

Seralarda Bir Günlük Toplam Sıcaklığa Göre Yapılan Dinamik Kontrol Stratejisine Bağlı Enerji Tasarrufunun Belirlenmesi

Abdullah Nafi BAYTORUN¹, Sait ÜSTÜN^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, ²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0002-5971-6893>, ²<https://orcid.org/0000-0002-9978-6140>

✉: saitustun@gmail.com

ÖZET

Seralarda enerji tasarrufu amacıyla son yıllarda uygulanan dinamik kontrol stratejilerinden bir tanesi, sıcaklık toplamına göre yapılan denetimdir. Bu yöntem, belirli bir üretim hedefine ulaşmak için sabit gece/gündüz sıcaklığı yerine belirli bir sıcaklık toplamının yeterli olduğu esasına dayanır. Serada gece saatlerinde sıcaklığın düşürülmesi önemli derecede ısı enerjisi tasarrufu sağlar. Belirtilen nedenle gece saatlerinde sıcaklığın alt kritik sınıra çekilmesi ve günlük toplam sıcaklıkta eksik kalan sıcaklığın gündüz saatlerinde havalandırma ayar sıcaklığının yükseltilerek telafi edilmesi, son yıllarda enerji tasarrufu amacıyla seralarda kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmada seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ve son yıllarda jeotermal seracılığın yaygınlaştığı Afyonkarahisar illerinin uzun yıllık iklim değerleri kullanılarak, sabit sıcaklık (statik strateji) ve bir günlük sıcaklık toplamına göre (dinamik strateji) yapılan sıcaklık denetiminde sağlanan ısı tasarrufu belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ılıman iklime sahip Antalya koşullarında dinamik kontrol ile statik kontrol stratejisine göre serada istenen gece sıcaklığına bağlı olarak en fazla %30 ve karasal iklimin hakim olduğu Afyonkarahisar koşullarında %9 enerji tasarrufunun sağlanabileceği belirlenmiştir.

Biyosistem Mühendisliği

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi : 21.06.2021

Kabul Tarihi : 01.10.2021

Anahtar Kelimeler

Sera

Toplam sıcaklık

Dinamik kontrol stratejisi

Enerji tasarrufu

Determination of Energy Savings Based on a Dynamic Control Strategy Based on One-Day Total Temperature in Greenhouses

ABSTRACT

One of the dynamic control strategies implemented in the last years for energy saving in greenhouses is the control made according to the total temperature. This method is based on the principle that a certain sum of temperatures (rather than a constant temperature) is sufficient to reach a certain production target. Lowering the temperature at night provides significant heat energy savings. For this reason, reducing the temperature to the lower critical limit at night hours and compensating for the missing temperature in the daily total temperature by increasing the ventilation temperature during the day has been used in greenhouses for energy saving in recent years. In this study, the long year climate values of Antalya, where greenhouse cultivation is wide spread, and Afyonkarahisar, where geothermal greenhouse cultivation has become wide spread in recent years, was used to determine the heat savings achieved in the temperature control performed according to the constant temperature (static strategy) and the sum of one-day temperature (dynamic strategy). As a result of the calculations made depending on the desired night temperature in these greenhouses, it was determined that up to 30% energy savings can be achieved in Antalya conditions with mild climate, and 9% in Afyonkarahisar conditions where the continental climate prevails.

Biosystem Engineering

Research Article

Article History

Received : 21.06.2021

Accepted : 01.10.2021

Keywords

Greenhouse

Total temperature

Dynamic control strategy

Energy saving

Atıf Şekli:	Baytorun A.N, Üstün S 2022. Seralarda Bir Günlük Toplam Sıcaklığa Göre Yapılan Dinamik Kontrol Stratejisine Bağlı Enerji Tasarrufunun Belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 25 (5): 1119-1126. https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.955275
To Cite :	Baytorun A.N, Üstün S 2022. Determination of Energy Savings Based on a Dynamic Control Strategy Based on One-Day Total Temperature in Greenhouses. KSU J. Agric Nat 25 (5): 1119-1126. https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.955275

GİRİŞ

Seralarda iklim kontrolü eksikliği, verim bileşenlerini ve girdi kullanım verimliliğini olumsuz yönde etkileyen yetersiz bir mikroklima ile sonuçlanır. Sera ortamının daha iyi kontrol edilmesi pazarlanabilir verimi ve kaliteyi artırdığı gibi büyüme mevsimini uzatabilir (Baille, 1999). Seralarda yapılan bitkisel üretimde en az enerji ve iş gücü ile gelişim etmenlerinin bitkilerin arzulanacağı konfor sınırları arasında tutulması gereklidir.

Yüksek teknolojiye sahip seralarda yapılan bitkisel üretimde ısıtma giderleri bölge iklimine bağlı olarak %20-40 arasında değişir (Baytorun ve ark., 2017). Seralarda ısıtma ayar sıcaklığının optimum değerler altında tutulması önemli miktarda ısı tasarrufu sağlar. Ancak ayar sıcaklığının optimum değerinin altında tutulması bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebileceği gibi, kuru madde oluşumu gibi diğer bitki özelliklerini de etkileyebilmektedir (Körner ve Challa, 2003a). Seralarda sıcaklığın düşürülerek enerji tasarrufu konusunda yapılan bir araştırmada, günlük ortalama sıcaklığın 18°C (19/17°C) ve 16°C'de (17/15°C) tutulduğu seralarda yapılan domates üretiminde 2 kg m⁻² verim farkı elde edilirken, birim alan için 1.5 € m⁻² fazla yakıt tüketilmiştir. Bu koşullarda sıcaklığın düşürülmesi konusunda karar vermede domatesin pazar fiyatları önemli rol oynamaktadır (Teichert, 2006).

Düzenli olarak ısıtılan seralarda ısı enerjisinin büyük kısmı gece saatlerinde tüketilmektedir (Baytorun, 2016; Baytorun ve ark., 2017). Tantau (1998) tek kat camla kaplı bir serada 15°C'lik ısıtma ayar sıcaklığı için, gece enerji tüketiminin toplam enerji tüketiminin yaklaşık %70'i olduğunu belirlemiştir. Belirtilen nedenle, gece ayar sıcaklığının 1-2°C daha düşük tutulması, farklı iklim bölgelerinde ısı enerjisi tüketimini %30'a kadar azaltabilmektedir (Elings ve ark., 2005; Gilli ve ark., 2017; Langton ve Hamer, 2003; Spanomitsios, 2001).

Seralarda kullanılan iklim kontrol stratejilerinin temel hedefleri, ısı tasarrufu, bitki büyümesinin optimizasyonu, bitki sağlığı ve kalitesinin teşviki ve korunmasıdır. Günümüzde seralarda kullanılan denetim stratejileri statik ve dinamik kontrol stratejileri olmak üzere iki ana grup altında toplanmaktadır.

Seralarda kullanılan statik iklim kontrolünün en büyük dezavantajı, yüksek rüzgar hızı veya düşük sıcaklıklar gibi olumsuz dış iklim koşullarında ortaya çıkan yüksek ısı enerjisi tüketimine engel

olamamasıdır (Tantau, 1998). Statik iklim kontrolünde, bitki gelişimini önemli düzeyde etkileyen düşük güneş ışınımı dikkate alınmaz (Maeritz, 2011). Buna karşın dinamik kontrol stratejilerinde bitkilerin büyüme potansiyeline bağlı olarak üretim maliyetinde önemli paya sahip olan ısı enerjisi dış iklim koşullarına göre düzenlenir. Dinamik kontrol stratejisinin karakteristik özelliği, sıcaklığın sabit tutulması değil, farklı zaman aralıklarında bitki büyüme parametrelerine ve dış iklim koşullarına bağlı olarak sıcaklıkların büyük ölçüde değişebilmesidir (Baytorun, 2022).

Serada sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde bitkilerin büyümelerini hızlandırarak daha düşük sıcaklık dönemlerini telafi ettikleri uzun bir süreden beri bilinmektedir. Bu potansiyelden en iyi şekilde faydalanmak amacıyla sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde bitkilerin büyümesine izin veren iklim kontrol stratejilerini geliştirmek önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Ancak bu stratejide müsaade edilen düşük sıcaklıklar bitki kalitesine zarar vermemeli ve bitkilerin hastalıklara karşı değişen duyarlılıkları dikkate alınmalıdır. Seralarda yapılan iklim denetiminde bireysel stratejiler birbiriyle çatışabilir. Örneğin, maksimum enerji tasarrufu bitki büyümesini sınırlandırabileceği gibi, bitkilerin sağlığını da etkileyebilmektedir.

Seralarda enerji tasarrufu amacıyla son yıllarda uygulanan dinamik kontrol stratejilerinden biri sıcaklık toplamına göre yapılan denetimdir. Bu yöntem, sabit bir gece/gündüz sıcaklığı yerine kabul edilen toplam sıcaklığın kontrol için referans değişken olarak kullanılmasıdır. Seralarda gece saatlerinde ısıtma ayar sıcaklığının birkaç saat optimum değerinin birkaç derece altında ve gün içinde kalan sürenin optimum değerinin üzerinde tutulması ile yapılan sıcaklık düzenlemesi ısı enerjisi tasarrufu açısından önemlidir. Bu yöntem, sıcaklık dalgalanmalarına oldukça hassas olan bitkiler hariç, çoğu sera ürünü için enerji tasarrufu için iyi bir seçenektir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, bitki büyümesine sıcaklık etkisinin gün ışığı koşullarında daha yüksek olduğunu göstermiştir (Challa ve ark., 1995).

Yapılmış birçok çalışma, serada üretilen bitkilerin çoğunun sabit gündüz/gece sıcaklıklardan çok, uzun süreli sıcaklık ortalamasına tepki verdiğini göstermiştir (Langhans ve ark., 1985; Miller ve ark., 1985). Bu nedenle, uzun süreli dinamik sıcaklık denetimi, ortaya çıkan soğuk bir günü takip eden günlerden birinde telafi ederek seralarda daha

yüksek ısı enerjisi tasarrufu sağlayabilmektedir. Dinamik sıcaklık düzenlemesi, enerji tasarrufu potansiyelini optimum aralığın alt-kritik ve üst-kritik sıcaklıklar arasında analiz etmeye ve kullanıcı tarafından tanımlanan herhangi bir süre için istenen ortalama sıcaklığı sağlamaya çalışan denetim stratejisi olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ve Jeotermal seracılığın yaygınlaştığı Afyonkarahisar ilinin uzun yıllık saatlik iklim değerleri esas alınarak statik kontrol stratejisine göre bir günlük sıcaklık toplamı esas alınarak yapılan dinamik kontrol stratejisinin sağladığı ısı enerjisi tasarrufu belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL ve METOD

Serada ısı gereksiniminin hesaplanması, DIN 4701’e göre yapılan alışlagelmiş ısı gereksinim hesaplamalarından farklı olarak, dış sıcaklık yerine belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan ve ısıtılmayan serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve seranın özelliğine bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık yükselmesi dikkate alınarak Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır (Rath,1992).

$$Q_{cs} = \sum_{n=1}^{8760} \left((\vartheta_{in} - \vartheta_{i,oh_n} - \Delta\vartheta_{sp_n}) * U_{cs} * A_H * (1 - EE_{ES}) * t \right) [1]$$

Eşitlikte;

Q_{cs} : Toplam ısı gereksinimi (kWh a⁻¹)

ϑ_{in} : Serada istenen sıcaklık (°C)

$\vartheta_{i,oh}$: ısıtılmayan seradaki gerçek sıcaklık (°C)

$\Delta\vartheta_{sp}$: Seranın özelliğine bağlı ortaya çıkan sıcaklık yükselmesi (°C)

U_{cs} : Isı gereksinim katsayısı (W m⁻²K⁻¹)

A_H : Örtü yüzey alanı (m²)

EE_{ES} : Isı perdesi ile sağlanan ısı tasarrufu (-)

t : Simülasyon zaman aralığı (1 h)

Isıtılmayan ve belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan seradaki sıcaklığın belirlenmesi için öncelikle güneşten kazanılan ve seradan kaybedilen ısı esas alınarak serada teorik olarak ortaya çıkan sıcaklık Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır. Hesaplamalarda seraya ulaşan güneş ışınımının duyulur ısıya dönüşüm faktörü (η) 0.70 olarak alınmıştır (Tantau 1983, von Zabeltitz 1986).

$$\vartheta_{i,th} = \frac{q_{GS} * \tau * \eta * A_G}{U_{cs} * (1 - EE_{ES}) * A_H} + \vartheta_a$$

Eşitlikte;

q_{GS} : Seraya ulaşan güneş ışınımı şiddeti (W m⁻²)

A_G : Sera taban alanı (m²)

Isıtılmayan ve belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan serada ortaya çıkan sıcaklık ($\vartheta_{i,oh}$), hesaplanan teorik sıcaklık ($\vartheta_{i,th}$), havalandırma ayar sıcaklığı (ϑ_L) ve dış sıcaklık (ϑ_a) dikkate alınarak Eşitlik 3’te verilen mantıksal ilişkilerle belirlenmiştir (Rath, 1992).

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta_{i,th} \geq \vartheta_L \text{ ve } \vartheta_L \geq \vartheta_a \text{ ise} \\ \vartheta_{i,th} < \vartheta_L \text{ ve } \vartheta_{i,th} > \vartheta_a \text{ ise} \\ \text{Değilse} \end{array} \right\} \vartheta_{i,oh} = \begin{cases} \vartheta_L \\ \vartheta_{i,th} \\ \vartheta_a \end{cases}$$

Eşitliklerde;

$\vartheta_{i,th}$: Belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan ve ısıtılmayan serada ortaya çıkan teorik sıcaklık (°C)

ϑ_L : Havalandırma ayar sıcaklığı (°C)

$\vartheta_{i,s}$: Serada istenen sıcaklık (°C)

Seralarda ısı kayıplarının önlenmesi için havalandırma ayar sıcaklığı ile ısıtma ayar sıcaklığı arasında en az 2°C fark olmalıdır. Yapılan çalışmada serada gece/gündüz sıcaklık değerleri 16/20°C olarak kabul edilmiştir. Verilen bu değerlere göre hesaplanan toplam sıcaklık dinamik kontrol için referans olarak alınmıştır. Daha sonra ısıtılmayan ve programa tanımlanan havalandırma sıcaklığına göre Eşitlik 3’teki mantıksal ifadelerle belirlenen gündüz saatlerindeki sıcaklık değerleri toplamı, bir günlük sıcaklık toplamından çıkarılarak elde edilen değer, gece uzunluğuna bölünerek takip eden gecenin saatlik sıcaklık değerleri olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada gece saatlerindeki minimum sıcaklıklar 13-15°C arasında alınmıştır. Toplam sıcaklığa göre belirlenen gece sıcaklıkları 13°C’den küçük olduğunda, 13°C olarak alınmıştır.

Isı gereksiniminin Eşitlik 1’e göre hesaplanmasında kullanılan iç sıcaklık değeri (ϑ_i) serada istenilen sıcaklık ($\vartheta_{i,s}$) değerine bağlı olarak Eşitlik 4’te verilen mantıksal ilişkilerle belirlenmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \vartheta_{i,oh} \leq \vartheta_{i,s} \text{ ise} \\ \text{Değilse} \end{array} \right\} \vartheta_i = \begin{cases} \vartheta_{i,s} \\ \vartheta_{i,oh} \end{cases}$$

Günlük toplam sıcaklığa göre yapılan ısı gereksinimi hesaplamalarında, havalandırma sıcaklıkları 22-25°C arasında alınmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Seralarda yapılan üretimde bitkiler 17-27°C’ye adapte olup, bitkilerin gelişimlerini sağlıklı sürdürebilmeleri için gece-gündüz sıcaklık farkı 5-8°C olmalıdır (Nisen ve ark., 1988). Dinamik kontrol stratejisinde gece gündüz sıcaklık farkının 4 - 8 °C olması seralarda yapılan domates üretiminde kalite ve verim üzerinde olumsuz etkisinin olmadığı yapılan değişik araştırmalar sonucunda belirlenmiştir (Shamim ve ark., 2019). Seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ve jeotermal seracılığın yaygınlaşmaya başladığı Afyonkarahisar’da ısı perdeli seralarda sıcaklığın gece/gündüz minimum 16/20°C’de ve havalandırma sıcaklığının 22°C’de tutulmak istenmesi durumunda gereksinilen ısı enerjisi değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Antalya koşullarında üretim periyodu boyunca toplam ısı gereksinimi 82.7 kWh m⁻²a⁻¹ olurken, 69.9 kWh m⁻²a⁻¹’a gece, 12.8 kWh.m⁻²a⁻¹’a gündüz saatlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Afyonkarahisar iklim koşullarında bu değer 285.8 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır. Antalya’da

düzenli olarak ısıtılan seralarda gündüz saatlerinde tüketilen ısı enerjisi toplam ısı enerjisinin %15.5'ini

oluştururken, Afyonkarahisar'da bu oran %31.7'dir.

Çizelge 1. Antalya ve Afyonkarahisar'da düzenli ısıtılan ısı perdeli seralarda sıcaklığın gece/gündüz 16/20 °C'de tutulması durumunda yılın aylarına bağlı ısı gereksinimi

Table 1. Heat requirement depending on the months of the year in case the temperature is kept at 16/20 °C day/night in greenhouses with energy screen, which are regularly heated in Antalya and Afyonkarahisar climate conditions.

Aylar Months	Isı Gereksinimi (kWh m ⁻² a ⁻¹) Heat Requirement (kWh m ⁻² a ⁻¹)					
	Antalya			Afyonkarahisar		
	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total
Ocak	3.7	18.7	22.4	23.9	40.8	64.7
Şubat	3.0	15.0	18.0	16.8	31.4	48.2
Mart	2.0	10.5	12.5	8.3	26.5	34.8
Nisan	0.8	3.9	4.7	4.1	14.2	18.3
Mayıs	0.0	0.2	0.2	1.6	6.6	8.2
Haziran	0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	2.8
Temmuz	0.0	0.0	0.0	0	0.2	0.2
Ağustos	0.0	0.0	0.0	0	0.3	0.3
Eylül	0.0	0.0	0.0	1.1	3.5	4.6
Ekim	0.0	0.3	0.3	3.8	11.4	15.2
Kasım	1.0	6.60	7.6	8.5	25.2	33.7
Aralık	2.3	14.7	17.0	21.2	33.6	54.8
Toplam	12.8	69.9	82.7	90.5	195.3	285.8

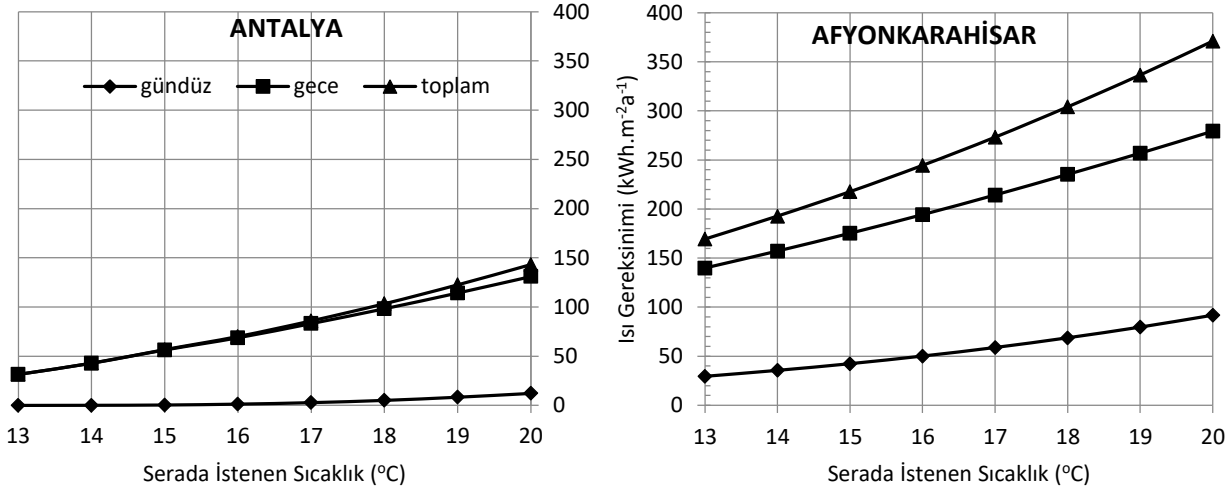
Seralarda ısı enerjisi gereksinimi sera donanımına, serada istenen sıcaklığa ve bölge iklimine bağlı değişmektedir. Şekil 1'de Antalya ve Afyonkarahisar iklim koşullarında serada istenen farklı sıcaklık değerlerine bağlı gece, gündüz ve toplam ısı enerjisi gereksinimi verilmiştir. Antalya koşullarında gündüz saatlerinde gereksinilen ısı enerjisi ihmal edilecek kadar küçüktür. Karasal iklimin hakim olduğu ve son yıllarda jeotermal seracılığın yaygınlaştığı Afyonkarahisar koşullarında gündüz saatlerinde ihtiyaç duyulan ısı enerjisi serada istenen sıcaklık değerlerine göre 30-92 kW h m⁻²a⁻¹ arasında değişmektedir.

Antalya ve Afyonkarahisar iklim koşullarında çatısı tek kat PE plastik, yan duvarları çift kat PC ile kaplı ısı perdeli seralarda farklı sıcaklık değerleri için gece ısı gereksiniminin toplam ısı gereksinimine oranları Şekil 2'de verilmiştir. Antalya'da serada sıcaklığın minimum 16°C'de tutulmak istenmesi durumunda ısı gereksiniminin %98.1'ine, Afyonkarahisar'da ise %79.5'ine gece saatlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Her iki iklim koşullarında da ısı enerjisinin büyük kısmına gece saatlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Belirtilen nedenle seralarda gece saatlerinde sıcaklığın kritik alt sınırdaki tutulması ve eksik kalan sıcaklığın gündüz saatlerinde havalandırma sıcaklığı yüksek tutularak telafi edilmesi önemli miktarda enerji tasarrufuna olanak sağlayacaktır.

Antalya iklim koşullarında serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C'de ve havalandırma sıcaklığını 22°C'de tutulması durumunda statik denetim ve dinamik denetime göre farklı havalandırma ayar

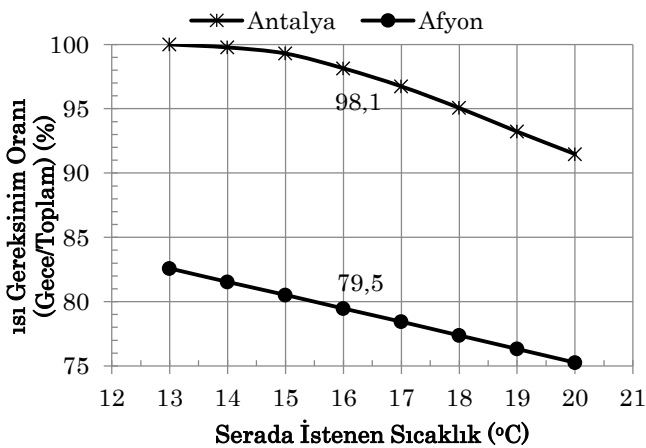
sıcaklıklarında üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Antalya'da statik denetimin yapıldığı serada gece/gündüz sıcaklığın 16/20°C ve havalandırma ayar sıcaklığının 22°C'de tutulması durumunda üretim periyodu boyunca toplam ısı gereksinimi 82.72 kWhm⁻²a⁻¹ olurken, dinamik denetiminde gece sıcaklığın minimum 15°C'de tutulması durumunda gereksinilen toplam ısı %16 azalarak 69.49 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır. Serada havalandırma ayar sıcaklığının 24°C'ye yükseltilmesi ve gece sıcaklığının minimum 14°C'de tutulmak istenmesi durumunda statik denetimine göre dinamik denetimi ile tasarruf edilen ısı enerjisi 30.8 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır.

Bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik sıcaklık denetiminde tasarruf edilen ısı enerjisi, havalandırma, ısıtma ayar sıcaklıkları arasındaki farka ve gece saatlerinde seradaki minimum sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Antalya koşullarında statik denetim ve bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik denetimde, havalandırma, ısıtma ayar sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak farklı gece sıcaklıklarında gereksinilen ısı enerjisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi statik denetim stratejisinde serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C'de ve havalandırma, ısıtma ayar sıcaklıkları arasında 2°C'lik sıcaklık farkının olması durumunda gereksinilen ısı enerjisi 82.72 kWh m⁻²a⁻¹ olurken, havalandırma, ısıtma ayar sıcaklıkları arasındaki farkın 5°C'ye yükselmesi durumunda bu değer 80.91 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır. Bu da %2.2 enerji tasarrufu anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Antalya ve Afyonkarahisar'da serada istenen farklı sıcaklık değerlerinde gece, gündüz ve toplam ısı gereksinimleri

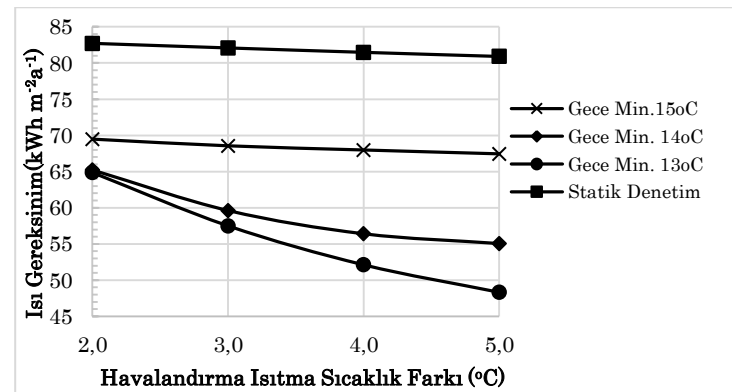
Figure 1. Night, day and total heat requirements at different temperature values desired in the greenhouse in Antalya and Afyonkarahisar



Şekil 2. Antalya ve Afyonkarahisar'da serada istenen sıcaklık değerlerinde gece ısı gereksiniminin toplam ısı gereksinimine oranları

Figure 2. Ratios of night heat requirement to total heat requirement at different temperature values desired in the greenhouse in Antalya and Afyonkarahisar

Antalya koşullarında bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik sıcaklık denetiminde, gece saatlerinde sıcaklığın minimum 15°C'de tutulmak istenmesi ve havalandırma, ısıtma ayar sıcaklığı arasındaki farkın 2°C olması durumunda gereksinilen ısı enerjisi 69.49 kWh m⁻²a⁻¹ olurken, havalandırma, ısıtma ayar sıcaklığı arasındaki farkın 5°C'ye yükselmesi durumunda bu değer 67.45 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır. Bu durumda tasarruf edilen ısı enerjisi %2.9'dur. Antalya koşullarında dinamik sıcaklık denetiminde, gece saatlerinde serada sıcaklığın minimum 14°C'de tutulmak istenmesi durumunda



Şekil 3. Antalya koşullarında statik ve dinamik kontrol stratejisinde havalandırma sıcaklığına ve havalandırma ısıtma sıcaklık farkına bağlı olarak gereksinilen ısı enerjisi değerleri

Figure 3. The heat energy values required in the static and dynamic control strategy in Antalya climate conditions depending on the ventilation temperature and ventilation heating temperature difference

artan havalandırma, ısıtma ayar sıcaklığı farkına bağlı olarak tasarruf edilen ısı enerjisi %15.6'ya, gece sıcaklığının minimum 13°C'de tutulmak istenmesi durumunda bu değer %25.5'e yükselmektedir.

Serada bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik denetimde, tasarruf edilen ısı enerjisi, bölge iklimine bağlı olarak da değişmektedir. Çizelge 3'te karasal iklime sahip Afyonkarahisar iklim koşullarında yapılan statik ve dinamik sıcaklık kontrolünde serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C'de tutulmak istenmesi durumunda farklı havalandırma set sıcaklıklarında gereksinilen ısı enerji değerleri

verilmiştir. Afyonkarahisar iklim koşullarında serada yapılan statik sıcaklık denetiminde havalandırma ve ısıtma set sıcaklıkları arasındaki farkın 2°C'den 5°C'ye yükseltilmesi durumunda gereksinilen ısı enerjisi değişmemektedir (Çizelge 3). Bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik sıcaklık denetiminde gece saatlerinde serada sıcaklığın minimum 15°C'de tutulmak istenmesi ve havalandırma, ısıtma set sıcaklığı arasındaki farkın 2°C olması durumunda gereksinilen ısı enerjisi 272.71 kWh m⁻²a⁻¹ olurken, havalandırma, ısıtma set

sıcaklığı arasındaki farkın 5°C'ye yükselmesi durumunda bu değer 271.75 kWh m⁻²a⁻¹ olmaktadır. Bu durumda tasarruf edilen ısı enerjisi %0.4 olmaktadır. Serada bir günlük sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik denetiminde gece saatlerinde serada sıcaklığın minimum 14°C'de tutulmak istenmesi durumunda artan havalandırma, ısıtma set sıcaklığı farkına bağlı olarak tasarruf edilen ısı enerjisi %2.04'e, gece sıcaklığının minimum 13°C'de tutulmak istenmesi durumunda bu değer %4.4'e yükselmektedir.

Çizelge 2. Antalya iklim koşullarında serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C ve havalandırma sıcaklığının 22°C'de tutulmak istenmesi durumunda statik ve bir günlük sıcaklık toplamına göre farklı havalandırma sıcaklıklarına göre yapılan dinamik denetimde gece ve gündüz gereksinilen ısı enerjisi

Table 2. In the case of keeping the temperature in the greenhouse at 16/20°C day/night and the ventilation temperature at 22°C in Antalya climatic conditions, the heat energy required day and night in dynamic control according to different ventilation temperatures according to the total of static and one-day temperature

Havalandırma Sıcaklığı Ventilation Temperature	Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh m ⁻² a ⁻¹) Heat Energy Requirement (kWh m ⁻² a ⁻¹)											
	Statik Denetim (Static Control)						Dinamik Denetim (Dynamic Control)					
	Sabit Gece/Gündüz Fixed Day/Night			Gece En Düşük 15°C Night Minimum 15°C			Gece En Düşük 14°C Night Minimum 14°C			Gece En Düşük 13°C Gece Minimum 13°C		
	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total
22°C	12.82	69.90	82.72	12.82	56.67	69.47	12.82	52.40	65.22	12.82	52.04	64.86
23°C	12.60	69.49	82.08	12.60	55.97	68.56	12.60	47.03	59.62	12.60	44.91	57.50
24°C	12.38	69.09	81.47	12.38	55.60	67.98	12.38	44.02	56.41	12.38	39.73	52.12
25°C	12.19	68.71	80.91	12.19	55.26	67.45	12.19	42.86	55.05	12.19	36.13	48.32

Çizelge 3. Afyonkarahisar iklim koşullarında serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C ve havalandırma sıcaklığının 22°C'de tutulmak istenmesi durumunda statik ve bir günlük sıcaklık toplamına göre farklı havalandırma sıcaklıklarına göre yapılan dinamik denetimde gece ve gündüz gereksinilen ısı enerjisi

Table 3. In the case of keeping the temperature in the greenhouse at 16 / 20°C day/night and the ventilation temperature at 22°C in Afyonkarahisar climate conditions, the heat energy required day and night in dynamic control according to different ventilation temperatures according to the total of static and one-day temperature

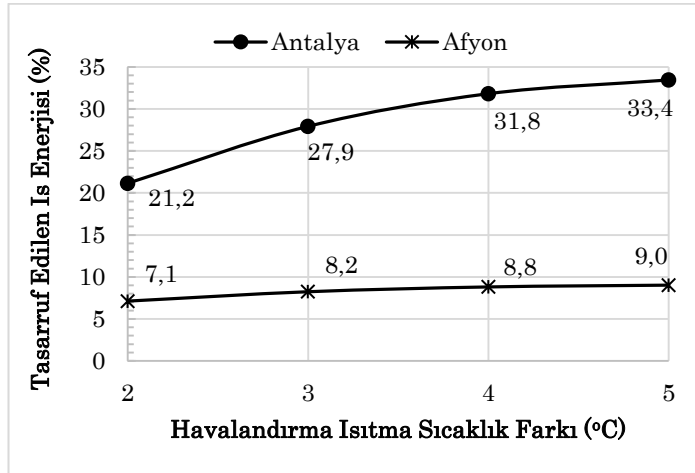
Havalandırma Sıcaklığı Ventilation Temperature	Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh m ⁻² a ⁻¹) Heat Energy Requirement (kWh m ⁻² a ⁻¹)											
	Statik Denetim Static Control			Dinamik Denetim Dynamic Control								
	Sabit Gece/Gündüz Fixed Day/Night			Gece En Düşük 15°C Night Minimum 15°C			Gece En Düşük 14°C Night Minimum 14°C			Gece En Düşük 13°C Gece Minimum 13°C		
	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total	Gündüz Day	Gece Night	Toplam Total
22°C	90.79	195.37	286.17	90.79	181.92	272.71	90.79	174.99	265.78	90.79	172.98	263.77
23°C	91.09	195.01	286.10	91.09	180.85	271.94	91.09	171.50	262.59	91.09	166.32	257.41
24°C	91.42	194.65	286.07	91.42	180.31	271.74	91.42	169.53	260.96	91.42	162.78	254.20
25°C	91.78	194.31	286.09	91.78	179.97	271.75	91.78	168.57	260.35	91.78	160.50	252.28

Antalya ve Afyonkarahisar iklim koşullarında gece/gündüz 16/20°C sıcaklık toplamına göre yapılan dinamik kontrolde, serada gece sıcaklığının minimum 14°C'de ve havalandırma sıcaklığının 22°C-25°C arasında tutulması durumunda, statik sıcaklık kontrolüne göre (gece/gündüz 16/20°C, havalandırma

sıcaklığı 22°C) tasarruf edilen ısı enerjisi oranları Şekil 4'te verilmiştir.

Antalya iklim koşullarında serada sıcaklığın gece/gündüz 16/20°C, havalandırma sıcaklığının 22°C'de tutulduğu koşullarda dinamik kontrol

stratejisi ile %21.2 ısı enerjisi tasarrufu sağlanabilirken, havalandırma, ısıtma sıcaklık farkının 5°C'ye yükseltilmesi durumunda bu oran %33.4 olmaktadır. Afyonkarahisar iklim koşullarında ise havalandırma, ısıtma sıcaklık farkının 2°C olduğu koşullarda tasarruf edilen ısı enerjisi %7.1 olurken, havalandırma, ısıtma sıcaklık farkının 5°C olması durumunda bu oran %9.0'a yükselmektedir.



Şekil 4. Antalya ve Afyonkarahisar iklim koşullarında serada farklı havalandırma ısıtma set sıcaklıkları farkına göre yapılan dinamik kontrolle statik kontrole göre tasarruf edilen ısı enerjisi oranları

Figure 4. The rates of heat energy saved in the greenhouse in Antalya and Afyonkarahisar climatic conditions compared to static control by dynamic control based on the difference of different ventilation and heating set temperatures

SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye'de son yıllarda kurulan ileri teknoloji seralarında düzenli ısıtma yapılmakta ve iç ortam sıcaklıkları statik denetime göre iklim bilgisayarları tarafından kontrol edilerek bitkiler için gerekli konfor ortamı sağlanmaktadır. Ancak seralarda yapılan üretimde artan yakıt giderleri nedeniyle gece saatlerindeki sıcaklıklar aşağı çekilerek ısı tasarrufu sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu durumda gece saatlerinde belirli bir dereceye kadar düşürülen sıcaklıkların, gündüz saatlerinde havalandırma sıcaklığı yüksek tutularak üretimdeki kayıpların ortadan kaldırılması dinamik denetim stratejisi ile mümkün olabilmektedir.

Seralarda dinamik kontrol stratejisine göre yapılan sıcaklık denetiminde gece sıcaklığının 13°C'ye düşürülmesi durumunda ılıman iklim bölgelerinde tasarruf edilen ısı enerjisi %40'lara kadar yükselmektedir. Ancak serada gece saatlerinde sıcaklığın alt kritik sıcaklık olan 13°C'ye çekilmesi, yoğunlaşma tehlikesi yaratabilirken, gece gündüz

sıcaklık farkının 12°C'ye yükseltilmesi bitki büyümesinde olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Goldmeyer, 2019). Belirtilen nedenle Antalya iklim koşullarında dinamik kontrol stratejisine göre serada gece sıcaklığının minimum 14°C'de havalandırma sıcaklığının 22°C'de tutulduğu koşullarda statik kontrol stratejisine göre tasarruf edilen ısı enerjisi %21.2 olmaktadır. Afyonkarahisar iklim koşullarında serada yapılan statik denetime göre dinamik kontrol stratejisiyle tasarruf edilen ısı enerjisi %7.1'dir. Bir günlük toplam sıcaklık stratejisine göre yapılan dinamik denetimde ısı enerjisi tasarrufu, ılıman iklim bölgelerinde daha etkili olmaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Baille A 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Hort.*, 491: 37-47.
- Baytorun AN 2016. Seralar. Sera tipleri, donanımı ve iklimlendirmesi. Nobel yayınevi 415 syf.
- Baytorun AN, Akyüz A, Üstün S, Çaylı A 2017. Antalya İklim Koşullarında Farklı Donanımlara Sahip Seraların Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi. *Türk Tarım -Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2):144-152
- Baytorun AN 2022. Seralarda iklimlendirme. Nobel yayın evi 490 sayfa.
- Challa H, Heuvelink E, Meeteren U 1995. Crop growth and development. In Spanomitsios (eds). *SEDstructure and environment: Temperature control and energy conservation in a plastic greenhouse*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 80(3): 251-259.
- Elings A, Kempkes FLK, Kaarsemaker RC, Ruijs MNA, van de Braak NJ, Dueck TA 2005. The energy balance and energy saving measures in greenhouse tomato cultivation. *ISHS Acta Horticulturae*, 691: 67-74.
- Gilli C, Kempkes F, Munoz P, Montero JI, Giuffrida F, Baptista FJ, et al. 2017. Potential of different energy saving strategies in heated greenhouse. In III international symposium on organic greenhouse horticulture, 1164: 467-474.
- Goldmeyer T 2019. *Greenhouse Management. A guide to Operations and Technology*. 406 syf.
- Körner O, Challa H 2003a. Design for an improved temperature integration concept in greenhouse cultivation. *Computers and Electronics in*

- Agriculture, 39(1): 39-59.
- Langton FA, Hamer PJC 2003. Energy efficient production of high-quality ornamental species. Final Report to Defra, Project HH1330.
- Langhans RW, Wolfe M, Albright LD 1985. Use of average night temperatures for plant growth for potential energy savings. *Acta Horticulturae*, 115:31-36.
- Maeritz U 2011. Potential von Energieeinsparungen durch computergestützte Klimastrategien bei Fruchtgemüse unter Glas. Produktion und Kosten im Griff-Energie-Optimierung im Gartenbaubetrieb. Gemüseerzeugerring. Produktionstechnische Beratung.
- Miller WB, Albright LD, Langhans RW 1985. Plant growth under averaged day/night temperatures. In *Symposium greenhouse climate and its control*, 174:313-320.
- Nisen A, Grafiadellis M, Jiménez R, La Malfa G, Martinez-Garcia PF, Monteiro A, Verlodt H, Villele O, Zabeltitz Cv, Denis Jc, Baudoin W, Garnaud Jc 1988. Cultures protegees en climat mediterranean. FAO, Rome.
- Rath T 1992. Einsatz wissensbasierter Systeme zur Modellierung und Darstellung von Gartenbautechnischen Fachwissen am Beispiel des hybriden Expertensystems HORTEx. Gartenbautechnische Informationen, Heft 34, Institut für Technik im Gartenbau der Universität Hannover.
- Shamim A Md, Guo H, Tanino K 2019. Energy saving techniques for reducing the heating cost of conventional greenhouse. *Biosystems Engineering*, 178:9-33.
- Spanomitsios GK 2001. Temperature control and energy conservation in a plastic greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 80(3): 251-259.
- Tantau HJ 1983. Heizungsanlagen im Gartenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Tantau HJ 1998. Energy saving potential of greenhouse climate control. *Mathematics and Computers in Simulation*, 48(1): 93-101.
- Teichert A 2006. Zielsetzung Energieeinsparung. Möglichkeiten und technische Maßnahmen in Gewächshausanlagen. *Obst- und Gartenbau. Landinfo 3/2006*
- Zabeltitz Chr 1986. *Gewächshäuser*. Verlag Eugen-Ulmer 1986.