



VAN İKLİM ŞARTLARINDA SU KAYNAKLI VE GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ BİR ISI POMPASI İLE SERA ISITMA SİMÜLASYONU

İrfan UÇKAN^{1*}, Emre ARPACI²

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye

² Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

Sera,
Isı Pompası,
TRNSYS,
Enerji.

Bu çalışmada Van iklim koşullarında yer alan farklı ayar noktası sıcaklıklarına sahip iki seranın ısıtma ihtiyacının karşılanması için güneş enerjisi destekli bir su kaynaklı ısı pompası sistemi TRNSYS programı aracılığıyla modellenmiştir. Bu seralar ayar noktası sıcaklıklarına göre soğuk ve ılık sera olarak adlandırılmış olup, ayar noktası sıcaklıkları soğuk ve ılık sera için sırasıyla 6 °C ve 17 °C değerlerindedir. İki sera sistemi içinde tek katlı cam ve çift katlı polietilen (ÇPE) sera örtüsü malzemeleri kullanılmış ve yıllık ısıtma enerjisi gereksinimleri karşılaştırılmıştır. Her iki seranın ısı yükleri TRNSYS programı yardımıyla hesaplanmış ve buna göre yeterli kapasitede ısı pompası seçimi yapılmıştır. Soğuk sera sisteminde kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketim değerleri sırasıyla 30000 kJ/h ve 6000 kJ/h iken ılık sera sistemine ait ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketimi sırasıyla 64252 kJ/h ve 17848 kJ/h'dir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, soğuk ve ılık serada cam sera örtüsü yerine çift katlı polietilen (ÇPE) sera örtüsü kullanımı sonucunda soğuk ve ılık serada sırasıyla yıllık % 55 ve % 44 ısıtma enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır.

GREENHOUSE HEATING SIMULATION WITH A WATER RESOURCE AND SOLAR ENERGY SUPPORTED PUMP IN VAN CLIMATE CONDITIONS

Keywords

Greenhouse,
Heat Pump,
TRNSYS,
Energy.

Abstract

In this study, a solar powered water source heat pump system was modeled through the TRNSYS program to meet the heating needs of two different types of greenhouses with different set point temperatures in Van climate conditions. These greenhouses are named as cold and warm greenhouses according to set point temperatures, and the set point temperatures are 6 °C and 17 °C respectively for cold and warm greenhouses. In two greenhouse systems, single layer glass and double layer polyethylene (ÇPE) greenhouse cover materials were used and annual heating energy requirements were compared. The heat loads of both greenhouses were calculated with the help of TRNSYS program and a sufficient capacity heat pump was selected accordingly. The nominal heating capacity and heat pump power consumption values of the heat pump used in the cold greenhouse system are 30000 kJ / h and 6000 kJ / h respectively, while the nominal heating capacity and heat pump power consumption of the warm greenhouse system is 64252 kJ / h and 17848 kJ / h, respectively. According to the results obtained in this study, as a result of the use of double-layer polyethylene greenhouse cover instead of glass greenhouse cover in cold and warm greenhouse, saves 55% and 44% heating energy for cold and warm greenhouse, respectively.

Alıntı / Cite

Uçkan, İ., Arpacı, E., (2020). Van İklim Şartlarında Su Kaynaklı ve Güneş Enerjisi Destekli Bir Isı Pompası İle Sera Isıtma Simülasyonu, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 799-807.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

İ. Uçkan, 0000-0002-1473-3016
E. Arpacı, 0000-0001-8786-3688

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	11.06.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	13.07.2020
Kabul Tarihi / Accepted Date	05.09.2020
Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

* İlgili yazar / Corresponding author: irfanuckan@yyu.edu.tr, +90 432 225 17 01-05

1. Giriş (Introduction)

Artan dünya nüfusu ve sanayileşme sonucunda enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Yüzyıllar boyunca enerji ihtiyacının karşılanmasında fosil yakıtlar en çok kullanılan kaynaklar olmuşlardır. Fakat fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevreye karşı olan olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynaklarına yöneliş görülmektedir. Literatüre bakıldığında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi (Bingöl ve Özkaya, 2019), jeotermal enerji, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yapılan çalışmaların sayısının artışı, alternatif enerji kaynaklarına yöneliş göstermektedir.

Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı miktarda olması gerçeğiyle karşılaşan devletler enerji politikalarını gözden geçirmektedirler. Gerek devletlerin ve gerekse büyük firmaların son yıllardaki enerji ve üretim politikaları gözden geçirildiğinde şu ilkelerin ön planda tutulduğu görülecektir; ekonomik gelişme elde edilmesi, enerji güvencesi sağlanması, çevrenin korunması (Kandırmış, 2017).

Ülkemiz gibi enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkeler mevcut enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanılması için yeni çalışmalar geliştirmelidirler. Bu doğrultuda ısı pompası kullanımı ülkemizin enerji ekonomisine önemli katkılar sağlayabilir. Isı pompalarının çevre dostu olması ve elektrikli ısıtmaya göre daha ekonomik olmalarından dolayı bu sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, Van bölgesi için güneş enerjisi destekli su kaynaklı bir ısı pompası ile sera ısıtma simülasyonu modellenmiştir. Modellenen ısı pompası sistemi ısı kaynağı olarak Van Gölü'nü kullanmaktadır. Ayrıca bu çalışmadaki hedeflerden birisi de güneş enerjisini ısı pompasına destek olarak kullanıp enerji verimini artırmaktır.

Bu konudaki çalışmalar deneysel teorik ve simülasyon çalışmaları olmak üzere farklı gruplara ayrılabilir. Deneysel çalışmaları incelersek, Yumrutaş ve Kaska 2004, Hacim ısıtması için bir günlük enerji depolama tankına sahip güneş enerjili ısı pompası sistemi tasarlamış, imal etmiş ve deneysel olarak termal performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında sistem performansını değerlendirmek için güneş radyasyonunun saatlik ve günlük değişimleri, kolektör performansı, ısı pompasının tesir katsayısını (COP) ve genel sistemin performans katsayısını hesaplamışlardır. Bunlara ek olarak mevsimsel koşulları ve çalışma koşullarını da değerlendirerek bulutlu ve açık günlerin sistem performans katsayısı üzerine etkilerini karşılaştırmışlardır.

Çomaklı ve ark., 1993, tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde evsel ısıtma amacıyla enerji depolama tankına sahip güneş enerjisi ile çalışan ısı pompası sisteminin Performansını araştırmak için bir deneysel düzenek kurmuşlardır. Toplayıcı verimi %70, ısı pompası performansını %4,5, sistem performansını %4 ve güneş enerjisinin ısı olarak depolama verimi %60 olarak tespit etmişlerdir.

Birçok araştırmacı ısı pompalarıyla ilgili teorik çalışma gerçekleştirmiştir. Yaman Karadeniz ve Horuz, 1998, tarafından yapılan çalışmada İstanbul iklim şartlarında açık günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelenmesi yapılmıştır. Teorik çalışmada, İstanbul şartlarında açık günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama performans katsayıları ve sistemin diğer özelliklerini araştırmışlardır.

Kaygusuz 2000, ısı pompasının güneş enerjisiyle çalıştırıldığı ısıtma sisteminin performansını teorik ve deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmasında Kasım ayından Nisan ayına kadar olan deneysel sonuçlar elde edilmiş ve ısı pompasının performans katsayısını (COP), ısıtma oranının güneş enerjisi ile karşılanma oranını, kolektör ve depolama verimini, sistemin enerji ihtiyacını incelemiştir. Ayrıca güneşle ısıtma sisteminin analizi için matematiksel bir model geliştirmiştir.

Bu konuda yapılan simülasyon çalışmalarına gelince, Yang ve ark., 2011, yaptıkları çalışmalarında hacim ısıtma amacıyla güneş enerjili bir ısı pompası simülasyonu tasarlamışlardır ve güneş kolektör yüzey alanının, depolama tankının kapasitesinin sistem performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yang ve ark. tarafından oluşturulan simülasyon programı elde edilen verilere göre sistemin optimizasyonunu gerçekleştiren bir fonksiyon da içermektedir.

Koçak 2012, çalışmasında hacim ısıtma amaçlı güneş enerjisi destekli su kaynaklı ısı pompası sistemi için bir bilgisayar simülasyonu oluşturmuş ve simülasyon sonucunu literatürdeki deneylerle karşılaştırarak modelin güvenilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında hesaplamaları Antalya iklim şartlarında gerçekleştirmiştir. Depo kapasitesi, kolektör tipi ve kondenser gücünün değişiminin, depo sıcaklığı, kompresörde tüketilen güç ile ısı pompası ve tüm sistemin COP değerleri üzerine etkisini araştırmış ve sistem için optimum boyutları tespit etmiştir.

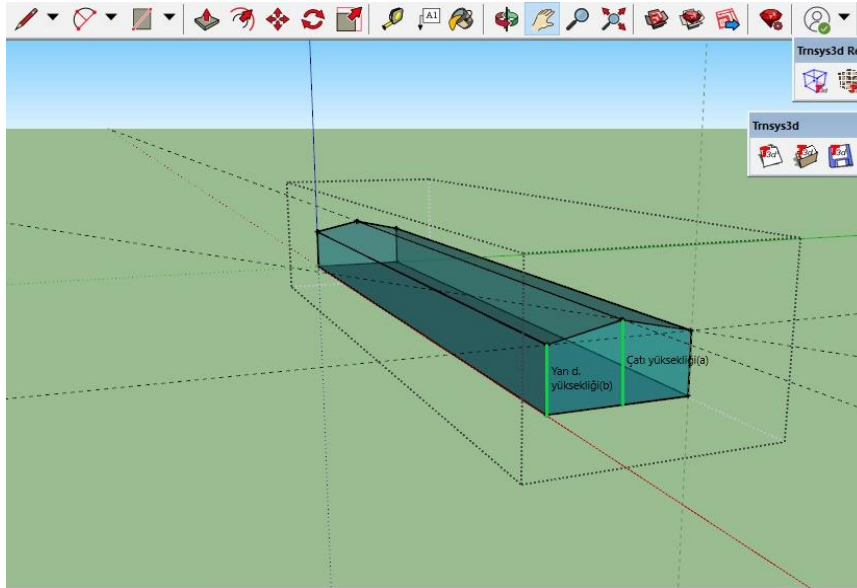
Trillat-Berdal ve ark., 2006, çalışmalarında alan ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla jeotermal ısı pompalarının güneş kolektörleriyle birleştirilmesi ile farklı konfigürasyonların modellemesini TRNSYS yazılımı

yardımları ile yapmışlardır. Çalışmalarında çevresel, ekonomik ve enerji performansı açısından en uygun sistemin analizini gerçekleştirmişlerdir.

Collins ve ark., 2013, çalışmalarında bir evsel sıcak su tankına sahip güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin performansını incelemişlerdir. Simülasyon sonuçlarını deneysel çalışma ile karşılaştırmış ve simülasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki uyumun çok güçlü olduğunu tespit etmişlerdir.

2. Sistemin Tanımlanması (System Identification)

Bu çalışmada modellenen seranın tasarımı Google Sketchup programı aracılığıyla yapılmıştır. Program yardımıyla çizilen model TRNSYS17 programına aktarılmıştır. Çizilen sera modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Modellenen serada sızıntılardan dolayı oluşabilecek hava değişimi için, saatte bir yarım oda hava değişimi 0.5 1/h olarak alınmıştır. Modern seralarda hava değişimi 0.5-1.5 1/h aralığındadır (Anonim, 2019a).



Şekil 1. Google Sketchup programı ile modellenen sera (Greenhouse modeled with Google Sketchup program)

Bu çalışmada sera örtüsü olarak kullanılan tek katlı cam ve çift katlı polietilen (ÇPE) malzemelerinin toplam ısı transfer katsayıları sırasıyla 5.68 W/m²K ve 3.86 W/m²K değerindedir. Tasarlanan güneş enerjisi destekli ısı pompalı sera ısıtma sisteminde, her iki sera içinde (soğuk ve ılık sera) sera örtüsü malzemesi olarak çift katlı polietilen (ÇPE) kullanılmıştır. Modellenen seranın geometrik özellikleri Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sera modelinin geometrik özellikleri (Geometric features of the greenhouse model)

Sera modelinin geometrik özellikleri	Uzunluk(m)
Sera tabanı genişliği	4
Sera tabanı uzunluğu	25
Yan duvar yüksekliği (b)	1.75
Sera çatı yüksekliği (a)	2.2

2.1. Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasının TRNSYS İle Modellenmesi (Modeling of Solar Powered Heat Pump With TRNSYS)

TRNSYS simülasyonları ve sistemin gerçek davranışı arasında iyi bir korelasyon vardır. Bundan dolayı ısı pompası modellemelerinde TRNSYS yaygın olarak kullanılmaktadır. Modellenen simülasyonların başlangıcı 0, bitiş 8760 saat olarak alınmıştır. Bu değerler bir yıllık zaman aralığını göstermektedir. Simülasyon zaman adımı 5 dk (0.833 saat) alınmıştır.

Kontrol stratejisi ve sistemdeki elemanların özellikleri aşağıda verilmektedir;

Isı pompası: Soğuk sera sisteminde kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısıtma esnasında tükettiği güç sırasıyla 30000 kJ/h ve 6000 kJ/h değerlerindedir ve Trane WPWD 025 ısı pompası modeline ait katalog değerleri kullanılmıştır. (Anonim, 2019b) Ilık sera ısıtması için kullanılan ısı pompasının nominal ısıtma kapasitesi ve ısı pompası güç tüketimi sırasıyla 64252 kJ/h ve 17848 kJ/h değerlerindedir ve Trane EXW 060 ısı pompası modeline ait katalog değerleri kullanılmıştır. (Anonim, 2019b) Isı pompasının kontrolü bir kontrol elemanı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kontrol elemanı tank ortalama sıcaklığını izlemektedir. Kontrol elemanı aracılığıyla, sera ısıtma ihtiyacı olan zaman aralığında tank ortalama sıcaklığı 45°C'nin altına düştüğünde ısı pompası, tank pompası, eşanjör pompası ve göl pompası devreye girmektedir, tank ortalama sıcaklığı 48°C'nin üzerine çıktığında ise ısı pompası döngüsü (ısı pompası, göl pompası, tank pompası, eşanjör pompası) durmaktadır.

Isı pompası performans katsayısı ve sistemin performans katsayısı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır:

$$COP_h = \frac{Q_H}{W_{hp}} \quad (1)$$

$$COP_{sys} = \frac{Q_H}{(W_{hp} + W_{pumps} + W_{fc})} \quad (2)$$

Depolama tankı: Bu sistem elemanın hacmi 1 m³ olarak alınmıştır. Bir kontrol elemanı aracılığıyla tankın ortalama sıcaklığı ısıtma ihtiyacı olan zamanlarda (ısıtma sezonunda) 45-48°C aralığında tutulmuştur. Tank içindeki akışkan % 38 propilen glikol-su karışımıdır.

Güneş kolektörü: TRNSYS17 kütüphanesinde "Type 1b" olarak bulunan düzlemsel güneş kolektörü seçilmiştir. Güneş kolektörünün ısı verimi şu şekildedir:

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (3)$$

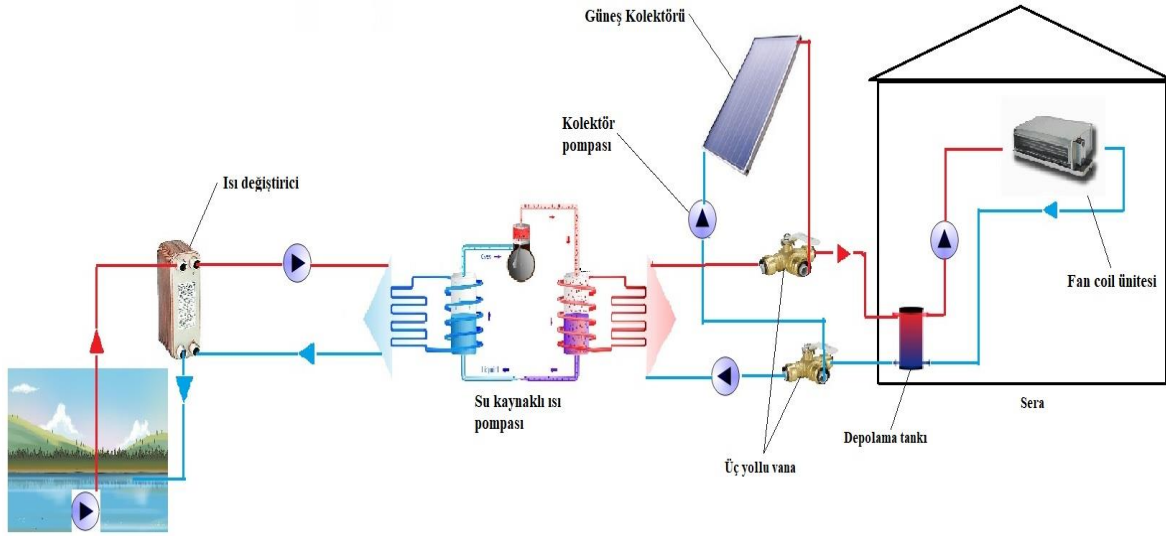
Depolama tankının alt katmanından çekilen akışkan bir kolektör pompası aracılığıyla kolektöre gönderilmekte ve ısınan akışkan tekrar tankın üst katmanına geri gönderilmektedir. Güneş kolektörü çıkış sıcaklığını izleyen bir kontrol elemanı, kolektör çıkış sıcaklığını tank ortalama sıcaklığıyla karşılaştırmaktadır. Eğer aradaki fark aradaki fark 5°C'nin üzerindeyse kolektör pompası çalışır hale gelmektedir ve aradaki sıcaklık 2 °C olana kadar çalışmaktadır.

Oda termostati ve gölgelendirme kontrol: Modellenen simülasyonlarda sera sıcaklığı oda termostati yardımıyla kontrol edilmiştir. Oda termostati, ayar noktası sıcaklığı soğuk sera için 6 °C, ılık sera için ise 17 °C ayarlanmıştır. Soğuk serada sera sıcaklığı 5°C, ılık serada ise sera sıcaklığı 16°C'nin altına düşerse fan coiller oda termostati kontrolüyle devreye girmektedir.

Yaz sezonunda sera içindeki aşırı sıcaklık bitkilere zarar verir. Bundan dolayı seranın çatısına güneşlik örtüsü eklenmiştir ve sera sıcaklığı 35°C'den fazla olursa kontrol elemanı aracılığıyla güneşlik örtüsü devreye girmektedir. Böylece seranın çatısından güneş ışınımı girişi engellenmektedir.

Pompalar: Sistemdeki pompalar, TRNSYS kütüphanesinde bulunan "Type 114" kullanılarak modellenmiştir. Bu bileşen, 0 veya 1 kontrol sinyali ile kontrol edilmektedir. Tanımlanan maksimum debiyi kontrol sinyali 1 olması durumunda sağlar. 0 durumunda ise pompa kapalı durumdadır.

Şekil 2'de modellenen güneş destekli ısı pompası sisteminin şeması gösterilmiştir. TRNSYS programında tasarlanan sistemin görünümü ise Şekil 3'te verilmiştir



Şekil 2. Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin şematik görüntüsü (Schematic view of the solar assisted heat pump system)

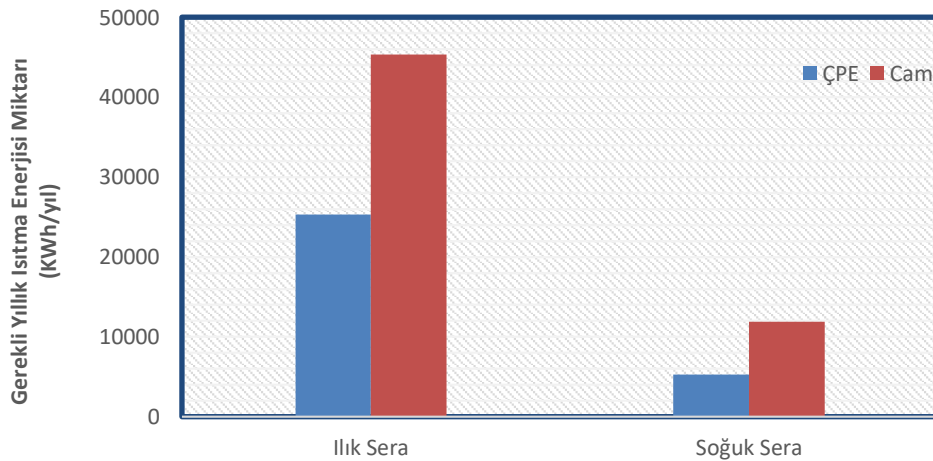
3. Isı yükünün Hesaplanması (Calculation of Heat Load)

Isı yükü, yapıyı istenen sıcaklıkta tutmak için ısı üreticisinden istenen maksimum saatlik ısı çıkışı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada seraların ısı yükleri TRNSYS programının alt sürümü olan TRNBuild aracılığıyla hesaplanmıştır. TRNBuild basit varsayımlardan ziyade hava koşullarını ve çeşitli parametreleri hesaba katarak bir mahallin ısı yükünü dinamik olarak yapabilen kompleks bir alt programdır. Yeterli kapasitedeki ısı pompası seçmek için ısı yükü hesaplanmalıdır. TRNSYS ile ısı yükünü hesaplamak için "Type 56" bileşenini kullanmak gerekmektedir. Bu bileşen modellenen mahallin özelliklerini içermektedir.

Bu çalışmada Van iklim koşullarında ki Tablo 1'de özellikleri verilen 100 m² taban alanlı seranın maksimum ısı yükü, yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta oluşmuştur.

4. Araştırma Bulguları (Findings)

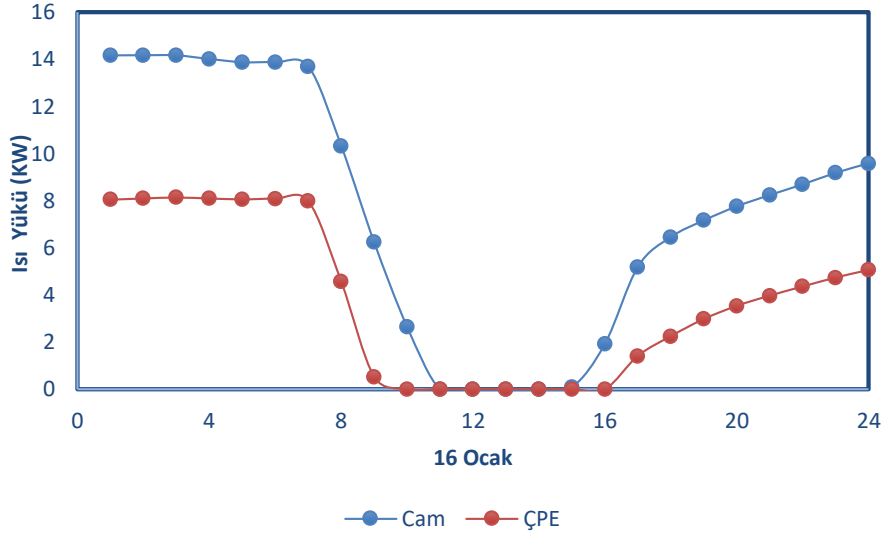
Soğuk ve ılık seranın yıllık ısıtma enerjisinin cam ve çift katlı polietilen(ÇPE) sera örtüsü kullanımı sonucunda değişimi Şekil 4'te gösterilmektedir. Soğuk sera için yıllık gerekli ısıtma enerjileri cam ve ÇPE sera örtüleri için sırasıyla 11863 kWh ve 5269 kWh değerlerindedir. Ilık sera için ise yıllık gerekli ısıtma enerjileri cam ve ÇPE sera örtüleri için sırasıyla 45351 kWh ve 25288 kWh değerlerindedir.



Şekil 4. Farklı sera örtüsü malzemelerinin kullanımında ısıtma enerji değişimleri (Heating energy changes in the use of different greenhouse cover materials)

Soğuk serada sera örtüsü olarak tek katlı cam yerine, çift katlı polietilen kullanımı yıllık % 55 enerji tasarrufu sağlarken ılık serada ise çift katlı polietilen kullanımı yıllık %44 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

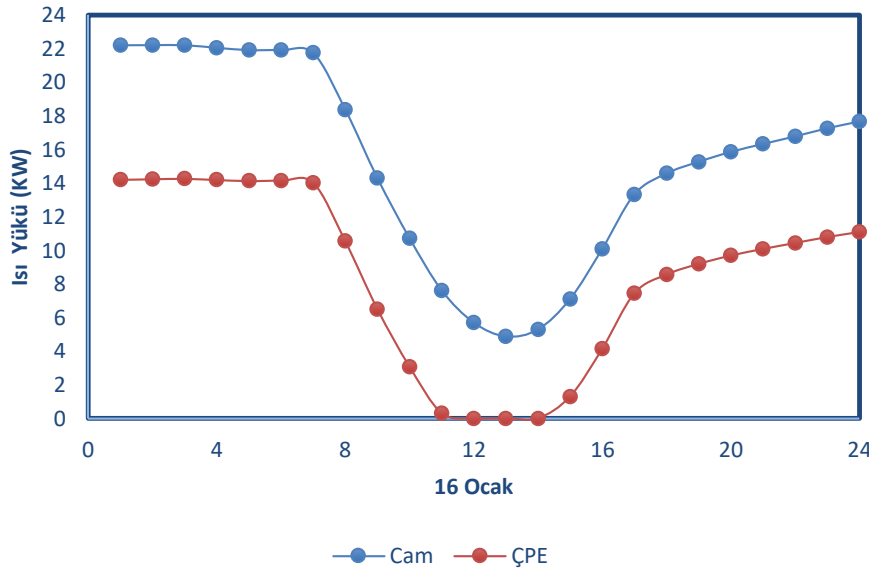
Soğuk seranın yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta cam ve çift katlı polietilen sera örtüsü kullanımı sonucunda ısı yüklerinin saatlik değişimi Şekil 5'te gösterilmektedir. Maksimum ısı yükü cam için 14.17 kW iken çift katlı polietilen 'de ise 8.14 kW değerindedir.



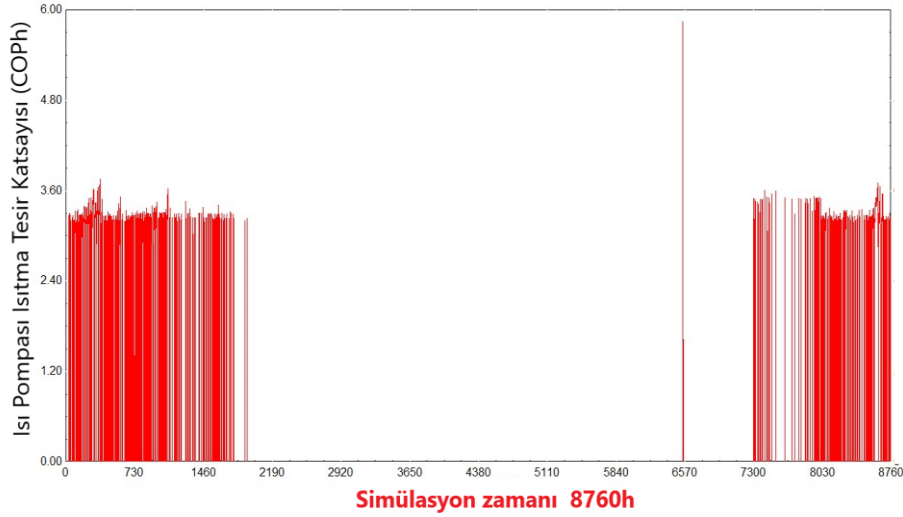
Şekil 5. Isı yükünün en soğuk günde farklı sera örtüleri için değişimi (Change of heat load for different greenhouse covers on the coldest day)

Ilık seranın yılın en soğuk günü olan 16 Ocak'ta cam ve çift katlı polietilen sera örtüsü kullanımı sonucunda ısı yüklerinin saatlik değişimi Şekil 6'da gösterilmektedir. Maksimum ısı yükü cam için 22.2 kW iken çift katlı polietilen 'de ise 14.26 kW değerindedir.

Soğuk sera sistemindeki ısı pompasının zamana bağlı olarak ısıtma performans katsayısı (COPh) değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 2160-6552 saatleri arası Nisan-Eylül ayları arasındaki zamanı (bu aylar dahil) belirtmektedir. Isı pompası bu zaman aralığında çalışmamaktadır.

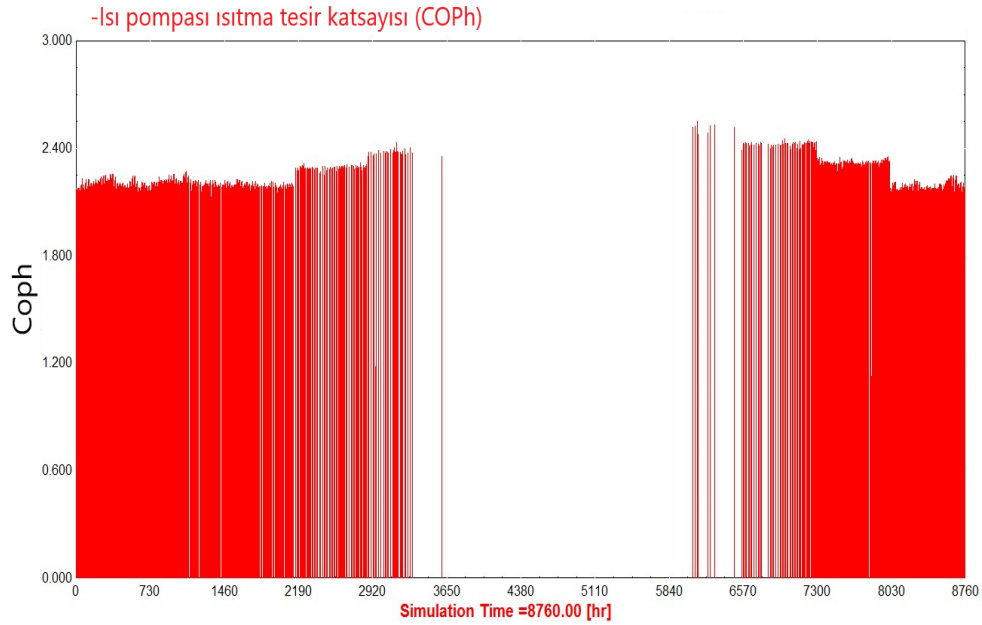


Şekil 6. Isı yükünün en soğuk günde farklı sera örtüleri için değişimi (Variation of the heat load for different greenhouse covers on the coldest day)



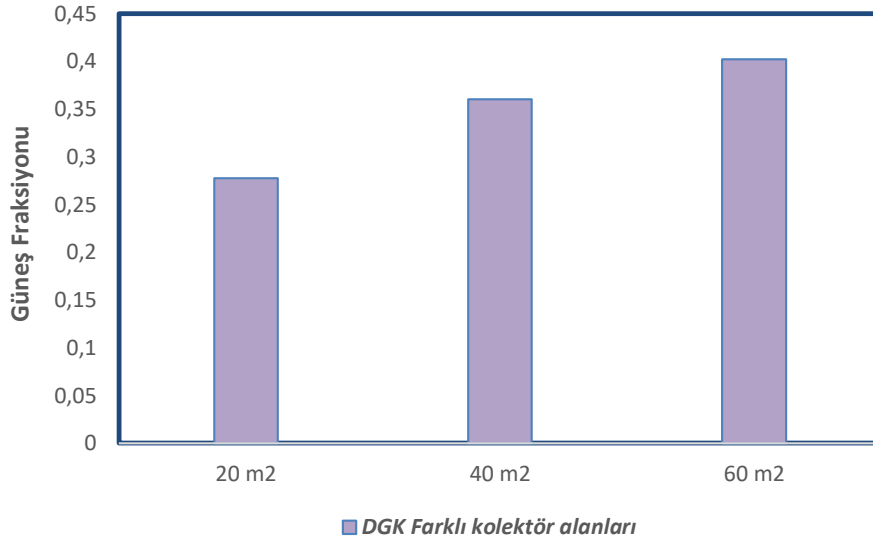
Şekil 7. Isı pompasının bir yıllık performans katsayısı değişimi (One year performance coefficient change of the heat pump)

Soğuk sera sistemindeki ısı pompasının yıllık ortalama ısı pompası performans katsayısı (COPh) 3.12 olarak hesaplanırken yıllık ortalama sistemin performans katsayısı (COPsys) ise 2.53 olarak hesaplanmıştır. Şekilde görülen aynı aydaki COP artışları güneş enerjisi desteğinden kaynaklanmaktadır. Güneşli günlerde güneş ışınımından yararlanılmıştır. Buda COP artışına neden olmaktadır. Ilık sera sistemindeki ısı pompasının performans katsayısı (COPh) değişimi Şekil 8’de gösterilmiştir. Ilık sera sistemindeki ısı pompasının yıllık ortalama ısı pompası performans katsayısı (COPh) 2.21 olarak hesaplanırken yıllık ortalama sistemin performans katsayısı (COPsys) ise 1.83 olarak hesaplanmıştır.



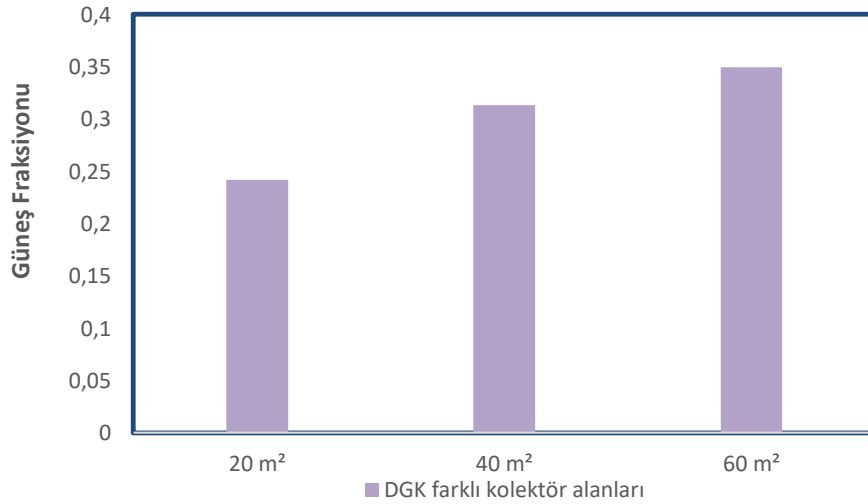
Şekil 8. Isı pompasının bir yıllık performans katsayısı değişimi (One year performance coefficient change of the heat pump)

Soğuk sera için güneş fraksiyonunun farklı alanlardaki düzlemsel güneş kolektörü (DGK) kullanımı sonucundaki değişimi Şekil 9’da gösterilmiştir. Güneş fraksiyonu (SF) 20 m² kolektör alanında % 27.7 oranında iken 60 m² kolektör alanında bu oran % 40.2 değerindedir. Güneş fraksiyonu güneşten sağlanan enerjiyi belirtmektedir. Dolayısıyla kolektör alanı artıca güneş fraksiyonunun artması beklenen bir durumdur.



Şekil 9. Soğuk serada güneş fraksiyonunun farklı kolektör alanları için değişimi (Change of solar fraction for different collector areas in cold greenhouse)

Ilık sera için güneş fraksiyonunun farklı alanlardaki düzlemsel güneş kolektörü (DGK) kullanımı sonucundaki değişimi ise Şekil 10'da gösterilmiştir. Kolektör alanı artıkça güneşten sağlanan enerji artmıştır. 20 m² kolektör alanında güneş fraksiyonu (SF) yüzde %24.2 iken 60 m² kolektör alanında bu oran %34.9 olarak hesaplanmıştır. Kolektör alanının artması güneş fraksiyonunu da artırmıştır ve bu beklenen bir durumdur.



Şekil 10. Ilık serada güneş fraksiyonunun farklı kolektör alanları için değişimi (Variation of the solar fraction for different collector areas in the warm greenhouse)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmanın amacı, Van iklim şartlarında yer alan farklı ayar noktası sıcaklıklarına sahip iki seranın ısıtılması için TRNSYS programı aracılığıyla bir güneş enerjisi destekli su kaynaklı ısı pompası tasarlamaktır. Soğuk ve ılık sera için seralarda yaygın olarak kullanılan tek katlı cam ve polietilen sera örtüsü malzemelerinin yıllık ısıtma enerjisi gereksinimleri karşılaştırılmıştır. Çift katlı polietilen kullanımı cam sera örtüsüne göre soğuk serada yıllık %55 enerji tasarrufu sağlarken ılık serada ise yıllık % 44 enerji tasarrufu sağlamıştır.

Güneş enerjisi desteği sağlamak ve ısı pompası güç tüketimini azaltmak için kullanılan 20 m² yüzey alanlı düzlemsel güneş kolektörü sonucunda güneş fraksiyonu (SF) soğuk sera 'da %27.7 değerinde iken ılık serada

%24.2 değerinde bulunmuştur. Bu oranlar modellenen sistemin yıllık enerji tüketiminin her iki sera sistemi içinde yüzde %20'den fazlasının güneşten karşılandığını göstermektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kısaltmalar (Abbreviations)

COP _h	:Isı pompası performans katsayısı
COP _{sys}	:Sistemin performans katsayısı
ÇPE	:Çift katlı polietilen sera örtüsü
DGK	:Düzlemsel güneş kolektörü
SF	:Güneş Fraksiyonu
QH	:Isı pompasının verdiği ısı miktarı [kJ/hr]
η	:Kolektör verimi
I_T	:Kolektörün birim alana düşen depolayabildiği enerji miktarı
ΔT	:Kolektör akışkan giriş sıcaklığı ve ortam sıcaklığı arasındaki fark
Wh _p	:Isı pompası güç tüketimi [kJ/hr]
W _{pumps}	:Sistemdeki pompaların güç tüketimi [kJ/hr]
W _{fc}	:Fan coilin harcadığı enerji [kJ/hr]

Kaynaklar (References)

- Anonim, 2019a. Wisconsin Üniversitesi, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Bölümü. "https://fyi.extension.wisc.edu/energy/greenhouses/infiltration-losses/"
- Anonim, 2019b. www.trane.com, Model EXW060 ve Model WPWD024, Trane ürün kataloğu.
- Collins, R.M., Wagar R.W., Banister, J.C., 2013. Validation of a Single Tank, Multi-mode Solar-assisted Heat Pump TRNSYS Model, Energy Procedia 48 (2014) 499 – 504
- Bingöl, O. Özkaya, B. 2019. A Comprehensive Overview Of Soft Computing Based Mppt Techniques For Partial Shading Conditions in Pv Systems, Journal of Engineering Sciences and Design, 7(4), 926 – 939.
- Çomaklı, Ö., Kaygusuz, K. and Ayhan, T., 1993. Solar assisted Heat Pump and Energy Storage for Residential Heating, Solar Energy, 51 (5), 357-366
- Kandırımı, G., 2017. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Bir Su Isıtma Sisteminin TRNSYS Programı İle Simülasyonu. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kaygusuz, K. 2000. Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump. Renewable Energy, 21: 79-102.
- Koçak, S., 2012. Hacim Isıtma Amaçlı Güneş Enerjisi Destekli Su Kaynaklı Isı Pompası Çevriminin Teorik Analizi. Akdeniz üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 175s, Antalya
- Trillat-Berdal, V., Souyri, B., and Achard, G., 2007. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. Applied Thermal Engineering, 27 (10): 1750-1755.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, I., 1998. The Theoretical and Experimental Investigation of the Characteristics of Solar-assisted Heat Pump for Clear Days, International Communications in Heat and Mass Transfer, 25 (6), 885-898, 19
- Yang, W., Zhu, J., Shi, M. and Chen, Z. 2011. Numerical simulation of the performance of a solar – assisted heat pump heating system. Procedia Environmental Sciences, 11: 790-797.
- Yumrutas, R. and Kaska, O. 2004. Experimental investigation of thermal performance of solar assisted heat pump system with an energy storage. International Journal of Energy Research, 28: 163-175.