

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASININ AKSARAY ŞARTLARINDA TERMODİNAMİK ANALİZİ

Thermodynamic Analyses of a Solar Energy based heat pump system for Aksaray

Fatih YILMAZ

ÖZET

Bu çalışmada, Aksaray ilinin 1985-2006 yılları arasında ortalama güneş radyasyon değerlerine göre ısı pompası sisteminin tasarımı teorik olarak incelenmiştir. Ele alınan bu çalışmada ısıtma amacıyla kullanılan bir ısı pompası HFC grubu olan R134a ve R152a soğutucu akışkanlarına göre termodinamik yönden incelenmiştir. Ayrıca, sistemin enerji ve ekserji verimliliği, toplam ekserji yıkım oranlarının değişimi çeşitli parametrelere göre araştırılmıştır. Yapılan teorik analiz sonuçlarına göre, R152a soğutucu akışkanın R134a soğutucu akışkanına göre enerji ve ekserji verimliliği daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin toplam tersinmezlikleri R134a ve R152a soğutucu akışkanları için sırasıyla 30.48kW ve 45.60 kW olarak hesaplanmıştır. Aksaray ilin 1985-2006 yılları arasında ortalama güneş radyasyon değeri ise yaklaşık saatte 532 W/m² olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, enerji, ekserji, tersinmezlik, ısı pompası

ABSTRACT

In this study, the design of a heat pump system according to the average solar radiation value of the Aksaray province between the years 1985-2006 is examined theoretically. Furthermore, a heat pump system used for heating purposes are examined thermodynamically according to the HFC group R134a and R152a refrigerants. In addition, energy and exergy efficiencies of the system and the total exergy destruction rates have investigated according to various parameters. According to the results of the theoretical analysis results, it is seen that R152a refrigerant has higher energy and exergy efficiency than R134a refrigerant. Also, the total exergy destruction rate of the system is calculated as 30.48 kW and 45.60 kW according to R134a and R152a refrigerants. The average solar radiation value of Aksaray province among the 1985-2006 years is calculated as approximately 532 Wh/m².

Keywords: solar energy, energy, exergy, irreversibility, heat pump

1.GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde binaların ısıtılması ve enerji tüketimine katkısı olan diğer başlıca sektörlerden ulaştırma ve sanayileşme ile birlikte enerji tüketimi son yıllarda artmaya başlamıştır [1,2]. Avrupa ülkelerindeki konut sektörlerinde enerji tüketimi genellikle sıcak su üretimi ve konut hacmi ısıtılması amacıyla gerçekleşmektedir [3]. Artan bu enerji ihtiyacının karşılanması ise genellikle fosil kökenli yakıtlar kullanılmakta ve bu yakıtların yanması sonucu açığa çıkan salınımlar sera gazı, küresel ısınma gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bahsedilen bu çevresel sorunların önüne geçilmesi için çevreci yenilenebilir enerji destekli sistemlerin kullanılması kaçınılmazdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde şüphesiz öne çıkan güneş enerjisidir. Güneş enerjisi destekli olarak mahal ısıtılması ve soğutulması mümkündür [4]. Güneş enerjisi destekli sistemlerde yaygın olarak ısı pompası sistemleri kullanılmaktadır. Isı pompası sistemleri elektrikli ısıtma sistemlerine göre 3 ile 6 kat avantajlı olmaları, yenilenebilir enerji destekli olduklarında çevresel sorunlar teşkil etmemeleri ve son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başladıkları için artan bir ilgiye sahip olmaya başlamıştır [5].

Diğer yandan, ısı pompası ve soğutma sistemlerinde kullanılan aracı akışkan olarak adlandırılan soğutucu akışkanların termodinamik özelliklerinin yanı sıra, küresel ısınmaya etkisi (GWP) ve Ozon delme potansiyeli (ODP) gibi çevresel özellikleri göz önüne alınması gerekmektedir. Soğutucu akışkanlar içerisinde kloroflorokarbon (CFC) ve Hidrokloroflorokarbon (HCFC) akışkanlar yaygın olarak kullanılmakta iken 1997 yılında Kyoto protokolü gereğince kullanımı yasaklanmış veya bazı sınırlandırılmalar getirilmiştir. 1997 yılında imzalana ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto protokolünde ise soğutucu akışkanların GWP değerleri için sınırlandırmalar getirilmiştir [6]. Günümüzde, soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkan HFC- R134a akışkanıdır. Fakat bu akışkan içinde GWP değerinin yaklaşık 1300 civarında olmasından dolayı kullanımı için bazı sınırlama vardır [7,8]. Bu yüzden soğutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılan soğutucu akışkanlar için ODP değeri sıfır ve GWP değeri düşük olan farklı alternatif akışkan arayışı devam etmektedir.

Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri ile mahal ısıtılması için son yıllarda deneysel ve teorik olarak yapılan birçok çalışma literatür 'de mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları burada ele alınarak incelenmiştir. Han vd. [9] güneş enerjisi destekli CO₂ soğutkanlı ısı pompasının performans analizini kırsal evler için uygun faz değişim enerji depolama için incelemişlerdir. Yapılan bu çalışma, ısı pompasının bina ısıtılmasında ve binanın sıcak su ihtiyacını karşılamak için tasarlanmıştır. Onlar, ısı pompasının mevsimsel performans katsayısı (COP)'ni 2.56 olarak bulmuşlardır. Wang vd. [10] konutlarda çok fonksiyonlu güneş ısı pompa sisteminin uygulanmasını araştırmışlardır. Güneş enerjisi sistemi olarak fotovoltaiik/termal (PV/T) sistemi kullanmışlar ve çalışma sonucunda sistemin COP 'sini 3.18 ile 2.53 arasında hesaplamışlardır. Bellos vd. [11] güneş enerjisi destekli ısı pompasının mahal ısıtması için enerji ve finansal değerlendirmesini yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonuçlarına göre, 20 m² alana sahip güneş kolektörü için ısı pompası uygulamalarının finansal oldukça iyi olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca, ısı pompasının bir diğer kullanım alanı olan ürün kurutma sistemleridir. Aktaş vd. [12] güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulmasını deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda sistemin COP 'sini 2.24 olarak hesaplamışlardır. Aktaş ve Kara [13] yaptıkları diğer bir çalışmada ise güneş enerjisi destekli ısı pompasında dilimlenmiş kivi kurutulmasını termodinamik yönden incelemişlerdir. Sistemin ortalama ısıtma performans katsayısını 2.90 ile 2.27 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Ozyaman [14] güneş enerjisi destekli ısı pompası ile mahal ısıtılmasını incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda 120 m² ısıtma alanına sahip bir konutun için 2009-2010 yılları arasındaki fiyatları dâhil 530 TL ile karşılamıştır.

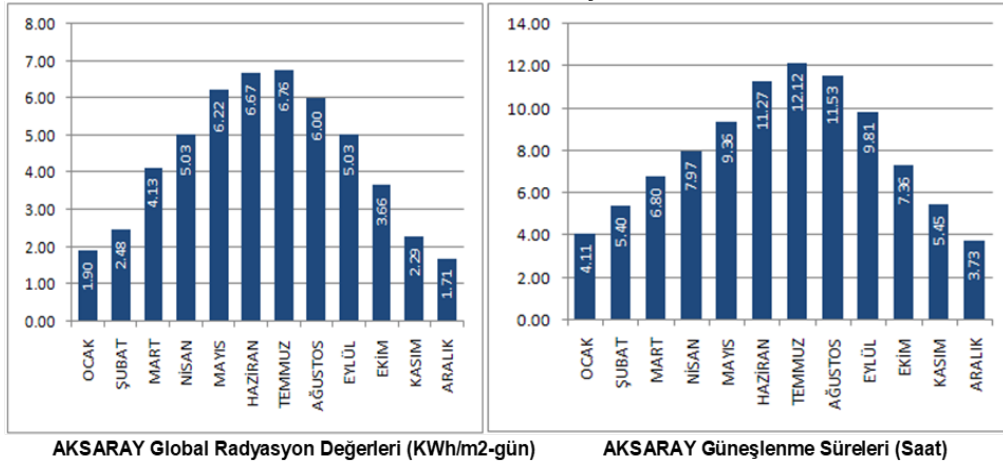
Bu çalışmanın temel amacı, Aksaray ili için güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sisteminin performansı termodinamik yönden teorik olarak incelenmesidir. Ele alınan çalışmada, HFC akışkan grubundan olan R134a soğutkanına alternatif R152a soğutucu akışkanı tercih edilmiş. Bu çalışmada her bir sistem elemanları için genel enerji ve ekserji dengeleri yazılarak elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunularak termodinamik yönden karşılaştırılması yapılmıştır. Sistemin COP ve ekserji verim değişimleri farklı parametrelere göre yukarıda bahsedilen akışkanlar için incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

2.SİSTEM TANIMI

Yapılan bu çalışma, Aksaray ilinin güneş radyasyon verilerine göre sistem tasarımı yapılmıştır. Aksaray ili İç Anadolu bölgesinde Konya'nın doğusunda yer almaktadır. Şekil 1'de 1985 - 2006 yılları arasında Aksaray ilinin güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süresi sunulmuştur. Bu değerler meteoroloji genel müdürlüğü tarafından yayınlanan değerlerdir.

Çalışmada soğutucu akışkan HFC grubundan olan R134a ve bu akışkana alternatif olabileceği düşünülen R152a soğutucusu tercih edilmiştir. R134a soğutucu akışkanı günümüzde ısıtma ve soğutma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir soğutucu akışkan türüdür. R152a akışkanı ise literatür'de çok fazla kullanılmayan akışkan olması ve GWP değeri daha düşük olduğu için tercih edilmiştir. Ayrıca bu akışkanlar bir birlerinin yerine alternatif olabilecek akışkan türleridir. Tablo 1'de bu

akışkanların termodinamik ve çevresel etkileri verilmiştir.



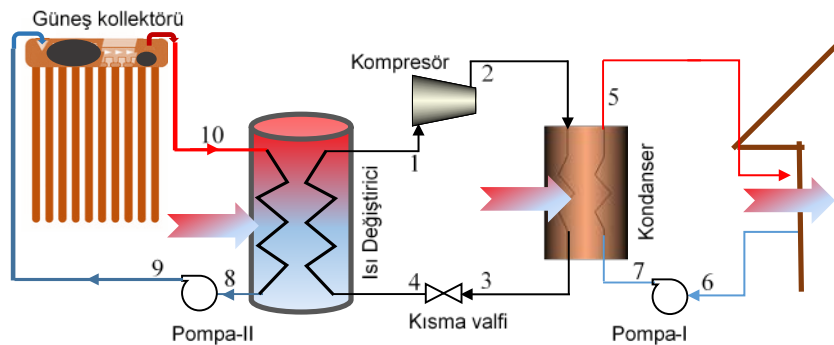
Şekil 1. 1985 - 2006 yılları arasında Aksaray ilinin güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süresi [15].

Tablo 1. Soğutucu akışkanların termodinamik ve çevresel değerleri [16]

Soğutucu akışkanlar	Mol ağırlığı (kg/Kmol)	Normal kaynama sıcaklığı (°C)	Kritik sıcaklık (°C)	Kritik basınç (bar)	ODP	GWP (100 yıl)
R134a	102.03	-26.1	101.1	40.6	0	1300
R152a	66.05	-24	113.3	45.2	0	124

Şekil 2'de güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu sistem üzerine gelen güneş radyasyonunu toplamak için vakum tüplü ısı borulu güneş kolektörü, bir kompresör, kondanser, kısma valfi ve ısı değiştiricisinden meydana gelmektedir. Üzerine gelen güneş ışınımı kolektör tarafından toplanarak, ısı değiştiricisine aktarılır. Isı değiştiricisinde yüksek sıcaklıktaki su ısıtısını, kısma valfinden düşük sıcaklıkta ve basınçta gelen soğutucu akışkana sabit basınçta aktararak soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlar. Soğutucu akışkan ısı değiştiricisinden çıktığında 1 noktasında doymuş buhar fazına geçer ve kompresöre girer. Burada yüksek basınç ve sıcaklıklara çıkartılan soğutucu akışkan daha sonra kondansere gelir ve kondanserde ısıtısını aktararak yoğunlaşma meydana gelir.

Soğutucu akışkanın bu faz değişimlerinden yararlanılarak, ısı pompası sistemleri ve soğutma sistemlerinde ısıtma ve soğutma amacı ile kullanılabilir. Bu çalışmada, kondanserde atılan ısı bina içerisinde dolaştırılan suyu ısıtarak mahal ısıtılmasının gerçekleştirildiği kabul edilmiştir. Sistemde iki adet sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Bu teorik çalışma için, ayrıca güneş kolektörü olarak yüzey alanı 2.88 m^2 , güneş ışınımı emiciliği %93'den büyük, sıcaklık dayanımı yaklaşık $200 \text{ }^\circ\text{C}$ olan vakum tüplü ısı borulu dört adet güneş kolektörü seçilmiştir.



Şekil 2. Güneş enerjisi destekli ısı pompasının şematik gösterimi

3.TERMODİNAMİK ANALİZ

Bu bölümde, güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin termodinamik analizi enerji ve ekserji verimliliğine göre ele alınmıştır. Bir sistemin termodinamik yönden incelenirken, birinci yasa analizi olan enerji verimliliği tek başına yeterli olmaması nedeniyle ve sistemde meydana gelen kayıpların veya tersinmezlikler belirlenebilmesi için termodinamiğin ikinci yasa analizi olan ekserji analizi de önemli yer teşkil etmektedir [17]. Bu çalışmada, termodinamik hesaplamaları gerçekleştirilmesi için yapılan bazı kabuller aşağıda sunulmuştur;

- Bu sistem ve sistem elemanlarının düzgün sürekli akışlı çalıştığı ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşmediği kabul edilmiştir.
- Sistem elemanlarını birleştirilen borularda ısı kaybı ve basınç düşüşü ihmal edilmiştir.
- Kompresör girişinde akışkan doymuş buhar olarak kabul edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiştir.
- Kompresör verimi %80 alınmıştır.
- Isı değiştiricisi verimliliği %60-%80 arasında kabul edilmiştir.
- Referans çevre sıcaklığı ve basıncı 25 °C ve 101.325 kPa olarak kabul edilmiştir.

Sabit düzgün akışlı bir sistem için genel kütle, enerji ve ekserji denge bağıntıları aşağıdaki şekilde sunulmuştur[18-20]

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_ç h_ç - \sum \dot{m}_g h_g \quad (2)$$

$$\sum \dot{m}_g ex_g + \dot{E}x_Q = \sum \dot{m}_ç ex_ç + \dot{E}x_W + \dot{E}x_{yık} \quad (3)$$

burada \dot{m} kütle akış oranı, alt indislerden “g” ve “ç” ise giren ve çıkanları tanımlar. \dot{Q} ve \dot{W} sistem sınırları boyunca gerçekleşen ısı transferini ve iş miktarlarını tanımlar.

$$\dot{E}x_Q = \dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \dot{Q}_s \quad (4)$$

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (5)$$

Spesifik akış ekserjisi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$ex = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

$$\dot{E}x = \dot{m} ex \quad (7)$$

Denklem 3'e göre önerilen bu çalışmanın alt elemanlarının, ekserji yıkım denge bağıntıları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Güneş enerjisi destekli ısı pompası bileşenlerinin ekserji denge bağıntıları

Sistem elemanları	
Kompresör	$\dot{E}x_1 + \dot{W}_{kom} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{yık_komp}$
Isı değiştiricisi	$\dot{E}x_{10} + \dot{E}x_4 = \dot{E}x_8 + \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{ısıdeğiştirici}$
Kondanser	$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{yık_kondanser} = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_2$
Kısma valfi	$\dot{E}x_4 + \dot{E}x_{yık_KV} = \dot{E}x_3$
Güneş kolektörü	$\dot{E}x_9 + \dot{Q}_s * \left(1 - \frac{T_0}{T_{güneş}}\right) = \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{yık_güneşkolektörü}$

Güneş kolektörü için yüzeyine gelen enerji ve ekserji dengeleri ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_a \cdot (c_{pç} \cdot T_ç - c_{pg} \cdot T_g) \quad (8)$$

Burada, \dot{Q}_u is güneş kolektörü tarafından kullanılan ve yararlı hale enerji miktarını, \dot{m}_a ise kolektör içerisindeki kütle akış oranını tanımlar. Direk güneş kolektörü yüzeyine gelen güneş ışınımına bağlı enerji miktarı;

$\dot{Q}_s = A \cdot I \cdot \epsilon$ (9)
Burada, A is güneş kolektörünün alanı (m^2), I güneş radyasyon değeri and ϵ kolektörün optik verimi (emililik, yansıtma vb. katsayılar).

Güneş enerjisinin ekserjisini ise Petala tarafından geliştirilen bir denklem ile hesaplaması yapılabilir [21];

$$\dot{E}x_{güneş} = A \cdot I \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{güneş}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_{güneş}} \right) \right) \quad (10)$$

Denklem (10)'da, $\dot{E}x_{güneş}$ güneş yüzeyinin ekserji hesabını tanımlar ve güneş yüzey sıcaklığı ise $T_{güneş} = 6000 \text{ K}$ olarak kabul edilmiştir.

Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin genel birinci yasa verimi olan enerji verimi yani soğutma performans katsayısı (COP)'nin enerji (COP_{en}) ve ekserji (COP_{ex}) verimlilikleri verilmiştir.

Isı pompası ve tüm sistemin genel enerji soğutma performans katsayıları aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

$$COP_{en,HP} = \frac{\dot{Q}_{kon}}{\dot{W}_{kom}} \quad (11)$$

$$COP_{en,sistem} = \frac{\dot{Q}_{kon}}{\dot{W}_{kom} + \dot{W}_{pompa_1} + \dot{W}_{pompa_2}} \quad (12)$$

Tüm sistemin ekserji verimi ise;

$$COP_{ex,sistem} = \frac{\dot{E}x_{g,kon} - \dot{E}x_{c,kon}}{\dot{W}_{kom} + \dot{W}_{pompa_1} + \dot{W}_{pompa_2}} \quad (13)$$

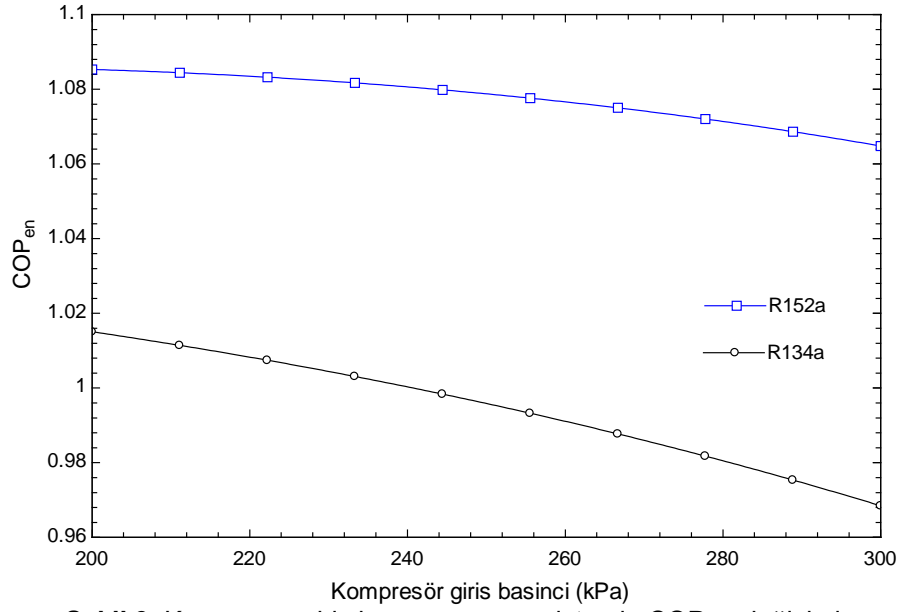
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada R134a ve R152a soğutucu akışkanlı ısı pompasının güneş enerjisi destekli olarak Aksaray şartlarında termodinamik analizi incelenmiştir. Bu bağlamda, sistemin genel enerji ve ekserji performans katsayıları (COP_{en} ve COP_{ex}) farklı parametrelere göre değişimi sunulmuştur.

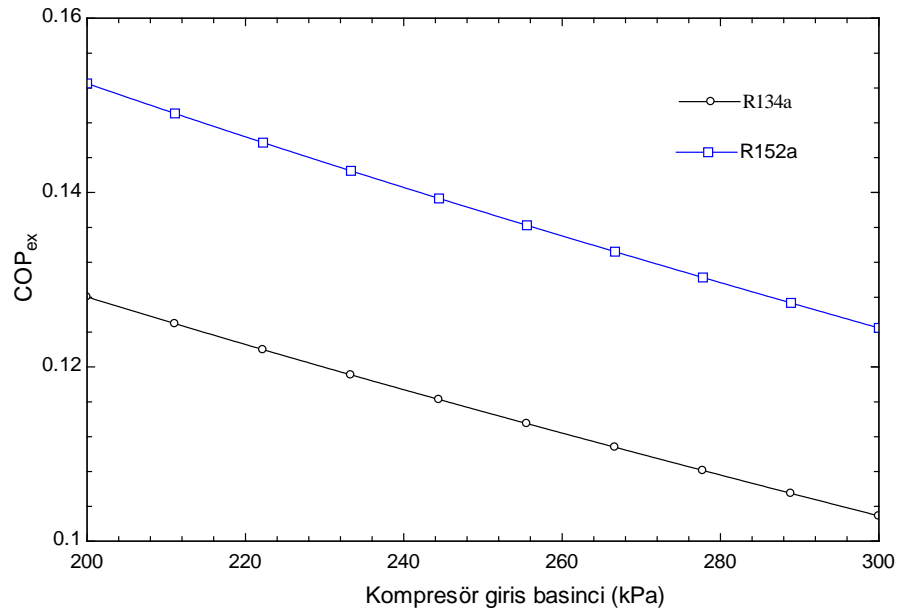
Şekil 3 ve 4'de sistemin COP_{en} ve COP_{ex} değişimleri kompresör giriş basıncına göre değişimi incelenmiş ve sunulmuştur. Şekil 3'de kompresör giriş basıncının 200 Bar'dan 300 Bar'a arttırıldığında çevrimin COP_{en} değişimi ele alınmıştır. Kompresör giriş basıncındaki bu artış her iki akışkan için çevrimin COP_{en} değerini düşürmektedir. Yine, Şekil 4'de ise aynı basınç değişim şartları altında çevrimin her iki akışkana göre COP_{ex} değişimleri verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi COP_{ex} değerlerinde lineer bir azalma görülmektedir. Genel olarak, Şekil 3 ve 4'deki bu azalmanın sebebini kompresör giriş basıncındaki artış sonucunda kompresörün harcamış olduğu enerji artışına bağlıdır.

Şekil 5'de ısı değiştiricisi verim değişiminin sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi sunulmaktadır. Şekilde açıkça görülebileceği gibi ısı değiştiricisinin veriminin artması sonucunda sistemin COP_{en} ve COP_{ex} değerleri her iki akışkan içinde artmaktadır. R152a soğutucu akışkanın COP_{en} ve COP_{ex} değerinin R134a akışkanına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Isı değiştiricisi verimini artırılarak bu sistemlerin daha yüksek verimlerde çalışmasının mümkün olduğu ifade edilebilir.

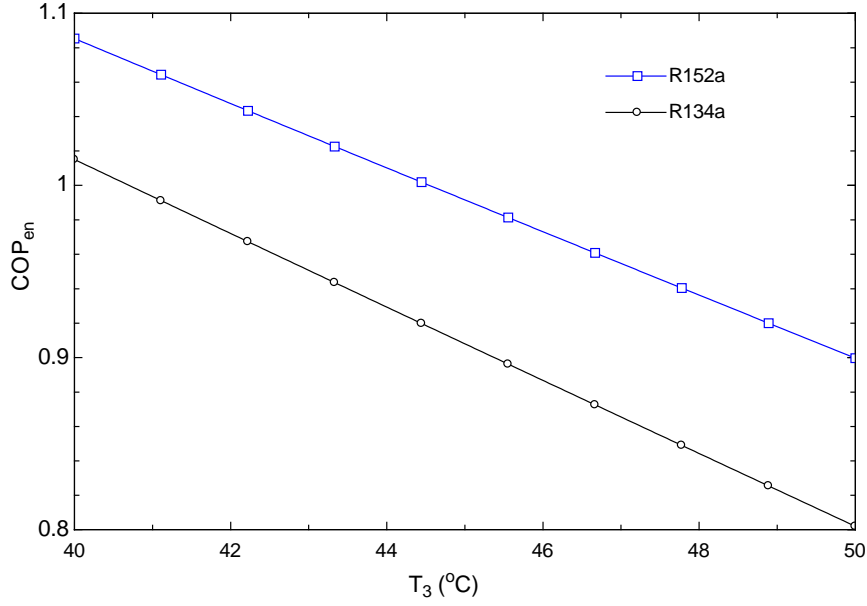
Kondenser çıkış sıcaklığındaki değişimin sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir. Kondenser çıkış sıcaklığındaki artış sistemin COP_{en} ve COP_{ex} değerleri üzerine etkisinin negatif olduğu görülmüştür. R134a için, kondenser sıcaklığı 40 °C'den 50 °C'ye arttırıldığında, sırasıyla sistemin COP_{en} değeri yaklaşık olarak 1.05'den 0.8'e ve COP_{ex} değerleri ise 0.1298'den 0.11'e azalmaktadır.



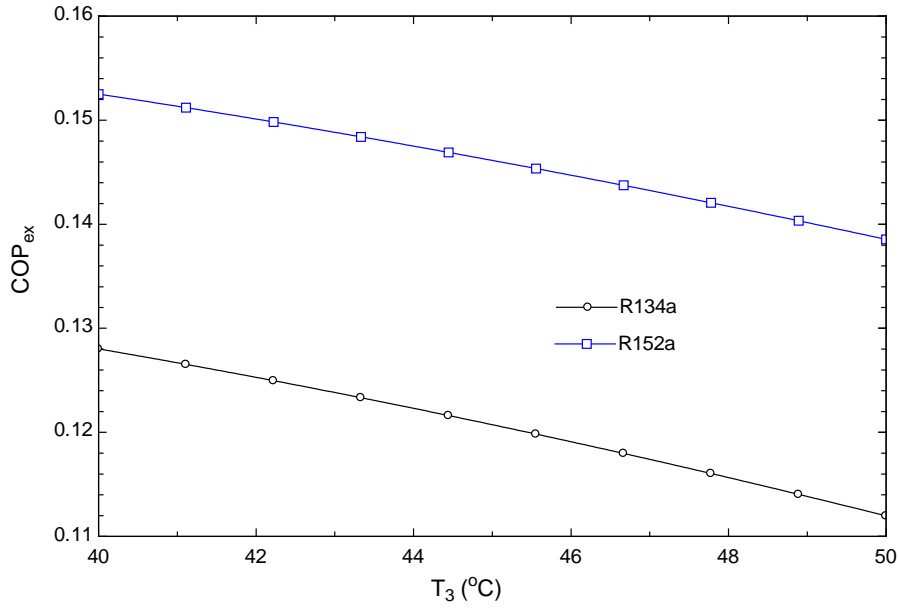
Şekil 3. Kompresör giriş basıncına göre sistemin COP_{en} değişimi



Şekil 4. Kompresör giriş basıncına göre sistemin COP_{ex} değişimi

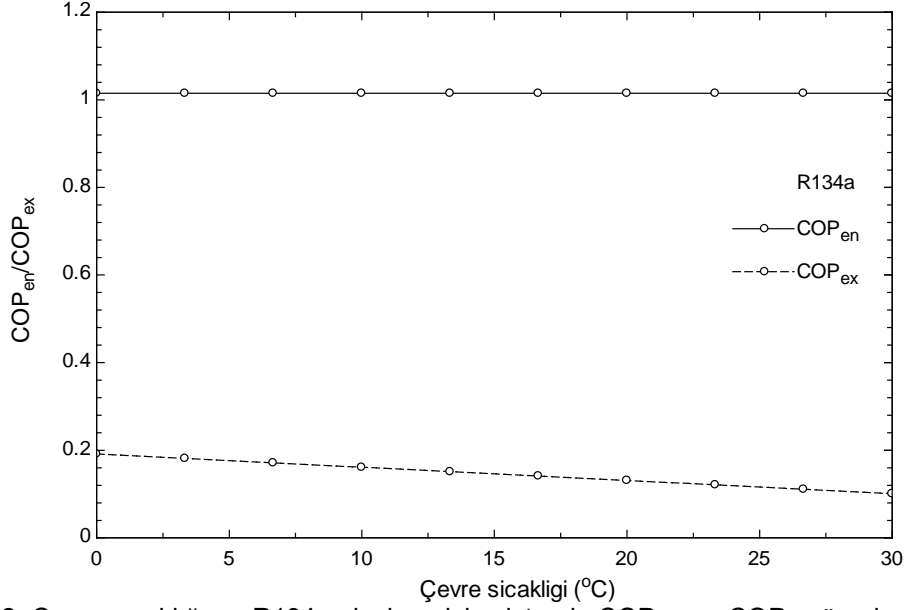


Şekil 6. Kondenser çıkış sıcaklığının sistemin COP_{en} üzerine etkisi



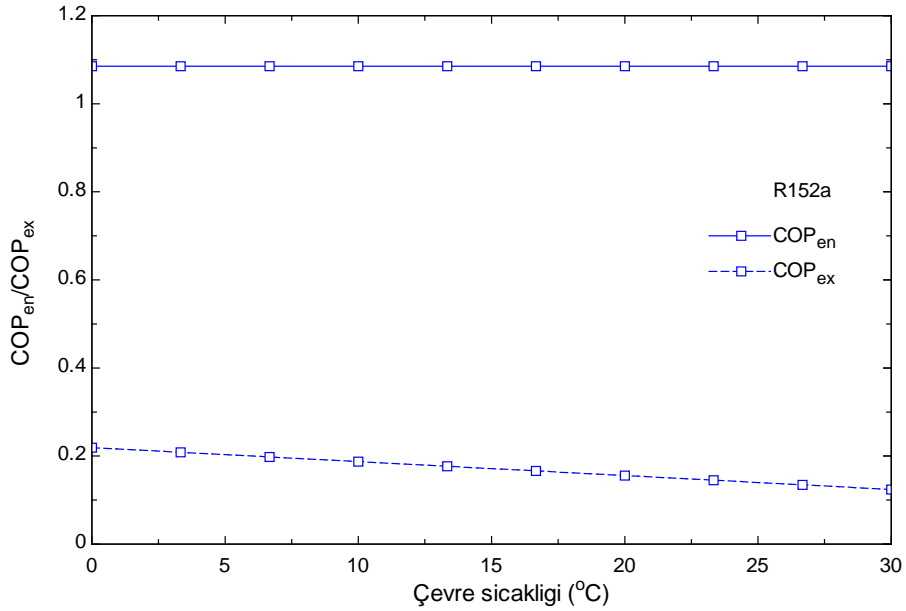
Şekil 7. Kondenser çıkış sıcaklığının sistemin COP_{ex} üzerine etkisi

Bu çalışmada bir diğer önemli parametre ise çevre sıcaklığının değişimidir. Şekil 8'de R134a akışkanı için, çevre sıcaklığının değişiminin sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi incelenmiştir. Bu şekilde anlaşıldığı gibi, çevre sıcaklığının 0 °C'den 30 °C'ye artması durumunda sistemin COP_{en} değeri üzerinde çok bir etken olmadığını fakat ve COP_{ex} değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Çevre sıcaklığının beklenildiği gibi sistemin enerji performans katsayısı üzerine etkisi yok denecek kadar azdır.



Şekil 8. Çevre sıcaklığının R134a akışkanı için sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi

Şekil 9'da R152a akışkanı için, çevre sıcaklığının değişiminin sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi incelenmiştir. Bu şekilde 'de, Şekil 8'deki duruma benzer olarak, çevre sıcaklığının 0 °C'den 30 °C'ye artması durumunda sistemin COP_{en} değeri üzerinde çok bir etken olmadığını fakat ve COP_{ex} değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Çevre sıcaklığının beklenildiği gibi sistemin enerji performans katsayısı üzerine etkisi yok denecek kadar azdır.



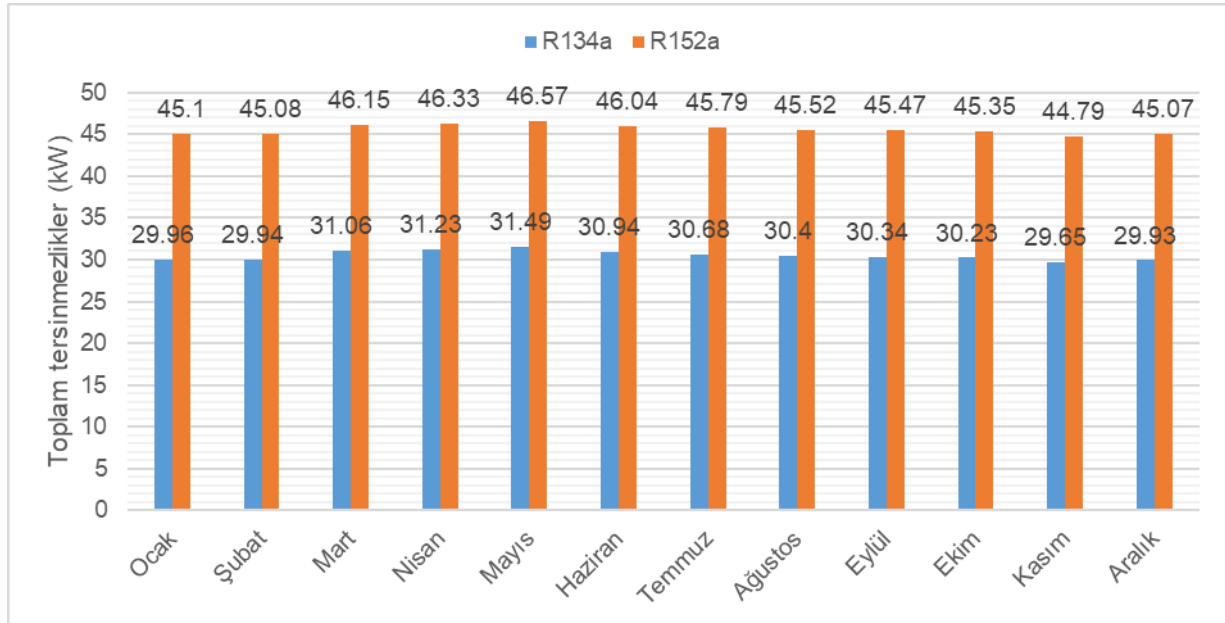
Şekil 8. Çevre sıcaklığının R152a soğutucu akışkanı için sistemin COP_{en} ve COP_{ex} üzerine etkisi

Tablo 3'de 1985-2006 yılları arasında Aksaray ilinin saatlik ortalama güneş radyasyon değerlerine bağlı olarak her iki akışkan içinde COP_{en} ve COP_{ex} değişimleri verilmiştir. Güneş radyasyon değerindeki artış her iki akışkan içinde COP_{en} ve COP_{ex} değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Güneş radyasyon değerindeki artış çevre sıcaklığının 'da artmasına neden olduğu için sistemde meydana gelen tersinmezlikler artmaktadır ve buna bağlı olarak sistem verimi düşmektedir.

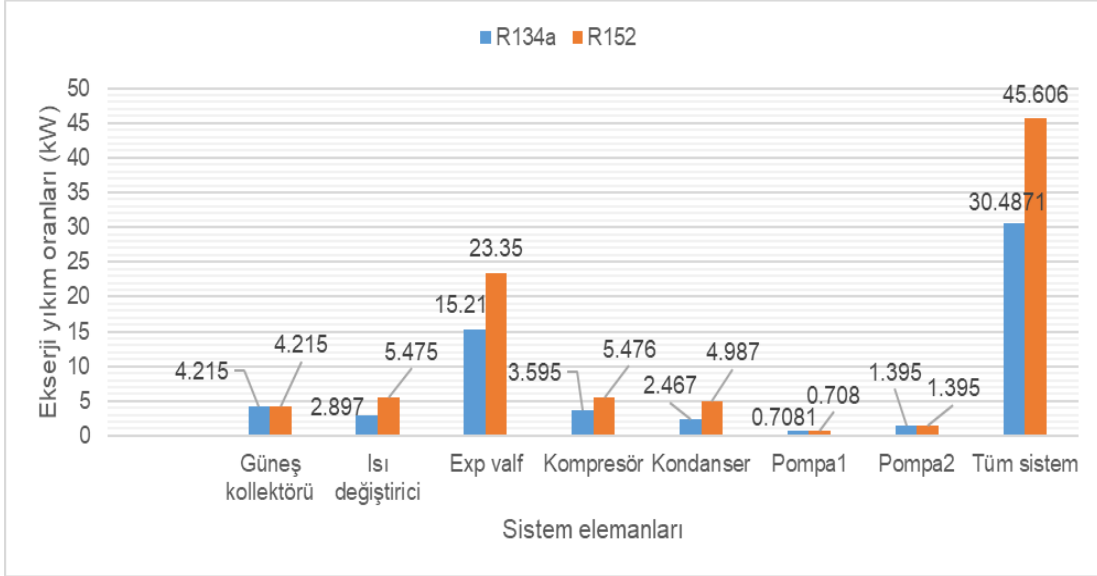
Tablo 3. Aksaray ili güneş radyasyon değerlerine göre sistemin COPen ve COPex değişimi

Aylar	Güneş radyasyon değeri (W/m ²)	R134a		R152a	
		COPen	COPex	COPen	COPex
Ocak	462.28	1.029	0.1308	1.097	0.1551
Şubat	459.25	1.029	0.1308	1.097	0.1552
Mart	607.35	1.024	0.1299	1.093	0.1543
Nisan	631.11	1.024	0.1297	1.092	0.1541
Mayıs	664.52	1.022	0.1295	1.091	0.1533
Haziran	591.83	1.025	0.13	1.093	0.1544
Temmuz	557.75	1.026	0.1302	1.094	0.1546
Ağustos	520.38	1.027	0.1304	1.095	0.1548
Eylül	512.74	1.027	0.1305	1.095	0.1548
Ekim	497.28	1.028	0.1306	1.096	0.1549
Kasım	420.18	1.03	0.131	1.098	0.1554
Aralık	458.44	1.029	0.1308	1.097	0.1552
Ortalama	531.93	1.027	0.1303	1.095	0.1547

Şekil 9'da Aksaray ilinin güneş radyasyonuna bağlı olarak R134a ve R152a soğutucu akışkanları için toplam ekserji yıkım değişimi verilmiştir. Güneş radyasyon değerlerinin en yüksek olduğu Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında sistemde meydana gelen toplam tersinmezlikler daha fazladır. Aksaray ili için uzun yılların ortalama değerleri verildiği için sistemin COPen, COPex ve toplam ekserji yıkım oranlarında bu şartlar altında ani değişim görülmemektedir.

**Şekil 9.** Tablo'1deki güneş radyasyon değerlerine göre sistemin R134a ve R152a soğutucu akışkanları için toplam ekserji yıkım oranı

Şekil 10'da 1985-2006 yılları arasında Aksaray ilinin ortalama güneş radyasyon değerine göre R134a ve R152a soğutucu akışkanları için sistem elemanlarının ve toplam sistemin ekserji yıkım oranları verilmiştir. Yukarıdaki yıllar arasında ortalama güneş radyasyon değeri yaklaşık olarak 532 Wh/m² olarak hesaplanmıştır. Sistem elemanları içerisinde en yüksek ekserji yıkım oranı kısma valfinden düşük ekserji yıkım oranına ise pompalarda görülmektedir. Kısma valfinden basınç ve sıcaklık düşüşü fazla olduğu için en yüksek ekserji yıkım oranına sahiptir. R152a soğutucu akışkanlı sistem R134a soğutucu akışkanlı sisteme göre daha yüksek toplam ekserji yıkımına sahiptir.



Şekil 10. Tablo'1deki güneş radyasyonun ortalama değerlerine göre sistem bileşenlerinin toplam ekserji yıkım oranları

SONUÇLAR

Ele alınan bu çalışmada, 1985-2006 yılları arasında Aksaray iline ait güneş radyasyon verileri meteoroloji genel müdürlüğünden alınmış ve bu değerlere göre güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sisteminin termodinamik analizleri teorik olarak incelenmiştir. Aynı zamanda, bu çalışmada HFC grubu R134a ve R152a soğutucu akışkanlarına göre sistemin genel enerji, ekserji verimliliği ve toplam tersinmezlikleri farklı parametrelere göre araştırılmıştır. Yapılan termodinamik analizler sonucunda öne çıkan bazı genel sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- ✓ *Aksaray ili güneş enerjisi bakımından oldukça iyi bir konuma sahip olduğu görülmüştür.
- ✓ Sistemin genel COPen ve COPex değerleri 21 °C çevre sıcaklığında 1.027 ve 0.1304 R134a soğutucu akışkan için, 1.095 ve 0.1548 R152a soğutucu akışkan için sırasıyla bulunmuştur.
- ✓ Güneş radyasyon değerindeki artış sonucunda çevre sıcaklığının artması ve sistem tersinmezlikleri arttığı için sistemin verimliliğini negatif etkilemektedir.
- ✓ *Sistemin toplam ekserji yıkım oranı R134a soğutucu akışkan için 30.48kW, R152a soğutucu akışkan için 45.60 kW olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada R152a akışkanının COPen ve COPex değerleri bakımından R134a akışkanına göre daha üstün olduğu görülmüştür. R134a akışkanının GWP değerinin yüksek olmasından dolayı bu akışkanın kullanımı ile ilgili sıkıntılar önüne geçilmesi için R152a akışkanını rahatlıkla tercih edilebileceği görülmüştür. Aynı zamanda, yapılan bu teorik çalışmanın gelecekte Aksaray ili için güneş destekli sistemlerin kurulmasında yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cao X, Dai X, Liu J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of- the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Energy Build 2016;128:198–213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>.
- [2] Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information. Energy Build 2008;40:394–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- [3] European Environment Agency. Energy and environment report 2008. vol. 6/2008.2008. doi:10.2800/10548.

- [4] <https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisi-ile-ev-isitma/> (Eriş. Tarihi:26.11.2018)
- [5] Dikici, A., Akbulut, A., & Gülçimen, F. (2006). Güneş, Hava ve Toprak Enerjisi Kaynaklı Isı Pompalarının Elazığ Şartlarında Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması ve Enerji ve Ekserji Analizleri. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 26(2), 49-61.
- [6] https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/EMEIA/sales-offices/Turkey/Haberler/Blog/2015/SOGUTUCU%20AKISKANLARDAKI%20GELISMELER_THB-15-1.pdf (Erişim Tarihi: 26.11.2018)
- [7] Bulgurcu, H., Uslu, T., “Taşıt İklimlendirme Sistemlerinde Soğutucu Akışkan Olarak Karbondioksit (CO₂) Kullanımı”, *Mühendis ve Makine*, Cilt 49, No 578, 8–13, 2008.
- [8] Akdemir, Ö., Güngör, A., “CO₂ Soğutma Çevrimlerinin Maksimum Performans Analizi”, *Isı Bilimi ve Tekniği*, Cilt 30, No 2, 37–43, 2010
- [9] Han, Z., Bai, C., Ma, X., Li, B., & Hu, H. (2018). Study on the performance of solar-assisted transcritical CO₂ heat pump system with phase change energy storage suitable for rural houses. *Solar Energy*, 174, 45-54.
- [10] Wang, G., Zhao, Y., Quan, Z., & Tong, J. (2018). Application of a multi-function solar-heat pump system in residential buildings. *Applied Thermal Engineering*, 130, 922-937.
- [11] Bellos, E., Tzivanidis, C., Moschos, K., & Antonopoulos, K. A. (2016). Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems. *Energy conversion and management*, 120, 306-319.
- [12] Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H., & Aktekeli, Z. (2010). Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızıbiber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneylemleri. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 30(1), 111-120.
- [13] Aktaş, M., & Kara, M. Ç. (2013). Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(4).
- [14] Özyaman, A. C. (2011). Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası ile Mahal Isıtma Uygulaması. *Tesisat Mühendisliği*, 123, 68-75.
- [15] GEPA, 2018. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/68.aspx> (Erişim Tarihi:17.11.2018)
- [16] Calm, J. M., & Hourahan, G. C. (2007). Refrigerant data update. *Hpac Engineering*, 79(1), 50-64.
- [17] Ozturk, M. (2014). Energy and exergy analysis of a combined ground source heat pump system. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 362-370.
- [18] Tiwari, G. N. 2003. *Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications*. Alpha Science International Ltd., Pangbourne UK 525.
- [19] Dincer, I., Rosen, M.A., *Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development*, second ed., Elsevier, New York, USA, 2013.
- [20] Bejan, A., *Thermodynamic Optimization of Heat Transfer and Fluid Flow Processes Developments in the Design of Thermal Systems*, Cambridge University Press, Cambridge U.K, 1997.
- [21] Petela, R. 2005. Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker. *Solar Energy* 79:221–233

ÖZGEÇMİŞ

Fatih YILMAZ

1987 yılı Alanya doğumludur. 2010 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Tesisat Öğretmenliği bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2013 ve 2018 yıllarında sırasıyla Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Yüksek lisans ve Doktora derecelerini almıştır. 2018 yılında ise Aksaray Üniversitesi Müh. Fakültesi Makine Müh. Bölümü'nden mühendis unvanını almıştır. 2013 yılında Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da öğretim görevlisi olarak başladığı akademik kariyerine 2017 yılında Dr. Öğr. Üyesi olarak atanmış ve halen aynı üniversitede çalışmalarına devam etmektedir. Termodinamik, enerji, ekserji, hidrojen üretimi, sürdürülebilirlik ve soğutma sistemleri alanında çalışmalarına devam etmektedir.