

PVT Entegreli CO₂ İle Çalışan Hibrit Bir Isı Pompası Sisteminin Performans Analizi

Cihanşah AĞ*¹, Önder KIZILKAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 32200, Isparta, Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 10.01.2023, Kabul / Accepted: 02.05.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 25.08.2023)

Anahtar Kelimeler

PVT,
CO₂,
Isı pompası,
Güneş enerjisi

Öz: Dünyada ve ülkemizde insan nüfusu sürekli olarak artış eğilimi göstermektedir. Bu artışın doğal bir sonucu olarak tüketim artmaktadır. Artan tüketimlerin başında ise enerji ihtiyacı gelmektedir. Yeryüzünde sınırlı ve her geçen gün azalmakta olan enerji kaynaklarının birçoğu ise gezegene kullanımlarıyla beraber zararlar vermektedirler. Tercih edilen bu çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynakları sayesinde ise çevre kirliliğinde azalma ve küresel ısınmada yavaşlama sağlanmaktadır. Bu çevreci kaynakların başında ise güneş enerjisi gelmektedir. Bu çalışmada PVT'li ve çevreci CO₂ akışkanlı hibrit bir ısı pompası ile tasarlanan bir evin ısınma ve elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için bir sistem tasarımı ile teorik incelemesi yapılmıştır. İlk aşamada, çalışmada tasarlanan evin ısınma enerjisi ihtiyacı belirlenmiştir. Daha sonrasında ise PVT'nin modellenmesi ile termal ve elektriksel analizleri yapılmıştır. Son olarak da ısı pompasının termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Dizayn edilen sistem özelinde yapılan bu analiz ve belirlemeler sonucunda ise gerek CO₂ akışkanı gerekse farklı akışkanlar ile sistem karşılaştırmak suretiyle birçok parametrede bulgular elde edilmiştir. Elde edilen bulgular grafik ve çizelge formatında karşılaştırmalı şekilde makalede verilmiştir.

Performance Analysis of a PVT Integrated CO₂ Powered Hybrid Heat Pump System

Keywords

PVT,
CO₂,
Heat Pump,
Solar energy

Abstract: The human population in the world and in our country is constantly increasing. As a natural consequence of this increase, consumption is increasing. At the beginning of the increasing consumption is the need for energy. Many of the limited and decreasing energy resources on earth cause harm to the planet with their use. Thanks to these preferred environmental and sustainable energy sources, a reduction in environmental pollution and a slowdown in global warming are achieved. Solar energy is one of these environmental sources. In this study, a system design and theoretical analysis have been made to meet the heating and electrical energy needs of a house designed with a hybrid heat pump with PVT and environmentally friendly CO₂ fluid. In the first stage, the heating energy need of the house designed in the study was determined. Afterward, the thermal and electrical analyzes of the PVT were modeled. Finally, the thermodynamic analysis of the heat pump was carried out. As a result of these analyzes and determinations made specifically for the designed system, findings in many parameters were obtained by comparing the system with both CO₂ fluid and different fluids. The obtained findings are given in the thesis in graphic and chart formats comparatively.

1. Giriş

Enerji konusunda sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği kavramları son yıllarda önem kazanmıştır. Sürdürülebilirlik, doğanın gelecek ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan doğal hareketin her aşamasına etki etmesini öncelikli olarak ifade eden bir

kavramdır. Ayrıca enerjiyi düşük maliyetle, sürekli, çevreye duyarlı ve ulaşılabilir hale getirmede sürdürülebilirlik son derece önemli başarıya yol açmıştır. Enerjinin sürdürülebilirliği ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Enerji verimliliği kavramı ise enerji alanında daha az enerji kullanarak işlemleri gerçekleştirmeyi

amaçlamaktadır. Enerji alanında yapılan faaliyetlerin kalitesi, performansı ve miktarı azaltılmadan enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmaktadır. Bilindiği gibi enerji kaynakları sınırlıdır ve enerji kaynakları ne kadar yenilenebilir ve verimli hale getirilebilirse bu kaynakların kullanım ömrü de uzatılabilmektedir [1]. Bayrakçı ve Özgür'ün [2] gerçekleştirdiği bir başka çalışmada kritik üstü çevrimli ve tek kademeli CO₂ akışkanının ısı pompalarında çıkış sıcaklığının ekserji verimine etkisi incelenmiştir.

Fotovoltaik-termal kollektör, elektrik ve termal enerji üretimini tek bir cihazda birleştiren önemli teknolojilerden biridir. Bu teknoloji güneş enerjisi dönüşümü için son derece önemlidir. Buhar sıkıştırılmalı ısı pompası, binaların termal enerji ihtiyaçları için hâlihazırda en uygun temiz teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bu iki teknolojinin entegre bir "fotovoltaik-termal güneş destekli ısı pompası" sisteminde kombinasyonu, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanan bina termal ihtiyaçlarının yüksek bir kısmına ulaşılmasına ve fotovoltaik- termal toplayıcı ve ısı pompasında enerji verimliliğini arttırmasına neden olmaktadır [3]. Daghigh ve diğerleri [4] sıvı bazlı PVT kollektörlerinin avantajlarını araştırdıkları bir çalışmada PVT kollektörlerindeki ısınma sorununu ortadan kaldırmak için su ve soğutucu akışkanları birlikte kullanmışlardır.

Enerji, iş yapabilme gücü olarak ifade edilmektedir. Bunun dışında her türlü üretim ve tüketim için gerekli kaynaklar olarak da tanımlanabilir. Tarihte çeşitli dönemlerin koşullarına bağlı olarak bilim ve teknoloji olanakları doğrultusunda değişik unsurlardan enerji kaynakları olarak yararlandığı görülmektedir. Günümüzde termo-dinamik bilim ilkeleri çerçevesinde enerjinin yüksek düzeyde bir kaynağa sahip olduğu görülmüştür [5]. İki kademeli CO₂ akışkanının transkritik çevrimli bir ısı pompası sisteminin termodinamik analizi çalışmasında CO₂ akışkanının etkili bir şekilde kullanılabilmesi için Yüce'nin [6] sistem basınçlarının optimize edilmesi gerektiği ifade edilmiştir

PVT destekli ısı pompası sistemleri fotovoltaik-termal hibrit kollektörler ile direkt genleşmeli ısı pompası sistemlerinin birleştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Güneş radyasyonu PVT kollektörlerine düşüp aynı zamanda kollektördeki fotovoltaik hücreler sayesinde elektriğe ve ısıya dönüştürülmektedir. PVT teknolojisinde hücrelerin arka kısmında bulunan ısı alıcılar fotovoltaik hücrelerin sıcaklığını düşürüp hücre sıcaklığının uygun değer çalışma sıcaklığında olmasını sağlamaktadır. Bu uygun değer sıcaklık 25°C olarak tespit edilmiştir. Bu sistemlerde fotovoltaik hücrelerin sıcaklığının artmaması elektrik

verimliliğini en uygun değerde olmasına yardımcı olmaktadır. PVT kollektörleri ara ısı değiştiriciye ısı kaynağı olurken kompresöre elektrik kaynağı sağlamaktadır [7]. Hibrit FotoVoltaik-Termal ısı pompası sistemlerini farklı iklimlerdeki enerji ve ekonomik performanslarını Noro ve Lazzarin çalışmalarında incelemişlerdir [8].

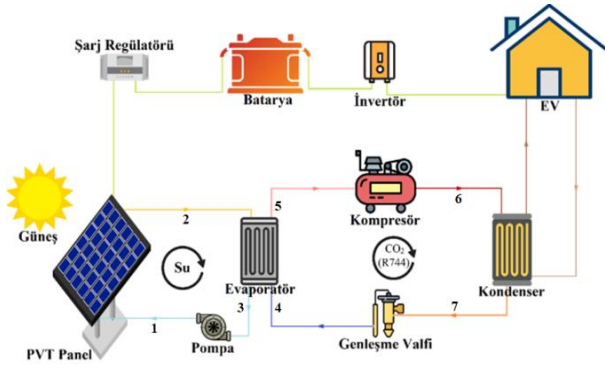
Bu makalede, çevreci CO₂ akışkanlı hibrit bir PVT'li ısı pompası ile evin ısıtma ve elektrik ihtiyacının karşılanması amaçlanmaktadır. Bu maksatla öncelikle Antalya ilinde dizayn edilecek olan evin ısıtma ve bununla birlikte elektrik ihtiyacı belirlenecektir. Analizler Antalya ilinde ısıtma ihtiyacının olduğu kasım, aralık, ocak, şubat ve mart, ayları için yapılacaktır. Hesaplamalarda EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılmıştır. Isı pompasında CO₂ ile mukayese amaçlı ticari olarak yaygın olan R290 ve R32 akışkanları kullanılacaktır. Sonrasında ihtiyacın belirlenmesi ile gerekli PVT ve akü adetleri ile şarj regülatör akımı belirlenecektir. Bu belirlemeler ışığında inceleme ve karşılaştırmalar yapılarak ayrıntıları ile makalede sunulacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. PVT entegreli hibrit ısı pompası sistemi

Şekil 1 de görüleceği üzere, tasarlanan sistem ile PVT güneş hücreleri vasıtasıyla evin elektrik ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Şekilden görüneceği üzere, elektrik ihtiyacının karşılanması için PVT ile beraber inverter, şarj regülatörü ve bataryadan oluşmaktadır. Üretilen elektrik enerjisini depo etmek için batarya kullanılmaktadır. İnverter PV aracılığı ile üretilen ve depolanan doğru akım (DC) elektrik enerjisini alternatif akım (AC) elektrik enerjisine çevirmektedir. Şarj regülatörünün amacı akü ya da akü grubunun fazla şarjdan veya yüksek voltajdan zarar görmesini engellerken güneş panellerinden gelen voltajı ve akımı dengelemeye yarayan teknolojik cihazlardır [9].

PVT'nin soğutulması için sirküle eden soğutma suyu, enerjisini CO₂ ile çalışan ısı pompasına aktarmaktadır. Isı pompasında, PVT'den gelen ısı enerjisi ile evaporatörde CO₂ akışkanı buharlaşarak kompresöre doymuş buhar olarak girer. Kompresörde akışkan sıkıştırılarak kızgın buhar halini alır. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, kompresör çıkışında akışkan süper kritik bölge üstündedir. Kondensere gelen akışkan ısı enerjisini evin ısıtılması için aracı akışkana aktararak sıvılaşır ve doymuş sıvı olarak kondenserden çıkar. Genleşme valfine giren akışkanın basıncı düşürülerek tekrar evaporatöre girer.



Şekil 1. PVT entegreli hibrit ısı pompası sistemi

Yapılan bu çalışmada, Antalya ili sınırları içerisinde tasarlanan ve yer alan tek katlı, tek odalı betonarme 48 m² olarak TS 825 [10] standartları esas alınıp ilgili tablolardan yararlanılarak çalışmaya uygun ev dizayn edilmiştir. Hesaplamalar, ısıtma ihtiyacının olduğu kışım, aralık, ocak, şubat ve mart ayları için yapılmıştır. Sistem tasarlanırken evaporatör dış ortam sıcaklık farkı $\Delta T = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır [11]. Pompa izentropik verimi ($\eta_{is,p}$) %87.5 [12], kondenser sıcaklığı $40^\circ\text{C} + \Delta T$, kompresör izentropik verimi ise ($\eta_{is,c}$) %80 olarak alınarak analizler gerçekleştirilmiştir [13].

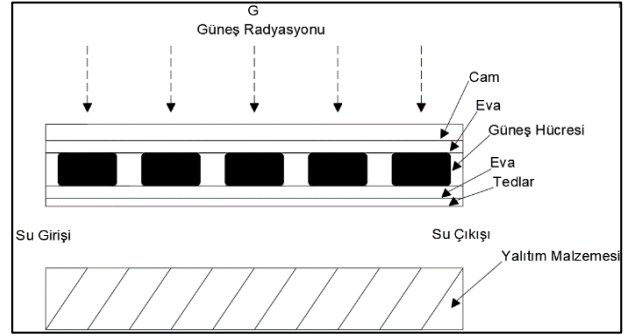
PVT hesaplamalarında kullanılmak üzere, Antalya ilinin ilgili aylara ilişkin etkili güneşlenme saatlerindeki ortalama dış ortam sıcaklıkları, radyasyon değerleri ve ortalama rüzgar hızları Tablo 1 de verilmiştir. Antalya ilinin yıllık ortalama radyasyon değeri ise 2.713 kWh/m² olarak kabul edilmiştir [14,15].

Tablo 1. Antalya ili etkili güneşlenme saatlerindeki ortalama sıcaklık ve radyasyon değerleri

| | Ocak | Şubat | Mart | Kasım | Aralık |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Sıcaklık (°C) | 7.37 | 8.43 | 10.47 | 13.26 | 9.07 |
| Radyasyon (W/m ²) | 424.8 | 496.4 | 598.6 | 567.9 | 484.5 |
| Rüzgar hızı (km/h) | 14.6 | 13.4 | 13.3 | 11.2 | 12.4 |

PVT katmanlardan oluşan bir yapıya sahiptir. En üst kısmında koruyucu cam tabaka, onun altında ise Eva tabakasıdır. Eva iyi radyasyon geçirgenliğine ve güneş ışığına karşı düşük bozunabilirliğe sahip bir malzeme olan etilen vinil asetattır. Bu termoplastik bir polimer olup, güneş modüllerinde kapsülleme maddesi olarak kullanılır, çünkü düzeneğe ısı uygulayarak güneş pillerinin etrafında bir sızdırmazlık ve yalıtkan film oluşturur. Hava girişini ve nem oluşumunu engeller, güneş ışığının zamanla bozulmasına karşı dirençli iken güneş enerjisinin geçmesini sağlar [16]. Üçüncü tabakada ise güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çeviren güneş hücreleri yer almaktadır. Dördüncü tabakada ise tekrar Eva kullanılmıştır. Beşinci tabakada yalıtım için kullanılan Tedlar ise hava koşullarına karşı yüksek direnç ve doğal mukavemet, düşük nem, buhar, yağ geçirgenliği ve geniş bir yelpazeye sahip termoplastik bir floropolimer malzeme olan Polivinil

florür anlamına gelir. Sıcaklık çalışma aralığı -70°C ila $+110^\circ\text{C}$ 'dir. Ayrıca Tedlar, şeffaf olduğundan yüksek derecede ışık spektrumu geçirgenliği sağlar [17]. Altıncı tabakada su giriş çıkış kanalları mevcuttur, bu tabakalar PV ve PVT'yi birbirinden ayıran temel farklılıktır. Bu tabakadan geçen akışkan güneş radyasyonu ile ısınan ve bu sebepten ötürü oluşan verim kaybı ve yıpranmanın önüne geçmektedir. Yedinci ve son tabakada ise yalıtım malzemesi kullanılmıştır. PVT'nin kesit görüntüsü ise Şekil 2 de verilerek katmanları belirtilmiştir.



Şekil 2. PVT panel kesit görseli

PVT sistemi için Siemens firmasına ait SP75 paneller tercih edilmiştir. Paneller aracılığı ile elde edilecek elektrik enerjisi ise akü aracılığı ile depolanarak inverter aracılığı ile ev için kullanılacaktır.

Tablo 2. Siemens SP75 model PV panelin özellikleri [18]

| | |
|--|---------|
| Kısa Devre Akımı, I_{sc} (A) | 4.8 |
| Açık Devre Gerilimi, V_{oc} (V) | 21.7 |
| I_{sc} İçin Sıcaklık Katsayısı, T_{sc} (Amper/°C) | 0.00206 |
| V_{oc} İçin Sıcaklık Katsayısı, T_{oc} (Volt/°C) | 0.077 |
| Modül Çalışma Gerilimi, V_{mp} (Volt) | 17 |
| Modül Başına Güç, P_{mpp} (W) | 75 |
| Referans şartlarda maks. güç noktasında modül akımı, I_{max} (A) | 3.051 |
| Referans şartlarda maks. güç noktasında modül gerilimi V_{max} (V) | 14.53 |

PVT'nin termal modellemesi ile ilgili denklemler Sarhaddi vd., [19]'nin yapmış oldukları makaleden alınmıştır. İlgili evin elektrik ihtiyacını PVT ile sağlamak ve depo etmek için gerekli olan ekipman sayılarını belirlemek amaçlı kullanılan denklemler ise Grozdev [20]'in tezinden temin edilmiştir.

2.2. Isı pompası sisteminin termodinamik analizi

Tasarlanan sistemin genel kütle denkleği, bu ifade giren ve çıkan kütlelerdeki eşitliği göstermektedir;

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

Termodinamiğin 1. Yasasına göre sistemin genel enerji denkliği şu şekilde ifade edilir;

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_{in} h_{in} = \dot{W} + \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad (2)$$

PVT su çevriminde için kütle denkliği [13];

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_{su,PVT} \quad (3)$$

PVT için enerji denge denklemi aşağıda yazılmıştır;

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{Q}_U + \dot{m}_3 h_3 \quad (4)$$

Buradan, \dot{Q}_U fotovoltaik hücreden alınan ısı enerjisi şu şekilde ifade edilmiştir;

$$\dot{Q}_U = \dot{m}_{su,PVT} (h_2 - h_3) \quad (5)$$

PVT çevrimdeki pompa için enerji denge denklemi şu şekildedir;

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_{P,PVT} = \dot{m}_2 h_2 \quad (6)$$

Buradan, $\dot{W}_{p,pv}$ PVT çevrimindeki pompa gücü şu şekilde elde edilmiştir;

$$\dot{W}_{P,PVT} = \dot{m}_{su,PVT} (h_2 - h_1) \quad (7)$$

Isı pompası CO₂ çevrimi için kütle denkliği;

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_{Ref} \quad (8)$$

Evaporatör için enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılmıştır;

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{Ref} (h_4 - h_7) = \dot{m}_{su,PVT} (h_3 - h_1) \quad (9)$$

Kondenser kapasitesi ise aşağıdaki formülden belirlenmiştir.

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}_{Ref} (h_5 - h_6) \quad (10)$$

Kompresör için enerji dengesi denklemi şu şekilde gösterilmiştir;

$$\dot{W}_c \eta_{is,c} + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_5 h_5 \quad (11)$$

Buradan, \dot{W}_c kompresör kapasitesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

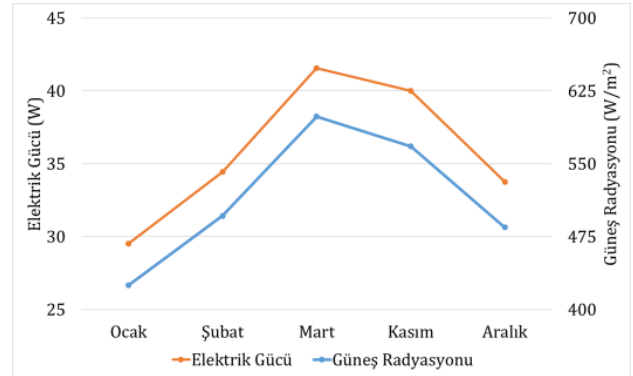
$$\dot{W}_c = \frac{\dot{m}_{Ref} (h_5 - h_4)}{\eta_{is,c}} \quad (12)$$

Performans katsayısı (COP) değeri, aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$COP = \frac{\dot{Q}_{con}}{\dot{W}_c} \quad (13)$$

3. Bulgular

Bu bölümde, teorik olarak analizi yapılan PVT entegreli ısı pompası sistemi üzerinden gerçekleştirilen teorik analiz, karşılaştırma ve sonuçlar derlenmiştir. Analizlerde, öncelikli olarak PVT performansının belirlenmesi için, Tablo 2'de özellikleri belirtilen güneş hücresi verileri kullanılarak aylara göre elektrik üretilebilecek elektrik gücü hesap edilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere, kış şartları için yapılan hesaplamalarda, en yüksek elektrik üretimi mart ayında gerçekleşmiştir. Aynı zamanda bu ayda, ortalama güneş radyasyonu değeri en büyüktür. En düşük elektrik gücü ise, güneş radyasyonu düşük olduğundan ocak ayı için belirlenmiştir.



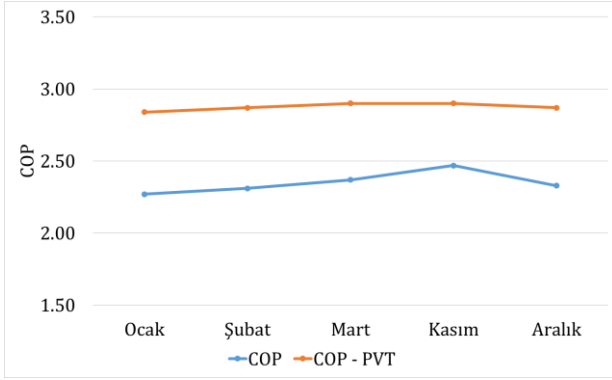
Şekil 3. Aylara göre güneş radyasyonu değişiminin elektrik üretimine etkisi

Antalya ilinde tasarlanan evin ısıtmaya ihtiyacı için, belirtilen aylardaki meteorolojik veriler kullanılarak TS825 doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Analiz sonucunda, elde edilen sonuçlar, Tablo 3'te verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere, evin ısıtma yükü, en fazla ocak ayı için hesaplanmıştır. Bunun nedeni, ocak ayında Antalya ilinin diğer aylara kıyasla daha soğuk olmasıdır.

Tablo 3. Tasarlanan evin belirlenen aylardaki ısınma ihtiyacı

| | Ocak | Şubat | Mart | Kasım | Aralık |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Isıtma İhtiyacı (kW) | 0.783 | 0.698 | 0.431 | 0.346 | 0.706 |

Farklı aylar için, evin ısıtma ihtiyacının CO₂ ile çalışan ısı pompası analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Analizlerde, ısı pompasının, hava kaynaklı ve PVT kaynaklı olarak iki farklı çalışma durumu göz önüne alınmıştır. İlk durumda, ısı pompası, gerekli ısı enerjisini, dış ortamdan almakta, ikinci durumda ise, PVT'den çekilen ısı enerjisi, ısı pompasına aktarılmaktadır. Şekilden görüleceği üzere, hava kaynaklı (PVT'siz) ısı pompasının soğutma COP değeri, ilgili aylar için PVT'li ısı pompasının performans değerinden daha düşük çıkmıştır.



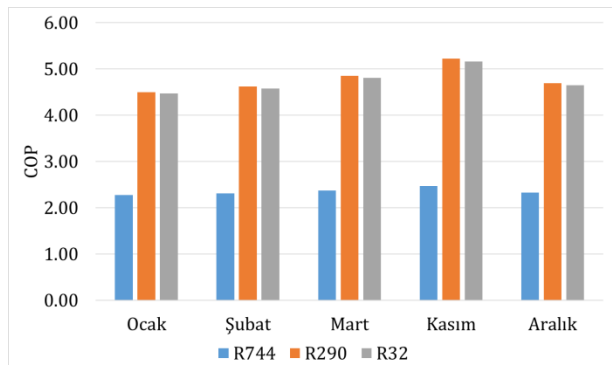
Şekil 4. PVT'li ve PVT'siz ısı pompası sisteminin performansının karşılaştırılması

Yapılan analizlerde, çevreci, sürdürülebilir, zararsız, zehirsiz, vb., özelliklerinden dolayı CO₂ akışkanı tercih edilmiştir. Fakat elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere, ısıtma ihtiyacı için, ısı pompasının COP değeri nispeten düşüktür. Bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için, analizlerde, CO₂ akışkanı, ticari olarak kullanılan R290 ve R32 akışkanları ile karşılanmıştır. Belirtilen üç akışkanın termodinamik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. R744, R290 ve R32 akışkanlarının özellikleri [21]

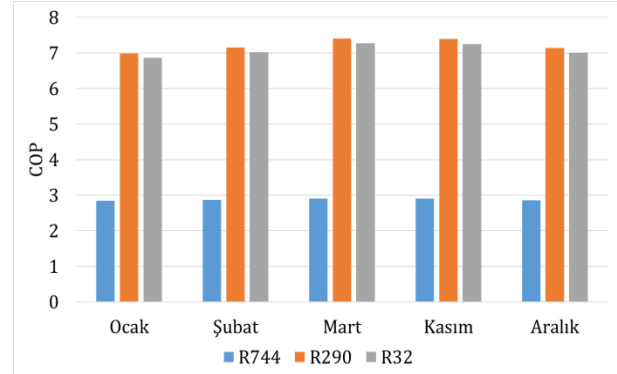
| | R744 | R290 | R32 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| Emniyet Sınıfı | A1 | A3 | A2L |
| Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) | 1 | 3 | 677 |
| Ozon Tüketme Potansiyeli (ODP) | 0 | 0 | 0 |
| Kritik Sıcaklık (°C) | 30.98 | 96.74 | 78.11 |
| Kritik Basınç (MPa) | 7.38 | 4.25 | 5.78 |
| Normal Kaynama Sıcaklığı (°C) | -78.46 | -42.11 | -51.65 |

Şekil 5'te, üç farklı akışkan için yapılan ısı pompası analizi sonucu performans karşılaştırması verilmiştir. Farklı aylar için yapılan analizler sonucu, R290 akışkanının en yüksek performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Analizler, PVT'siz ısı pompası durumu için yapılmıştır. Şekilden görüleceği üzere, R290 akışkanı kullanılması halinde, CO₂ akışkanının neredeyse iki katı yüksek COP değerleri elde edilmiştir. Tablo 6'da da belirtildiği üzere, çevresel açıdan bakıldığında, R290 akışkanının küresel ısınma potansiyeli, CO₂'ye yakındır.



Şekil 5. PVT'siz ısı pompası performansının farklı akışkanlar için karşılaştırılması

Şekil 6'da ısı pompası sisteminin PVT entegreli durumu için yapılan analiz sonuçları verilmiştir. Önceki sonuçlara benzer olarak, bu durumda da R290 akışkanı en iyi performansı sergilemiştir. Ayrıca, iki şekil kıyaslandığında, PVT entegreli sistemin daha verimli olduğu açıkça görülmektedir.



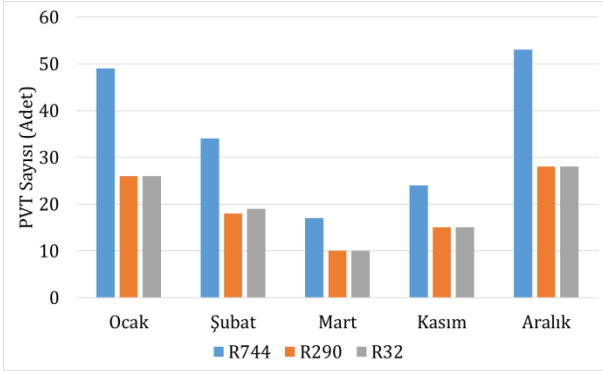
Şekil 6. PVT'li ısı pompası performansının farklı akışkanlar için karşılaştırılması

Çalışmanın son bölümünde, tasarlanan evin elektrik ihtiyacının belirlenmesi için gerekli PVT ve kapasite hesabı yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikle evin elektrik ihtiyacının belirlenmesi için Tablo 5'te belirtilen cihazların kullanıldığı kabul edilmiştir

Tablo 5. Tasarımı yapılan evdeki elektrik tüketen eşyaların detaylı verileri [22, 23]

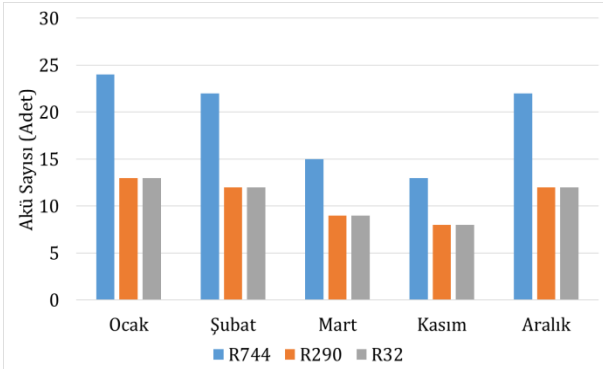
| Ürün Adı | Enerji tüketimi veya güç katalog değeri | Çalışma süresi | Günlük enerji tüketimi (kWh) |
|--------------------|---|----------------|------------------------------|
| Led TV | 51 kWh/1000h | 4 h/gün | 0.204 |
| Mini buzdolabı | 137 kWh/yıl | 8 h/gün | 0.400 |
| Çamaşır Makinesi | 65 kWh/yıl | 1 h/gün | 0.243 |
| Mini fırın | 1650 W | 15 dak/gün | 0.412 |
| Ütü | 2400 W | 30 dak/hafta | 0.171 |
| Led Aydınlatma | 7 W | 4 adet×5 h/gün | 0.140 |
| Elektrikli Süpürge | 450 W | 30 dak/hafta | 0.032 |

Evin ilgili aylarda ihtiyaç duyduğu ısınma ihtiyacı baz alınarak hesaplanan ısı pompası elektrik ihtiyacı da üç farklı akışkan CO₂, R290 ve R32 için hesaplanmış ve gerekli PVT sayıları farklı aylar için Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, mart ayı için PVT sayısının en az, aralık ayı için ise en çok olduğu tespit edilmiştir. Burada dikkati çeken bir diğer husus ise, farklı akışkanların kullanıldığı ısı pompası sistemleri için, en az PVT sayısı R290 akışkanı için bulunmuştur.

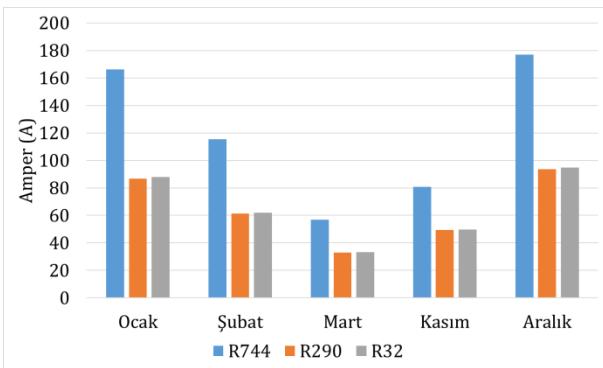


Şekil 7. PVT'li ısı pompası ile evin elektrik ihtiyacı için gerekli PVT sayıları

Güneşin olmadığı (gece) durumlar veya yetersiz kaldığı durumlar için evin elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için, elektrik enerjisinin depo edilmesi gerekmektedir. Bu maksatla, yapılan analizlerde, gerekli batarya sayıları da farklı aylar için ve farklı akışkanların kullanıldığı ısı pompası sistemi için tespit edilmiştir (Şekil 8). Şekilden de görüleceği üzere, güneş enerjisinin nispeten yüksek olduğu mart ayı için en az batarya sayısı hesap edilmiştir. Ayrıca, dizayn edilen sistem için ihtiyaç duyulan şarj regülatörü akımının ilgili aylar için mukayesesi farklı akışkanlar için Şekil 9 da verilmiştir.



Şekil 8. PVT'li ısı pompası ile evin elektrik ihtiyacı için gerekli batarya sayıları



Şekil 9. PVT'li ısı pompası ile evin elektrik ihtiyacı için gerekli şarj regülatör akımı

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışmada hibrit bir sistem olan PVT entegreli ısı pompası sisteminin farklı çalışma

akışkanları için analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde dizayn edilen bir evin ısıtma ihtiyacının ve elektrik ihtiyacının çevreci bir şekilde karşılanabilmesi için hibrit sistemin tasarımı ve analizleri yapılmıştır.

Analizlerde, evin ısıtma ihtiyacı, TS 825 standardına göre hesaplanmış ve ısıtma ihtiyacının en düşük kasım ayında (0.3459 kW) ve en yüksek ocak ayında (0.7832 kW) olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ısıtma ihtiyacını karşılamak için PVT entegreli CO₂ akışkanlı ısı pompasının COP değeri 2.841 ve PVT entegresiz ısı pompası durumunda ise 2.273 olarak hesap edilmiştir. PVT entegreli ısı pompasının COP değeri ilgili aylar için ortalama olarak %22 daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, CO₂ kullanılan ısı pompası sisteminin performansı, ticari olarak kullanılan farklı iş akışkanları R290 ve R32 ile karşılaştırılmıştır. Isıtma ihtiyacının en yüksek olduğu ocak ayı için R290 akışkanı en yüksek performansı sergilemiş ve ısı pompasının COP değeri 6.982 olarak tespit edilmiştir. Karşılaştırma sonucu, en verimli akışkanın R290 olduğu tespit edilmiş ve CO₂'e göre %59.96, R32'ye göre ise %1.84 daha verimli olduğu görülmüştür.

Tasarlanan evin elektrik ihtiyacı analizlerinde ise, ısı pompasında R290 ve R32 akışkanının kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan elektrikli enerji için gerekli PVT sayısı 28 adet olarak hesaplanmıştır. CO₂ akışkanının kullanılması halinde yapılan hesaplamalarda ise PVT sayısı 53 adet olarak belirlenmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda bir evin ısıtma ve elektrik ihtiyacının karşılanmasında CO₂ akışkanlı PVT entegreli bir ısı pompası sisteminin R290 ile R32 ticari akışkanlara kıyasla daha düşük verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Semboller ve İndisler

| | |
|---------------------|----------------------|
| h | enthalpi (kJ/kg) |
| \dot{m} | kütlesel debi (kg/s) |
| \dot{Q} | ısı (W) |
| PVT | fotovoltaik termal |
| T | sıcaklık (°C) |
| \dot{W} | iş (W) |
| η | verim |
| COP | performans katsayısı |
| <i>Alt indisler</i> | |
| C | kompresör |
| con | kondanser |
| evap | evaporatör |
| in | giren |
| is | izentropik |
| out | çıkan |
| P | pompa |
| Ref | çalışma akışkanı |
| U | faydalı |

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Şensoy, B. 2019. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemlerinin performans analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [2] Özgür, A. E., & Bayrakçı, H. C. 2010. CO₂ Soğutucu Akışkanlı Isı Pompalarında Soğutucu Akışkan Çıkış Sıcaklığının Ekserji Verimine Etkisi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 73-78.
- [3] Alessandro, M., Aste, N., Claudio, D. P., & Fabrizio, L. 2021. Photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump systems for building applications: Integration and design methods. Energy and Built Environment, 1-18.
- [4] Daghigh, R., Ruslan, M. H., & Sopian, K. 2011. Advances in liquid based photovoltaic/thermal(PV/T) collectors. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4156-4170.
- [5] Akova, İ. 2010. Enerji Ve Alternatif Enerji Kaynakları. İstanbul Üniversitesi, Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, Coğrafya Ders Notları.
- [6] Yüce, M. 2016. İki Kademeli CO₂ Transkritik Çevrimli Bir Isı Pompası Sisteminin Termodinamik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [7] Lorenzo, C., & Narvarte, L. 2019. Performance indicators of photovoltaic heat-pumps. Heliyon, 1-16.
- [8] Noro, M., & Lazzarin, R. M. 2018. Hybrid Photovoltaic-Thermal Heat Pump Systems: Energy And Economic Performance Evaluations In Different Climates. International Journal of Low-Carbon Technologies, 76-83.
- [9] Anonim, 2022a. Solar Şarj Kontrol Cihazı Nedir? Ne değildir? PWM MPPT Farkı. <https://solaravm.com/gunes-enerjisi-solar-sarj-kontrol-cihazlari-hakinda#:~:text=Solar%20%C5%9Farj%20kontrol%20cihaz%C4%B1%20veya,ve%20ak%C4%B1m%C4%B1%20dengelemeye%20yarayan%20cihazlard%C4%B1r.> (Erişim tarihi: 08.11.2022)
- [10] TSE, 2009. TS 825 Binaların Isı Yalıtım Kuralları. TSE, Ankara.
- [11] Erten, S., Koşan, M., İşgen, F., Demirci, E., Aktaş, M. 2021. Thermodynamic Analysis of Industrial Cooling Systems with the Usage of Different Types of Evaporators: Experimental Study. Gazi University Journal of Science. 1145-1161.
- [12] Bahadır, M. B. 2019. Güneş Enerjisi Destekli Bir Organik Rankine Çevriminin Simülasyonu Ve Analizi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- [13] Kızılkın, Ö. 2004. Kompresörlü Soğutma sistemlerinde Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Aşırı Kızdırma Ve Aşırı Soğutma Etkisinin Termoeconomik Yönden İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [14] Anonim, 2021. Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=antalya (Erişim tarihi 12.01.2021)
- [15] Anonim, 2022c. Antalya. <https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?FMM=11&FYY=2011&LMM=11&LYY=2021&WMO=17300&CONT=trtr®ION=0005&LAND=TU&ART=WST&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=tr&MOD=tab> (Erişim tarihi: 08.01.2022)
- [16] Anonim, 2022e. What is the EVA? <https://www.eco-greenenergy.com/what-is-the-eva/#:~:text=EVA%20is%20ethylene%20vinyl%20acetate,film%20around%20the%20solar%20cells.> (Erişim tarihi: 06.03.2022)
- [17] Anonim, 2022f. Tedlar- PET-AI Foil- Tedlar. [https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/tedlar-pet-ai-foil-tedlar/#:~:text=Tedlar%20is%20the%20brand%20name,\(%2D70%C2%B0C%20to%20%2B](https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/tedlar-pet-ai-foil-tedlar/#:~:text=Tedlar%20is%20the%20brand%20name,(%2D70%C2%B0C%20to%20%2B) (Erişim tarihi: 07.04.2022)
- [18] Anonim, 2022d. Siemens Solar Panels direct from Bullnet. https://www.siemens.co.uk/sp75_sp70.html (Erişim tarihi: 01.01.2022)
- [19] Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H., Behzadmehr, M. & Adeli, M. M. 2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. Applied Energy. 2328-2339.
- [20] Grozdev, M. 2010. Alternatif Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- [21] Mota-Babiloni, A., Joybari, M. M., Navarro-Esbrí, J., Mateu-Royo, C., Barragán-Cervera, A., Amat-Albuixecha, M. & Molés, F. 2020. Ultralow-temperature refrigeration systems: Configurations and refrigerants to reduce the environmental impact. *Systèmes frigorifiques à ultra-basse température : configurations et frigorigènes permettant de réduire l'impact environnemental. International Journal of Refrigeration*. 147-158.
- [22] Anonim, 2022g. <https://www.arcelik.com.tr/> (Erişim tarihi: 13.05.2022)
- [23] Anonim, 2022h. <https://www.lighting.philips.com.tr/consumer> (Erişim tarihi: 13.05.2022)