

YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE ÇEŞİTLİ ISIL İŞLEM YÖNTEMLERİ

¹Cevdet DEMİRTAŞ, ²Ali Kemal ÖZCAN

¹Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, e mail: demirtas@ktu.edu.tr, Tel: 0533 248 66 16, Faks: 0462 325 31 85

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Teknolojileri Anabilim Dalı Doktora Öğrencisi, Makina Mühendisliği, 61080 Trabzon, e mail: ozcants61@gmail.com, Tel: 0534 275 37 85

YOĞUNLAŞTIRILMIŞ GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE ÇEŞİTLİ ISIL İŞLEM YÖNTEMLERİ

ÖZET

Güneş enerjisi bilinen en eski enerji kaynaklarından biridir. Odaklayıcı güneş enerjili sistemler ile yüksek sıcaklıklara çıkılabildiği nedeniyle birçok ısıl işlem yapılmaktadır. Bu bağlamda; bu çalışmada yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanılarak deneysel biokütle ve ısıl uygulamalara yer verildi. Elde edilen ısı ile karbon (C) içerikli organik atıkların (fındıkkabuğu) gazlaştırılması sağlanabilir. Tasarlanan bir güneş enerjili gazlaştırma fırını sisteme montajı yapılır. Deneysel veriler sonucu yaklaşık 1.5m parabolik çanak tipi toplayıcı ile odak noktasında 500 °C sıcaklık elde edilebilir. Bu sıcaklıklar piroliz için yeterlidir ancak gazlaştırma için yeterli olmadığından 2m'lik toplayıcı ile yeterli yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Odaktaki alıcıda 1000 °C'yi aşan sıcaklık sayesinde gazlaştırma gerçekleştirilebilir. Potadan çıkan gaz direkt yakılarak test edilebilir. Bu deneyde güneş enerjisinden elde edilen gazlaştırma ısıl verimi %17.7'dir. Ayrıca benzer bir uygulama olarak ergitme işlemleri için çift yansıtımlı güneş enerjili bir fırın tasarlandı. Bu güneş fırını açık bir ergitme potası şeklinde tasarlandı. Güneş ışınlarının direkt numune üzerine yoğunlaştırılması ile sıcaklık ölçümleri alınır. İki yansıma sonucu yaklaşık 1.5m parabolik çanak merkezindeki (ikinci odak noktası) fırında yaklaşık 300 °C sıcaklığa ulaşılabilir. Çift yansıtımlı güneş enerjili sistemin en büyük avantajı ısıl işlemlerin daha kolay ve tehlikesiz bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Son olarak güneş fırınında gelen ışınların daha fazla yutulması veya yakalanması için kapalı bir pota üzerindeki çalışmalar da mevcuttur. Böylece ergitme ve gaz yakıtı üretimi için enerji ihtiyacı bu yöntemlerle sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, toplayıcılar, gazlaştırma, yüksek sıcaklık

ABSTRACT

Solar energy is one of the oldest known sources of energy. Because of the high temperatures can be reached with focusing solar energy systems, thermal processes are performed. In this context; in this study, experimental biomass and thermal applications using concentrated solar energy are included. Thanks to the heat obtained, carbon (C) containing organic waste (hazelnut shell) is gasified. A designed solar gasification furnace is installed in the system. As a result of the experimental data, the temperature of 500 °C is obtained at the focal point with approximately 1.5m parabolic dish type collector. Since these temperatures are sufficient for pyrolysis but not sufficient for gasification, another experiment is carried out with a 2m collector. Gasification is performed in the receiver at the focus thanks to temperatures exceeding 1000 °C. The gas from the crucible can be directly tested by burning. In this experiment, the thermal efficiency of gasification obtained from solar energy is 17.7%. In a similar application, a double reflection solar furnace is designed for melting operations. This solar furnace is firstly designed as an open melting pot. Temperature measurements are taken by reflecting the concentrated rays directly onto the sample. As a result of two reflections, temperatures of approximately 300 °C can be achieved in the furnace (second focal point) at the center of the parabolic dish of about 1.5 m. The biggest advantage of the double-reflecting solar system is that the heat treatment is easier and safer. Finally, there are also studies on a closed crucible for further ingestion or capture of the incoming rays in the solar oven. Thus, energy needs for melting and fuel gas production can be provided with by these methods.

Keywords: Solar energy, collectors, gasification, high temperature

GİRİŞ VE AMAÇ

Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi her geçen gün artmaktadır. Gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle enerji üretiminde önemli bir paya sahip olacağı aşikârdır. Diğer taraftan konvansiyonel enerji kaynaklarının (kömür, petrol ve türevleri, vb.) yoğun olarak kullanımı sonucu sera gazlarındaki artış ile özellikle iklimsel değişimlere ve çevresel tahribatlara neden olduğu bilinmektedir. Yaşamımızı etkileyen bu çevre sorunlarının çözümü için konvansiyonel enerji kaynaklarından kademeli olarak uzaklaşarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir.

Güneş enerjisini kullanarak ısıl enerji üretilerek birçok endüstriyel işlem yapmak mümkündür. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin yurtiçinde üretilmesi fotovoltaik sisteme göre daha kolaydır çünkü ağırlıklı olarak mekanik parçalardan oluşmaktadır. Bu avantajlarına rağmen, yoğunlaştırılmış güneş enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili yatırım talebi yoktur [1,2]. Bu çalışma, daha çok yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ile deneysel çalışmalar üzerine odaklanmıştır. Özellikle sanayinin ihtiyacı olan gaz üretimi ve bazı metallerin eritilmesi için alternatif yöntemler sunulmuştur.

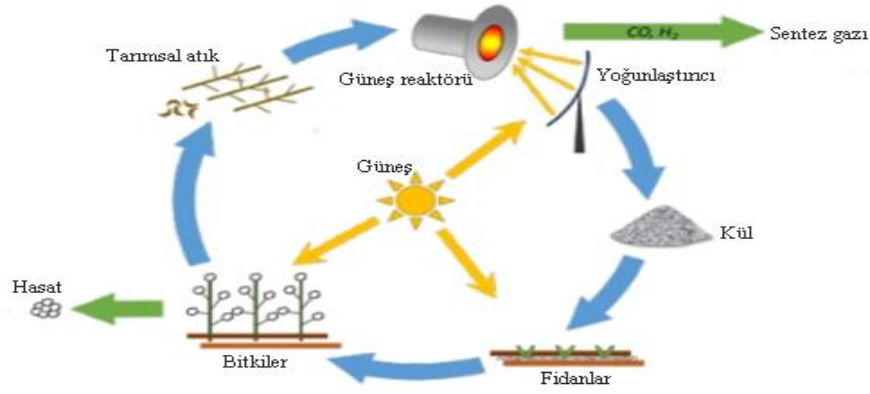
Katı yakıtların temelinde karbon, oksijen ve hidrojen kompozisyonları yer almaktadır. Gazlaştırıcılar, bu biyokütleyi yüksek ısı altında yakmaktadır. Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 °C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalorifik değeri 20 MJ/m³'e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 °C'a kadar çıktığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H₂ üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gazlaştırma işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmez. Gazlaştırmada önemli olan biyokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Nem oranı arttıkça gazın kalorifik değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO₂ miktarı da artmaktadır. Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri 4.5-6 MJ/m³ olan gaz üretilir. Biokütleden gazlaştırma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılarak veya Stirling motorlarda %20-30 verimlilikte elektrik üretimi için kullanılabilir. Basınçlı gazlaştırma türbinlerinde ise %40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilir [3,4].

Gazlaştırıcıların tasarımında en önemli kısım yakıt kolonuna verilecek havanın gönderiliş biçimi ve yeridir. Buna göre de gazlaştırıcıların en önemlileri yukarı akışlı (Updraft), aşağı akışlı (Downdraft) ve çapraz akışlı (Crossdraft) gazlaştırıcılar olarak sınıflandırılabilir [5]. Ek olarak sürüklenen akışlı, köpüren akış yataklı, dolaşan akışkan yataklı, plazma, çift yatak akışlı gazlaştırıcılar da mevcuttur [6]. Bunlara alternatif olarak mevcut yoğunlaştırılmış güneş enerjili gazlaştırıcı da yukarı akışlı gazlaştırıcının benzeridir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kullanılarak organik atıklardan ısıl enerji veya gaz oluşumu gerçekleştirilebilir.

Sentez gazı, örneğin bir yanmada enerji üretimi için yakıt olarak kullanılabilir. H₂ veya sıvı hidrokarbon yakıtlar enerji üretim alanlarında ve çimento fırınlarında vb. kullanılmaktadır. **Şekil 1**'de bir biokütlenin güneş enerjili gazlaştırılması ve şematik döngüsü verilmektedir.

Geleneksel yapılan bir işleme kıyasla güneş enerjisine dayalı sürecin avantajları şunlardır [7]:

- 1- Birim hammaddeden yüksek sentez gazı çıkışı,
- 2- Yan ürünlerin yanması ile sentez gazı kirliliğinden kaçınma,
- 3- Yüksek gazlaştırma sıcaklığı sayesinde yüksek kaliteli sentez gazı üretimi,
- 4- Akışın yukarı doğru olması sayesinde havanın ayrılabilmesi.



Şekil 1. Güneş enerjili bir biokütle gazlaştırılması ve şematik döngüsü [7]

Bir karbonlu hammaddenin etkin gazlaştırma işlemi, tercihen 1000 °C üzerinde sıcaklıklarda elde edilir. Bu tür sıcaklıklara ulaşmak için, yoğunlaştırıcı optik araçlar ve oyuk tipi gazlaştırma reaktör açıklığına sahip yüksek güneş radyasyon akısı ile sağlanır. Net reaksiyon aşağıdaki gibi elde edilebilir [7];



Buhar girişi reaktörün alt kısmında bulunan açıklıktan yapılmaktadır. Reaktörün içerisinde oluşan termal reaksiyon sonucu Karbon monoksit (CO) ve Hidrojen (H₂) gazları oluşmaktadır. Kısaca özellikle karbon ve su buharının yüksek sıcaklıktaki reaksiyonu sonucu sentez gazları oluşmaktadır. Benzer bir çalışmada hammadde türü ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan sentez gazları ise yaklaşık olarak %70 N₂, %20 CO, %4 H₂, %3CH₄, %2 CO₂ şeklindedir [8].

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi benzer uygulamalarından olan iki kez yoğunlaştırma yaparak çanak tipi sistemlerde ısı depolamak için küçük ölçekli bir fırında materyal ergitme işleminde 2,5 saatte yaklaşık 260 °C sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu yoğunlaştırıcının açıklık çapı 1.2m ve 0.185m derinliğinde, ikinci yansıtıcı açıklığı ise 0.3048m çapında ve 0.0762m derinliğine sahiptir [9]. Küresel lambalarla yapılan ısı depolama işlemleri, ışınlar iki aşamalı bir çanak yoğunlaştırıcısının merkezine yerleştirilen spiral bir alıcıya odaklanarak yapılmıştır. Bu benzeşim işlemi sonucunda 150 kW/m² ısı akısı ile katı parçacıklar üzerinde 1100 °C' ye ulaşılar [10].

1.1. Materyal ve Yöntemler

Isıl işlemler için yoğunlaştırılmış güneş enerjisinden yararlanarak bir deney düzeneği oluşturuldu. Güneş ışığının yoğunlaştırılmasında parabolik çanak kolektörler kullanıldı. Kullanılmayan çanak antenler (1.5m ve 2m açıklık çapında) temin edilerek parabolik yüzey kontrolü yapıldı ve toplayıcının yüzeyi eğim hatalarını azaltmak için yüzey pürüzlülüğü azaltıldı. Temizlenen yüzeye güneş ışığını yansıtmak için folyolar yapıştırıldı. Folyonun yüksek yansıtma oranına sahip olması önemlidir. Bu çalışmada kullanılan Krom-Nikelaj folyo yaklaşık olarak % 90 yansıtma oranına sahiptir. **Tablo 1**'de deneyleri yapılan sistemin genel özellikleri verilmektedir. Yoğunlaştırıcıların odağına tasarlanan ilgili pota (gazlaştırıcı vb.) montajlanır. İki yansıtıcı yoğunlaştırıcılarda ısı enerjisi elde etmek için, parabolik çanağın odak noktasına yakın noktalara aynı düşey ekseninde tümsek veya çukur ayna yerleştirilir. Tümsek aynanın konumu odak noktası ile parabolik çanak arasında olmalıdır. Işınların parabolik çanağın ortasında toplanması için ise çukur aynalar odak noktasının arkasına yerleştirilmelidir.

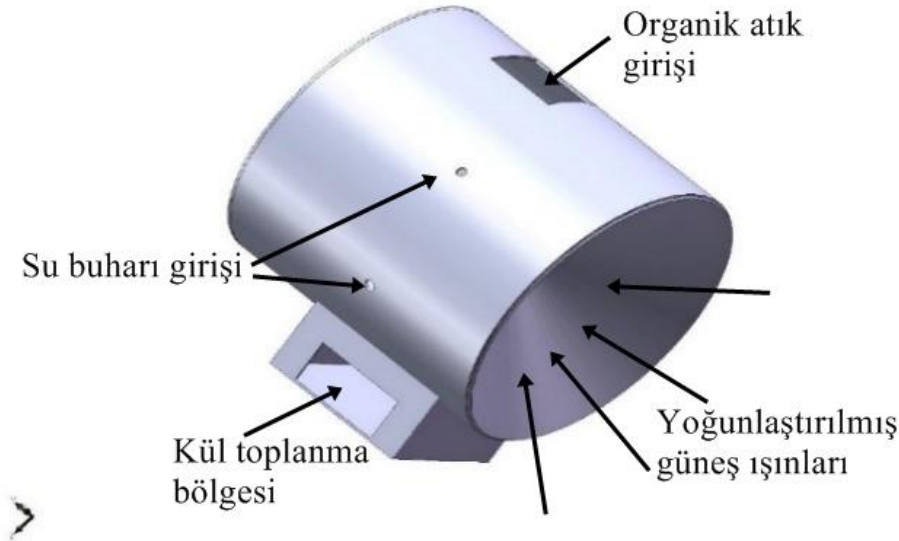
Tablo 1. Güneş enerjili toplayıcı sistemin genel özellikleri

Özellikler	Sembol	Değer
Parabolik çanak açıklığının çapı	D	1.42 m
Parabolik çanak açıklık alanı	A_p	1.58 m ²
Parabolün derinliği	h	0.22 m
Parabolün odak uzaklığı	f	0.57 m
Yoğunlaştırma oranı	C_R	558.8

1.2. Gazlaştırıcı Sistemin Tasarımı ve Seçim Kriteri

Hareketli parabolik çanaklı yoğunlaştırıcı sistemin oluşturulmasından sonra gazlaştırma işleminin yapılacağı bir pota tasarımı yapıldı. Gazlaştırmanın düşük oksijen ortamında olması için pota(reaktör) kapalı olarak imal edildi. Odak noktasına yerleştirilecek potanın güneş ışınlarını yutacak şekilde optimize edilmesi gerekir.

Güneş ışınları parabolik çanak yüzeyinden yansdıktan sonra odak noktasında toplanırlar. Güneş ışınlarının odakta emilmesi için öncelikle iletim yolu kullanıldı. Potanın imalinde özellikle güneş ışınımı yutma oranı yüksek ve yayıcı katsayısı düşük olan metaller tercih edildi. Dolayısıyla güneş ışınlarının yoğunlaştığı kısım ve çevresi, demir çelik sacdan imal edildi. **Şekil 2'**de tasarımı yapılan gazlaştırıcının solidworks ile çizilen katı resim gösterilmektedir. Mevcut gazlaştırıcılar içinde özellikle güneş enerjili gazlaştırıcı sistemin seçilmesinde yenilenebilir olması, çevreci olması ve ilk kurulumu dışında maliyetsiz oluşu tercih sebebidir.



Şekil 2. Tasarlanan güneş enerjili gazlaştırıcı potanın katı modeli

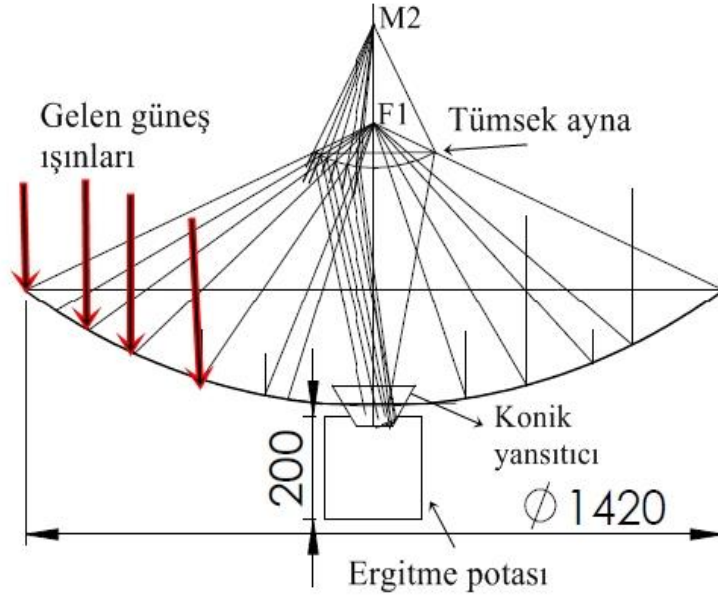
1.3. Ergitme Potalı Güneş Enerjili Sistemin Tasarımı

Öncelikle iki eksenli (güneş takipli) ve iki aşamalı yoğunlaştırıcı tasarlandı. Parabolik çanak tipi yoğunlaştırıcının odağının önüne tümsek ayna yerleştirilerek ışınlar ikinci kez yansıtıldı. İki aşamalı güneş enerjisi eritme potası tasarımında hareketli bir fırın düşünülerek ısı işlem bölgesi, eritme bölgesi ve çıkış yeri belirlendi. Silindirik bir pota seçilirken dikkat edilen önemli bir nokta ise güneş ışınlarının fırının içerisine tamamen girmesi ve eşit dağılmasıdır. Fırın üzerine gelen ışınların toplanması için ayrıca üçüncü bir

yoğunlaştırıcı da tasarlandı. Bu konik yoğunlaştırıcı fırının önüne yerleştirildi. Yoğunlaştırma oranları ise aşağıdaki denklem (1) ile hesaplandı.

$$C_R = \frac{A_{toplayıcı}}{A_{alıcı}} \quad (1)$$

Şekil 3'te iki aşamalı yoğunlaştırıcı güneş fırınının çizimi verilmektedir. Buna göre F1 odak noktasına doğru gelen ışınlar tümsek aynadan yansırarak fırına odaklanır. M2 tümsek ayna merkezinden çizilen doğrular gelen ışınların normalidir.



Şekil 3. Ergitme potalı parabolik çanaklı düzeneğinin şematik gösterimi

1.4. Hesaplamalar

Güneş enerjisiyle biokütlenin gazlaştırılmasında enerji dengesi ve verim hesapları yapıldı. Tasarlanan potayı bir sistem olarak kabul edersek; mükemmel yalıtımlı potada enerji dengesi, sisteme giren enerjinin sistemden çıkan enerjinin farkı olarak hesaplanabilir. Sisteme ısı ve kütle girişinin, sistemden çıkan ısı ve kütle (gaz ve kül) ile sistemde depolanan enerjiye eşittir. Genel olarak enerji dengesi ifadesi denklem (2)'de verildi.

$$Q - w + E_g - E_c = E_d \quad (2)$$

(2)

Sistemden sadece gaz çıkışı ve ısı kaybının olduğu ve sistemden bir iş ($W=0$) elde edilmediği varsayılarak hesaplar yapıldı. Süreklilik halinde depolanan enerjinin de olmadığı varsayıldı. Dolayısıyla sistemden geçen enerji, sisteme giren enerjinin ve sistemden kaybedilen ısı toplamıdır. Son olarak elde edilen eşitlik denklem (3)'te verilmektedir.

$$Q + E_g = E_c \quad (3)$$

Burada Q sistemden (potadan) geçen ısı, E_g sisteme giren enerji ve E_c sistemden çıkan enerjidir. Kaybedilen enerji (E_c) ışınım, taşınım ile kaybedilen enerjiye eşittir. Sisteme giren enerji iletim ile olmaktadır. Dolayısıyla pota odak yüzeyinde bir enerji dengesi kurulur. Potanın yüzeyinde oluşan net güneş enerjisinin, yüzeyden iletim yoluyla potanın içerisine geçişi sağlanır. Aynı zamanda odak yüzeyinden radyasyon ve taşınım kayıpları olmaktadır.

Pota üzerine gelen enerjinin bir kısmı çelik plaka tarafından yutulur ve bir kısmı da plakadan yansımaktadır. Yansımayı azaltmak için pota ısıya dayanıklı mat siyah boya ile boyanabilir. İletim yoluyla kapalı potada ısıl enerji oluşturulmaktadır. Odak noktasına gelen radyasyonun iletimle potanın içine geçen ısı transferi denklem (4) ile hesaplanabilir. Ayrıca yararlı enerji veya potanın içinde elde edilen enerji zamana bağlı olarak denklem (5) ile hesaplanabilir.

$$Q_k = kA_r(T_{dış} - T_{iç}) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m} c_p (T_{son} - T_{ilk}) \quad (5)$$

Burada k odak yüzeyi ısı iletim katsayısı, A_r odak alanı (m^2), $T_{dış}$ odak sıcaklığı ve $T_{iç}$ pota içi odak sıcaklığı, \dot{m} kütleli debi (kg/s), c_p biokütlenin özgül ısı katsayısı, T_{son} ürün çıkış sıcaklığı, T_{ilk} biokütle giriş sıcaklığıdır.

Sistemin verimi ise kullanılan enerjinin sisteme gelen enerjiye oranı olarak hesaplanabilir. Odak noktasına güneşten gelen enerji denklem (6) ile hesaplandı. Odak noktasına gelen enerjinin yutulma katsayısı ile çapılarak gazlaştırıcıdan yutulan enerji hesaplanır. Denklem (7)'de gazlaştırıcı sistemin verimi verilmektedir [10].

$$Q_r = \rho_1 A_p I \quad (6)$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{\alpha Q_r}$$

(7)

Burada ρ parabolik yüzeyin güneş ışınımı yansıtma katsayısı, A_p , parabolik çanak yüzey alanı (m^2), I güneş şiddeti (W/m^2), α pota malzemesinin yutma oranıdır.

Güneş fırını veya potanın ısıl kayıpları ise radyasyon, taşınım ve iletim olarak sıralanabilir. Kapalı potalarda gelen ışınlar odak üzerinden bir kısmı yansır ve ışınların bir kısmı da metal tarafından yutulur. Odağa gelen ısıl enerjinin çoğunluğu radyasyon ve taşınım ile çevreye kaybedilir. Kapalı potalarda iletim yoluyla fırın içinde ısıl enerji elde edildiği için gelen ışınlar göre verim düşüktür. Odak yutucu malzemelerin (Kuars cam vb.) ışığı geçiren ve sıcaklığa dayanan malzemelerden yapılması radyasyon ve taşınım kayıplarını azaltacaktır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi alıcılarının ısıl verimi ise denklem (8) ile hesaplanabilir [11,12,13].

$$\eta_{th} = \alpha - \frac{\dot{\phi}_L}{\dot{\phi}_g}$$

(8)

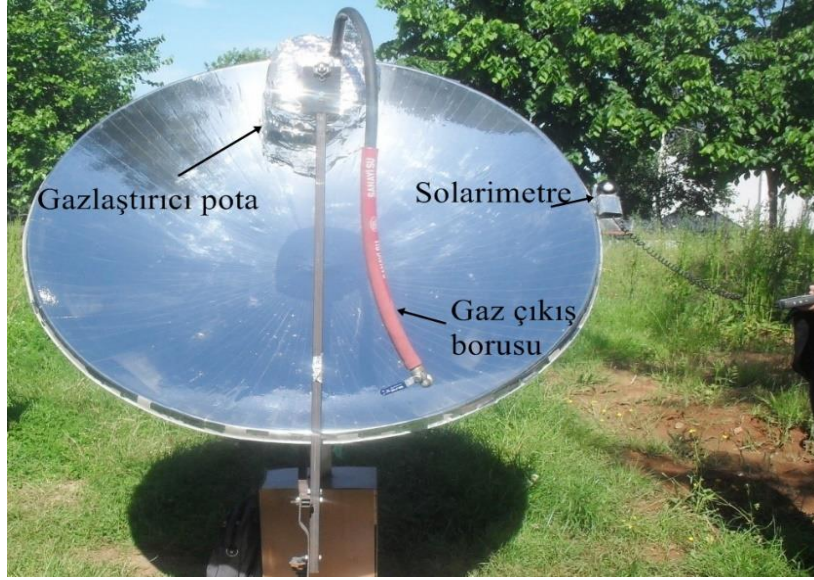
Burada $\dot{\phi}_g = \rho_1 \rho_2 A_p I$ gelen yoğunlaştırılmış güneş enerjisi, $\dot{\phi}_L$ alıcının ışınım, taşınım ve iletim kayıplarıdır, α alıcı yüzeyin güneş ışınımı yutuculuk katsayısı, ρ_2 ikinci yoğunlaştırıcının ışınım yansıtma katsayısıdır.

2. BULGULAR ve TARTIŞMA

2.1. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjili Gazlaştırıcı Deneyi

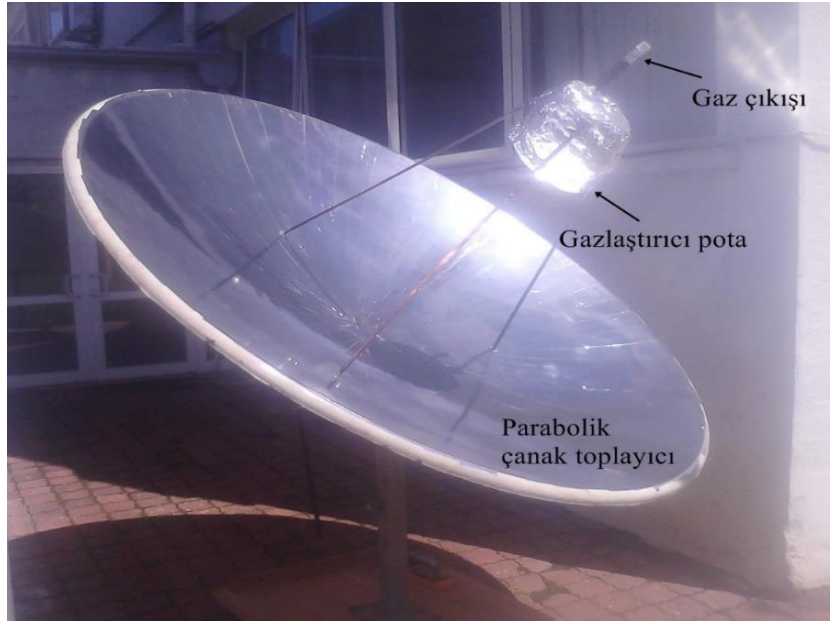
Gazlaştırıcı sistem tasarlandıktan sonra deneyler için hazırlık yapıldı. Öncelikle potanın güneş ışınlarını vurduğu yüzey hariç etrafı yalıtımla kaplandı. Yalıtım malzemesi olarak ısıya dayanıklı olan taş yünü kullanıldı. Daha sonra yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının vurduğu odak noktası alanı mat siyah ile boyandı. Yoğunlaştırılmış güneş enerjili gazlaştırıcı(1.5 m) sistemin genel görünüşü Şekil 4'te verilmektedir. Deneylerde öncelikle fındikkabuğunun gazlaştırılması üzerinde çalışma yapıldı. Deney numunesi olan fındikkabuklarının öğütülmesi sağlandı. Toz haline gelen fındikkabukları 1 kg olarak potaya yerleştirildi. Potanın iç hacmi yaklaşık olarak $0,00546 m^3$ 'tür. 1kg öğütülmüş fındikkabuğunun hacmi $0,00313 m^3$ olduğuna göre pota tek seferde yaklaşık olarak 1,5

kg'lık fındikkabuğunu gazlaştırma yapabilir. Gazlaştırıcıdan gazın çıkışı bir ısıya dayanıklı boru ile uzatılarak bir vana takıldı. Kalorifik değeri oldukça yüksek olan fındikkabuğunun gazlaştırılması yapılarak daha farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilir.



Şekil 4. Yoğunlaştırılmış güneş enerjili gazlaştırıcı sistemin genel görünüşü

İkinci deneyde daha büyük yoğunlaştırıcı kullanıldı. 2m çapında olan bu çanağın yine yüzeyi krom nikelajla kaplıdır. Mevcut gazlaştırıcı bu parabolik çanağın odağına uygun bir şekilde yerleştirilmesi için gazlaştırıcı üzerinde düzenlemeler yapıldı. Odak ayarı ve montajı işlemleri yapılarak daha sonra güneşli bir günde deney tekrarlandı. Yapılan bu ikinci deney için sistemin genel görünüşü Şekil 5'te görülmektedir. Deney sonuçları kaydedildi ve yeterli yüksek sıcaklıklara ulaşıldı.



Şekil 5. 2 Metrelik çanakla yapılan deneyin bir fotoğrafı

2.1.1. Gazlaştırıcı Deneyi Verileri

DeneySEL verilere göre, yaklaşık 1 saat süre içinde potaya konulan 1 kg'lık fındikkabuğunun gazlaştırılması denendi. Öncelikle 10 dakika ara ile reaktörün odağında sıcaklık ölçümü yapıldı. Aynı anda güneş şiddeti de ölçüldü. Daha sonra belli aralıklarla pota iç sıcaklıkları ölçüldü. Reaktörün üstünde yani kurutma bölgesinde elde edilen sıcaklık 120–200 °C, reaktörün orta kısmında piroliz bölgesinde 250–350 °C ve oksidasyon bölgesinde ise 400-450 °C civarındadır. Redüksiyon bölgesinde ise 150 °C sıcaklık olarak ölçüldü. Ölçümler K tipi bir termometre ile biokütleyle teması olmadan yapıldı. Tablo 2’de 1,5 m parabolik yoğunlaştırıcı ile yapılan deneydeki ölçülen değerler verildi. Buna göre pota dışı sıcaklığı ortalama 700 °C ve oksidasyon bölgesinde ise ortalama 500 °C civarındadır. Elde edilen sıcaklık değerlerinde ani artış ve iniş sıcaklıklara ulaşıldı. Bu durumun ölçüm hatalarının olduğu ve termokupul'un biokütleyle teması olduğu kabul edilmektedir.

17 Mayıs 2018 günü saat 15:30-16:30 arasında gerçekleşen deneyde çevre sıcaklığı ortalama 21 °C’ tır. Pota odak sıcaklığı ortalama 750 °C ve güneş şiddeti ortalama 890 Wm⁻² olarak gerçekleşti. Bu koşullar altında gerçekleşen deneyde güneş enerjisinden elde edilen ortalama verim oldukça düşüktür. Deneyde % 14 nemli 1 kg fındikkabuğunun az bir kısmının gaz haline geldiği, bir kısmının da piroliz ve diğerinin sadece kurutulduğu gözlemlendi. Oluşan gazların tespiti için gaz testi yapılmadı. Diğer taraftan fındık için özgül ısı katsayısının 1196 Jkg⁻¹K⁻¹ varsayımıyla alınan veya kullanılan ısı hesaplanabilir. Güneş enerjisi ile odağa gelen ısı miktarı ise toplam 942 W ‘tır.

Tablo 2. 1.5m çapındaki toplayıcı ile yapılan deneyin ölçüm verileri

Saat	Güneş şiddeti (W/m ²)	Pota dışı en büyük odak sıcaklığı (°C)	Pota içi ortalama oksidasyon sıcaklığı (°C)	Çevre sıcaklığı (°C)
15.30	895	850	550	22
15.40	906	920	580	23
15.50	896	800	555	22
16.00	871	720	505	21
16.10	860	650	490	20
16.20	836	605	485	20
16.30	832	590	480	20

2m çapındaki toplayıcı ile elde edilen veriler Tablo 3’te verildi. Daha önceki deneye göre oldukça yüksek sıcaklıklara ulaşıldı. Böylece bu durumun, ısıl verimi de artıracak olduğunu göstermektedir. Deney sonuçlarına göre, gazlaştırma için gerekli olan değerlere ulaşıldı. 1 saat süre içinde potaya konulan yaklaşık 0,5kg fındikkabuğu üzerinde deneyler yapıldı. Deney sonucunda potada kalan 0.16 kg’ın bir kısmı kül ve bir kısmı kömürleşmiş olarak çıktı. Ayrıca katran akışı da gözlemlendi. Yaklaşık yarım saat içinde gaz yanabilir duruma geldi. Dolayısıyla deneyde gaz çıkışının çakmakla yandığı gözlemlendi. Böylece bir biokütleden gaz üretimi gerçekleştirildi. Güneş şiddeti 850Wm⁻², yutunum katsayısı ise 0.65 ve 1100°C sıcaklığı koşulları altında gerçekleşen deneyde güneş enerjisinden elde edilen gazlaştırma ısıl verimi %17.7’dir.

Benzer çalışmalar ile karşılaştırma yapılırsa, küresel aynalar ile yapılan deneyde 150kWm⁻² ısı akısına rağmen elde edilen sıcaklık 1100 °C’dir. Güneş enerjisi ile yapılan deneyde yaklaşık 900Wm⁻² ısı akısı ile odakta yaklaşık 1150 °C sıcaklığa ulaşılmıştır.

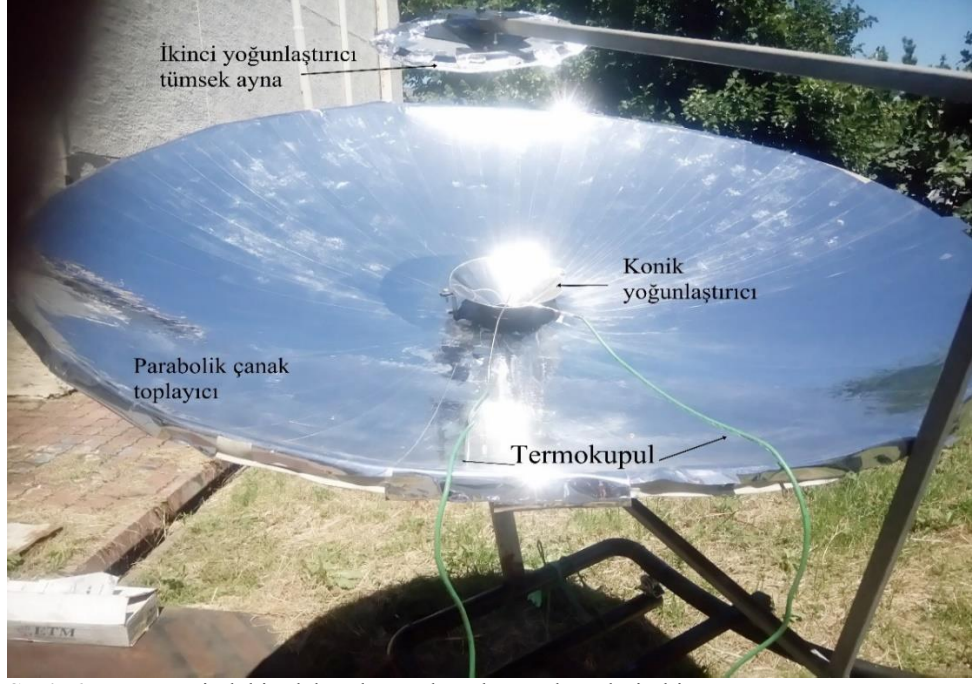
Dolayısıyla güneş enerjisi ile yapılan ısıl işlemler daha verimli olacaktır. Aşağı akışlı benzer gazlaştırıcı uygulamalarında oksitlenme bölgesinde 700 °C sıcaklık üzerine çıkmaktadır. Güneş enerjili gazlaştırıcılar ile oksitlenme bölgesinde 760°C sıcaklığa ulaşılmıştır. Burada ısıl kayıpların azaltılması ile bu sıcaklıklar yükseltilebilir. Bunun için güneş enerjili gazlaştırıcılarda ışınların daha iyi yutulması için, odak yüzeyinin ışık geçirgenliği yüksek ve ısıya dayanıklı malzemeler seçilmelidir.

Tablo 3. 2m çapındaki toplayıcı ile yapılan deneydeki ölçüm verileri

Saat	Güneş şiddeti (W/m ²)	Pota dışı en büyük odak sıcaklığı (°C)	Pota içi ortalama oksidasyon sıcaklığı (°C)	Çevre sıcaklığı (°C)
14.00	930	1030	730	25
14.10	906	1150	760	25
14.20	860	1100	755	24
14.30	620	600	650	23
14.40	875	1132	765	23
14.50	350	575	520	23
15.00	830	1040	720	22

2.2. Çift Yoğunlaştırılmalı Güneş Enerjili Ergitme Deneyi ve Verileri

Güneş ışınları birincil yansıma sonucu tümsek ayna üzerinde yoğunlaşır. Bu odaklama sonucu 1.5m parabolik toplayıcı için, yoğunlaştırma oranı yaklaşık 22 olarak hesaplandı. Tümsek ayna yaklaşık 30cm çapındadır ve 3cm derinliğe sahiptir. Işınların tümsek aynadan yansıması sonucu fırın girişinde oluşan ikinci bir odak noktası oluşur. İkincil aşamadaki yoğunlaştırma oranı yaklaşık olarak 56'dır. Işınların ikinci aşamadaki odak alanı çapı yaklaşık 0.02m ölçülerek hesaba katıldı. Ayrıca ergitme fırınının boyutları ise 0.2m çapında ve 0.2m boyunda silindirik bir yapıdadır. Bu fırının önünde ışınların fırının içine girmesi içinde konik bir yansıtıcı mevcuttur. Bu konik yansıtıcı, yansıtma oranı yüksek olan krom sacdan imal edilmiştir. **Şekil 6**'da 2 Temmuz 2019 günü yapılan iki eksenli çift yansıtılmalı güneş enerjili ergitme sisteminin deneysel görünüşü verilmektedir. Termokupul bağlantılı termometre ile fırın açıklığından ve konik yüzeyden sıcaklık ölçümleri alındı.



Şekil 6. Fırın üzerindeki odak noktasından alınan ölçümlerin bir görüntüsü

İki aşamalı yansıtma sonucu 1.5 m çapındaki parabolik çanaklı toplayıcı ve 0.3m ikinci yoğunlaştırıcı ile elde edilen veriler Tablo 4'te verilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi ilk odak sıcaklıkları ikinci odak sıcaklıklarına göre kırılmalar ve yansımalar nedeniyle daha yüksektir. Birinci odaktaki tümsek ayna, parabolik çanak toplayıcıdan gelen ışınları en iyi şekilde ikinci odak noktasına toplaması gerekmektedir. Bunun için parabolik çanak ve tümsek ayna ile optimize edilmelidir. Bu bağlamda uygun boyut ve eğriliğe sahip tümsek ayna seçilmelidir veya uygun bir tümsek ayna tasarlanıp üretilmelidir. Eğer ikinci odakta dağınık yansımalar varsa ya da odak alanı geniş ise sıcaklıklar düşük ölçülecektir. Odaklamanın mükemmel yapılarak noktasal sıcaklığı artırmak mümkündür. Diğer taraftan daha yüksek sıcaklıklar elde etmek için toplayıcı alanı da arttırılabilir.

Tablo 4. Çift yansıtmalı güneş enerjili sistemin deneysel verileri

Saat	Güneş Şiddeti (W/m^2)	Birinci Odak Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	İkinci Odak Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Çevre Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
11.00	925	250	200	35
11.30	955	300	240	35
12.00	965	330	280	35
12.30	975	335	295	36
13.00	950	350	300	36
13.30	890	370	350	35
14.00	880	380	355	35
14.30	850	360	340	35
15.00	835	353	330	34
15.30	790	345	320	34
16.00	730	340	310	34

Gerçekleştirilen bu deneyler sonucu yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemleri ile istenilen yüksek sıcaklıklar sağlanabilir. Bu yapılan ilk çalışmalar ileride odaklayıcı bazı büyük projelere de örnek teşkil edecektir.

2.3. Çevresel Etki Değerlendirmesi

Biokütlenin gazlaştırılmasının birçok avantajı vardır. Organik atıklardan hem enerji elde edilirken hem de kalan küllerinin bitkiler için kullanılmaktadır. Organik atıkların bir kısmı yakma da kullanılırken bir kısmı da çevreye atılmaktadır. Bu az maliyetli sistemlerle organik atıkların geri dönüşümü de sağlanır. Bu atıkların toplanması ile enerji (gaz) elde edilirken çevreye zararlı olacak gazlar oluşturmaz. Gazlaştırma oluşturulurken ayrı bir yakıtı veya güce ihtiyaç yoktur. Sadece güneşin açık olduğu durumlarda güneş enerjili yöntemin kullanılması sistemin dezavantajı sayılabilir. Diğer taraftan metal ergitme gibi işlemlerinin konvansiyonel olmayan kaynaklarla yapılarak çevre kirliliği de azaltılabilir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu proje çalışması sonucu alternatif enerji kaynakları üzerine bir çalışma yapıldı. Öncelikle organik atıkların sahip olduğu enerjinin kullanılması öngörüldü. Bu enerjiyi elde etmek için ise sağlanacak güç güneşten alındı. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi çanak tipi sistemler kullanılarak basit bir optik yansıma sayesinde ısı güç elde edildi. Biokütlenin gazlaştırılması için güneş ışınlarını yutacak bir pota tasarlandı. Gazlaştırmanın düşük oksijen ortamında olması için pota kapalı olarak imal edildi. Gazlaştırmanın iyileştirilmesi için yoğunlaştırılmış güneş ışınlarının potanın içine girmesi önemli oranda ısı kayıpları azaltılabilir. Bu durum, güneş ışığını yüksek oranlarda geçiren ve ısıya dayanıklı bir malzeme ile sağlanabilir.

1.5m yoğunlaştırıcı sistemle deneyler sonucunda gazlaştırmadan daha çok piroliz yapıldı. Reaktörün içerisinde biokütle üzerinde yaklaşık olarak 450 °C sıcaklığa ulaşıldı. İkinci deneyde ise yeterli derecede sonuçlar alındı. Bu deney nispeten daha büyük parabolik çanaklı yoğunlaştırıcı (2 m) kullanılarak yapıldı. Reaktör içerisinde oksidasyon bölgesinde sıcaklık yaklaşık olarak 800 °C' ye ulaştı. Reaktör ön yüzünde ise 1000 °C üzerine ulaşıldı. Böylece bir biokütleden gaz üretimi yapıldı. Reaktörden çıkan gaz ateşlenerek yanmanın gerçekleştiği ve yanmanın sürdüğü görüldü. Bu yöntemle gazlaştırma deneyinde yaklaşık %17.7 ısı verime ulaşıldı.

Çift yansıtımlı güneş enerjili ergitme işlemi için yeterli sıcaklıklara ulaşıldı. Yoğunlaştırılmış ışınların direkt numune üzerine yansıtılması ile sıcaklık ölçümleri alındı. İki yansıma sonucu yaklaşık 1.5m parabolik çanak merkezindeki fırında yaklaşık 300°C sıcaklıklara ulaşıldı. Buradaki dikkat edilmesi gereken nokta toplayıcının yüzey alanı ne kadar fazla olursa elde edilecek sıcaklıklar da yüksek olacaktır. Bu deney düzeneği ile kurşun ve kalay gibi metallerin ergitilmesi sağlanabilir. Ayrıca, deney sonuçlarına ve gözlemlere göre mükemmel odaklama yapmak için, ikinci yoğunlaştırıcının boyutlarının yapılandırılması gereklidir. Bunun için uygun bir tümsek ayna imal edilerek ışınlar noktasal olarak toplanabilir. Böylece ışınlar noktasal olarak toplanarak yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Çift yansıtımlı güneş enerjili sistemin en büyük avantajı ısı işlemlerin daha kolay, hızlı ve tehlikesiz bir şekilde yapılmasıdır. Son olarak güneş fırınında gelen ışınların daha fazla yutulması veya yakalanması için kapalı bir pota üzerindeki çalışmalar da mevcuttur.

Sonuç olarak yapılan işlemlerde çevreye zarar vermeden alternatif bir enerji üretimi sağlanmaktadır. Böylece ergitme ve gaz yakıtı üretimi için enerji ihtiyacı bu yöntemlerle sağlanabilir. Hatta atık maddelerin (metaller dâhil) kullanılmasına olanaklar sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

1. Çelen, S., Seçilmiş AB Üyesi Ülkelerindeki Isıl Güneş Enerjisi Sistemlerine Yönelik Yasal Düzenlemeler ve Türkiye için Yasal Düzenleme Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2015.
2. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130904.htm>, Resmi Gazete, 4 Eylül 2013 Çarşamba, Sayı: 28755, 6 Eylül 2019.
3. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme.aspx Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 6 Eylül 2019.
4. http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/biyokutle_enerjisi_6.pdf, Biyokütle enerjisi, 8 Eylül 2019.
5. Olgun, H., Doğru, M. ve Howarth C.R. Katı Atıkların Enerji Dönüşümünde Kullanılması ve Gazlaştırıcılar, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 1999.
6. E4Tech, Review of Technologies for gasification of biomass and waste, Final Report, İngiltere, 2009.
7. Pozivil, P. ve Müller, F. Biomass (Algae) Gasification using Concentrated Solar Energy, www.prec.ethz.ch/research/solarfuels/algae.html. 23 Mart 2019.
8. Danışmaz M. Gazifikasyon Tekniğiyle Sentez Gazı Üretimi ve Gaz yakma Sistemlerinde Kullanımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, 2017.
9. Foong, C. W., Nydal O. J. ve Løvseth J. Investigation of a small scale double-reflector solar concentrating system with high temperature heat storage, Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 7491 Trondheim, Norveç, 2011.
10. Xiao, G., vd. Simulation and experimental study on a spiral solid particle solar receiver, State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang Üniversitesi, Hangzhou 310027, Çin, 2013.
11. Alvarez; R., M, Zarza E. Concentrating Solar Thermal Power. In: Goswami DY, Kreith F (eds) Handbook of energy efficiency and renewable energy. Taylor & Francis, Boca Raton, sayfa no, 21,1-21,92. ISBN 0-8493-1730-4, 2007.
12. Xu X, Vignarooban K, Xu B vd. Prospects and problems of concentrating solar power technologies for power generation in the desert regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, sayı no, 53, sayfa no, 1106–1131. doi: 10.1016/j.rser.2015.09.015, 2016.
13. Parzen, M. Comparison of heat transfer fluids for solar tower systems, University of Applied Sciences Nuremberg, Faculty of Process Engineering, Department of Energy and Process Engineering, Lisansüstü Tezi, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1. **Cevdet DEMİRTAŞ**, 1959 yılında Trabzon'un Of İlçesinde doğdu, ilk, orta ve lise tahsilini burada tamamladı. İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Şubat 1985'te mezun oldu. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 1992'de Yüksek Lisansını, 1996'da Doktorasını tamamladı. 1992'te KTÜ Makine Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve burada 2008'de Dr. Öğr. Üyesi oldu. Evli ve altı çocuk sahibi olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.

2. **Ali Kemal ÖZCAN**, 1985 Tarihinde Trabzon Yomra'da doğdu. İlköğretim ve liseyi Trabzon'da tamamladı. 2009 Yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük TEF Makina Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliğinden mezun oldu. 2015 Yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine mühendisliğinde yüksek lisansını tamamladı. 2018 yılında Mühendislik Tamamlama yaparak Makina Mühendisliği lisansını tamamladı. 2018 yılında başladığı doktora programı ise KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Kaynakları Teknolojileri Anabilim Dalında devam etmektedir. Güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları üzerindeki çalışmaları devam etmektedir.