

ADANA İKLİMİ KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE SERA ISITMA AMACIYLA VAKUM BORULU TOPLAÇ VE NANOAKIŞKAN KULLANILMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A Research on the Use of Vacuum Tubular Collector and Nanofluid for Greenhouse Heating with Solar Energy in Adana Climate Conditions

Bülent Ayhan
Hasan Hüseyin Öztürk

ÖZET

Bu araştırmada, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanı olan plastik seranın ısıtılmasında yararlanmak üzere, güneş enerjisinin, ısı depolama materyali olarak su kullanılarak, duyulur ısı depolama yöntemi ile kısa süreli (gündüzden-geceye) depolanması amaçlanmıştır. Sistem esas olarak, vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi, toplanılan ısının depolandığı ısı depolama ünitesi, depolanan ısıyla ısıtılan plastik sera, ısı toplama-depolama üniteleri ile sera arasında ısı taşıma ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Su ile ısıtma yapılan dönemde sera iç ortamı ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı ortalama 4,6°C, ısıtma akışkanının seraya giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ise ortalama 5,7 °C belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, sera ısı gereksiniminin karşılanma oranı ortalama %38,45, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %44,36 olarak belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, ısı güç/ekserji oranı ortalama %9,86 iken, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %10,69 olarak belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, hıyar verimi ısıtılmayan seraya kıyasla, 393 kg (%34,2 oranında) daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. Sera ısıtmak için günlük toplam enerji, yakıt ve emisyon tasarrufu; su ile ısıtma yapılan dönemde, %37,6 olarak belirlenirken, nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde % 42 olarak belirlenmiştir. Bu durum nanoakışkan ile ısı geri kazma etkinliğinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Su ile ısıtma durumunda, doğal gaz tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 5,84 yıl, kömür tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 4,47 yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Sera ısıtma, Vakum borulu toplaç, Isı depolama, Nanoakışkan.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to store solar energy for a short time (day-to-night) by sensible heat storage method, using water (nanofluid) mixed with nanoparticles (Al₂O₃) as heat storage material to be used in heating the plastic greenhouse with a floor area of 140 m² under Adana climate conditions. The system mainly consists of a heat collection unit consisting of vacuum tube solar collectors, a heat storage unit where the collected heat is stored, a plastic greenhouse heated by the stored heat, heat transfer and control unit between the heat collection-storage units and the greenhouse. During the period of heating with water, the temperature difference between the indoor and outdoor environment of the greenhouse was determined to be 4.6°C on average, and the temperature difference between the heating fluid entering and leaving the greenhouse was 5.7°C. In the case of using hot water as the heating fluid, the rate of meeting the greenhouse heat requirement was determined to be 38.45% on average during the night periods of heating, and 44.36% during the period when hot nanofluid was used. In the case of using hot water as the heating fluid, the thermal power/exergy ratio was determined to be 9.86% on average during the night periods of heating, while it was determined to be 10.69% in the period when hot nanofluid was used. In the case of using hot water as the heating fluid,

the cucumber yield was 393 kg (34.2%) higher than the unheated greenhouse. While the total daily energy, fuel and emission savings for heating the greenhouse was determined as 37.6% during the period of water heating, it was determined as 42% during the period of heating with nanofluid. This is due to the higher efficiency of heat recovery with nanofluid. In the case of heating with water, the payback period for saving natural gas is 5.84 years, and the payback period for coal savings is 4.47 years.

Key Words: Solar energy, Greenhouse heating, Vacuum tube collector, Heat storage, Nanofluid.

1. GİRİŞ

Örtü altı yetiştiriciliğinde başlıca amaç, iç ortam sıcaklığını bitki büyüme gelişmesi için en uygun düzeyde sürdürmektir. Seralarda gerçekleştirilen bitkisel üretimden beklenen en yüksek verimin elde edilmesi için, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde seranın ısıtılması gerekir. Enerji fiyatlarının yüksek olduğu günümüzde, sera ısıtma giderleri yükselmekte ve yetiştirilen ürünlerin maliyeti artmaktadır. Esas olarak sezon dışı üretim amacıyla kullanılan seralarda yetiştirilen ürünlerin kalite, miktar ve gelişme süresi bakımından en uygun ortam koşullarının sağlanması için, kışın soğuk dönemlerde ısıtma gereklidir. Akdeniz ülkelerinin çoğunda ekolojik koşulların uygun olması nedeniyle, sadece soğuk kış gecelerinde gereksinim duyulan ısıtma uygulamaları yeterince yapılmamaktadır. Bu nedenle, seralarda yetiştirilen ürünlerin kalite, miktar ve hasat zamanı açısından bazı olumsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, seraların ısıtılmasında, kurulduğu yerde bulunan en ucuz enerji kaynakları kullanılmalıdır. Bulunulan yöre, yetiştirilen ürün çeşidi ve yapılan üretim şekline göre, klasik fosil yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamalarında, ısıtma giderleri toplam üretim giderlerinin %60–70'ine ulaşmaktadır [1]. Güney Avrupa koşullarında sera ısıtma giderleri, toplam işletme giderlerinin %30'undan daha fazladır [2]. Alışlagelen enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin yüksek olması nedeniyle, sera ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır. Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine, doğal enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir.

Bu araştırmada, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanı olan plastik seranın ısıtılmasında yararlanmak üzere, güneş enerjisinin, ısı depolama materyali olarak nanopartikül (Al₂O₃) karıştırılmış su (nanoakışkan) kullanılarak, duyulur ısı depolama yöntemi ile kısa süreli (gündüzden-geceye) depolanması amaçlanmıştır. Serada güneş enerjisi depolama uygulaması ile seranın ısıtma enerjisi gereksiniminin azalması amaçlanmıştır. Sera ısıtma için kullanılması gereken enerji miktarının azalmasına bağlı olarak, ısıtma giderleri azalacak ve enerji tasarrufu sağlanacaktır. Enerji tasarrufu sağlanmasının önemli bir sonucu olarak, sera ısıtma uygulamaları için fosil yakıt tüketimi de azalacağından, atmosferde sera etkisi yaratan başlıca gazlardan birisi olan CO₂ gazı salımı da önemli oranda azalacaktır. Böylece; sera üreticisi, ülke ekonomisi, insan sağlığı ve çevre korunumu açısından önemli katkılar sağlanacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

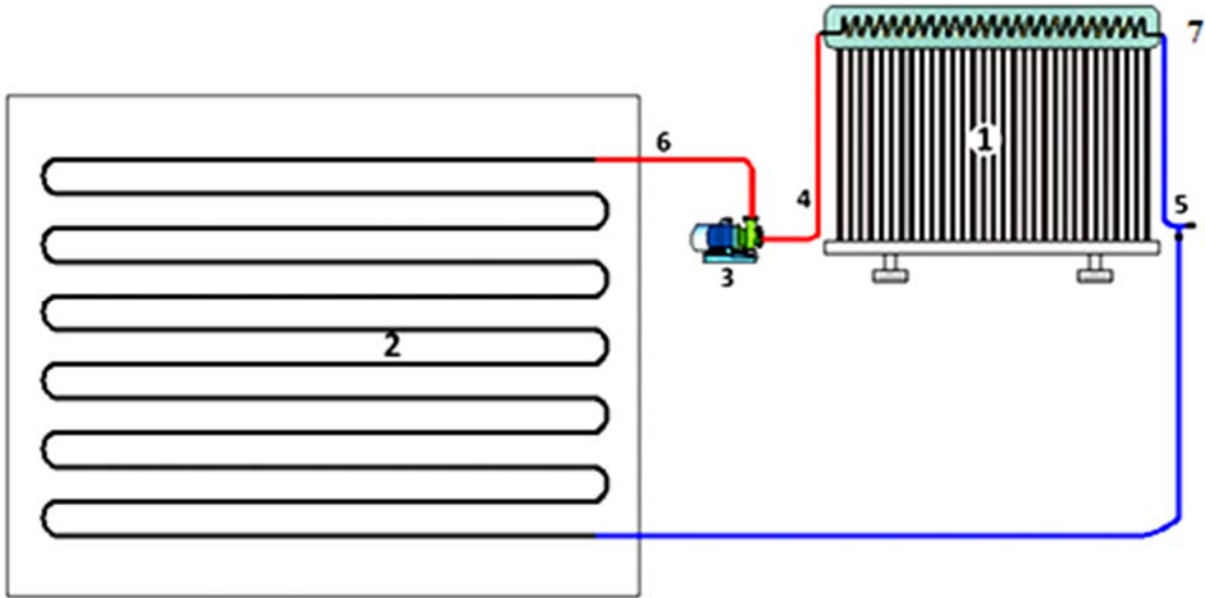
2.1. İklim Özellikleri

Adana ili, Akdeniz ikliminin özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Adana'da yılın 195,6 günü yaz günüdür. Bu günlerin 134,4'ü tropik gün olarak belirlenmiştir. Adana ilinde uzun yıllık ortalama sıcaklık ortalaması 19,1°C olup, ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri sırasıyla 25,3°C ve 13,8°C'dir. Ortalama en yüksek sıcaklıkların yaz mevsimindeki (Haziran–Ağustos) ortalaması 33,3°C'dir. Ortalama en düşük sıcaklıkların kış aylarındaki (Aralık–Şubat) ortalaması –6,6°C'dir [3].

Adana ilinde toplam güneş enerjisi; 1,99–6,60 kWh/m²gün aralığında değişmekte olup, yıllık ortalama 4,21 kWh/m²gün değerindedir. Toplam güneş enerjisi yaz mevsiminde (Haziran–Ağustos) ortalama 6,23 kWh/m²gün düzeyinde iken, kış mevsiminde (Aralık–Şubat) 2,02 kWh/m²gün düzeyine azalmaktadır. Güneşlenme süresi ise; 4,58–11,46 saat aralığında değişmekte olup, yıllık ortalama 8,21 saattir. Güneşlenme süresi yaz aylarında (Haziran–Ağustos) ortalama 11,22 saat değerinde iken, kış aylarında (Aralık–Şubat) 5,15 saat değerine azalmaktadır [3].

2.2. Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma Sistemi

Sera ısıtma, güneş enerjisinin su kullanılarak duyulur ısı depolama yöntemi ile günlük olarak depolanması için tasarlanmış olan araştırma, TC Tarım ve Orman Bakanlığı Adana Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğü'nde yürütülmüştür. Tasarlanan sistemin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Sistem esas olarak Vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi, toplanan ısının depolandığı ısı depolama ünitesi, depolanan ısıyla ısıtılan plastik sera, ısı toplama-depolama üniteleri ile sera arasında ısı taşıma ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 1'de gösterilen güneş enerjili sera ısıtma sisteminde; gündüz sürelerinde, vakum borulu güneş toplaçları (1) tarafından toplanılan ısı enerjisi, sisteminin üst kısmında yer alan ısı depolama ünitesinde (7) depolanmıştır. Sera iç ortam sıcaklığına bağlı olarak, ısı depolama ünitesinden gece sürelerinde ısı geri kazanılması için, pompa ünitesi (3) çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Güneş enerjisiyle sera ısıtma için tasarlanan sistemin şematik görünümü: (1) ısı vakum borulu güneş toplaçları (toplama ünitesi), (2) sera içi ısıtma boruları, (3) sirkülasyon pompası, (4-5-6) sıcak su dolaşım hattı ve (7) ısı depolama ünitesi.

Bu durumda, ısı depolama ünitesi (7) ile plastik sera içindeki ısıtma boruları (2) arasında akışkan dolaşımı sağlanmıştır. Isı geri kazanılan gece sürelerinde, plastik sera (2) ve ısı depolama (7) üniteleri arasında akışkan dolaşımı için kullanılan pompa ünitesine hareket veren elektrik motorunun çalışması termostat ile kontrol edilmiştir. Güneş enerjisiyle ısıtılan serada hava sıcaklığı 12 °C'ye azaldığında, sirkülasyon pompası çalışmaya başlamış ve ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında ısı transferi gerçekleşmiştir. Sistemin kurulma aşamasını gösteren görseller Şekil 2'de verilmiştir.

2.2.1. Isı Toplama Ünitesi: Vakum Borulu Güneş Toplaçları

Isı depolama ünitesinde ısı enerjisi olarak depolanacak olan güneş enerjisinin toplanması için, vakum borulu güneş toplaçlarından yararlanılmıştır (Şekil 2). Vakum borulu toplaçlar, yüksek sıcaklıklı ve güneşi izlemesi gerekmeyen güneş toplaçlarıdır. Kurulumu yapılan tasarım 6 üniteden oluşmaktadır. Her ünite 36 adet vakum boru bulunmaktadır.



Şekil 2. Vakum borulu toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi

2.2.2. Isı Depolama Ünitesi

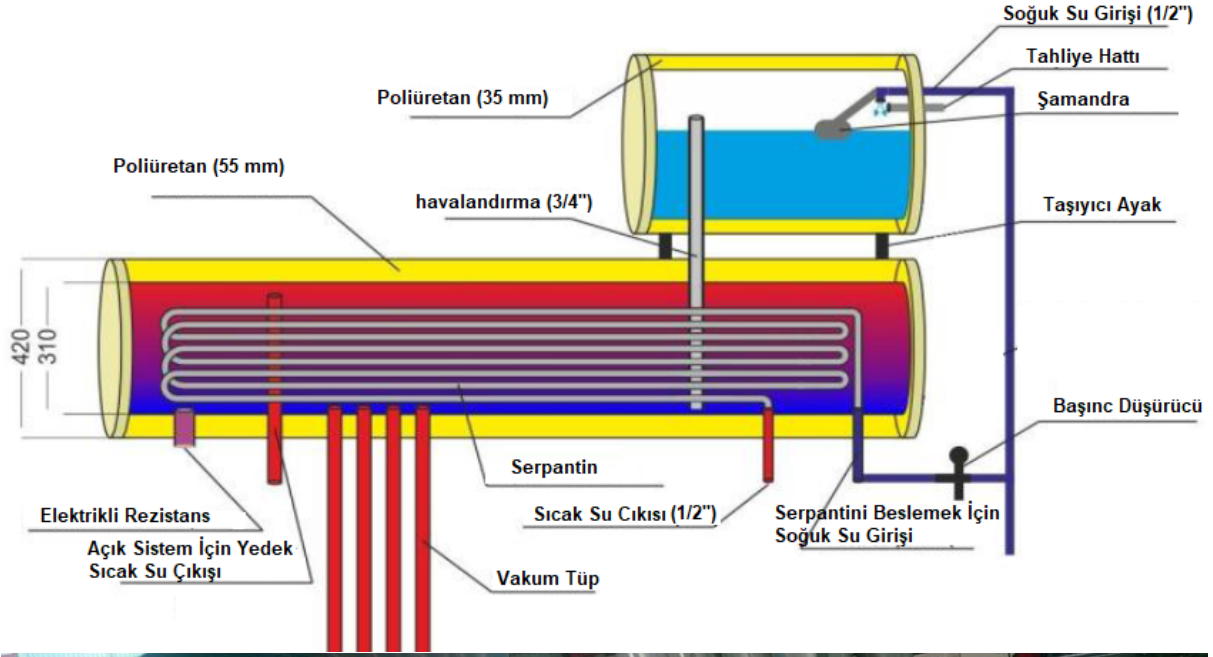
Isı depolama ünitesi olarak, korozyona dayanıklı galvanize çelik metal malzemeden tasarlanmış ve hacmi 240 L olan silindirik depolama tankı kullanılmıştır (Şekil 3). Isı depolama ünitesinin dış yüzeyleri, ısı kayıplarının önlenmesi için, etkin bir şekilde poliüretan ile ısı olarak yalıtılmıştır. Isı depolama ünitesinin alt kısmından itibaren 5 (alt), 15 (orta) ve 25 (üst) cm yüksekliklerde, ısı depolama akışkanının sıcaklıkları ölçülmüştür. Vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesinden gelen sıcak su, tanktaki suyun ısınması sağlamıştır. Tank içerisinde bulunan bakır serpantin içerisinde dolaşan akışkan depolanan ısı enerjisini üzerine alarak dolaşım sonucunda plastik sera içerisine aktarmıştır. Isı toplama ünitesinin başlıca bileşenleri ve iç görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

2.2.3. Plastik Seralar

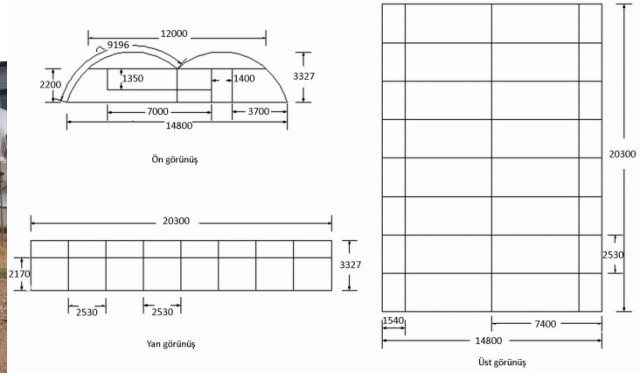
Araştırma kapsamında, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanında polietilen (PE) plastik seralar için, güneş enerjisiyle sera ısıtma sisteminin tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Aynı tasarımda mevcut olan iki adet plastik seradan birisi kontrol amacıyla kullanılmıştır. Kurulan plastik seraların boyutları şu şekildedir: 10 m (uzunluk) × 14 m (genişlik) × 3 m'dir (yükseklik). Plastik seraların görünüşü ve teknik resim çizimleri Şekil 4'de, bazı özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

2.2.3.1. Plastik Borulu Isıtma Sistemi

Deneme serasının ısıtılması, tabanına yerleştirilmiş plastik spiral boru içerisinde sıcak su dolaşımı ile sağlanmıştır (Şekil 5). Bu amaçla, sera ısı gereksinimine bağlı olarak, 25 mm çapında toplam 180 m uzunluğunda oluklu spiral boru kullanılmıştır. Isıtma borularının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Isı depolama ünitesinin bileşenleri ve iç görünümü



Şekil 4. Denelerin yapıldığı plastik seranın görünümü ve boyutları


Tablo 1. Plastik seranın özellikleri

Özellikler	Değerler
Örtü kalınlığı (mm)	0,35
Toplam uzunluk (m)	20
Bölme genişliği (m)	7
Toplam genişlik (m)	14
Toplam yükseklik (m)	3



Şekil 5. Plastik serada plastik borulu ısıtma sistemi

Tablo 2. Sera ısıtma borusunun teknik özellikleri

Dış çap	25 mm	 Isıtma borusu
Nominal çalışma basıncı (55 °C)	2,5 Atm	
Maksimum çalışma sıcaklığı	70°C	
Kalınlık	0,90 mm	
Kütle	116,0 g/m	
Paketleme	100 m	

Plastik seradaki ısıtma sistemi, seranın uzun kenarı boyunca sera tabanındaki toprak yüzeyine belirli aralıklar ile yerleştirilmiş ısıtma borularından oluşmaktadır. Sıcak su girişi ve ılık su dönüşü gerçekleşen spiral borular, sera genişliği boyunca yerleştirilmiş olan ana dağıtım ve dönüş hattına bağlıdır (Şekil 5).

Isı geri kazanma dönemlerinde, plastik sera ve ısı depolama ünitesi arasında akışkan dolaşımı için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Sera iç hava sıcaklığına bağlı olarak, pompa çalışmış ve sera içerisindeki ısıtma borularından akışkan dolaşımı sağlanmıştır. Pompa 220-230V/50Hz çalışmaktadır. Limk WRS25/7-130 marka pompa, 80 W gücünde ve debisi 0,26 kg/s'dir.

2.2.3.2. Nanoakışkan

Nanoakışkanlar en genel tanımıyla; nanometrik boyuttaki (1–100 nm) katı partiküllerin bir temel akışkan içerisinde dağıtılması ile oluşturulan akışkanlardır. Böyle bir yapı oluşturmaktaki amaç, ısı iletkenliği, temel akışkanın ısı iletkenliğinden daha yüksek olan bir nano malzemeyi (metal, metal oksit veya yüksek yüzey alanlı karbonik yapılar) akışkan içerisine karıştırarak, akışkanın ısı iletkenliğini arttırmaktır. Araştırmada % 5 oranında Al_2O_3 ve % 95 oranında su karışımından oluşan nanoakışkan kullanılmıştır. Kullanılan nanoakışkanın özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Nanoakışkanın özellikleri

Alüminyum Oksit Alfa Dağılımı	Değer
Al_2O_3	%5 wt
Boyut	30-50 Nm
Safılık	%99.9
Kristal yapı ve tipi	Alfa
Görünümü	Beyaz sıvı
Spesifik yüzey alan	190 m ² /g
pH	6-8
Yoğunluk	(20 °C) 3,9 g/cm ³
Erime noktası	2040 °C
Molekül ağırlığı	101,96
Termal iletkenlik	30 W/m K
Özgül ısı	451-955 J/kgK

2.3. Ölçme Sistemi Ve Kayıt Sistemi

Araştırmada sistemin farklı birer bileşenini oluşturan; plastik sera ortamları ve ısı depolama ünitesinde farklı fiziksel büyüklükler ölçülmüştür. Sera iç ortamları ve dış ortamda sıcaklık ölçümü, sıcaklık arttıkça direnci azalan negatif ısı katsayılı (NTC) termistör ile yapılmıştır. Bağıl nem ölçümü ise, kapasitif özellikteki nem algılayıcı ile yapılmıştır.

Sera içi ortamları ve dış ortamdaki toprak sıcaklıkları, ısı depolama ünitesi içerisindeki su sıcaklığı ile sera giriş-çıkış hattında akışkan sıcaklıkları, direnç tipi termometreler ile ölçülmüştür. Isı depolama ünitesinin üst, orta ve alt kısımları olmak üzere üç noktadan, direnç tipi termometreler ile depo içerisindeki su sıcaklıkları ölçülmüştür. Direnç tipi termometreler -200°C'den +850°C'ye kadar değişen aralıkta çok çeşitli işlemlerde yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle düşük sıcaklıklarda ısı çiftlere kıyasla çok daha doğru değerler verdikleri için tercih edilirler. Direnç termometre elemanı Pt-100 ve Ni-100, DIN standardı 43760'a uygun direnç değerleri vermektedir. Pt-100 ve Ni-100 elemanları 0°C'de 100 ohm direnç değerine sahiptirler.

Kayıt cihazı, Elimko marka E-PR-110 serisi mikrokontrolör kullanılarak tasarlanmış kağıtsız kayıt ve kontrol cihazıdır. Ünersal giriş ve çıkışların kullanıcı tarafından programlanabildiği 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ve 24 kanal girişi, 12 röle çıkışı ve 64 sayısal giriş/çıkışa sahip, programlama gerektirmeyen, kolay takılıp çıkartılabilen I/O kartlarıyla endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Sıcaklık, basınç, seviye, debi, akım, gerilim gibi fiziksel birimlerin sayısal ortamda kayıt edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. RS-485 ve ethernet bağlantısı, USB port imkanı ve yüksek kapasitede dahili veri depolama özelliği ile çok fonksiyonlu bir kayıt ve kontrol cihazıdır. Ölçümler 5'er dakika aralıklar ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

2.4. Serada Hıyar Üretimi

Araştırma seralarında Malazgirt F1 hıyar çeşidi üretilmiştir (Şekil 6). İlkbahar ve sonbahar dikimlerine çok uygun partenokarpik bir çeşittir. Çok erkenci olup, kuvvetli bitki yapısına sahiptir. Meyve rengi parlak koyu yeşil, oluklu 17-18 cm uzunluğundadır. Meyveler hafif boyunlu olup, meyve sapı ve çiçek sapı uzundur. Küllemeye, (mildiyö) yüksek toleranslıdır. Dikim 100 × 50 × 50 cm (300 bitki/140 m²) aralığında gerçekleşmiş ve ilk sulama işlemi aynı gün yapılmıştır. Fideler dikildikten sonra ilk verilen can suyundan ilk meyveler görülünceye kadar ki dönemde çok olmamak koşuluyla 3-4 günde sulama yapılmıştır. 15-15-15 gübresinden 15 kg fide dikiminden 10-15 gün önce toprağın yüzüne serilerek en az 15-20 cm derinliğinde toprak işlenmiştir.



Şekil 6. Deneme serasında hıyar üretimi

2.5. Hesaplama Yöntemi

2.5.1. Sera Isı Gereksiniminin Belirlenmesi

Plastik seranın ısıtılması için, taban alanı başına gereksinim duyulan ısıl güç miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir [4].

$$q_s = \frac{A_{\text{ö}}}{A_t} \times u \times (T_i - T_d) - l \times \tau \times \gamma \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

- q_s = Taban alanı başına ısı güç gereksinimi (W/m^2),
- A_o = Sera örtüsü yüzey alanı (m^2),
- A_t = Sera taban alanı (m^2),
- u = Toplam ısı kaybı katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$),
- T_i = Sera iç ortam havasının sıcaklığı ($^\circ C$),
- T_d = Dış ortam havasının sıcaklığı ($^\circ C$),
- I = Toplam güneş ışınımı (W/m^2)
- τ = Seranın toplam ışınım geçirgenliği ve
- γ = Toplam ışınımın sera iç ortam sıcaklığının artmasında etkili olan ısı ışınımına dönüşme oranıdır.

Sera toplam ısı güç gereksinimi, birim taban alanı için gerekli ısı güç miktarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q_s = q_s \times A_s \quad (W) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

- Q_s = Seranın toplam ısı güç gereksinimi (W),
- q_s = Taban alanı başına ısı güç gereksinimi (W/m^2) ve
- A_s = Sera taban alanıdır (m^2).

Plastik seranın ısı güç gereksinimi, güneşten ısı kazancının olmadığı gece koşulları için hesaplanmıştır. Seralarda güneş enerjili aktif ısıtma sistemleri, yıllık ısı gereksiniminin belirli bir oranını karşılamak için tasarlanırlar. Sera iç ortamında istenilen sıcaklığa bağlı olarak oluşan ısı kayıpları dikkate alınır ve seranın yıllık ısı gereksinimi hesaplanır.

2.5.1.1. Toplam Isı Kaybı Katsayısı

Toplam ısı kaybı katsayısı genellikle rüzgar hızı ile ilişkili olarak incelenir. Akdeniz Bölgesi iklimi koşullarında; UV+IR katkılı PE ile örtülü plastik seralar için toplam ısı kayıp katsayısı, rüzgar hızına (v_r , m/s) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir [5].

$$u = 2,83 + 0,10 v_r \quad (W/m^2 \text{ } ^\circ C)(3)$$

2.5.1.2. Sera İç Ortam Hava Sıcaklığı

Seralarda değişik tür bitkilerin yetiştirilebilmesi için, iç ortam hava sıcaklığı 10–28 $^\circ C$ aralığında ayarlanabilmelidir. Plastik serada hıyar üretimi için gerekli olan ısı gereksinimi, 17 $^\circ C$ iç ortam sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır.

2.5.1.3. Dış Ortam İklim Koşulları

Dış ortam sıcaklığının belirlenmesinde, seranın bulunduğu bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak yılın en soğuk zamanında oluşan en düşük sıcaklıkların ortalaması dikkate alınır. Isıtma sistemi tasarımında, Adana yöresine ilişkin uzun yıllık sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır.

2.5.2. Sera Ortamına Verilen Isıl Güç Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi ile sera arasında akışkan dolaşımı ile sera ortamına aktarılan ısı güç miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$Q_t = m \times c_p (T_g - T_\phi) \quad (W) \quad (4)$$

Burada:

- Q_t = Sera ortamına taşınan ısı güç miktarı (W),
- m = Akışkanın kütleli debisi (kg/s),
- c_p = Akışkanın özgül ısısı (J/kg $^\circ C$),
- T_ϕ = Akışkanın seradan çıkış sıcaklığı ($^\circ C$) ve
- T_g = Akışkanın seraya giriş sıcaklığıdır ($^\circ C$).

2.5.3. Sera Ortam Havasına Verilen Isıl Ekserji Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi ile sera arasında akışkan dolaşımı ile sera ortamına aktarılan ısı ekserji miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\Xi_t = m \times c_p (T_g - T_\varphi) - T_r \times m \times c_p (\ln T_g / T_\varphi) \quad (W) \quad (5)$$

Burada:

- Ξ_t = Sera ortamına taşınan ısı ekserji miktarı (W),
- m = Akışkanın kütleli debisi (kg/s),
- c_p = Akışkanın özgül ısısı (J/kg K),
- T_φ = Seradan çıkan akışkanın mutlak sıcaklığı (K),
- T_g = Seraya giren akışkanın mutlak sıcaklığı (K) ve
- T_r = Referans sıcaklıktır (10 K).

2.5.4. Sera Isıtma Sisteminin Boyutlandırılması

2.5.4.1. Isıtma Borusu Uzunluğunun Belirlenmesi

Seralardaki sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılması gereken toplam ısıtma borusu uzunluğu, seranın toplam ısı gereksinimi ve kullanılması tasarımılanan ısıtma borusunun birim uzunluğundan kazanılan ısı miktarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır [6].

$$L_b = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (m) \quad (6)$$

Bu eşitlikte;

- L_b = Isıtma borusunun uzunluğu (m)
- Q_s = Seranın toplam ısı güç gereksinimi (W) ve
- Q_b = Borudan kazanılan ısı güç miktarıdır (W/m).

2.5.4.2. Isıtma Borusundan Isı Transferinin Belirlenmesi

Isıtma borusundan sera ortamına geçen toplam ısı güç miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$Q_b = \frac{4\pi L_b \Delta T_b}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{\ln(d_d / d_i)}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_d d_d}} + Q_r \quad (m) \quad (7)$$

Bu eşitlikte;

- L_b = Isıtma borusu uzunluğu (m),
- ΔT_b = Sıcaklık farkı (°C),
- α_i = İç yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K),
- α_d = Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K),
- d_d = Boru dış çapı (m),
- d_i = Boru iç çapı (m),
- λ_b = Isı iletim katsayısı (W/m K) ve
- Q_r = Işınım ile geçen ısı güç miktarıdır (W).

2.5.4.3. Isıtma Borusundan Sera Ortamına Işınım ile Geçen Isıl Güç

Plastik seradaki ısıtma borularından sera ortamına ışınlama ile geçen ısı güç miktarı (Q_r , W) aşağıdaki gibi hesaplanır [6].

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_b (T_b^4 - T_s^4) \quad (W) \quad (8)$$

Bu eşitlikte;

- ε = Işınım yayma değeri,
- σ = Stefan-Boltzmann sabiti (5.6697x10⁻⁸ W/m²K⁴),
- A_b = Boru yüzey alanı (m²),
- T_b = Isıtma borusunun mutlak sıcaklığı (K) ve
- T_s = Sera ortam havasının mutlak sıcaklığıdır (K).

2.5.4.4. Sıcaklık Farkı

Sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ile ısıtma borusu içerisindeki su sıcaklığı arasındaki fark (ΔT_b), logaritmik ortalama sıcaklık farkı olarak hesaplanır [6].

$$\Delta T_b = \frac{T_g - T_\phi}{\ln \frac{(T_g - T_s)}{(T_\phi - T_s)}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Burada;

- T_g = Suyun ısıtma borusuna giriş sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),
- T_ϕ = Isıtma borusundan su çıkış sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) ve
- T_s = Sera içerisindeki hava sıcaklığıdır ($^\circ\text{C}$).

2.5.4.5. Isıtma Borusu Yüzey Alanı

Isıtma borusundan ısı geçişi gerçekleşen yüzey alanının belirlenmesinde, borunun logaritmik ortalama yüzey alanı dikkate alınır [6].

$$A_b = \frac{2\pi \times L_b \times (r_d - r_i)}{\ln \frac{r_d}{r_i}} \quad (\text{m}^2) \quad (10)$$

Burada;

- A_b = Isıtma borusu yüzey alanı (m^2),
- L_b = Isıtma borusunun uzunluğu (m)
- r_i = Isıtma borusunun iç yarıçapı (m) ve
- r_d = Isıtma borusunun dış yarıçapıdır (m).

2.5.5. Isı Depolama Materyali Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesinde duyulur ısı depolama materyali olarak kullanılması gereken su miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T} \quad (\text{kg}) \quad (11)$$

Burada;

- m = Kullanılması gereken su kütlesi (kg),
- Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),
- c_p = Suyun özgül ısıdır (kJ/kg $^\circ\text{C}$) ve
- ΔT = Sudaki sıcaklık artışıdır ($^\circ\text{C}$).

2.5.6. Isı Toplama Ünitesi Yüzey Alanının Belirlenmesi

Sera ısıtma amacıyla yıllık ısı gereksiniminin belirli bir oranını karşılamak için gerekli ısı enerji miktarı belirlendikten sonra, bu enerjinin toplanması için gerekli toplaç alanı hesaplanır. Toplaçların güneş enerjisi toplama verimi; toplaç üzerine gelen güneş ışınımına, toplaç örtü malzemesi ve soğurucu yüzeyin optik özelliklerine bağlıdır. Isı toplama ünitesinde kullanılması gereken toplaç alanı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$A_t = \frac{Q_s}{I \times \eta_t} \quad (\text{m}^2) \quad (12)$$

Burada;

- A_t = Toplaç yüzey alanı (m^2),
- Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),
- I = Toplaç yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarı (kJ/m² gün) ve
- η_t = Toplaç verimidir (%).

2.5.7. Isı Depolama Ünitesi Hacminin Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi (ısı deposu) hacminin belirlenmesinde, günlük olarak gerekli olan depolanabilecek en fazla ısı miktarı dikkate alınır. Isı depolama ünitesinin hacmi aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir.

$$V = \frac{Q_s}{\rho_s \times c_{ps} \times \Delta T} \quad (\text{m}^3) \quad (13)$$

Burada;

V = Isı depolama ünitesi hacmi (m^3),

Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),

ρ_s = Suyun yoğunluğu (kg/m^3),

c_{ps} = Suyun özgül ısısı (kJ/kg K) ve

ΔT = Isı depolama için ısı depolama materyalinin ortalama sıcaklık artışıdır ($^{\circ}\text{C}$).

2.5.8. Dolaşım Pompası Debisinin Belirlenmesi

Isıtma sisteminde kullanılacak olan dolaşım pompası, sistemde meydana gelen sürtünme kayıplarını karşılayabilecek büyüklükte seçilmelidir. Dolaşım pompasının debisi, gerekli ısı enerjisi miktarı ve akışkanın giriş-çıkış sıcaklık farkına bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir [6].

$$V_p = \frac{Q_s}{c_p \times \rho \times (T_g - T_{\phi})} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (14)$$

Burada;

V_p = Dolaşım pompasının debisi (m^3/s),

Q_k = Gerekli ısı miktarı (kW),

ρ = Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3),

c_p = Akışkanın özgül ısısı ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$),

T_g = Akışkan giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve

T_{ϕ} = Akışkan çıkış sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$).

2.5.9. Tasarruf Edilecek Yakıt Miktarı ve Yakıt Giderinin Belirlenmesi

Plastik seranın güneş enerjisiyle ısıtılması durumunda, tasarruf edilecek yakıt miktarı değerlerinin belirlenmesi için, Tablo 4'de verilen yakıtlara ilişkin ısı değerleri ve çevrim verimleri ile Adana (Merkez) ili Eylül 2020 tarihindeki yakıt birim fiyatları dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Yakıt ve emisyon tasarrufunun belirlenmesinde kullanılan değerler [7]

Yakıt Çeşidi	Isıl Değeri (kWh/kg)	Çevrim Verimi (%)	LCA Emisyon Faktörü (gCO _{2-eş} /kWh)
Doğal gaz	10,6	90	237
Kömür	7,16	60	385

2.5.10. Tasarruf Edilecek Eşdeğer Karbondioksit Emisyonu Miktarının Belirlenmesi

Plastik seranın güneş enerjisiyle ısıtılması durumunda, tasarruf edilecek eşdeğer karbondioksit emisyonunun (CO_{2-eş}) belirlenmesi için, Tablo 4'de verilen yakıtlara ilişkin ısı değerleri ve çevrim verimleri ile yaşam döngüsü analizlerinde dikkate alınan CO_{2-eş} salım faktörleri kullanılmıştır.

$$\text{CO}_{2\text{-eş}} = m_y \times \text{LHV}_y \times \text{EF}_y \quad (\text{kgCO}_{2\text{-eş}}) \quad (15)$$

Burada;

$\text{CO}_{2\text{-eş}}$ = CO_{2-eş} emisyonu ($\text{kgCO}_{2\text{-eş}}$)

m_y = Yakıt miktarı (kg),

LHV_y = Yakıtın alt ısı değeri (kWh/kg) ve

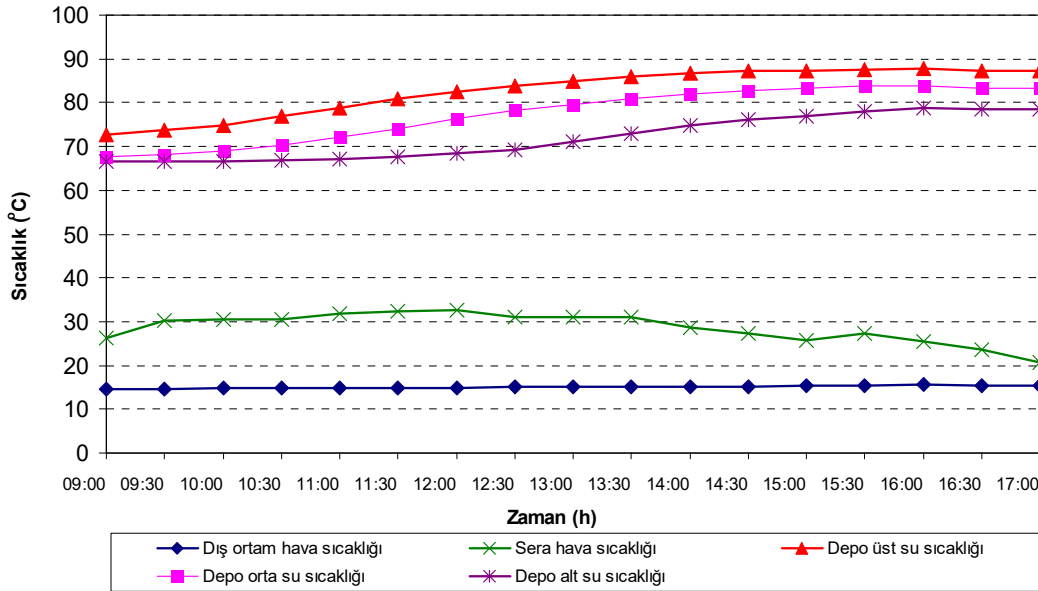
EF_y = Yakıtın emisyon faktörüdür ($\text{kgCO}_{2\text{-eş}}/\text{kWh}$).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Su İle Isıtma Yapılan Dönem

3.1.1. Gündüz Dönemi Sıcaklık Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), güneş enerjisinden vakum borulu toplaçlar aracılığı ile ısı enerjisi kazanılarak, ısı depolama ünitesinde ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde (09:00–17:00) hava ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 7’de verilmiştir. Belirtilen dönemde, gündüz sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 14,48–15,58°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 23,51–32,59 °C aralığında değişmiştir. Gündüz sürelerinde, belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 15,08°C, sera iç ortamında ise 28,61°C olarak belirlenmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 72,57–87,79°C, 67,56–83,86°C ve 66,57–78,70°C aralıklarında değişmiştir. Gündüz sürelerinde belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 82,68°C, 77,55°C ve 72,07°C olarak belirlenmiştir.



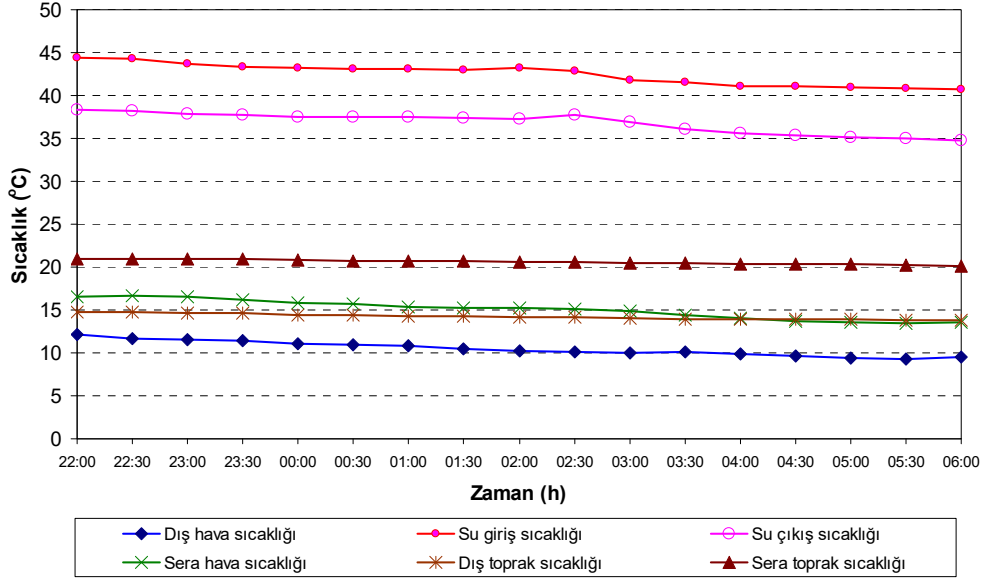
Şekil 7. Su ile ısı depolama yapılan dönemde gündüz sürelerinde sıcaklık değişimi

3.1.2. Gece Dönemi Sıcaklık Değişimi

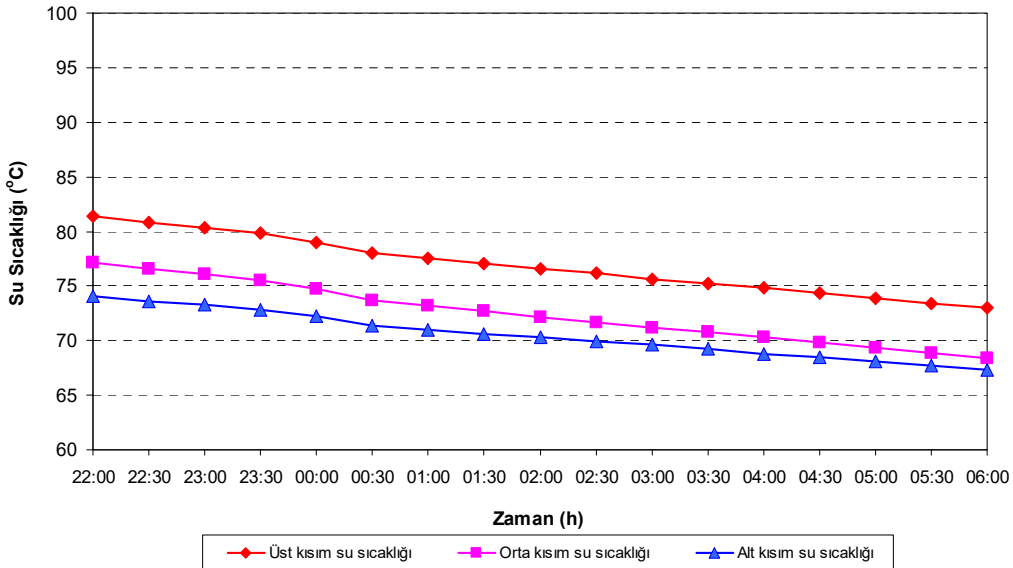
Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) hava, toprak ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Isı depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi ile ısınarak seraya giren suyun sıcaklığı 40,77–44,45°C aralığında değişmiştir. Sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaşarak taşıdığı ısı enerjisini sera ortamındaki havaya aktararak, serada çıkan suyun sıcaklığı 34,79–38,25°C aralığında değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), seraya giren ve seradan çıkan ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 42,49°C ve 36,82°C olarak belirlenmiştir. Seraya giren ve seradan çıkan su sıcaklıkları farkı, 6,1–4,89°C aralığında değişmiş ve ortalama 5,66°C olarak hesaplanmıştır.

Belirtilen dönemde, gece sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 9,28–12,13°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 13,40–16,69°C aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 10,50°C, sera iç ortamında ise 15,06°C olarak belirlenmiştir. Su ile ısıtma yapılan sera ortamı ile dış ortam arasındaki hava sıcaklığı farkı 4,07–4,97°C aralığında değişmiş ve ortalama 4,56°C olarak hesaplanmıştır. Su ile

Isıtma yapılan gece sürelerinde toprak sıcaklığı, dış ortamda 13,75–14,81°C aralığında, sera iç ortamındaki ise 20,15–21,00°C aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte toprak sıcaklığı ortalaması dış ortamda 14,22°C, sera iç ortamında ise 20,60°C olarak belirlenmiştir. Sera ısıtma yapılan gece sürelerinde belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 72,99–81,35°C, 68,37–77,12°C ve 67,37–74,03°C aralıklarında değişmiştir (Şekil 8). ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 76,89°C, 72,48°C ve 70,50°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Su ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde sıcaklık değişimi

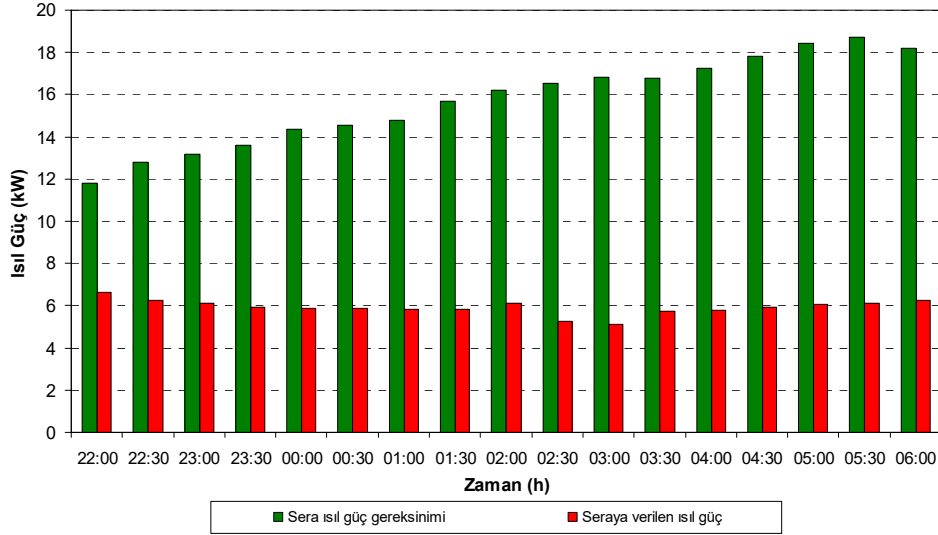


Şekil 8. Isı depolama ünitesinde gece sürelerinde su sıcaklıklarının değişimi

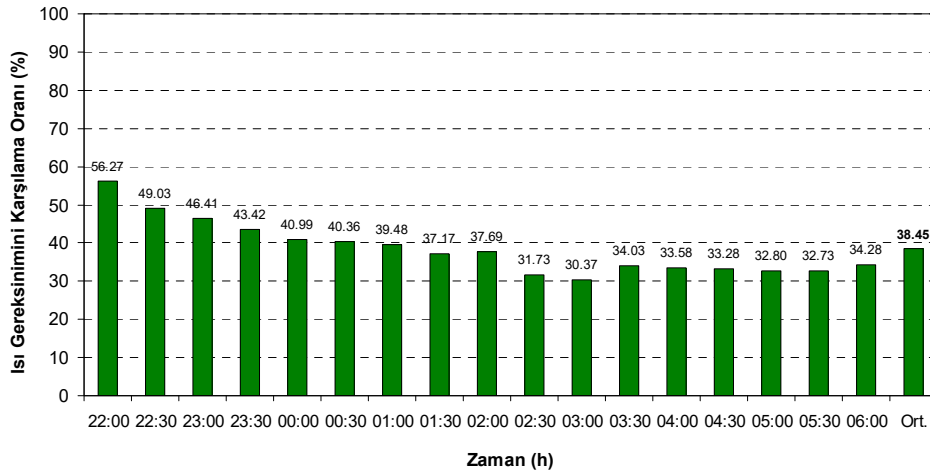
3.1.3. Gece Dönemi Isıl Güç ve Ekserji Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç değerlerinin değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Su ile ısıtma yapılan gece dönemlerinde sera ısı güç gereksinimi 11,79–18,70 kW aralığında değişmiştir. Isı depolama ünitesinden gelen sıcak suyun, sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaştırılarak seraya verilen ısı güç 5,71–6,63 kW aralığında

değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç ortalaması sırasıyla, 15,74 kW ve 5,92 kW olarak belirlenmiştir. Sıcak su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı %30,37–56,27 aralığında değişmiş ve ortalama %38,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 10). Bu dönemde, gündüz sürelerinde güneş ışınım enerjisini vakum borulu topaçlar ile ısı enerjisine dönüştürüp, ısı depolama ünitesindeki suya aktararak ısı depolama ve güne sürelerinde ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında sıcak su dolaşımı ile sera ortam havasına ısı güç aktarılması sonucunda, ısı gereksiniminin ortalama %38,4'ü karşılanabilmiştir.

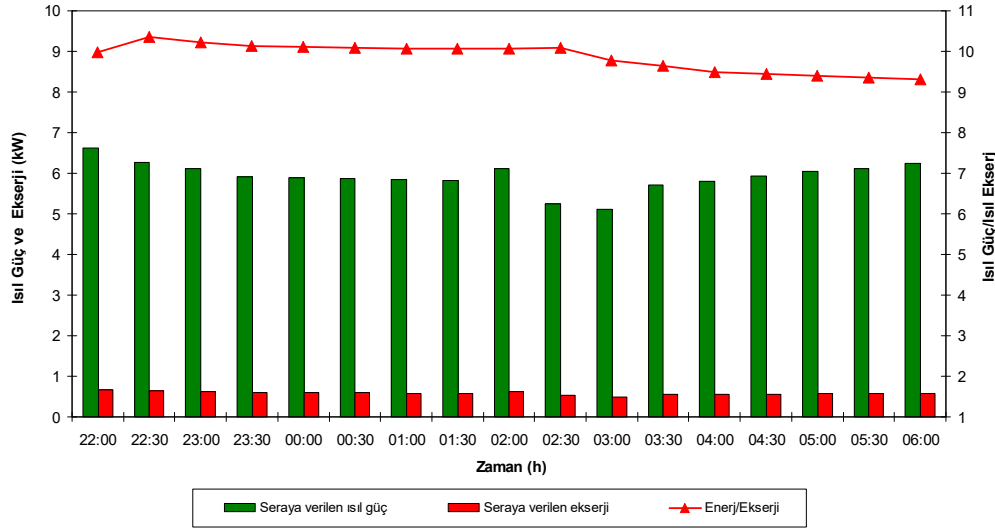


Şekil 9. Su ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde ısı güç değişimi



Şekil 10. Sıcak su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı

Isı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji değerlerinin değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Sera ortamında sıcak su dolaşımı sonucunda, sera ortam havasına aktarılan ısı güç 5,71–6,63 kW aralığında değişmesine karşın, sera ortam havasına aktarılan ısı ekserji miktarı 0,55–0,66 kW aralığında değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji ortalaması sırasıyla, 5,92 kW ve 0,58 kW olarak hesaplanmıştır. Seraya verilen ısı güç/ekserji oranı 9,31–10,36 aralığında değişmiş ve ortalama 9,86 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, su ile ısıtılan dönemde gece sürelerinde, ısıtma akışkanı olarak kullanılan sıcak su ile sera ortam havasına aktarılan ısı gücün ortalama 9,86'da biri oranında daha az ısı ekserji aktarılabilmiştir.



Şekil 11. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde seraya verilen ısı güç ve ekserji değerlerinin değişimi

3.1.4. Yakıt ve Enerji Tasarrufu

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam ısı enerjisi gereksinimi ve bu gereksinimi karşılamak için kullanılması gereken doğal gaz ve kömür miktarları Tablo 5’de verilmiştir. Su ile ısıtma yapılan dönemde, günlük toplam 8 saatlik süre için toplam ısı enerjisi gereksinimi 125 kWh olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ısı enerjisi gereksiniminin doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması için sırasıyla, 13,19 kg doğal gaz veya 29,30 kg kömür gerektiği hesaplanmıştır.

Tablo 5. Su ile ısıtma yapılan dönemde sera için ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Gereksinimi (kg)	Günlük Toplam Kömür Gereksinimi (kg)
A) Isıtmasız	$15,738 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 125,90 \text{ kWh}$	$(125,90 \text{ kWh} / 0,9 = 139,88 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) = 13,19 \text{ kg}$	$125,90 \text{ kWh} / 0,6 = 209,83 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} = 29,30 \text{ kg}$

Su ile ısıtma yapılan dönemde, doğal gaz veya kömür kullanımından yapılacak olan günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Bu dönemde, toplam 8 saatlik ısıtma süresinde 47,37 kWh ısı enerjisi, gündüz döneminde vakum borulu toplaçlar aracılığı ile güneş enerjisinden ısı kazanılarak ısı depolanan ısı depolama ünitesinden su dolaşımı ile ısı geri kazanılarak sera ortam havasına aktarılmıştır. Günlük toplam 8 saatlik ısı geri kazanma süresinde, ısı depolama ünitesinden sera ortam havasına aktarılan ısı enerjisinin (47,37 kWh), yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumundaki karşılıkları, sırasıyla 4,9 kg doğal gaz veya 11,02 kg kömür olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, serada sıcak su ile ısıtma yapılmıyorsa idi, 4,9 kg daha fazla doğal gaz veya 11,02 kg daha fazla kömür kullanılması gerekecekti. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması durumundaki Tablo 5’de verilen toplam ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi değerleri dikkate alınarak, tasarruf oranları; su kullanılarak ısı depolama uygulanıp ısı geri kazanması, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumunda % 37,6 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Su ile ısıtma yapılan dönemde günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Kazanımı (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Karşılığı (kg)	Günlük Toplam Kömür Karşılığı (kg)
B) Su ısıtmalı	$5,922 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 47,37 \text{ kWh}$	$(47,37 \text{ kWh} / 0,9 = 52,63 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) = 4,96 \text{ kg}$	$47,37 \text{ kWh} / 0,6 = 78,95 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} = 11,02 \text{ kg}$
C) Tasarruf oranı (%) (B × 100) / A	$(47,37 \text{ kWh} \times 100) / 125,90 \text{ kWh} = \%37,6$	$(4,96 \text{ kg} \times 100) / 13,19 \text{ kg} = \%37,6$	$(11,02 \text{ kg} \times 100) / 29,30 \text{ kg} = \%37,6$

3.1.5. Karbondioksit Emisyonu Tasarrufu

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam CO₂-eş emisyonu ve emisyon tasarrufu oranları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Su ile ısıtma yapılan dönemde günlük toplam emisyon tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Doğal Gaz Kullanımında Günlük Toplam CO ₂ -eş Emisyonu (kg CO ₂ -eş/gün)	Kömür Kullanımında Günlük Toplam CO ₂ -eş Emisyonu (kg CO ₂ -eş/gün)
D) Isıtmasız	125,90 kWh / 0,9 = 139, 88 kWh × 0,237 kgCO ₂ -eş/kWh = 33,15 kgCO₂-eş/gün	125,90 kWh / 0,6 = 209,83 kWh × 0,385 kgCO ₂ -eş/kWh = 80,79 kgCO₂-eş/gün
E) Su ısıtmalı	47,37 kWh / 0,9 = 52,63 kWh × 0,237 kgCO ₂ -eş/kWh = 12,47 kgCO₂-eş/gün	47,37 kWh / 0,6 = 78,95 × 0,385 kgCO ₂ -eş/kWh = 30,39 kgCO₂-eş/gün
F) Emisyon tasarrufu (D–E)	33,15 kgCO ₂ -eş/gün – 12,47 kgCO ₂ -eş/gün = 20,68 kgCO₂-eş/gün	80,79 kgCO ₂ -eş/gün – 30,39 kgCO ₂ -eş/gün = 50,40 kgCO₂-eş/gün
G) Emisyon tasarruf oranı (%) (F×100) / D	(12,47 kgCO ₂ -eş/gün × 100) / 33,15 kgCO ₂ -eş/gün = %37,6	(30,39 kgCO ₂ -eş/gün × 100) / 80,79 kgCO ₂ -eş/gün = %37,6

Serada ısı enerjisi gereksiniminin tamamının doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması durumunda bir günlük ısıtma sunucunda, sırasıyla 33,15 kgCO₂-eş veya 80,79 kgCO₂-eş emisyonu gerçekleşecektir. Gündüzden-geceye güneş enerjisi depolayarak sıcak su ile sera ısıtma yapılması durumunda, doğal gaz veya kömür ile yapılan ısıtma ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 20,68 kgCO₂-eş veya 50,40 kgCO₂-eş emisyon tasarrufu sağlanacaktır. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması ve güneş enerjisi depolanarak su ile ısıtma durumundaki Tablo 7’de verilen emisyon değerleri dikkate alınarak, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumlarına kıyasla emisyon tasarruf oranları; % 37,6 olarak belirlenmiştir.

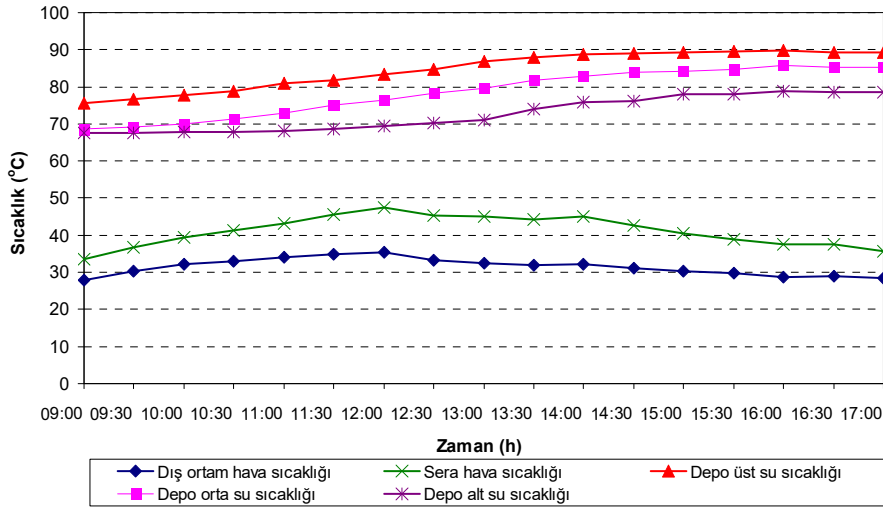
3.2. Nanoakışkan İle Isıtma Yapılan Dönem

3.2.1. Gündüz Dönemi Sıcaklık Değişimi

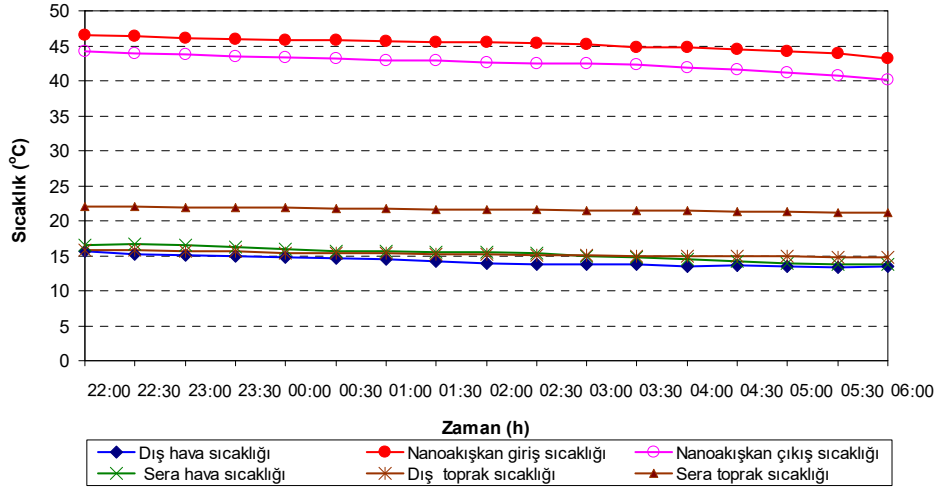
Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), güneş enerjisinden vakum borulu topaclar aracılığı ile ısı enerjisi kazanılarak, ısı depolama ünitesinde ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde (09:00–17:00) hava ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 12’de verilmiştir. Belirtilen dönemde, gündüz sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 27,82–35,47°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 33,39–47,56°C aralığında değişmiştir. Gündüz sürelerinde, belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 31,44°C, iç ortamda ise 41,45°C olarak belirlenmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 75,57–89,79°C, 68,56–85,86°C ve 67,57–78,70°C aralıklarında değişmiştir. Gündüz sürelerinde belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 84,68°C, 78,55°C ve 72,71°C olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Gece Dönemi Sıcaklık Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) hava, toprak ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 13’de verilmiştir. Isı depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi ile ısınarak seraya giren nanoakışkan sıcaklığı 43,25–46,55°C aralığında değişmiştir (Tablo 16). Sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaşarak taşıdığı ısı enerjisini sera ortamındaki havaya aktararak, seradan çıkan nanoakışkanın sıcaklığı 40,19–44,15°C aralığında değişmiştir. Serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya giren ve seradan çıkan ortalama nanoakışkan sıcaklıkları sırasıyla, 45,25°C ve 42,52°C olarak belirlenmiştir. Seraya giren ve seradan çıkan nanoakışkan sıcaklıkları farkı, 2,40–3,10°C aralığında değişmiş ve ortalama 2,73°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. Nanoakışkan ile ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde sıcaklık değişimi



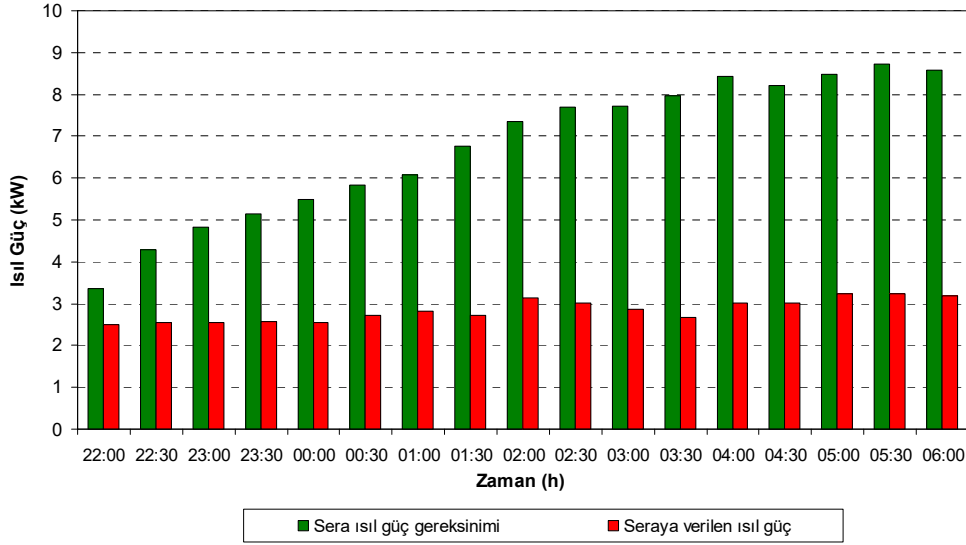
Şekil 13. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde sıcaklık değişimi

Belirtilen dönemde, gece sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı $13,39\text{--}15,61^\circ\text{C}$ aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise $13,75\text{--}16,69^\circ\text{C}$ aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda $14,21^\circ\text{C}$, sera iç ortamında ise $15,26^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan sera ortamı ile dış ortam arasındaki hava sıcaklığı farkı $0,30\text{--}1,56^\circ\text{C}$ aralığında değişmiş ve ortalama $1,06^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde toprak sıcaklığı dış ortamda $14,75\text{--}15,81^\circ\text{C}$ aralığında, sera iç ortamındaki ise $21,15\text{--}20,00^\circ\text{C}$ aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte toprak sıcaklığı ortalaması dış ortamda $15,22^\circ\text{C}$, sera iç ortamında ise $21,60^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Sera ısıtma yapılan gece sürelerinde belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, $73,99\text{--}82,35^\circ\text{C}$, $69,37\text{--}78,12^\circ\text{C}$ ve $68,37\text{--}75,03^\circ\text{C}$ aralıklarında değişmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, $77,89^\circ\text{C}$, $73,48^\circ\text{C}$ ve $71,50^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir.

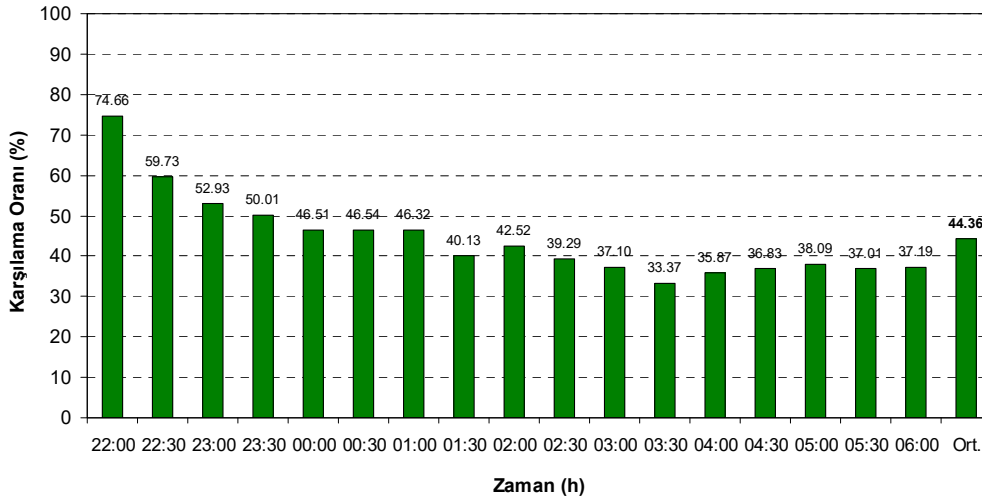
3.2.3. Gece Dönemi Isıl Güç ve Ekserji Değişimi

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde ($22:00\text{--}06:00$) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç değerlerinin değişimi Şekil 14'de verilmiştir. Nanoakışkan ile

Isıtma yapılan gece dönemlerinde sera ısı güç gereksinimi 3,35–8,74 kW aralığında değişmiştir. Isı depolama ünitesinden gelen sıcak nanoakışkanın, sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaştırılarak seraya verilen ısı güç 2,50–3,23 kW aralığında değişmiştir. Serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç ortalaması sırasıyla, 6,76 kW ve 2,85 kW olarak belirlenmiştir. Nanoakışkan su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı %33,37–74,66 aralığında değişmiş ve ortalama %44,36 olarak hesaplanmıştır (Şekil 15). Bu dönemde, gündüz sürelerinde güneş ışınım enerjisini vakum borulu toplaçlar ile ısı enerjisine dönüştürüp, ısı depolama ünitesindeki suya aktararak ısı depolama ve gece sürelerinde ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında sıcak su dolaşımı ile sera ortam havasına ısı güç aktarılması sonucunda, ısı gereksiniminin ortalama %44,36'sı karşılanabilmiştir.. Sera ortamında sıcak nanoakışkan dolaşımı sonucunda, sera ortam havasına aktarılan ısı güç 2,50–3,23kW aralığında değişmesine karşın, sera ortam havasına aktarılan ısı ekseri miktarı 0,28–0,33 kW aralığında değişmiştir.



Şekil 13. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde ısı güç değişimi



Şekil 14. Nanoakışkan ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı

Serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji ortalaması sırasıyla, 2,85 kW ve 0,30 kW olarak hesaplanmıştır. Seraya verilen ısı güç/ekserji oranı 10,08–11,10 aralığında değişmiş ve ortalama 10,69 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, nanoakışkan ile ısıtılan dönemde gece sürelerinde, ısıtma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkan ile sera ortam havasına aktarılan ısı gücün ortalama 10,69'da biri oranında daha az ısı ekserji aktarılabilmektedir.

3.2.4. Yakıt ve Enerji Tasarrufu

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam ısı enerjisi gereksinimi ve bu gereksinimi karşılamak için kullanılması gereken doğal gaz ve kömür miktarları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Gereksinimi (kg)	Günlük Toplam Kömür Gereksinimi (kg)
A) Isıtmasız	54,08 kWh	$(54,08 \text{ kWh} / 0,9 = 60,1 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) =$ 5,66 kg	$54,08 \text{ kWh} / 0,6 = 90,13 / 7,16 \text{ kWh/kg} =$ 12,58 kg

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde, günlük toplam 8 saatlik süre için toplam ısı enerjisi gereksinimi 54,08 kWh olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ısı enerjisi gereksiniminin doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması için sırasıyla, 5,66 kg doğal gaz veya 12,58 kg kömür gerektiği hesaplanmıştır.

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde, doğal gaz veya kömür kullanımından yapılacak olan günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu değerleri Tablo 9'da verilmiştir. Bu dönemde, toplam 8 saatlik ısıtma süresinde 22,8 kWh ısı enerjisi, gündüz döneminde vakum borulu topaclar aracılığı ile güneş enerjiden ısı kazanılarak ısı depolanan ısı depolama ünitesinden, nanoakışkan dolaşımı ile ısı geri kazanılarak sera ortam havasına aktarılmıştır. Günlük toplam 8 saatlik ısı geri kazanma süresinde, ısı depolama ünitesinden sera ortam havasına aktarılan ısı enerjisinin (22,8 kWh), yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumundaki karşılıkları, sırasıyla 4,9 kg doğal gaz veya 11,02 kg kömür olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, serada sıcak su ile ısıtma yapılmıyorsa idi, 2,38 kg daha fazla doğal gaz veya 5,30 kg daha fazla kömür kullanılması gerekecek idi. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması durumundaki Tablo 18'de verilen toplam ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi değerleri dikkate alınarak, tasarruf oranları; su kullanılarak ısı depolama uygulanıp ısı geri kazanması, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumunda % 42 olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde enerji ve yakıt tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Kazanımı (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Karşılığı (kg)	Günlük Toplam Kömür Karşılığı (kg)
B) Nano akışkan ısıtmalı	$2,85 \text{ kW} \times 8 \text{ h} =$ 22,8 kWh	$22,8 \text{ kWh} / 0,9 = 25,33 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg} =$ 2,38 kg	$22,8 \text{ kWh} / 0,6 = 38 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} =$ 5,30 kg
C) Tasarruf oranı (%) (B×100)/A	$(22,8 \text{ kWh} \times 100) / 54,08 \text{ kWh} =$ %42	$(2,38 \text{ kg} \times 100) / 4,66 \text{ kg} =$ %42	$(5,3 \text{ kg} \times 100) / 12,58 \text{ kg} =$ %42

3.2.5. Karbondioksit Emisyonu Tasarrufu

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam CO₂-eş emisyonu ve emisyon tasarrufu oranları Tablo 20'de verilmiştir hesaplanmıştır.

Serada ısı enerjisi gereksiniminin tamamının doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması durumunda bir günlük ısıtma sunucunda, sırasıyla 14,24 kgCO₂-eş veya 34,68 kgCO₂-eş emisyonu gerçekleşecektir. Gündüzden-geceye güneş enerjisi depolayarak sıcak nanoakışkan ile sera ısıtma yapılması durumunda, doğal gaz veya kömür ile yapılan ısıtma ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 8,25 kgCO₂-eş veya 20,05 kgCO₂-eş emisyon tasarrufu sağlanacaktır. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması ve güneş enerjisi depolanarak nanoakışkan ile ısıtma durumundaki Tablo 20'de verilen emisyon değerleri dikkate alınarak, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumlarına kıyasla emisyon tasarruf oranları; % 42 olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Güneş ışınım enerjisini vakum borulu toplaçlar ile ısı enerjisine dönüştürerek, duyulur ısı depolama materyali olarak su kullanılan bir ısı depolama ünitesinde gündüzden-geceye kısa süreli ısı depolayarak, gece dönemlerinde su dolaşımı ile plastik ısıtma boruları aracılığı ile sera ortam havasına ısı geri kazanılan sistemden belirlenen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, sera ısı gereksiniminin karşılanma oranı ortalama %38,45, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %44,36 olarak belirlenmiştir.
- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, ısı gücü/ekserji oranı ortalama %9,86 iken, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %10,69 olarak belirlenmiştir.
- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, hıyar verimi ısıtılmayan seraya kıyasla, 393 kg (%34,2 oranında) daha yüksek olarak gerçekleşmiştir.
- Sera ısıtmak için günlük toplam enerji, yakıt ve emisyon tasarrufu; su ile ısıtma yapılan dönemde, % 37,6 olarak belirlenirken, nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde %42 olarak belirlenmiştir. Bu durum nanoakışkan ile ısı geri kazma etkinliğinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- Su ile ısıtma durumunda, doğal gaz tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 5,84 yıl, kömür tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 4,47 yıl olarak hesaplanmıştır.

4.2. Öneriler

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerinde, seradan bağımsız durumda tasarımılanan ısı toplama ve depolama ünitelerinden yararlanılır. Sera örtüsüyle güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisiyle birlikte, aktif ısıtma sistemindeki ısı toplama ünitesiyle toplanılan ısı enerjisi uygun şekilde depolanarak, ısı gereksiniminin önemli bir bölümü karşılanabilir. Bununla birlikte, bu sistemlerdeki özellikle ısı toplama ünitelerinin fazla alan kaplaması, ilk yatırım ve daha sonraki işletme giderlerinin yüksek olması, bu sistemlerin ekonomik uygulanabilirliğini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Son yıllarda, güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerine ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla, uygulamada karşılaşılan bu tür sorunların giderilmesine yönelik belirli teknik çözümler sağlanmıştır.

Isı toplama ünitesi olarak kullanılan güneş toplaçları, sera dışına yerleştirilebildiği gibi, sera çatısına da yerleştirilebilir. Toplaçların sera çatısına yerleştirilmesi durumunda sera içerisine ulaşan güneş ışınımı önemli oranda azalır. Bu tip sistemlerde de pasif ısıtma sistemlerindeki gibi; su, çakıl-kırma taş veya tuğla, toprak ve faz değiştiren materyaller (PCM) gibi ısı depolama materyallerinden biri veya bir kaç tanesi birlikte kullanılabilir. Isı depolama ünitesinin boyutları; sera alanı, işletme sıcaklığı, ısı değiştirici tipi ve kullanılan ısı toplama ünitesinin boyutlarına bağlıdır.

Güneş enerjili aktif ısıtma sisteminde ısınan suyun sıcaklığı, seraya gönderilmek için gerekli su sıcaklığından (dağıtım sıcaklığından) daha yüksek olduğunda, sistemde ısınan su serayı ısıtmak için doğrudan kullanılabilir. Sistemde ısınan suyun sıcaklığı dağıtım sıcaklığından daha düşük olduğunda, su dağıtım sıcaklığına ulaşmaya kadar yardımcı ısıtma sistemiyle ısıtılır. Serada dolaşım sonucunda soğuyan suyun sıcaklığı toplaç sıcaklığından daha düşük olduğunda, su toplaçlar içerisinden dolaştırılır. Yardımcı ısıtma sistemi kullanılmaması durumunda, güneş enerjisiyle ısıtılan su serayı ön ısıtma veya sadece düşük sıcaklıklardan koruma amacıyla kullanılabilir. Sistemin çalışma sıcaklığının düşük olduğu bu durumda, güneş toplaçlarından daha yüksek oranda yararlanılabilir. Bu nedenle, yapılan araştırmalarda uygulanan sistemlerin sera ısı gereksinimlerini karşılama oranlarının belirtilmesi yerine, güneş enerjili sistem bulunmayan (kontrol) seraya oranla sıcaklık farkının belirtilmesi daha uygundur.

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemleriyle sera ısı gereksiniminin önemli bir bölümü karşılanmakla birlikte, uygulamada bu sistemlerin kullanımında bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır. Seraların güneş enerjili aktif sistemler ile ısıtılması konusunda yapılacak olan araştırma ve geliştirme çalışmalarının aşağıda belirtilen konulara yönlendirilmesi, bu sorunların giderilmesine katkı sağlayacaktır:

- Isı toplama ünitesi olarak özellikle soğurucu yüzeyi cam malzeme ile örtülü toplaçların kullanılması durumunda, sistemin ilk yatırım maliyeti yüksektir. Maliyetin azaltılması için daha ucuz olan değişik



tip plastik toplaçlardan yararlanılmakla birlikte, plastik toplaçlar kolay bir şekilde yıprandığından bakım giderleri yükselmektedir.

- Güneş toplaçlar sera dışına yerleştirildiğinde fazla alan kapladığından, sera iç ortamına veya çatısına yerleştirilmektedir. Toplaçların sera çatısına yerleştirilmesi durumunda, sera içerisine ulaşan güneş ışınımı önemli oranda azalır. Bu nedenle, fotosentez için etkin ışınımı (PAR) sera ortamına geçiren toplaçlardan yararlanılmalıdır.
- Güneş enerjili ısıtma sisteminin yardımcı ısıtma sistemiyle birlikte kullanılması durumunda, bazı teknik sorunlarla karşılaşılabilir. Yardımcı ısıtma sisteminin uygun olmaması durumunda, güneş enerjili sistemin yararlanılabilirliği önemli oranda azalır. Bu sorunun giderilmesi için, sistemde bir ısı pompasından yararlanılabilir.
- Yardımcı ısıtma sistemiyle birlikte, güneş enerjili ısıtma sistemlerinin önemli birer alt ünitesi olan, ısı toplama ve depolama ünitesi kapasitelerinin belirlenmesine ve sistemin etkin olarak çalışma ve kontrolüne gerekli önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1]. POPOVSKİ, C., "Greenhouse Energetics. Compact Course on Greenhouse Energetics", Universities at: Adana and Antalya, 1988.
- [2] SANTAMOURİS, M.I. 1993. "Active Solar Agricultural Greenhouses: The State of Art", Solar Energy, 14, 19-32.
- [3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020, Ankara.
- [4] ÖZTÜRK, H.H., "Sera İklimlendirme Tekniği", Ankara: Hasad Yayıncılık, Ankara, 2008.
- [5] ÖZTÜRK, H.H., BAŞÇETİNÇELİK, A., "Effect of Thermal Screen on The Overall Heat Loss Coefficient in Plastic Tunnel Greenhouses", Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 27, 123-134, 2003.
- [6]. ÖZTÜRK, H.H.. "Antalya İklimi Koşullarında Sera Isıtma Amacıyla Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanması İçin Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi", Tesisat Mühendisliği, 129, 38-50, 2012.
- [7] IPCC., "Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

1966 yılı İzmir doğumludur. 1988 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1991 yılında Yüksek Mühendis ve 1998 yılında Doktor unvanını almıştır. 1989-1998 Yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji kullanımı, sera iklimlendirme tekniği, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji verimliliği ve ısı depolama tekniği konularında çalışmaktadır.

Bülent AYHAN

1976 yılı Malatya doğumludur. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünü bitirmiştir. Aydın Aydın Menderes Üniversiteden 2014 yılında Yüksek Mühendis, unvanını almıştır. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi'nde doktora eğitimine başlamıştır. 1995 Yılından itibaren Tarım ve Orman Bakanlığının çeşitli birimlerinde görev yapmıştır. Halen Adana Zirai Üretim İşletmesi Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğünde Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.