

BÖLÜM 5

SERALARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM OLANAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi Yelderem AKHOUNDNEJAD¹
Dr. Öğr. Üyesi Yahya NAS²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8291607>

¹ Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Şırnak, Türkiye.
yakhoundnejad@sirnak.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1435-864X

² Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Şırnak, Türkiye.
yahya.nas@sirnak.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6917-8697

GİRİŞ

İnsanlar hayatta kalabilmek için suya, gıdaya ve yaşam alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu kaynaklar sınırsız kaynaklar değildir. Dünya üzerindeki kaynakların azalmasında hem biyotik hem de abiyotik faktörler etkili olmaktadır.

İnsanoğlu temel olarak arazinin optimizasyonuna ve biyoçeşitliliğin korunmasına her zaman bağımlı olmuştur. 2050 yılında dünya nüfusunun 9.8 milyara, 2100 yılında ise 11.2 milyara yükseleceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2023a). Dünya nüfusu artıkça tarım ve içme suyu konusunda zarar gören insan sayısı her geçen gün artmaktadır. 2020 yılında dünyada 720 ile 811 milyon insanın açlıkla karşı karşıya olduğu tahmin edilmektedir (FAO, 2023). Bu nedenle gıda üretiminin iki katına çıkarılması gerekmektedir.

Enerji rezervlerinin kıt olması, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi iklim değişikliği sorunlarının her geçen gün etkisini artırması, dünya genelinde enerji fiyatlarında keskin artışlar yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, enerji tasarrufu alanında alınacak önlemler acil bir konu haline gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji tasarrufunun benimsenmesi tüm sektörler (endüstri, ulaşım ve tarım sektörleri) için hayati önem taşımaktadır (Godil ve vd., 2021).

Küresel iklim değişikliğinin hâlihazırda özellikle tarım ve gıda güvenliğini etkileyen ülkelerde tarım sektörünün büyümesine karşı etkili olduğu iddia edilmektedir (Fujimori vd., 2022; Veldhuizen ve ark, 2020). Sürdürülebilir gıda sistemlerinin (SFS) geliştirilmesi, yakıt sorununun

çözümü ve enerji fiyatlarındaki dalgalanmaların minimize edilmesi, gıda güvenliğinin sağlanmasında katkı sağlayacaktır (Nguyen, 2018; Borzuei vd., 2022). Bu nedenle, tarım ve gıda sistemlerinde sürdürülebilir dengenin sağlanmasında atılacak adımlar önem arz etmektedir.

Bitkisel üretim de dahil olmak üzere gıda zincirinin tüm adımlarında yer alan, ormancılık, süt üretimi, hasat sonrası uygulamalar, gıda depolama, işleme, taşıma ve dağıtım için enerji tüketimi oldukça önemlidir (Basnet vd., 2023). Tarım sektörü bu sektörlerinin başında gelmektedir. Özellikle tarım sektörü için de seracılık, enerji tüketimin en yoğun olduğu üretim yerleri arasında yer almaktadır. Seraların iklimlendirilmesi (ısıtma ve soğutma) için harcanan enerji, üretim maliyetlerinin başında yer almaktadır (Ihoume vd., 2022).

Genel olarak seralarda ısı yalıtım performansı zayıftır. Geleneksel sera yapıları, modern sera yapılarına göre enerji kaybının %20-40'ına neden olmaktadır (Kempkes vd., 2015). Bu kayıp kullanılan malezemenin yapısına bağlı olarak yaklaşık %55'e kadar yükselebilmektedir (Tong vd., 2022).

Sera, mikro düzeyde kontrollü iklim koşullarının sağlanarak çeşitli mahsullerin üretiminin yapıldığı üretim alanlarıdır. Günümüzde örtü altı tarım alanları, sanayileşme doğrultusunda ilerlemektedir. Seracılık faaliyetleri sera gazı (GHG) emisyonlarına katkıda bulunmaktadır. Bu durum, büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanmaktadır (Kurniawan vd., 2022). Bu nedenle seralarda enerji tüketimi ve işçilik maliyetleri yaklaşık %40-50 oranında artmıştır (Jamil vd., 2022).

Artan enerji talebi, sürdürülebilirliğe ulaşmak için seracılık sektörlerinde vazgeçilmez bir konu haline gelmiştir. Ayrıca, seracılık faaliyetlerinde sulama ve iklimlendirme gibi birçok konuda da büyük etkiye sahiptir (Soussi vd., 2022).

Son yıllarda seralarda tüketilen enerji, önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu durum enerji maliyetlerindeki artış, çevre sorunları ve konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum hem araştırmacılar hem de bu alanda yatırım yapan yatırımcılar için enerji tasarrufu sağlayan alternatif temiz enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmuştur (Zhuang vd., 2018).

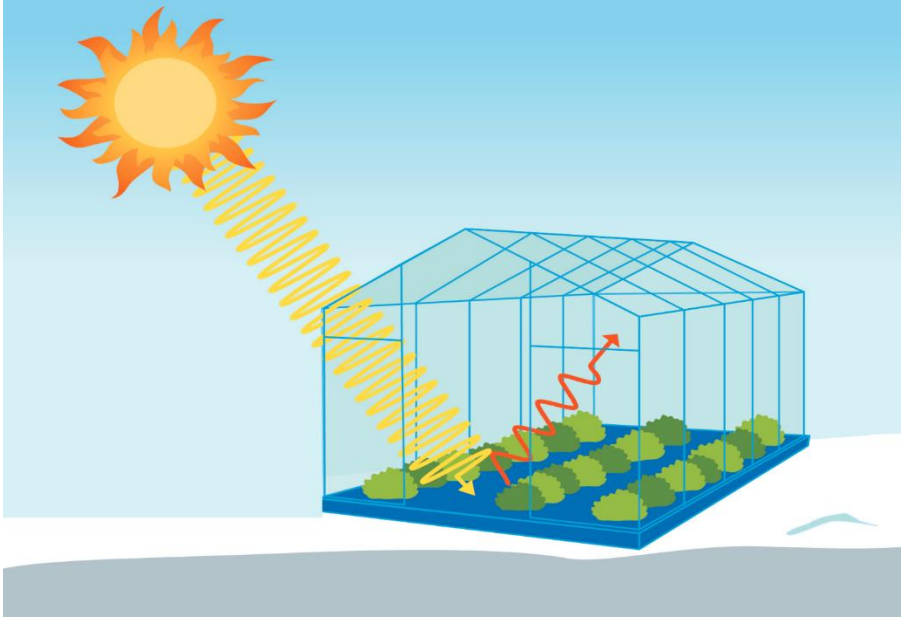
SERALARDA TARIM TEKNOLOJİLERİ

Seralar dış iklim koşullarından bağımsız bir şekilde çeşitli tarım ürünlerinin yetiştirildiği kapalı alanlardır (Cruz vd., 2022). İklinden bağımsız kapalı tarım tesislerinin en önemli bileşeni, iklim kontrol sistemleridir. Bu sistemler, bütün yıl boyunca uygun bir yetiştirme ortamının yaratılarak üretimin yapılmasına imkân vermektedir.

Seralar; küçük ölçekli şehir çiftliklerinden tam kontrollü yüksek teknolojiye kadar çeşitli yetiştirme sistemlerini içermektedir. Sera yetiştirme sistemleri; hidroponik, akuaponik, aeroponik, toprak bazlı veya hibrit olabilmektedir. Ayrıca tesis tipine göre ise; kapalı dikey seralar, konteyner seraları veya nakliye konteynırlarına entegre edilmiş üretim modelleri olarak farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu alanlarda yetiştirilen mahsüller için, doğal veya yapay ışık sağlanarak, genellikle topraksız aeroponik, akuaponik veya hidroponik gibi yetiştirme ortamları kullanılmaktadır (Tzortzakakis ve Massa, 2022).

SERA SİSTEMİ VE ENERJİ KULLANIMI

Seralar; cam, fiber plastik (FRP) veya güneş ışığının içinden geçtiği polietilen örtüler gibi saydam veya yarı saydam malzemelerin kullanılarak oluşturulduğu kapalı üretim alanlarıdır. Bu alanlarda, ışık enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Sera içerisinde oluşan ısı enerjisi, sıcaklığın yükselmesine neden olarak bitkiler için uygun yetiştirme koşullarının oluşmasını sağlamaktadır (Zhang vd., 2022; Resim 1). Ayrıca yetiştiriciliği yapılan tarım ürünlerinin dış etkenlerden, hastalık ve zararlılardan korunmasını sağlayarak yüksek ürün kalitesi ve verimlilik sağlamaktadır. Böylece üretim sezonu dışında da yıl boyunca tarım ürünlerinin yetiştirilmesine imkân sağlamaktadır (Yano ve Cossu, 2019).



Resim 1: Sera içerisine giren güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi (Anonim, 2023b)

Sera ortamında optimum koşulların sağlanabilmesi için yetiştirme ortamına olabildiğince yakın, bazı ısıtma ve soğutma sistemleri, havalandırma ve sisleme sistemleri, gölgeleme, aydınlatma mekanizmaları ve CO₂ gübreleme sistemleri gerekmektedir (Hassanien vd., 2016). Tüm bu ekipmanlar, enerji tüketiminde en yüksek paya sahiptir. Özellikle ısıtma ve soğutma sistemleri enerji tüketiminde %65-85 arasında birincil derecede paya sahiptir (Ahamed vd., 2019; Yano ve Cossu, 2019). Bazı durumlarda seralarda enerji tüketiminin maliyeti, üretim maliyetlerinin %50'sine kadar çıkabilmektedir (Golzar vd., 2018; Shen vd., 2018). Ayrıca konvansiyonel seralarda kullanılan malzemelerin çoğu genellikle %20-40 arasında ısı kayıplarına neden olarak bu maliyetleri daha da artırmaktadır (Kempkes vd., 2015). Bu nedenle, seralarda enerji tasarrufu stratejilerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Günümüzde seraların iklimlendirilmesinde kullanılan enerji; kömür, motorin, fuel oil, odun, sıvılaştırılmış petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu yakıtlar küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarında önemli bir paya sahiptir. Ayrıca fosil yakıtların, alternatif enerji kaynaklarına göre kıt olması ve yüksek maliyetleri nedeniyle daha güvenilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışına yol açmıştır (Hemming vd., 2019; Mostefaoui ve Amara, 2019).

SERALARDA GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

Seralar, yetiştirme dönemleri boyunca optimum sıcaklığın sağlanması gerektiğinden çok fazla enerji tüketilmesine neden olmaktadır. İklimlendirme için her zaman çalışan çeşitli cihazlar sera

içerisinde yer almaktadır. Bu durum seracılık sektöründe ucuz ve çevre dostu alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına sebep olmuştur. Güneş enerjisi bu yönüyle son yıllarda seraların iklimlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu uygulama ile sağlıklı bitkiler üretilirken, karbon ayak izini de iyileştirmektedir.

Dünya genelinde enerji güvenliği konusunda yaşanan sıkıntılar, hem CO₂ emisyonlarını hem de ısıtma maliyetlerini azaltmak için güneş enerjisi kaynakları gibi yeşil enerjinin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda, teknolojik gelişmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyen global yasal düzenlemeler sonucunda, güneş enerjisi sistemleri yoğun bir şekilde geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Timilsina vd., 2012).

Güneş Enerjisi Panellerinin Sağladığı Faydalar

1. Sera yerinin seçimi

Sera yeri seçiminde, arazide elektrik varlığının durumu sera kurulumuna etki etmektedir. Üretimin yapılabilmesi için mutlaka elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle iklimlendirmenin yapılabilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımı, lokasyonla sınırlı değildir. Seranın iklimlendirilmesinde güneş enerjisinden faydalanılacaksa arazinin elektrik varlığı önemli değildir. Güneşli gün sayısının fazla olduğu ve tevsiyesi iyi yapılmış herhangi bir lokasyonda sera kurulumu yapılabilir. Sonuç olarak bu kolaylıktan dolayı istenilen arazilere sera kurulumu yapılabilir. Bu durum, özellikle arazileri, elektrik enerjisi kaynaklarına uzak olan çiftlikler için önemli bir avantaj sağlamaktadır.

2. Maliyet tasarrufu

Genel olarak, seralar yüksek enerji tüketiminin yapıldığı tarım alanlarıdır. Enerji, üretim sezonu boyunca, aydınlatma, soğutma ve uygun sıcaklıkların korunmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle, seraların elektrik faturaları nispeten yüksek gelmektedir. Elektrik enerjisi maliyetlerinin yüksek olmasının yanında üretim sezonu içinde zaman zaman istenmeyen kesintiler yaşanmaktadır. Bu durum üretimde aksaklıkların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Sonuç olarak, mahsul verimi ve ekonomik karlılığı etkileyen hasarlara yol açan elektrik kesintileri yaşanabilmektedir. Güneş enerjisi bu olumsuz durumları uzun vadede ortadan kaldırmaktadır. Bu doğal kaynak sayesinde, enerji maliyetleri azaltılmakta veya ortadan kaldırılmaktadır.

3. Sera gazı emisyonun azaltılması

Seraların iklimlendirilmesinde kullanılan fosil kaynaklar çok fazla sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. Seralarda güneş enerjisinin kullanılması, sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır. Bu durum karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

4. Enerji verimliliği ve etkinliğinin artırılması

Seralar güneş enerjisi dışında başka enerji kaynakları ile ısıtıldığında, sıcaklık kontrolü ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. En son teknoloji ile geliştirilmiş güneş enerjisi sistemleri, ortaya çıkan bu olumsuz durumu önleyebilmektedir. Güneş enerjisi sistemleri, sera içi sıcaklık arttığında, enerjinin sera içine girişini durdurmaktadır. Ayrıca fazla enerjinin depolanarak daha sonra kullanılmasına imkân tanımaktadır. Soğuk geçen günlerde depolanan enerjiyi kullanarak

serada gerekli sıcaklık sağlanabilmektedir. Böylelikle sera için harcanan enerjinin daha verimli ve etkili bir şekilde kullanılması sağlanmış olur.

Seralarda Kullanılan Güneş Enerjisinin Sınıflandırılması

Seraların güneş enerjisi sistemleri ile ısıtılmasında uygulanan yöntemler pasif ve aktif olarak iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır.

1. Pasif Isıtmalı Seralar

Pasif ısıtmalı güneş seraları, sera yerinin konumu ve tasarımından hareketle güneşten gelen enerjinin verimli bir şekilde kullanılması ve depolanması ilkesine dayanmaktadır. Burada önemli olan sera yerinin konumu ve tasarımıdır. Emilen güneş enerjisi miktarı, enlem ve mevsim gibi faktörlere bağlıdır. Ayrıca sera boyutları ve sera yönü, seranın dış duvar ve cephelerinde kullanılan malzemeler sera içine giren enerji miktarını etkilemektedir. Pasif ısıtmalı güneş seralarının yapımında; çakıl, su, toprak veya kırma taşlar gibi değişik özelliklere sahip materyaller kullanılmaktadır (Öztürk, 2008).

2. Aktif Isıtmalı Seralar

Aktif güneş seralarında, fotovoltaik (PV) paneller veya güneş enerjisi toplayıcıları gibi farklı teknoloji sistemleri kullanılmaktadır. Seraların ihtiyaç duyduğu elektriği üretmek için hem solar PV hem de solar termal teknolojiler kullanılmaktadır (Gorjian vd., 2021; Resim 2).



Resim 2: Aktif güneş enerjisi sistemleri ile iklimlendirilen seralar (Anonim, 2023c)

Seralarda Kullanılan PV Panel Tipleri

1. Monokristal güneş pilleri

Monokristal güneş pilleri, tek kristal silikon teknolojisi kullanılarak üretilmektedir. Koyu renklere ve silindirik şekillere sahiptirler. Bu özellikleri ile diğer güneş panellerinden farklıdırlar. Ayrıca en yüksek performansa sahiptirler.

Monokristal güneş pilleri, güneşli gün sayısının az olduğu loasyonlarda diğer güneş panellerine göre daha iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte, birim alanda daha az sayıda panel kullanılarak yüksek verimlilik sağlamaktadır. Ayrıca uzun ömürlüdürler. Monokristal güneş pilleri bu yönleri ile avantaj sağlarken, imalatları sırasında çok fazla malzeme israfının olması, pahalı olması ve sıcaklığın artışıyla birlikte performanslarının düşmesi dezavantaj sağlamaları nedeniyle kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

2. Polikristal güneş pilleri

Polikristal güneş panelleri silikondan yapılmaktadır. Bu panellere, çok kristalli veya çok kristalli silikon da denilmektedir. Polikristal güneş panelleri, genellikle monokristal güneş pillerinden daha düşük verimliliğe sahiptirler. Bu durum, her hücrede daha fazla kristal olması ve buradaki elektronların hareketinin kısıtlanmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca monokristal pillere göre üretimleri daha kolay ve daha ucuzdur. Bununla birlikte, sıcaklıklardaki artış bu pillerin çalışmasını önemli ölçüde etkilememektedir. Bu durum polikristal güneş panellerini sıcak iklimlerde kullanım olanaklarını artırmaktadır. Polikristal güneş panelleri bu yönleri ile avantaj sağlarken, verimliliklerinin düşük olması ve çok fazla yer kaplamaları nedeniyle dezavantaj sağlamaktadır.

3. İnce film güneş pilleri

İnce film güneş pilleri, üst üste yerleştirilmiş ince ve yarı iletken katmanlardan oluşmaktadır. Bu panellerin yapılmasında amorf silikon, kadmiyum tellür, bakır indiyum, galyum selenid ve organik PV panelleri

kullanılmaktadır. Üretimleri kolaydır ve üretim maliyetleri düşüktür. Ancak çok fazla alan kaplarlar. Bununla birlikte mono ve poli kristal güneş panellerine göre daha düşük verimliliğe sahiptirler. Ayrıca deforme olma ve bozulma eğilimleri yüksektir. Uzun ömürlü değildir. Bu nedenle garanti süreleri de azdır.

Seralarda Güneş Enerjisinin Isıtmada Kullanımı

Serada yetiştirilen bitkilerin büyüme, verim ve meyve kalitesi, 12°C'nin altında veya 30°C'nin üzerindeki sıcaklıklardan etkilenmektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişmesi için optimum sıcaklık aralığının gündüz 22-28°C, gece 15-20°C olduğu bildirilmiştir (Castilla ve Hernandez, 2006). Isıtma sistemlerinin olmaması seralarda verim, yetiştirme süresi ve meyve kalitesi üzerine olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle, yardımcı ısıtma sistemleri gerekmektedir.

Güneşten gelen serbest enerji, depolanarak serayı ısıtmak için kullanılabilir. Bu enerjiden pasif ve aktif sistemler ile iki farklı şekilde yararlanılmaktadır. Pasif seralar, kollektör olarak kullanılan özel örtü, yapı malzemeleri ve sera yeri konumunda yararlanılarak güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Aktif seralarda ise, doğrudan termal ısıtmaya ek olarak bir hava ısıtma sisteminden sera içine termal enerji eklenmesi gibi bağımsız bir ısı depolama sistemi ile seradan ayrı bir toplama sistemi kullanılarak güneş enerjisinden yararlanılmaktadır (Santamouris vd., 1994; Tiwari vd., 1997; Sethi vd., 2013).

Farklı araştırmacılar tarafından güneş enerjisinin sera ısıtmasında kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Nitekim Esen ve Yüksek (2013), Türkiye'de yürüttükleri

çalışmada, serayı ısıtmak için çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının (biyogaz, toprak ve güneş) etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgularda, güneş enerjisinin toprak altında depolanabileceğini ve toprak sıcaklığını yükseltmek ve biyogaz reaktörlerini ısıtmak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Esen ve Yüksek, 2013). İtalya'da yürütülen diğer bir çalışmada, sera ısıtma sistemi olarak entegre bir fotovoltaik-jeotermal ısı pompasının verimlilik düzeyi (PV-GHP), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG-HG) kullanan konvansiyonel bir sıcak hava jeneratörü ile karşılaştırılmıştır (Russo ve ark., 2014). Çalışmada, üretilen termal enerji ve elektrik tüketimi analiz edilmiştir. Sonuç olarak, PV-GHP'li tesis sayesinde karbon emisyonlarını %50 oranında azalttığı belirtilmiştir.

Çin'de Xu vd. (2014) tarafından yapılan başka bir araştırmada, termal enerji depolama sistemi ile donatılmış 2304 m²'lik güneş enerjisiyle ısıtılan bir seranın performansının, ortak ısı pompalı ısıtma sisteminin performansından daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Xu vd., 2014).

Seralarda Güneş Enerjisinin Soğutmada Kullanımı

Seralarda kullanılan soğutma sistemi, havalandırma, gölgeleme/yansıtma perdeleri, fan-pad sistemi ve sisleme sistemleri gibi evaporatif soğutma gibi çeşitli sistemlerden yararlanılmaktadır. Bu sistemler, sera içerisinde biriken ısı enerjisini azaltmak veya dışarıya doğru aktarmak için kullanılmaktadır.

Seraların güneş enerjisi ile soğutulmasından farklı çalışmalar yürütülmüştür. İtalya'da üç farklı lokasyonda topraksız domates

üretimini yapıldığı güneş PV serası ve benzer bir cam seranın iklimlendirilmesinde enerji tasarrufları karşılaştırılmıştır. PV çatılı seranın her üç lokasyonda da yazın soğutmada ortalama %30, kışın ısıtmada %11 enerji tasarrufu sağladığı bildirilmiştir (Carlini vd., 2012). Malezya yürütülen başka bir araştırmada, tropikal bir serayı soğutmak için bir PV hibrit sistemi denenmiştir (Faisal vd., 2007). Bu sistemde, her biri 18.75 W olan 48 adet güneş enerjisi paneli, bir invertör, 1 şarj regülatörü ve bir akü sistemi kullanılmıştır. PV sisteminin, şebekeden ekstra enerji desteği almadan seranın soğutulmasında uygun olduğunu bildirmişlerdir (Faisal vd., 2007)

Hindistan'da yapılan bir çalışmada, Ganguly ve ark. (Ganguly vd., 2010). güneş PV panelleri, elektrolizör bankası ve polimer elektrolit membran (PEM) yakıt hücresi yığınlarından oluşan seraya entegre bir güç sistemini modüle etmişlerdir. Her biri 75 Wp'lik 51 PV modülünün yanı sıra 3.3 kW'lık bir elektrolizör ve her biri 480 W'lık 2 PEM yakıt pili yığınının, fan-pad havalandırmalı bir sisteme sahip 90 m²'lik bir çiçek serasının enerji ihtiyacını destekleyebileceğini ifade etmişlerdir.

Suudi Arabistan'da yürütülen başka bir çalışmada (Al-Ibrahim vd., 2004), kurak çöl iklimi koşulları altında kurulan PV serasında, soğutma sistemi için elektrik talebi sağlanıp sağlanamayacağını incelemişlerdir. PV serası, 9 m genişliğinde ve 39 m uzunluğunda ve 14.72 kW PV dizileri, 3000A pil depolama sistemi, 15 kW güç koşullandırma sistemi ve veri ölçüm toplama sisteminden oluşmuştur. Sonuçlar, PV sera alt sisteminin gerekli soğutma ve pompalama ekipmanı yükünü karşıladığını göstermiştir.

Yapılan çalışmalarda ve simülasyonlarda tek başına veya diğer enerji sistemleri ile entegre kullanıldığında, güneş enerjisi panellerinin seraların ısıtma ve soğutmasında rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Seralar, pazar talebine uygun ve mevcut standartlara göre daha kaliteli ürünlerin, bütün yıl boyunca sürdürülebilir bir ortamda yetiştirilmesine imkân sağlamaktadır. Bununla birlikte, tarımsal seraların, yüksek enerji talebi, dünya çapında yaygın olarak kullanılmalarının önünde önemli bir engel olarak görülmektedir. Günümüz dünyasında, gelişen teknoloji ile birlikte artan gıda taleplerinin yerine getirilebilmesi için ancak yeni teknolojilerin tarımda kullanılması ile mümkün olabilecektir. Dünya üzerinde en bol yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi, seraların enerji talebini karşılamak için kullanılabilir. Ayrıca, güneş enerjisi tabanlı teknolojilerin uygulamada kolaylığı, enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında kırsal alanlarda ve erişimin zor olduğu uzak yerlerde ideal bir seçenek haline getirmektedir.

Seralarda kullanılan güneş paneli teknolojileri, fosil yakıtlara olan enerji bağımlılığını ve gıda güvenliği konusunda önemli katkılar sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte kullanılan malzemeler güneş enerjisi panellerinin verimliliğini artırmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi panellerinin kullanımı dünya çapında her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri ve stratejileri seralarda sürdürülebilir enerji ihtiyaçlarını güvenilir bir şekilde karşılama potansiyeline sahiptir. Ayrıca işletme maliyetlerini düşürür, çiftlik rekabet gücünü artırmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ahamed, M. S., Guo, H., & Tanino, K. (2019). Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouses. *Biosystems Engineering*, 178: 9-33.
- Al-Ibrahim, A., Al-Abbadi, N., & Al-Helal, I. (2004). Pv greenhouse system, system description, performance and lesson learned. In *International Symposium on Greenhouses, Environmental Controls and In-house Mechanization for Crop Production in the Tropics* 710 : 251-264).
- Anonim, (2023 a). <https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100> (Erişim tarihi: 15.05.2023).
- Anonim, (2023 b). <https://ugc.berkeley.edu/glossary/greenhouse-effect/> (Erişim tarihi: 16.05.2023).
- Anonim (2023c). <https://best.outletstores2023.com/content?c=solar+solutions+2018&id=13> (Erişim tarihi: 18.05.2023).
- Basnet, S., Wood, A., Rööös, E., Jansson, T., Fetzer, I., & Gordon, L. (2023). Organic agriculture in a low-emission world: exploring combined measures to deliver sustainable food system in Sweden. *Sustainability Science*, 1-19.
- Borzuei, D., Moosavian, S. F., & Ahmadi, A. (2022). Investigating the dependence of energy prices and economic growth rates with emphasis on the development of renewable energy for sustainable development in Iran. *Sustainable Development*, 30(5):848-854.
- Carlini, M., Honorati, T., & Castellucci, S. (2012). Photovoltaic greenhouses: comparison of optical and thermal behaviour for energy savings. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- Castilla, N., & Hernandez, J. (2006, August). Greenhouse technological packages for high-quality crop production. In *XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Advances in Environmental Control, Automation* 761:285-297.
- Cruz, S., van Santen, E., & Gómez, C. (2022). Evaluation of compact tomato cultivars for container gardening indoors and under sunlight. *Horticulturae*, 8(4), 294.

- Esen, M., & Yuksel, T. (2013). Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy and Buildings*, 65: 340-351.
- FAO, (2023). <https://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/2021/en/> (Erişim tarihi: 20.05.2023).
- Faisal, M., Desa, A., Abdul, R., Ishak, A., Rimfiel, J., & Rezuwan, K. (2007). Design and development of a photovoltaic power system for tropical greenhouse cooling. *American Journal of Applied Sciences*, 4(6): 386-389.
- Fujimori, S., Wu, W., Doelman, J., Frank, S., Hristov, J., Kyle, P., & Takahashi, K. (2022). Land-based climate change mitigation measures can affect agricultural markets and food security. *Nature Food*, 3(2):110-121.
- Ganguly, A., Misra, D., & Ghosh, S. (2010). Modeling and analysis of solar photovoltaic-electrolyzer-fuel cell hybrid power system integrated with a floriculture greenhouse. *Energy and buildings*, 42(11): 2036-2043.
- Godil, D. I., Yu, Z., Sharif, A., Usman, R., & Khan, S. A. R. (2021). Investigate the role of technology innovation and renewable energy in reducing transport sector CO₂ emission in China: a path toward sustainable development. *Sustainable Development*, 29(4): 694-707.
- Golzar, F., Heeren, N., Hellweg, S., & Roshandel, R. (2018). A novel integrated framework to evaluate greenhouse energy demand and crop yield production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96:487-501.
- Gorjian, S., Calise, F., Kant, K., Ahamed, M.S., Copertaro, B., Najafi, G., & Shamshiri, R.R. (2021). A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124807.
- Hassanien, R.H.E., Li, M., & Lin, W.D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 989-1001.
- Hemming, S., Bakker, J. C., Campen, J. B., & Kempkes, F. L. K. (2019). Sustainable use of energy in greenhouses. In *Achieving sustainable greenhouse cultivation* (pp. 445-492). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Ihoume, I., Tadili, R., Arbaoui, N., Bazgaou, A., Idrissi, A., Benchrif, M., & Fatnassi, H. (2022). Performance study of a sustainable solar heating system based on a

- copper coil water to air heat exchanger for greenhouse heating. *Solar Energy*, 232: 128-138.
- Jamil, F., Ibrahim, M., Ullah, I., Kim, S., Kahng, H. K., & Kim, D. H. (2022). Optimal smart contract for autonomous greenhouse environment based on IoT blockchain network in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106573.
- Kempkes, F. L. K., Janse, J., & Hemming, S. (2015). Greenhouse concept with high insulating cover by combination of glass and film: design and first experimental results. In *International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses-GreenSys*. 1170: 469-486.
- Kurniawan, T. A., Liang, X., Singh, D., Othman, M. H. D., Goh, H. H., Gikas, P., & Shoqeir, J. A. (2022). Harnessing landfill gas (LFG) for electricity: A strategy to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions in Jakarta (Indonesia). *Journal of Environmental Management*, 301, 113882.
- Mostefaoui, Z., & Amara, S. (2019). Renewable energy analysis in the agriculture–greenhouse farms: A case study in the mediterranean region (sidi bel abbes, algeria). *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(3), e13029.
- Nguyen, H. (2018). *Sustainable food systems: Concept and framework*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- Öztürk, H. (2008). *Sera İklimlendirme Tekniği*. Hasad Yayıncılık, İstanbul
- Russo, G., Anifantis, A.S., Verdiani, G., & Mugnozza, G.S. (2014). Environmental analysis of geothermal heat pump and LPG greenhouse heating systems. *Biosystems Engineering*, 127: 11-23.
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E., & Vallindras, M. (1994). Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes. *Solar Energy*, 53(5): 411-426.
- Sethi, V.P., Sumathy, K., Lee, C., & Pal, D.S. (2013). Thermal modeling aspects of solar greenhouse microclimate control: A review on heating technologies. *Solar energy*, 96: 56-82.
- Shen, Y., Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy consumption prediction of a greenhouse and optimization of daily average temperature. *Energies*, 11(1), 65.

- Soussi, M., Chaibi, M. T., Buchholz, M., & Saghrouni, Z. (2022). Comprehensive review on climate control and cooling systems in greenhouses under hot and arid conditions. *Agronomy*, 12(3), 626.
- Timilsina, G.R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P.A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(1): 449-465.
- Tiwari, G.N., Dubey, A.K., & Goyal, R.K. (1997). Analytical study of an active winter greenhouse. *Energy*, 22(4), 389-392.
- Tong, G., Chen, Q., & Xu, H. (2022). Passive solar energy utilization: a review of envelope material selection for Chinese solar greenhouses. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101833.
- Tzortzakakis, N., Massa, D., & Vandecasteele, B. (2022). The Tripartite of Soilless Systems, Growing Media, and Plants through an Intensive Crop Production Scheme. *Agronomy*, 12(8), 1896.
- Veldhuizen, L. J., Giller, K. E., Oosterveer, P., Brouwer, I. D., Janssen, S., van Zanten, H. H., & Slingerland, M. A. (2020). The Missing Middle: Connected action on agriculture and nutrition across global, national and local levels to achieve Sustainable Development Goal 2. *Global Food Security*, 24, 100336.
- Xu, J., Li, Y., Wang, R. Z., & Liu, W. (2014). Performance investigation of a solar heating system with underground seasonal energy storage for greenhouse application. *Energy*, 67: 63-73.
- Yano, A., & Cossu, M. (2019). Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109: 116-137.
- Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112602.
- Zhuang, P., Liang, H., & Pomphrey, M. (2018). Stochastic multi-timescale energy management of greenhouses with renewable energy sources. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 10(2): 905-917.