇLAR

Güneş destekli güç üretim modeli sistemi konumlandırılmış ve yüksek kaliteli sentez gazı üretimi için birçok avantaja sahip olsa da, gelişimi hala erken bir aşamadadır. Geleneksel gazlaştırıcının aksine, Güneş destekli güç üretim modeli sistem sistemi henüz pilot ölçekte gösterilmemiştir. Güneş yoğunlaştırıcılar, alıcılar, HTF malzemeleri, gazlaştırıcılar, vb.'nin maliyetiyle ilgili olan sürecin verimliliğini kanıtlamada önemli zorluklar devam etmektedir. Güneş destekli güç üretim modeli sistem teşvike dayalı çevre politikaları gerektiren ve ekonomik açıdan maliyetli sistemlerdir. Güneş destekli güç üretim modeli sisteminin yaygın kullanımı için ne teknoloji oyuncusu ne de araştırma ve hükümet desteği, teknolojiyi başarılı bir şekilde ticarileştirme ve yayma yeteneğine sahip görünmemektedir.

Bu çalışma, teknolojinin iki ana birimini konsantre güneş enerjisi ve biyokütle gazlaştırması dikkate alarak sistem gelişimini gözden geçirilmiştir.

Bir sistem için parabolik oluk güneş kollektörü ve akışkan yataklı gazlaştırıcı tercih edilmiştir. Özellikle parabolik oluk güneş kollektörülü sistemler güneş destekli güç üretim modeli sistemlerinin üzerinde pozitif etkisi söz konusudur. Parabolik oluk güneş kollektöründeki enerji katkısı ile termal verimliliği ve enerji verimliliği artırabilir. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar için oksidasyon bölgesindeki gazlaştırma ürünlerinin sıcaklık profillerini doğru bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir.

Solar termokimyasal gazlaştırma, düşük emisyonlu sentetik yakıtların temiz üretimi için umut verici bir çözümdür. Çeşitli biyokütleleri ve atık hammaddeleri yükseltme imkanı sunar ve ayrıca güneş enerjisini yüksek değerli ve enerji yoğun kimyasal yakıtlara sürdürülebilir bir şekilde depolamak için verimli bir yol sağlar.

Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde gazlaştırma aşamalarından endotermik reaksiyonlar meydana gelmektedir. İncelenen sistemde reaktörün ihtiyaç duyduğu ısıyı güneş enerjisi ile sağlamak istenmektedir. Kurulması planlanan sistemin ısı ihtiyacının belirlenmesi için Aspen Plus benzetim programından aldığımız sonuçlar ve sistemin yapılacağı bölgenin güneş enerji potansiyelini belirlenmeli ve sistem büyüklüğü hesaplanmaktadır.

Güneş enerjisinin olmadığı yılın diğer saatleri için de yardımcı bir yakma sistemi ile doğalgaz yakılarak sürekliliği sağlamaktayız. Hibrit sistemimizde güneşin hiç olmadığı gece saatlerinde ya da güneşten gelen ısı enerjisi düşük olduğunda ısı yükünün sağlanması amacıyla doğalgaz yakıcı yardımcı bir ısıtıcı kullanılmıştır. Isı kaynağı olarak kullanılan güneş enerjisi ve doğalgazın kullanım oranlarının belirlenmesinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık verilmesi amaçlanmıştır.

İncelediğimiz sistemin ısı ihtiyacının tamamını doğalgazla karşılanması durumunda enerjide dışa bağımlılığımızın artması ve CO₂ emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda güneşten yararlanılması ile % 31.30 oranında bir doğalgaz ya da yakıt tasarruf sağlanmıştır.

Operasyonel hibrit güneş-biyokütle Termosolar Borges şu anda İspanya'nın Les Borges şehrinde faaliyet gösteren dünyadaki ilk ve tek hibrit güneş-biyokütle enerji santralidir. Termosolar Borges enerji santrali ile incelediğimiz çalışmada bulduğumuz sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde giriş gücümüz (Q_{in}): 100000 kW belirlenmesinden sonra sistem verimliliğinin bulunması için elde ettiğimiz elektrik verimliliği ya da toplam verimliliğin bulunması gibi eldelerin sağlanması gerçekleştirilebilmektedir. Aspen Plus benzetim programı ile oluşturulan sistemde 3 farklı bölümden elektrik eldesi sağlanmaktadır. Bu üç türbin sisteminden elde edilen elektrik gücünün toplamı ile toplam elektrik üretimi ($\dot{W}_{Elektirik}$): 9258 kW bulunur ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin elektrik verimliliği % 9.26 bulunmaktadır. Aynı şekilde incelediğimiz sistemde birçok yerden yüksek ısıya sahip büyük miktarda su çıkışı bulunmaktadır. Toplam sistemden çıkışı bulunan yüksek ısı içeren su materyallerinin toplanması ile su çıkış gücü (Q_{Buhar}): 75505 kW sağlanmakta ve sisteme giren (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin sıcak su verimliliği bulunmaktadır. Toplam verimliliğin bulunması için elektrik üretimi ($\dot{W}_{Elektirik}$) ve su çıkış gücü (Q_{Buhar}) toplanmakta ve belirlenmiş olan giriş gücü (Q_{in}) oranlanması ile incelediğimiz sistemin toplam verimliliği % 85.76 bulunmaktadır. İncelediğimiz çalışmada parabolik güneş kolektör alan boyutunun 400.505 m² olarak hesaplanmıştır. Mühendislik uygulamalarında geri ödeme süresi (PP) yaptığımız bulgular ve hesaplar sonucunda yaklaşık olarak 22 – 23 yıllık bir geri ödeme süresi bulunmuştur. Termosolar Borges enerji santrali ile yaptığımız kıyaslama sonucunda yaklaşık olarak aynı değere sahip olduğu görülmüştür.

Güneş destekli güç üretim modeli sistemini kapsamlı olarak yürütmek için, gazlaştırma süreci ve güneş enerjisi dönüşümünün ayrıntılı ve doğru çalışmaları, çok fazlı akışlar için belirli sayısal yöntemlerle birleştirilmiş olması gereklidir. Ekonomik olarak zorludur ve teşvike dayalı çevre politikaları gerektirir. Güneş destekli güç üretim modeli sistemin geleneksel gazlaştırma, HTF ve güneş kolektörü malzemelerine kıyasla pilot ölçekli konuşlandırılmasının tekno-ekonomik analizi hakkında, teknolojinin pratik ve yaygın kullanımı için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.



KAYNAKÇA

- A.Demirbas. (2006). Turkey's Renewable Energy Facilities in the Near Future. *Sources, Part A*, 28(6), 527-536, 2006a.
- A.Energiewende. (2019). Sandbag (2019) The European power sector in 2018: up-to-date 20 analysis on the electricity transition, London, Sandbag,. <https://www.agora-21energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2019>.
- Achkari, O., & El Fadar, A. (2020). Latest Developments on TES and CSP Technologies—Energy and Environmental Issues, Applications and Research Trends. *Appl. Therm. Eng.* 2020, 167, 114806.
- Agrafiotis C, v. S. (2014). Solar thermal reforming of methane feedstocks for hydrogen and syngas production—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014;29:656-82.
- Ahmed I, G. A. (2012). Sugarcane bagasse gasification: Global reaction mechanism of syngas evolution. *Applied Energy*. 2012;91:75-81.
- Akgül, G. (2017). BİYOKÖMÜR: ÜRETİMİ ve KULLANIM ALANLARI. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü 53100 Fener, RİZE*.
- Al Asfar, J. A. (2020). Thermodynamic analysis of a biomass-fired lab-scale power plant. *Energy*. 194:116843. doi:10.1016/j.energy.2019.116843.
- Alotaibi, S. F. (2020). Solar-assisted steam power plant retrofitted with regenerative system. *Energy Reports*. 6:124–33. doi:10.1016/j.egy.2019.12.019.
- Al-Sulaiman, F. A., Dincer, I., & Hamdullahpur, F. (2012). Energy and exergy analyses of a biomass trigeneration system using an organic Rankine cycle. *F.A. Al-Sulaiman et al. / Energy* 45 (2012) 975e985.
- Alvarez, J. L. (2016). Characterization of the Bio-Oil Obtained by Fast Pyrolysis of Sewage Sludge in a conical Spouted Bed Reactor. *Fuel Processing Technology*, Vol. 149, pp. 169–175.
- Argentiero, M., & Falcone, P. (2020). The Role of Earth Observation Satellites in Maximizing Renewable Energy Production. *Case Studies Analysis for Renewable Power Plants. Sustainability* 2020, 12, 2062.
- Arribas L, A. N.-F.-A. (2017). Solar-driven pyrolysis and gasification of low-grade carbonaceous 2 materials. *International journal of hydrogen energy*. 2017;42:13598-606.

- Avila-Marin A, F.-R. J.-T. (2019). Modelling strategies for porous structures as solar receivers in central receiver systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;111:15-33.
- Azadi, P. K. (2012). Hydrogen Production from Cellulose , Lignin , Bark and Model Carbohydrates in Supercritical Water Using Nickel and ruthenium Catalysts. *Applied Catalysis B, Environmental*, Vol. 117–118, pp. 330–338.
- Bai Z, L. Q. (2016). Thermodynamics evaluation of a solar-biomass power generation system integrated a two-stage gasifier. *Energy Procedia*. 2016;88:368-74.
- Bai Z, L. Q. (2019). Investigation of a solar-biomass gasification system with the production of methanol and electricity: Thermodynamic, economic and off-design operation. *Applied Energy*. 2019;243:91-101.
- Bai, Z. Q. (2017). Thermodynamic evaluation of a novel solar-biomass hybrid. *Energy Conversion and Management* 142:296–306. doi:10.1016/j.enconman.2017.03.028.
- Bardi, U. (2019). Peak oil, 20 years later: Failed prediction or useful insight. *Energy Research & Social Science*. doi:10.1016/j.erss.2018.09.022.
- Başçetinçelik A., C. K. (2005). . *Regional Distribution of Agricultural Biomass Potential in Turkey*. Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture & 27th International Conference of CIGR Section IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable ENERGY.
- Başçetinçelik A., H. Ö. (2007). *Türkiye’de Biyokütle Enerjisi Kullanımını Geliştirme Olanakları*. IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 23- 24 Kasım 2007, Kayseri, Bildiriler Kitabı: 101-110, ISBN No: 978-9944-89-410-4, MMO Yayın No: E/2007/452.
- Bascetincelik, A. H. (2003). *Exploitation of Agricultural Residues in Turkey*. LIFE-03.TCY/TR/000061.
- Behar, O. A.-K. (2014). A review of integrated solar combined cycle system (ISCCS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39:223–50. doi:10.1016/j.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., & Moran, M. (1996). Thermal Design and Optimization, . New York: JohnWiley&Sons,Inc.,1996.
- Bellos, E. a. (2018). nvestigation of a solar-biomass polygeneration system. *Energy Conversion and Management* 173:283–95. doi:10.1016/j.enconman.2018.07.093.

- Bellotti D, S. A. (2019). Techno-economic analysis for the integration of a power to fuel system with a CCS coal power plant. *Journal of CO₂ Utilization* 33 (2019) 262–272.
- Bellouard Q, A. S. (2017). Solar thermochemical gasification of wood biomass for syngas production in a high-temperature continuously-fed tubular reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017;42:13486-97.
- bepa.enerji. (2023). <https://bepa.enerji.gov.tr/> adresinden alındı
- Bloomberght. (2023). <https://www.bloomberght.com/2022-elektrik-toptan-satis-fiyati-aciklandi-2329190> adresinden alındı
- Boujjat H, J. G. (2020). Dynamic simulation and control of solar biomass gasification for hydrogen-rich syngas production during allothermal and hybrid solar/autothermal operation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020.
- Boujjat H, J. G. (2020). Dynamic simulation and control of solar biomass gasification for hydrogen-rich syngas production during allothermal and hybrid solar/autothermal operation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45:25827-37.
- Boujjat H, R. S. (2019). Numerical simulation of reactive gas-particle flow in a solar jet spouted bed reactor for continuous biomass gasification. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019;144:118572.
- Brendelberger S, R. A.-R. (2020). Performance 11 analysis of operational strategies for monolithic receiver-reactor arrays in solar 12 thermochemical hydrogen production plants. *International Journal of Hydrogen Energy*. 13 2020;45:26104-16.
- Brown PT, C. K. (2017). Greater future global warming inferred from Earth's recent 18 energy budget. *Nature*. 2017;552:45-50.
- Burulday, M. E. (2019). Biyokütle Kaynaklı Sentez Gazından Hidrojen Üretiminin Ve Entegre Bir Güç Üretim Sisteminin İncelenmesi. *Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Cabrera-Tobar, A. E.-M.-P.-B. (2016). Topologies for large scale photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 59:309–19. doi:10.1016/j.rser.2015.12.362.
- Cao Y, W. Y.-P. (2006). A novel biomass air gasification process for producing tar-free higher heating value fuel gas. *Fuel Processing Technology*. 2006;87:343-53.
- Cao, L. Y. (2015). Complementary Effects of Torrefaction and Co-Pelletization: Energy Consumption and Characteristics of Pellets. *Bioresource Technology*, Vol. 185, pp. 254–262.

- Cao, Q. J. (2009). Investigation into the characteristics of. *Fuel Processing Technology*, 90, 337-342.
- Cao, Y., Wang, Q., Du, J., & Chen, J. (2019). Oxygen-enriched air gasification of biomass materials for high-quality syngas production. *Energy Conversion and Management*. 2019;199:111628.
- Cavalcanti, E. (2017). Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67(2017)507–519.
- Cerone N, Z. F. (2020). Experimental investigation of syngas composition variation along updraft fixed bed gasifier. *Energy Conversion and Management*. 2020;221:113116.
- Chambon CL, K. T. (2020). Techno-economic assessment of biomass gasification-based mini-grids for productive energy applications: The case of rural India. *Renewable Energy*. 2020.
- Chen, D. Z. (2015). *Torrefaction of Biomass Stalk and Its Effect on the Yield and Quality of Pyrolysis Products*. Fuel, Vol. 159, pp. 27–32.
- Chuayboon S, A. S. (2018). Comprehensive performance assessment of a 17 continuous solar-driven biomass gasifier. *Fuel Processing Technology*. 2018;182:1-14.
- Chuayboon S, A. S. (2019). Insights into the influence of biomass feedstock type, particle size and feeding rate on thermochemical performances of a continuous solar gasification reactor. *Renewable Energy*. 2019;130:360-70.
- Coelho, B. A. (2015). Biomass and central receiver system (CRS) hybridization: Integration of syngas/biogas on the atmospheric air volumetric CRS heat recovery steam generator duct burner. *Renewable Energy*. 75:665–74. doi:10.1016/j.renene.2014.10.054.
- Coelho, B., & Oliveira, A. (2013). REELCOOP project: Research cooperation in renewable energy technologies for electricity generation. *SolarPACES* 2013:26–29.
- data.tuik. (2023). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Ta%C5%9F%C4%B1tlar%C4%B1-Aral%C4%B1k-2022-49436&dil=1> adresinden alındı
- Demirbas, A. (2008). Importance of Biomass Energy Sources for Turkey. *Energy Policy*, 36(2), 834-842, 2008.
- Development, W. B. (2008). *Managing end-of-life tires*. Cenevre, Dsviçre.
- Ecology, I. (2009). <https://www.in-eco.com/docs/SalesPamphletRev.3.0MTC.pdf>.

- Evangelisti L, V. R. (2019). Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;114:109318.
- Fang, Y., Paul, M. C., Varjani, S., Li, X., Park, Y.-K., & You, S. (2021). Concentrated solar thermochemical gasification of biomass: principles, applications, and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111484.
- Feng P, L. W. (2020). Characterization of solid residues from entrained flow gasification of coal bio-oil slurry. *Energy & Fuels*. 2020;34:5900-6.
- Fernández-García, A.Cantos-Soto, M., Röger, M., Wieckert, C., Hutter, C., & Martínez-Arcos, L. (2014). Durability of Solar Reflector Materials for Secondary Concentrators Used in CSP Systems. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2014, 130, 51–63.
- FİLİK, Ü. B., KURBAN, M., AYDIN, G., & HOCAOĞLU, F. O. (2006). Eskişehir’deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyel Analizi . *Anadolu üniversitesi* .
- Fletcher, E., & Moen, R. (1977). Hydrogen- and Oxygen from Water. *Science* 197, 197, 1050–1056.
- Gärtner, S. (2008). *Final Report on Technical Data, Costs and Life Cycle Inventories of Biomass CHP Plants*. IFEU, IER- RS 1a D13.2, New Energy Externalities Developments for Sustainability; Project no: 502687,.
- Gauché, P., Rudman, J., Mabaso, M., Landman, W., von Backström, T., & Brent, A. (2017). System Value and Progress of CSP. *Sol.Energy* 2017, 152, 106–139.
- Glaser, B. W. (2014). *Biochar Organic Fertilizers from Natural Resources as Substitute for Mineral Fertilizers*. *Agron. Sustain. Dev.* Vol. 35, pp. 667–678.
- Gnssolar. (2023). <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi> adresinden alındı
- Gokon, N., Ono, R., Hatamachi, T., Liuyun, L., Kim, H.-J., & Kodama, T. (2012). CO₂ Gasification of Coal Cokes Using Internally Circulating Fluidized Bed Reactor by Concentrated Xe-Light Irradiation for Solar Gasification. *Int. J. Hydrog. Energy* 2012, 37, 12128–12137.
- Gregg, D., Taylor, R., Campbell, J., Taylor, J., & Cotton, A. (1980). Solar Gasification of Coal, Activated Carbon, Coke and Coal and Biomass Mixtures. *Sol. Energy* 1980, 25, 353–364.
- GÜREL, B. (2020). Türkiye’deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin

Sektörel Açıdan Ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması. *Journal of Engineering Sciences and Design* DOI: 10.21923/jesd.671767.

- Haider, W. H. (2020). Estimates of Total Oil & Gas Reserves in The World, Future of Oil and Gas Companies and SMART Investments by E & P Companies in Renewable Energy Sources for Future Energy Needs. *International Petroleum Technology Conference. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia:International Petroleum Technology Conference*;, 16.
- Haldar KK, T. S. (2019). Noble copper-silver-gold trimetallic nanobowls: An efficient catalyst. *Journal of colloid and interface science*. 2019;556:140-6.
- Harats, Y., & Kearney, D. (1989). Advances in Parabolic Trough Technology in the SEGS Plants. *PAPER PRESENTED AT THE ASME Meeting, San Diego*.
- Hartl, M. S. (2012). Experimental and numerical investigations on a combined biomass-solar thermal system. *Energy Procedia*. 30:623–32. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.072.
- He Y-L, W. K.-C. (2019). Review of the solar flux distribution in concentrated solar power: non-uniform features, challenges, and solutions. *Applied Thermal Engineering*. 2019;149:448-74.
- Heidenreich, S. a. (2015). *New Concepts in Biomass Gasification*. *Prog. . Energy Combust. Sci*. 46. 72- 95.
- Hejazi B, G. J.-B. (2017). Kinetic model of steam gasification of biomass in a bubbling fluidized bed reactor. *Energy & Fuels*. 2017;31:1702-11.
- Helman, U. (2017). Economic and Reliability Benefits of Solar Plants. In *Renewable Energy Integration*, 2nd ed. Jones, L.E., Ed.; Academic Press: Boston, MA, USA, 2017; ISBN 978-0-12-809592-8.
- Hernández JJ, A.-A. G. (2010). Gasification of biomass wastes in an entrained flow gasifier: Effect of the particle size and the residence time. *Fuel Processing Technology*. 2010;91:681-92.
- Ho, K., Kim, J., Cho, T., Weon, J. (2012). *Influence of Pyrolysis Temperature on Physicochemical Properties of Biochar Obtained from the Fast Pyrolysis of Pitch Pine (Pinus rigida)*„ Bioresource Technology, Vol. 118, pp. 158–162.
- Hosseinpour, J., Chitsaz, A., Liu, L., & Gao, Y. (2020). Simulation of eco-friendly and affordable energy production via solid. *Renewable Energy* 145 (2020) 757-771.
- Hussain, C. M. (2017). Technological assessment of different solar-biomass systems for hybrid power generation in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 68:1115–29. doi:10.1016/j.rser.2016.08.016.

- IEA. (2019). World energy balances overview. <http://biblioteca.olade.org/opac-18tmpl/Documentos/cg00444.pdf>;
- Im-orb K, S. L. (2016). Analysis of synthesis gas production 4 with a flexible H₂/CO ratio from rice straw gasification. *Fuel*. 2016;164:361-73.
- IRENA. (2017). Renewable Energy Statistics. 2017. <https://www.irena.org/publications/2017/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2017>.
- Islam MT, H. N. (2018). A comprehensive review of state-of-the- art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;91:987-1018.
- Jang, H. M.-S.-O. (2016). Effect of Increased Load of High-strength Food Wastewater in Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Co-digestion of Waste Activated Sludge on Bacterial Community Structure. *Water Research*, Vol. 99, pp. 140–148.
- Jin H, W. C. (2020). Simulation Study on Hydrogen-Heating-Power Poly- Generation System based on Solar Driven Supercritical Water Biomass Gasification with Compressed Gas Products as an Energy Storage System. *Journal of Thermal Science*. 2020;29:365-77.
- Kambo, H. S. (2015). *A Comparative Review of Biochar and Hydrochar in Terms of Production , Physico-Chemical Properties and Applications*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, pp. 359–378.
- Kan, T. S. (2016). *Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: A Review of Product Properties and Effects of Pyrolysis Parameters*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 57, pp. 126–1140.
- Kar T, K. S. (2019). Hydrogen production from renewables: Biomass. *Journal of Engineering Research and Applied Science*. 2019;8:1279-85.
- Karaca, C. (2009.). *Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi*. . Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karim M, I. M. (2020). Performance of Graphite-Dispersed Li₂CO₃-K₂CO₃ Molten Salt Nanofluid for a Direct Absorption Solar Collector System. *Molecules*. 2020;25:375.
- Kibria M, S. P. (2020). Steady state kinetic model for entrained flow CO₂ gasification of biomass at high temperature. *Energy*. 2020;196:117073.
- Kiran, B. P. (2016). Statistical Optimization using Central Composite Design for Biomass and Lipid Productivity of Microalga: A Step Towards Enhanced Biodiesel Production. *Ecological Engineering*, Vol. 92, pp. 73–81.

- Kodama T, B. S. (2017). Particle reactors for solar thermochemical processes. *Solar Energy*. 2017;156:113-32.
- Kodama, T., Gokon, N., Enomoto, S., Itoh, S., & Hatamachi, T. (2010). Coal Coke Gasification in a Windowed Solar Chemical Reactor for Beam-Down Optics. *J. Sol. Energy Eng.* 2010, 132.
- Kodama, T., Kondoh, Y., Tamagawa, T., Funatoh, A., Shimizu, K.-I., & Kitayama, Y. (2002). Fluidized Bed Coal Gasification with CO₂ under Direct Irradiation with Concentrated Visible Light. *Energy Fuels* 2002, 16, 1264–1270. .
- Koopmans, A. a. (1997). *Agricultural and Forest Residue; Generation, Utulization and Availability*. . RWEDP; www.rwedp.org. pp: 21.
- Kruesi M, J. Z. (2013). Solar-driven steam-6 based gasification of sugarcane bagasse in a combined drop-tube and fixed-bed reactor–7 Thermodynamic, kinetic, and experimental analyses. *biomass and bioenergy*. 2013;52:173-83.
- Ku X, W. J. (2019). Effects of operating conditions and reactor structure on biomass entrained-flow gasification. *Renewable Energy*. 2019;139:781-95.
- Kumar, A. J. (2003). Biomass power cost and optimum plant size in western Canada. *Biomass & Bioenergy* 24:445–64. doi:10.1016/S0961-9534(02)00149-6.
- Kumar, A., Prakash, O., & Dube, A. (2017). A review on progress of concentrated solar power in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79:304–07. doi:10.1016/j.rser.2017.05.086.
- Kyari, M. C. (2005). Characterization of oils, gases and char in relation to the pyrolysis of different brands of scrap automotive tires. *Energy & Fuels*, 19, 1165-1173.
- Lehmann, J. J. (2009). *Biochar Environmental Management*. ISBN: 978-1-84407-658-1, Earthscan Yayincılık, 2. Bölüm, sayfa 18.
- Lei, O., Zhang, R.,. (2013). *Effects of Biochars Derived from Different Feedstocks and pyrolysis Temperatures on Soil Physical and Hydraulic Properties*. Journal of Soils and Sediments, Vol. 13(9), pp. 1561–1572.
- Letcher, T. (2020). Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet; Elsevier. Amsterdam, The Netherlands, 2020;ISBN 978-0-08-102887-2.
- Li X, S. Y. (2020). Hydrogen production of solar-driven steam gasification of sewage sludge in an indirectly irradiated fluidized-bed reactor. *Applied Energy*. 2020;261:114229.
- Liu M, T. N. (2016). Review on concentrating solar power plants and new developments in high temperature thermal energy storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;53:1411-32.

- Loutzenhiser PG, M. A. (2017). A review of the state-of-the-art in solar-driven 12 gasification processes with carbonaceous materials. *Solar Energy*. 2017;156:93-100.
- Lubkoll M, v. B. (2014). Survey on pressurized air receiver 10 development. *2nd Southern African Solar Energy Conference 2014*2014.
- M.Balat. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy Conversion and Management*. 2011;52:858-75.
- Mcbeath, A. V. (2015). *ScienceDirect Influence of Feedstock Properties and Pyrolysis Conditions on Biochar Carbon Stability as Determined by Hydrogen Pyrolysis*. Biomass and Bioenergy, Vol. 73, pp.155–173.
- MERT, M. S., YÜKSEL, F., & BURULDAY, M. E. (2019). Biyokütle Kaynaklı Sentez Gazından Hidrojen Üretimine Entegre Bir Güç Sisteminin Modellenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019, 12(2), 607-619 ISSN: 1307-9085, e-ISSN: 2149-4584.
- Milani, R. A. (2017). Hybridization of concentrated solar power with biomass gasification in Brazil's semiarid region. *Energy Conversion and Management* 143:522–37. doi:10.1016/j.enconman.2017.04.015.
- Minardi JE, C. H. (1975). Performance of a “black” liquid flat-plate solar collector. *Solar Energy*. 1975;17:179-83.
- Mohaghegh, M. (2018). Nanofluids Applications in Solar Energy Systems. *Journal of Solar Energy Research.*, 3:57–65.
- Mohaghegh, M. R., Mohammad Heidari, S. T., Dutta, A., & Mahmud, S. (2021). Latest advances on hybrid solar–biomass power plants. *Article in Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects · March 2021*.
- Moharramian A, S. S. (2019). Modified exergy and modified exergoeconomic analyses of a solar based biomass co-fired cycle with hydrogen production. *Energy*. 2019;167:715-29.
- Morrone, P. A. (2019). Hybridisation of biomass and concentrated solar power systems in transcritical organic Rankine cycles: A micro combined heat and power application. *Energy Conversion and Management* 180:757–68. doi:10.1016/j.enconman.2018.11.029.
- Müller, F., Poživil, P., Eyk, P., van Villarrazo, A., Haueter, P., Wieckert, C., . . . Steinfeld, A. (2017). A Pressurized High-Flux Solar Reactor for the Efficient Thermochemical Gasification of Carbonaceous Feedstock. *Fuel* 2017, 193, 432–443.

- Mutlu, N., Tolay, M., Karaca, C., & Öztürk, H. H. (2019). Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2019, 15 (2), 53-59.
- Naserian, M., Farahat, S., & Sarhaddi, F. (2016). Exergoeconomic multi objective optimization and sensitivity analysis of a regenerative Brayton cycle. *Energy Conversion and Management* 117 (2016) 95–105.
- Nixon, J. P. (2012). The feasibility of hybrid solar-biomass power plants in India. *Energy*. 46:541–54. doi:10.1016/j.energy.2012.07.058.
- Nixon, J., Dey, P., & Davies, P. (2012). The feasibility of hybrid solar-biomass power plants in India. *Energy*. 46:541–54. doi:10.1016/j.energy.2012.07.058.
- Nofal Mohamed; Abu-Elyazeed Osayed Sayed Mohamed. (2019). On Emissions and Limitations of using different Mixtures of RDF and Biomass as Alternative of Coal – Case Study: Cement Clinker Factory. *Helwan University, Mattaria Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, P.O. 11718 Masaken El-Helmiya, Cairo, Egypt*.
- Nofal, M., & Abu-Elyazeed, O. S. (2019). On Emissions and Limitations of using different Mixtures of RDF and Biomass as Alternative of Coal – Case Study: Cement Clinker Factory. *Helwan University, Mattaria Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, P.O. 11718 Masaken El-Helmiya, Cairo, Egypt*.
- Nofal, M., & Abu-Elyazeed, O. S. (2019). On Emissions and Limitations of using different Mixtures of RDF and Biomass as Alternative of Coal – Case Study: Cement Clinker Factory. *Helwan University, Mattaria Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, P.O. 11718 Masaken El-Helmiya, Cairo, Egypt*.
- Norgate, T. H. (2012). *Biomass as a Source of Renewable Carbon for Iron and Steelmaking*. ISIJ International, Vol. 52(8), pp. 1472–1481.
- Nusret MUTLU, M. T. (2019). Biyokütle Gazlaştırma Teknolojisindeki Gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2019, 15 (2), 53-59.
- Oliveira, A. (2019). Reelcoop - final publishable summary report. *University of Porto* 2019.
- Oliveira, A., & Coelho, B. (2013). REELCOOP project developing renewable energy technologies for electricity generation. *Hong Kong: 12th International Conference on Sustainable Energy Technologies* 2013.

- Özbektaş, S., Şenel, M. C., & Sungur, B. (2023). Dünyada Ve Türkiye’De Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina / Engineer and Machinery* 64, 711, 317-351, 2023.
- Pandey, K. (2017). Chaurasiya, R. A Review on Analysis and Development of Solar Flat Plate Collector. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 67, 641–650.
- Paracevirici. (2023). <https://paracevirici.com/doviz-arsiv/merkez-bankasi/gecmis-tarihli-doviz/2022/amerikan-dolari-adresinden-alindi>
- Parvez AM, W. T. (2019). Conventional and microwave-assisted pyrolysis of gumwood: A comparison study using thermodynamic evaluation and hydrogen production. *Fuel Processing Technology*. 2019;184:1-11.
- Pescheux, A.-C., Le Baron, E., & Raccurt, O. (2019). Characterization of Different Moroccan Sands to Explain Their Potential Negative Impacts on CSP Solar Mirrors. *Sol. Energy* 2019, 194, 959–968.
- Peterseim, J. H. (2014). Hybridisation optimization of concentrating solar thermal and biomass power generation facilities. *Solar Energy*. 99:203–14. doi:10.1016/j.solener.2013.10.041.
- Pharmacalculations. (2023). <https://www.pharmacalculations.com/2019/03/single-fluid-TCU-properties.html> adresinden alındı
- Piatkowski, N., Wieckert, C., & Steinfeld, A. (2009). Experimental Investigation of a Packed-Bed Solar Reactor for the Steam-Gasification of Carbonaceous Feedstocks. *Fuel Process. Technol.* 2009, 90, 360–366. .
- Pramanik S, R. R. (2017). A review of concentrated solar power hybrid technologies. *Applied Thermal Engineering*. 2017;127:602-37.
- Puig-Arnabat M, T. E. (2013). State of the art on reactor designs for 16 solar gasification of carbonaceous feedstock. *Solar Energy*. 2013;97:67-84.
- Puig-Arnabat, M., Tora, E., Bruno, J., & Coronas, A. (2013). State of the Art on Reactor Designs for Solar Gasification of Carbonaceous Feedstock. *Sol. Energy* 2013, 97, 67–84.
- Qiu Y, H. Y.-L.-C. (2017). A comprehensive model for analysis of real-time optical performance of a solar power tower with a multi-tube cavity receiver. *Applied Energy*. 2017;185:589-603.
- Quitete CP, S. M. (2017). Application of Brazilian dolomites and mixed oxides as catalysts in tar removal system. *Applied Catalysis A: General*. 2017;536:1-8.

- RADA, E. C., RAGAZZI, M., MASCHIO, R. d., ISCHIA, M., & PANAITESCU, V. N. (2012). Energy Recovery From Tyres Waste Through. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 74, Iss. 4, 2012.
- Ram M, M. M. (2019). Investigation on fuel gas production from pulp and paper waste water impregnated coconut husk in fluidized bed gasifier via humidified air and CO₂ gasification. *Energy*. 2019;178:522-9.
- Ren J, L. Y.-L.-Y.-P. (2020). Biomass thermochemical conversion: A review on tar elimination from biomass catalytic gasification. *Journal of the Energy Institute*. 2020;93:1083-98.
- REN21. (2019). Renewables 2019 Global Status Report. https://www.ren21.net/wp-20/content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf.
- Renewables. (2020). <https://www.ren21.net/gsr-2014>, <https://www.ren21.net/gsr-2019>.
- Reyes L, A. L.-C. (2021). Exergetic study of 19 beech wood gasification in fluidized bed reactor using CO₂ or steam as gasification agents. *Fuel Processing Technology*. 2021;213:106664.
- Richardson Y, B. J. (2012). A short overview on purification and conditioning of syngas produced by biomass gasification: catalytic strategies, process intensification and new concepts. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012;38:765-81.
- Roy, C. P. (2004). Oil and carbon black by pyrolysis of used tires, in Sustainable Waste Management and Recycling: Used/Post-Consumer Tyres, pp. 17-33, Eds. Limbachiya, M., C. & Robert, J., J.
- Roya D, S. G. (2020). Performance optimization through response surface methodology of an integrated biomass gasification based combined heat and power plant employing solid oxide fuel cell and externally fired gas turbine. *Energy Conversion and Management* 222 (2020) 113182.
- Ruiz JA, J. M. (2013). Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013;18:174-83.
- Safarian S, U. R. (2019). A review of biomass gasification modelling. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;110:378-91.
- Salem AM, Z. I. (2019). The evolution and formation of tar species in a downdraft gasifier: Numerical modelling and experimental validation. *Biomass and Bioenergy*. 2019;130:105377.

- Sanaye, S., & Hajabdollahi, H. (2010). Thermal-economic multi-objective optimization of plate fin heat exchanger using genetic algorithm. *Applied Energy* 87 (2010) 1893–1902.
- Sepe AM, L. J. (2016). Assessing biomass steam gasification technologies using a multi-purpose model. *Energy Conversion and Management*. 2016;129:216-26.
- Simell P, K. E. (1996). Catalytic hot gas cleaning of gasification gas. *Catalysis Today*. 1996;27:55-62.
- Simonetti M, R. F. (2020). Numerical investigation of direct absorption solar collectors (DASC), based on carbon-nanohorn nanofluids, for low temperature applications. *Solar Energy*. 2020;195:166-75.
- Sindhu, R. B. (2016). "A novel Sono-assisted Acid Pretreatment of Chili Post Harvest Residue for Bioethanol Production. *Bioresource Technology*, Vol. 213, pp. 58–63.
- Siwal SS, Z. Q. (2019). Energy Production from Steam Gasification Processes and Parameters that Contemplate in Biomass Gasifier-A review. *Bioresource Technology*. 2019:122481.
- Soares, J., & Oliveira., A. C. (2017). Numerical simulation of a hybrid concentrated solar power/biomass mini power plant. *Applied Thermal Engineering* 111:1378–86. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.06.180.
- Stéphane Abanades, S. R. (2021). Solar Thermochemical Green Fuels Production: A Review of Biomass Pyro-Gasification, Solar Reactor Concepts and Modelling Methods. *Energies* 2021, 14, 1494. <https://doi.org/10.3390/en14051494>.
- Suárez-Almeida M, G.-B. A. (2020). Solar gasification of biomass in a dual fluidized bed. *Chemical Engineering Journal*. 2020:126665.
- Sun J, Z. Z. (2020). Comprehensive Review of Line-Focus Concentrating Solar Thermal Technologies: Parabolic Trough Collector (PTC) vs Linear Fresnel Reflector (LFR). *Journal of Thermal Science*. 2020:1-28.
- Suresh, N. N. (2019). Modeling of Solar and Biomass Hybrid Power Generation—a Techno- Economic Case Study. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. 3:101–14. doi:10.1007/s41660-018- 0069-7.
- SustainableDevelopment, W. B. (2008). *Managing endof*. Cenevre, Đsviçre.
- Taşar, Ş., Kaya, F., & Özer, A. (2015). Yerfistiğı Kabuğunun Farklı İzotermal Şartlarda Pirolizi Ve Kinetik Parametrelerin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 21(7), 306-313, 2015.

- Taylor, R. W., Berjoan, R., & Coutures, J. P. (1983). Solar Gasification of Carbonaceous Materials. *Sol. Energy* 1983, 30, 513–525.
- Taylor, R. W., Berjoan, R., & Coutures, J. P. (1983). Solar Gasification of Carbonaceous Materials. *Sol. Energy* 1983, 30, 513–525.
- Tian, M., Su, Y., Zheng, H., Pei, G., Li, G., & Riffat, S. (2018). A Review on the Recent Research Progress in the Compound Parabolic Concentrator (CPC) for Solar Energy Applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 1272–1296.
- Toklu, E. (2017). Biomass Energy Potential and Utilization in Turkey. *Renewable Energy*, 107, ss.235-244.
- Tolay, Baileys, R., & Waterschoot, A. (2010). *Drying and Gasification Technologies for Industrial Wastewater Sludge*. 12th Industrial Pollution Control Symposium, EKK 2010, June 16-18 2010, ITU, Istanbul-Turkey.
- Tolay, M. (2007). *An Agricultural and Forest Waste's Recycling Methods: Gasification of Solid Waste*. . Recycling Magazine, Issue 3, July 2007, Istanbul.
- Tolay, M. (2008). *Gasification Technology for Contaminated Wastes*. Recycling Magazine, Issue 4, July 2008, Istanbul.
- Tomlinson, G., D. Gray, and M. Berger. (1996). *Produced by MITRE Corporation for National Renew.Energ.* Laboratory, USA, under contract number AL-4159.
- Trieb, F. C.-K. (2009). Global Potential of Concentrating Solar Power. *In Proceedings of the SolarPACES Conference Berlin, Germany*,.
- ÜÇGÜL, İ., ARSLAN, Ö., ELİBÜYÜK, U., & EMEN, Y. (2019). Parabolik Oluk Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Isparta Organize Sanayi Bölgesinde Kullanımı. *Üçgül,İ., vd., "Parabolik Oluk Yoğunlaştırıcı Sistemlerin Isparta Organize Sanayi Bölgesinde Kullanımı", Yekarum e-Dergi, 2019.*
- Ufuk Kayahan, S. G. (2009). Enerji Enstitüsünde Kurulu 450 Kwth Kapasiteli Akışkan Yatak Gazlaştırma/Yakma Sistemi Ve İlk Sonuçlar. *Soma Havzası Linyit Rezervlerinin Enerjide Kullanım Semineri*.
- Van Eyk PJ, A. P. (2016). Effect of high-flux solar irradiation on the gasification of coal in a hybrid entrained-flow reactor. *Energy & Fuels*. 2016;30:5138-47.
- Voegelé, E. (2013). *A biomass-solar hybrid plant begins operations in Spain*,. <http://www.biomassmagazine.com/articles/8546/a-biomass-solar-hybrid-plant-begins-operations-in-spain>. adresinden alındı
- Wan Z, Y. S. (2020). CFD modeling of the flow dynamics and gasification in the combustor and gasifier of a dual fluidized bed pilot plant. *Energy*. 2020:117366.

- Wang J, M. C. (2019). Thermodynamic analysis of a combined cooling, heating and power system based on solar thermal biomass gasification. *Applied Energy*. 2019;247:102-15.
- Wegener, M. A. (2018). Biomass-fired combined cooling, heating and power for small scale applications—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 96:392–410. doi:10.1016/j.rser.2018.07.044.
- Weinstein, L., Loomis, J., Bhatia, B., Bierman, D., Wang, E., & Chen, G. (2015). Concentrating Solar Power. *Chem. Rev.* 2015, 115,12797–12838.
- Widjaya ER, C. G. (2018). Gasification of non-woody biomass: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;89:184-93.
- Woolcock, P.J. and R.C. Brown. (2013). *A Review of Cleaning Technologies for Biomass-Derived Syngas*. Biomass Bioenergy. 52. 54-84.
- Wu H, L. Q. (2020). Thermodynamics analysis of a novel steam/air biomass gasification combined cooling, heating and power system with solar energy. *Applied Thermal Engineering*. 2020;164:114494.
- Wu J, W. J. (2019). Distributed Biomass Gasification Power generation system Based on 15 Concentrated Solar Radiation. *Energy Procedia*. 2019;158:204-9.
- Wu R, G. Y. (2017). Trends of natural resource footprints in the BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142:775-82.
- Xie, T. R. (2014). *Characteristics and Applications of Biochar for Environmental Remediation: A Review*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, pp.. 45, 939–969.
- Yadav, D., & Banerjee, R. (2016). A Review of Solar Thermochemical Processes. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 54, 497–532.
- Yank A, N. M. (2016). Physical properties of rice husk and bran briquettes under low pressure densification for rural applications. *Biomass and Bioenergy*. 2016;84:22-30.
- Yogev, A., Kribus, A., Epstein, M., & Kogan, A. (1998). Solar “Tower Reflector” Systems: A New Approach for High-Temperature Solar Plants. *Int. J. Hydrog. Energy* 1998, 23, 239–245.
- Z’Graggen, A., Haueter, P., Trommer, D., Romero, M., de Jesus, J., & Steinfeld, A. (2006). Hydrogen Production by Steam-Gasification of Petroleum Coke Using Concentrated Solar Power—II Reactor Design, Testing, and Modeling. *Int. J. Hydrog. Energy* 2006, 31,797–811.

- Zang G, J. J. (2019). Modeling and economic analysis of waste tire gasification in fluidized and fixed bed gasifiers. *Waste Management*. 2019;89:201-11.
- Zarza, E. M. (2006). INDITEP: The first pre-commercial DSG solar power plant. *Solar Energy*. 80:1270–76. doi:10.1016/j.solener.2005.04.019.
- Zellagui, S. S.-M. (2016). *Pyrolysis of Coal and Woody Biomass under N2 and CO2 Atmospheres using a Drop Tube Furnace - Experimental Study and Kinetic Modeling*. Fuel Processing Technology, Vol. 148, pp. 99–109.
- Zeng K, G. D.-H. (2017). Characterization of solar fuels obtained from beech wood solar pyrolysis. *Fuel*. 2017;188:285-93.
- Zhao M, R. A. (2019). Iso-conversional kinetics of low-lipid micro-algae gasification by air. *Journal of Cleaner Production*. 2019;207:618-29.
- Zhu H-H, W. K.-L. (2017). Thermodynamic analysis and comparison for different direct-heated supercritical CO2 Brayton cycles integrated into a solar thermal power tower system. *Energy*. 2017;140:144-57.
- http-1. (2023). *International Energy Outlook2019 with projections to 2050*. Washington DC: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.
- http-2. (2023). Washington DC: International Energy Outlook (IEO2020). <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.
- http-3. (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik#:~:text=2023%20y%C4%B1l%C4%B1%20Kas%C4%B1m%20ay%C4%B1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20kurulu%20g%C3%BCc%C3%BCm%C3%BCz%C3%BCn%20kaynaklara%20g%C3%B6re,s%C4%B1%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklindedir. adresinden alındı>
- http-4. (2023). *Suvecevre*. https://www.suvecevre.com/yayin/525/yakma-yerine-neden-gazlastirma-_15603.html adresinden alındı
- http-5. (2023). [.e-education.psu.edu](https://www.e-education.psu.edu). <https://www.e-education.psu.edu/png520/resources/11.html> adresinden alındı
- http-6. (2023). *aspen-plus*. <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-plus> adresinden alındı
- http-7. (2023). *chemicalengineeringguy*. <https://www.chemicalengineeringguy.com/the-blog/process-simulation/what-is-aspen-plus/> adresinden alındı
- http-8. (2023). *esgaz*. <https://www.esgaz.com.tr/content-detail/dogal-gaz-satis-fiyatlari> adresinden alındı

- http-9. (2023). *portal.enerya.com.tr*.
<https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=07>
adresinden alındı
- http-10. (2023). *enerji.gov.tr*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
adresinden alındı
- http-11. (2023). <https://www.tesisat.org/biyo-gazlastirma-ve-surdurulebilir-gelecek.html>
adresinden alındı
- http-12. (2023). <https://www.tesisat.org/csp-teknolojisi-nedir-yogunlastirilmis-fotovoltailer.html>
adresinden alındı



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0000-0356-7887

Ad Soyad : Enes ÇELİK

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim :

- 2019, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

