

Seralarda Enerji Verimliliğinin Artırılması

A. Nafi BAYTORUN ^{*1}, Özkan GÜGERCİN¹

¹Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

Geliş tarihi:09.12.2015

Kabul tarihi:28.12.2015

Özet

Türkiye’de son yıllarda inşa edilen seralarda ısıtma yapılmaktadır. Seralarda ısıtma ürün verimini, kalitesini ve miktarını yükseltmektedir. Özellikle Akdeniz sahil şeridinde ısıtılan seralarda iki kat verim artışı sağlanabilmektedir. Ancak ısı koruma önlemlerinin alınmadığı seralarda ısı enerjisi gereksinimi artmakta ve üretim periyodu boyunca bölgenin iklim değerlerine bağlı olarak ortalama 100 kWh.m⁻².a⁻¹ ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Artan enerji maliyetleri, üreticinin ısıtmanın karlılığını tartışmasına neden olmaktadır. Belirtilen nedenle seralarda ısıtma kadar, ısıtılan seralarda enerji korunumu da karlılık ve enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya ilinin uzun yıllık (1962-2012) iklim değerleri kullanılarak, PE plastik örtülü seralarda, farklı ısı koruma önlemlerine bağlı olarak, gereksinilen ısı enerjisi değerleri ve tasarruf oranları belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ısıtılan seralarda ısı koruma önlemlerine bağlı olarak, %40 oranında ısı enerjisinin tasarruf edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera, Sera ısıtması, Enerji tasarrufu, Isı perdesi

Increasing the Energy Efficiency in Greenhouses

Abstract

Heating systems are applied in greenhouses lately constructed in Turkey. Heating in greenhouses increases efficiency, quality and output quantity. Efficiency doubled especially in heated greenhouses on the Mediterranean coast. However in greenhouses where heat loss precautionary measures are not taken, heat energy demand increases and an average heat energy of 100 kWh.m⁻².a⁻¹ is needed. On the other hand increasing energy costs cause the producers to question the profitability of heating. For that reason reducing the energy losses in heated greenhouses is as important as heating the greenhouses in terms of profitability and energy efficiency.

* Yazışmaların yapılacağı yazar: A.Nafi Baytorun, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, baytorun@cu.edu.tr

In this study the required levels of heat energy and disposition rates for PE covered greenhouses are identified by using the yearly climate values of Antalya (from 1962 to 2012) where greenhouseing is widespread. According to the calculations, it is found that 40% heat energy saving is possible with precautionary measures in heated greenhouses.

Keywords: Greenhouse, Greenhouse heating, Energy efficiency, Termal screen

1. GİRİŞ

Ülkelerin geleceğe yönelik bazı gereksinimlerinin, nüfus artışı da dikkate alınarak karşılanabilmesi için, mevcut tarımsal üretimin daha verimli ve nitelikli duruma getirilmesi zorunludur. Ülkemizde tarım alanlarının son sınırına ulaşmış olması ve nüfusun hızla artması verimi artırıcı özel önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu özel önlemler arasında meyve ve sebzelerin kontrollü ortamlarda (sera) ve düşük üretim maliyetleri ile yetiştirilmesi de yer almaktadır. Seracılıktaki yeni gelişmeler bu sektörde sürdürülebilirliği sağlamaya yönelik gayretler ile paralel olarak ortaya çıkmaktadır. Seraların yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi, iklimlendirme ve alternatif enerji kaynaklarından faydalanma, kontrollü koşullarda üretim, topraksız tarımın yaygınlaştırılması, entegre hastalık ve zararlı yönetimi, sertifikalı güvenli ve izlenebilir gıda üretimi şeklinde özetlenebilir.

Seralarda ısıtma verim ve kaliteyi önemli ölçüde etkilemektedir. Ancak ısıtılan seralarda ısı koruma önlemleri alınmadığı takdirde, soğuk dönemlerde bitkilerin arzuladığı iklim değerlerini sağlamak için, ciddi anlamda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Zabeltitz Antalya'da seraların Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sadece gece saatlerinde ısıtılması durumunda, gerekli olan yakıt miktarını 7 L.m-2 olarak hesaplamıştır [12]. Modern seracılığın yaygın olduğu Hollanda'da bir kg domates üretmek için Türkiye'ye oranla 13 kat fazla yakıt tüketilmektedir [12] kullanılmıştır.

Serada üretim açık alanlara göre daha fazla miktarda enerji, su, gübre ve tarımsal ilaca gereksinim gösterirken; aynı zamanda fazla miktarda atık ve karbon emisyonu üretmektedir.

Tarım sektöründe birim alan için gereksinilen enerji miktarı en fazla seracılık işletmelerinde ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de sera ısıtmasında fosil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Fosil enerji kaynakları yakıldığında, CO₂ açığa çıkmaktadır. CO₂ emisyonunun değeri kullanılan yakıt çeşidine ve miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Horscht ve ark. 960 m² taban alanına sahip ısı perdeli cam serada tüketilen yakıt karşılık, 191 ton CO₂'in atmosfere verildiğini; aynı koşullarda iyi izole edilen seradan atmosfere verilen CO₂ emisyonu miktarının ise 160 ton olduğunu belirlemişlerdir [6]. Atmosfere karışan CO₂ sera etkisini arttırmaktadır. Bilim insanları atmosferdeki bu değişimin, yerkürenin iklimini olumsuz yönde değiştireceği konusunda hemfikirler. Günümüzde kutuplarda eriyen buzulların deniz seviyesini yükseltmesi yanında, yağış sistemindeki değişikliklerin yarattığı felaketler, günlük hayatımızda sıkça yer almaya başlamıştır.

Seralarda yenilikçi teknolojilerin amacı, seracılıkta "Yaşam Döngüsü Kalitesinin" artırılmasıdır. Bu amaçla seracılıkta birim alandan elde edilecek ürün için gerekli olan enerji ve diğer girdi ve çıktıların sağlıklı bir şekilde analiz edilmesi sürdürülebilirlik açısından büyük bir önem arz etmektedir [7], [9]. Sürdürülebilir seracılık sistemlerinin amacı; kaynakları koruyan, sosyal destekli, ticari, rekabetçi, çevreci, güvenilir üretim teknolojisine sahip, enerji, su ve kimyasal ilaç gereksinimini azaltan ve mümkün olduğu kadar atık üretmeyen bir sistem olmalıdır. Bu amaçla Giuliano ve arkadaşları [5];

1. Bitkiler için uygun bir üretim ortamının yaratılması ve enerji tasarrufu için, serada güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, oransal nem ve CO₂

konsantrasyonunun etkili bir yönetimle idare edilmesini,

2. Fosil enerji kaynakları yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını,
3. Seralarda yeni teknolojilerle üretilmiş ve kullanıldıktan sonra parçalanabilen örtü malzemesinin kullanılmasını,
4. Serada su ve bitki besin maddelerinin optimizasyonunun sağlanmasını ve
5. Serada bitki hastalıklarının daha az tarımsal ilaçlarla kontrolünü önermektedirler.

Soğuk iklim bölgelerinde kurulan seralar, yılın uzun dönemlerinde ısıtılmak zorundadır. Ilıman iklim bölgelerinde ise, ısıtma süresi daha kısa olup, ısıtma gereksinimi sadece kış aylarında ortaya çıkmaktadır. Akdeniz bölgesi seralarında ısı enerjisi gereksinimi, soğuk kuzey Avrupa ülkelerine göre daha azdır. Güney İtalya'da 1 ha'lık kesme çiçek serası için 5 200-6 800 GJ.a⁻¹ (167 kWh.m⁻².a⁻¹) ısı enerjisi gereksinimi ortaya çıkarken, Hollanda'da aynı büyüklükteki serada ısı enerjisi gereksinimi 16000 GJ.a⁻¹ (444 kWh.m⁻².a⁻¹) olmaktadır [4].

Kuzey ve güney Avrupa ülkeleriyle İsrail'de kurulan seralarda ısı gücü, ısı enerjisi gereksinimi ve yakıt tüketimleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi kuzey ve güney Avrupa ülkelerinde kurulan seralarda gereksinilen yakıt miktarları ciddi anlamda yüksektir.

Kuzey Avrupa ülkelerinde ihtiyaç duyulan yakıt miktarı, güney Avrupa ülkelerinin 10-13 katı olmaktadır [3]. Kuzey Avrupa ülkelerinde kurulan seralarda ısı enerjisi gereksinimi 1 900 MJ.m⁻².a⁻¹ (528 kWh.m⁻².a⁻¹) iken, bu değer Orta Avrupa ülkeleri için 1 500 MJ.m⁻².a⁻¹ (417 kWh.m⁻².a⁻¹), güney Avrupa ülkeleri için 500 MJ.m⁻².a⁻¹ (139 kWh.m⁻².a⁻¹) olmaktadır. Kuzey Avrupa ülkelerinde 1,900 MJ.m⁻².a⁻¹ ısı enerjisi gereksinimi için üretim periyodu boyunca 45 L.m⁻² Fuel-Oil'e ihtiyaç duyulurken; bu değer orta Avrupa ülkelerinde 35 L.m⁻², güney Avrupa ülkelerinde 12 L.m⁻² olmaktadır [2].

Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan bazı illerde kurulacak tek kat PE plastikle kaplı seralarda, sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de

tutulmak istenmesi durumunda, gereksinilen maksimum ısı gücü ve ısı enerjisi gereksinimleri, ISIGER uzman sistem [1] yardımı ile hesaplanarak, Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi en düşük ısı enerjisi gereksinimi Mersin'de (74 kWh.m⁻².a⁻¹), en yüksek ısı enerjisi gereksinimi karasal iklimin hakim olduğu Nevşehir (376 kWh.m⁻².a⁻¹) ilimizde ortaya çıkmaktadır.

Seralarda ısıtma kadar, ısıtılan seralarda enerji korunumu da önem arz etmektedir. Günümüzde sürekli artan enerji fiyatları, fosil enerji kaynaklarının atmosfere verdiği CO₂ emisyonu, sera üreticilerini enerji etkinliği konusunda bir arayışa yöneltmiştir. Isıtılan seralarda, işletmenin karlılığı artırmak amacıyla aşağıdaki önlemlerin alınması zorunludur.

- Enerji verimliliğini artırmak,
- Seralarda enerji gereksinimini azaltmak,
- Fosil enerji kaynakları yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak.

Yapılan bu çalışmada, ISIGER uzman sistem yardımıyla seralarda farklı ısı koruma önlemlerine bağlı olarak, ihtiyaç duyulan ısı gücü ve ısı enerjisi gereksinimi hesaplanarak, enerji verimliliğinin artırılması için alınacak önlemler özetlenmiştir [1].

2. MATERYAL VE METOT

Seralarda ısı enerjisi gereksiniminin hesaplanması ISIGER uzman sistem kullanılarak yapılmıştır. ISIGER uzman sistemde seralarda ısı gücü ve ısı enerjisi gereksinimi, saatlik iklim değerlerinden (sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı) gidilerek hesaplanmaktadır.

ISIGER uzman sistemin en büyük özelliği bölge iklimi, sera tipi, donanımı ve sera tipine bağlı olarak serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve serada depolanan enerjiye bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık yükselmesinin dikkate alınmasıdır.

Çalışmada seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya ili iklim değerleri hesaplamalarda esas alınmıştır. Hesaplamalarda son yıllarda Türkiye'de kurulan modern plastik sera boyutları dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. Kuzey ve Güney Avrupa'da kurulan seralarda enerji bütçesi [3]

Avrupa Bölgesi	Isı gücü gereksinimi ($W.m^{-2}$)
Hollanda - Almanya	250
Kuzey İtalya	150 - 200
Orta İtalya	100 - 150
İsrail	80 - 120
Güney İtalya	30 - 50
Yakıt Gereksinimi $kg.m^{-2}.a^{-1}$ (Kalorifer Yakıtı)	
Güney Avrupa	Kuzey Avrupa
5 - 6	60 - 80
Emisyon değeri: 1 kg kalorifer yakıtının kullanılması durumunda 0,5 kg CO ₂	
Sera Isı Enerjisi Gereksinimi	
2 - 3 $kWh.m^{-2}.gün^{-1}$ (14-10°C)	Kuzey Avrupa
0,5 - 1 $kWh.m^{-2}.gün^{-1}$ (12-10°C)	Güney Avrupa

Çizelge 2. Türkiye'nin farklı illerinde tek kat PE plastikle kaplı serada, sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulmak istenmesi durumunda, maksimum ısı gücü, ısı enerjisi gereksinimi

İller	Isı gücü gereksinimi ($W.m^{-2}$)	Isı enerjisi gereksinimi ($kWh.m^{-2}.a^{-1}$)
Adana	83	90
Afyon	173	363
Antakya	99	115
Antalya	91	100
Aydın	104	131
Balıkesir	136	237
Bursa	121	219
Çanakkale	123	204
Denizli	115	180
Diyarbakır	156	270
İzmir	89	112
Kahramanmaraş	125	180
Kırşehir	180	360
Kütahya	166	369
Manisa	116	169
Mersin	73	74
Muğla	128	219
Nevşehir	178	376
Ordu	108	179
Samsun	106	175
Sinop	102	194
Şanlıurfa	120	160
Tekirdağ	129	228
Yalova	106	186

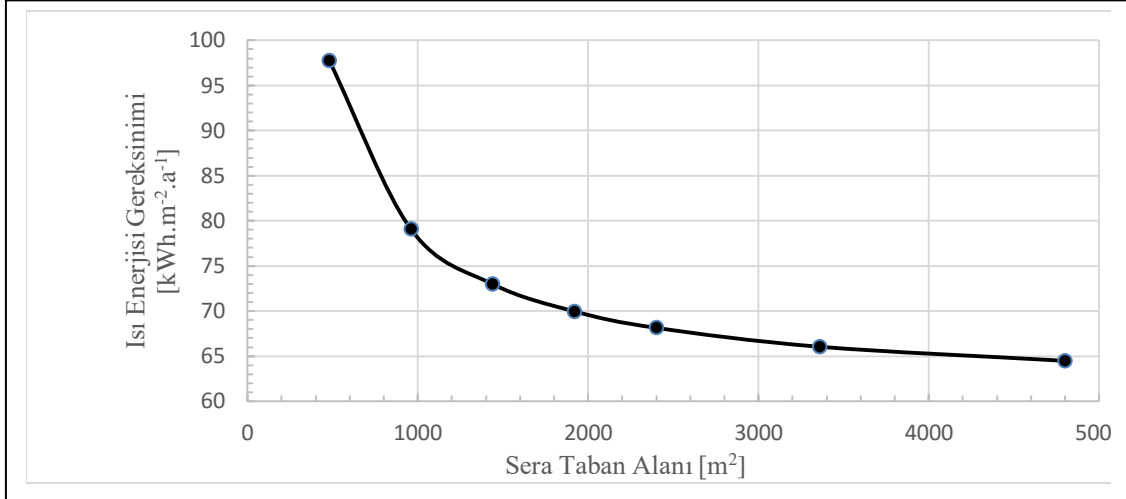
Hesaplamalarda seçilen seranın taban alanı 4800 m², örtü yüzeyi 7338 m² ve örtü yüzey alanının taban alanına oranı 1,53 olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

Seralarda enerji verimliliğinin artırılması için alınabilecek önlemler sırasıyla ISIGER uzman sistemle hesaplanarak aşağıda verilmiştir.

3.1. Seraların teksel olarak kurulması yerine, blok olarak inşa edilmesi

Seralarda gereksinilen ısı enerjisinin azaltılması, enerji verimliliğini artırdığı gibi, fosil enerji kaynaklarının daha az kullanılması nedeniyle, çevre dostu bir üretimin yapılmasına da olanak sağlamaktadır. Seralarda ısı kayıplarının ortaya çıktığı örtü yüzey alanının küçültülmesi, enerji kayıplarını azaltacaktır. Belirtilen nedenle seraların teksel olarak kurulması yerine, blok olarak kurulması durumunda, azalan örtü yüzey alanı nedeniyle enerji tasarruf edilecektir. Zabeltitz (1986) yaptığı çalışmada, seraların blok olarak inşa edilmesi durumunda, aynı büyüklükteki teksel seralara oranla %8 oranında enerjinin tasarruf edilebileceğini belirlemiştir. ISIGER uzman sistem yardımıyla Antalya iklim koşullarında teksel ve blok olarak kurulmuş seralarda birim alan için gereksinilen ısı enerjisi değerleri hesaplanarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Birim alan için ısı enerjisi gereksinimi

Şekilden de görüleceği gibi sera alanı büyüdükçe birim alan için gereksinilen ısı enerjisi azalmaktadır. Antalya iklim koşullarında 480 m² büyüklüğünde ısı perdeli 10 adet teksel sera kurulduğunda, birim alan için gereksinilen ısı enerjisi 98 kWh.m⁻².a⁻¹ olurken, 4800 m² büyüklüğünde tek bir blok olarak inşa edilen ısı perdeli serada, ısı enerjisi gereksinimi % 34 azalarak 64 kWh.m⁻².a⁻¹ düşmektedir.

3.2. Örtü malzemesi seçimi ve yalıtımı

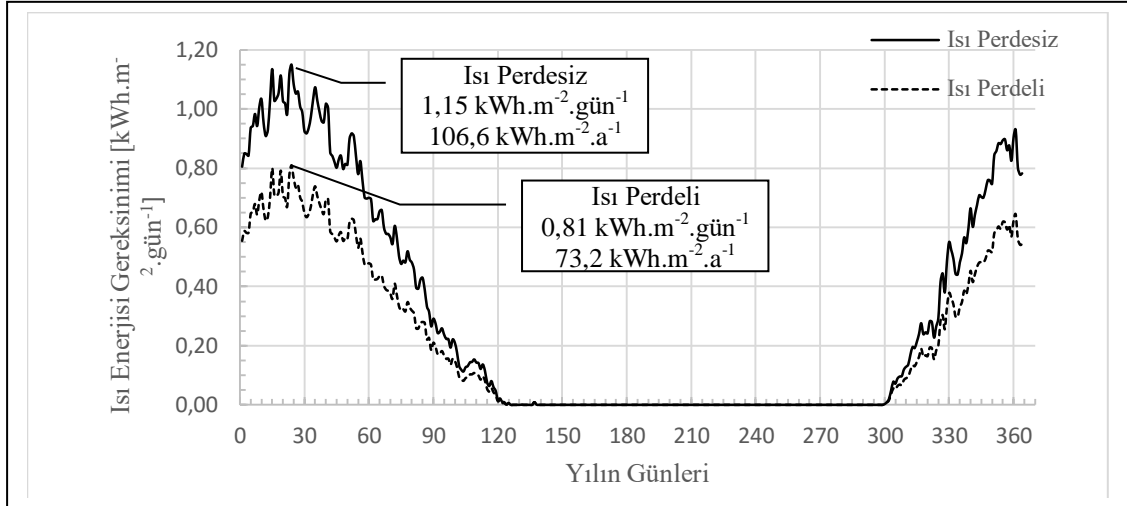
Çizelge 3. Antalya iklim koşullarında gece/gündüz 16/18°C ve havalandırma sıcaklığının 25°C'ye ayarlandığı koşullarda, farklı örtü malzemesi ile kaplanmış seralarda ısı enerjisi gereksinimi.

Örtü malzemesi	Enerji gereksinimi kWh.m ⁻² .a ⁻¹	Cama göre tasarruf oranı %
Tek katlı cam	124,6	-
Tek katlı plastik	114,1	8
Çift katlı plastik	80,6	35
PMMA 16 mm aralıklı	72,2	42
Çatı tek kat PE, Yan duvar 16 mm PMMA	104,7	16
Çatı tek kat, yan duvar çift kat PE plastik	106,6	14

Seralarda kullanılan örtü malzemesi de ısı enerjisi gereksinimine etki etmektedir. Antalya iklim koşullarında farklı iç sıcaklık değerlerinde, farklı örtü malzemesi ile kaplanmış seralarda, üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri hesaplanarak, Çizelge 3'te verilmiştir. Buna göre, çatı ve yan duvarları 16 mm'lik çift katlı PMMA (polimetil meta akrilat) ile örtülmüş serada, tek katlı cam ile örtülmüş seraya göre % 42 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Seralarda bitki gelişimi için günlük toplam güneş radyasyonu değerinin 2,34 kWh.m⁻².gün⁻¹ değerinden büyük olması arzu edilmektedir [8, 11]. Türkiye'de seracılığın yoğun olarak yapıldığı Akdeniz sahil şeridinde bu değer, Aralık ve Ocak aylarında 2 kWh.m⁻².gün⁻¹ değerinden küçüktür. Belirtilen nedenle, kış aylarında, seralarda ısı korunumu amacıyla çok katlı örtü malzemesinin sadece yan duvar ve cephelerde kullanılması önerilmektedir. Serada sadece yan duvar ve cephelerin çift katlı PE plastik ile örtülmesi durumunda tasarruf edilebilecek ısı enerjisi miktarı, tek kat plastikle örtülmüş seraya oranla % 7 olmaktadır.

3.3. Isı perdeleri

Seralarda ısı enerjisinin korunumu amacıyla tüm dünyada en fazla uygulanan yöntem, ısı perdelerinin kullanılmasıdır. Şekil 2'de Türkiye'de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ilinde



Şekil 2. Antalya ili iklim koşullarında çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli ve perdesiz PE plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulduğu koşullarda, günlük ısı enerjisi gereksinimi (kWh.m⁻².gün⁻¹)

PE plastik ile kaplı serada, iç sıcaklığın (gece/gündüz) 16/18°C'de tutulması durumunda, ısı perdeli ve ısı perdesiz koşullarda ihtiyaç duyulan günlük ısı enerjisi değerleri verilmiştir. Isı perdesiz PE plastik serada, günlük maksimum ısı enerjisi gereksinimi Ocak ayında 1,15 kWh.m⁻².gün⁻¹ olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı özelliklere sahip ısı perdeli PE plastik serada ise, gereksinilen günlük maksimum ısı enerjisi gereksinimi 0,81 kWh.m⁻².gün⁻¹ olmaktadır.

Antalya iklim koşullarında ısı korumasız ve yan duvarları çift katlı PE plastik ile örtülmüş ısı perdeli PE plastik serada, sıcaklığın (gece/gündüz) 16/18°C'de ve havalandırma sıcaklığının 25°C'de tutulması durumunda, gereksinilen ısı enerjisi değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Serada yan duvarların çift katlı PE plastik ile örtülmesi ve ısı perdelerinin kullanılması durumunda, %36 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu oran enerji verimliliğini artırarak, karlılığı yükseltmektedir. Ama daha önemlisi, ısıtmada daha az fosil enerjinin kullanılması nedeniyle, atmosfere verilen CO₂ emisyonunun azalmasıdır. Seralarda kullanılan ısı perdelerinin montajı ve sızdırmazlıkları, tasarruf edilen enerji miktarına etki etmektedir.

Çizelge 4. Antalya ilinde ısı korumasız ve yan duvarları yalıtılmış, ısı perdeli PE plastik serada, sıcaklığın (gece/gündüz) 16/18°C ve havalandırma sıcaklığının 25°C'de tutulduğu koşullarda, üretim periyodu boyunca ihtiyaç duyulan ısı enerjisi miktarı.

Isı enerjisi gereksinimi [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]		Tasarruf oranı [%]
Isı perdeli	Isı perdesiz	
73,2	114,1	36

Seralarda ısı perdelerinin yan duvar ve cephelerle birleştiği yerlerde sızdırmazlık önem kazanmaktadır. İyi yalıtılmamış ısı perdelerinde, ısınan havanın yükselerek bu aralıklardan geçip çatı bölgesinde birikmesi nedeniyle, ısı perdelerinden beklenen ısı tasarrufunun sağlanması mümkün olmamaktadır. Antalya iklim koşullarında PE plastik serada, ısı perdelerinin sızdırmazlıklarına bağlı olarak hesaplanan ısı enerjisi gereksinimi ve tasarruf oranları, Çizelge 5'te verilmiştir. Perdelerin sızdırmazlıklarına bağlı olarak tasarruf edilebilen ısı enerjisi oranı % 7-31 arasında değişim göstermektedir.

Çizelge 5. Antalya koşullarında çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastik ile örtülmüş serada, kullanılan ısı perdelerinin sızdırmazlıklarına bağlı olarak, sıcaklığın (gece/gündüz) 16/18°C, ve havalandırma sıcaklığının 25°C'ye ayarlandığı koşullarda üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi

Isı enerjisi gereksinimi [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]				Tasarruf oranı [%]		
Isı perdesiz	Perde sızdırmazlığı			İyi	Orta	Kötü
	İyi	Orta	Kötü			
106,6	73,2	86,1	98,9	31	19	7

3.4. Isıtma Sistemi

Seralarda tercih edilen kültür çeşidine bağlı olarak farklı ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Seralarda ısı enerjisi tüketimi, seçilen ısıtma sisteminin tipine bağlı olarak değişim göstermektedir. Antalya iklim koşullarında farklı ısıtma sistemlerinin kurulduğu, yan duvarları çift kat, çatısı tek kat PE plastik ile örtülmüş ısı perdeli serada, farklı ısıtma sistemlerine bağlı olarak, üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri (kWh.m⁻².a⁻¹) Çizelge 6'da verilmiştir.

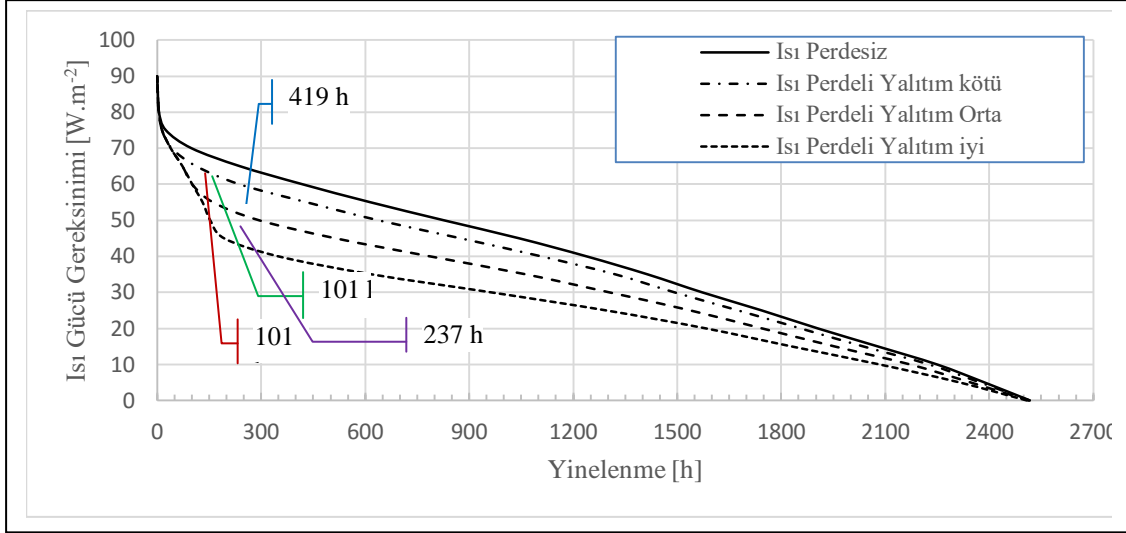
Çizelge 6'ya göre, en yüksek ısı enerjisi gereksinimi, ısıtma borularının sera çatısına yakın yerleştirilmesi durumunda ortaya çıkmaktadır. Isıtma borularının sera tabanına yakın yerleştirilmesi durumunda gereksinilen ısı enerjisi, yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma sistemine göre % 18 oranında azalmaktadır. Bu nedenle seralarda enerji tasarrufu amacıyla ısıtma boruları mümkün olduğunca sera tabanına yakın yerleştirilmelidir.

3.5. Isıtma kazanının seçimi

Isıtılan seralarda maksimum ısı gücünün belirlenmesi yanında, yıl içindeki ısı gücü tekerrürlerinin bilinmesi, ısıtma sistemi için seçilecek kazan boyutlarının belirlenmesinde ve ısıtmanın yönetiminde önem arz etmektedir. Şekil 3'te Antalya iklim koşullarında ısı perdeli ve ısı perdesiz plastik serada, sıcaklığın (gece/gündüz) 16/18°C'de tutulması durumunda, gerekli olan ısı gücü değerleri ve tekerrürleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, Antalya iklim koşullarında iç sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulması durumunda, yılın 2510 saatinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşullarda serada ihtiyaç duyulan maksimum ısı gücü gereksinimi 91 W.m⁻²'dir. Serada ısı perdesinin kullanılması durumunda, ısı gücü gereksiniminde hızlı bir azalma ortaya çıkmaktadır. Antalya iklim koşullarında, iyi yalıtılmış ısı perdeli serada, 60 W.m⁻² ısı gücüyle yılın 101 saati dışında seradaki sıcaklık 16/18°C'de tutulabilecektir.

Çizelge 6. Antalya iklim koşullarında çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastik ile örtülmüş ısı perdeli serada, sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulması durumunda, farklı ısıtma sistemlerine bağlı üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri

Isıtma sistemi	Isı enerjisi gereksinimi (kWh.m ⁻² .a ⁻¹)	Yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma sistemine oranla tasarruf yüzdesi (%)
Yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma sistemi	79,1	0
Masa altı borulu ısıtma sistemi	71,6	9
Tabana yakın borulu ısıtma sistemi	64,5	18
Vejetasyon ısıtması	64,5	18
Plastik tüplü üfleycili ısıtma sistemi	67,4	15



Şekil 3. Antalya ili iklim koşullarında normal ve ısı korumalı plastik serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulması durumunda ısı perdelerinin sızdırmazlıklarına bağlı olarak ortaya çıkan ısı gücü tekrerrileri (Havalandırma sıcaklığı 25°C)

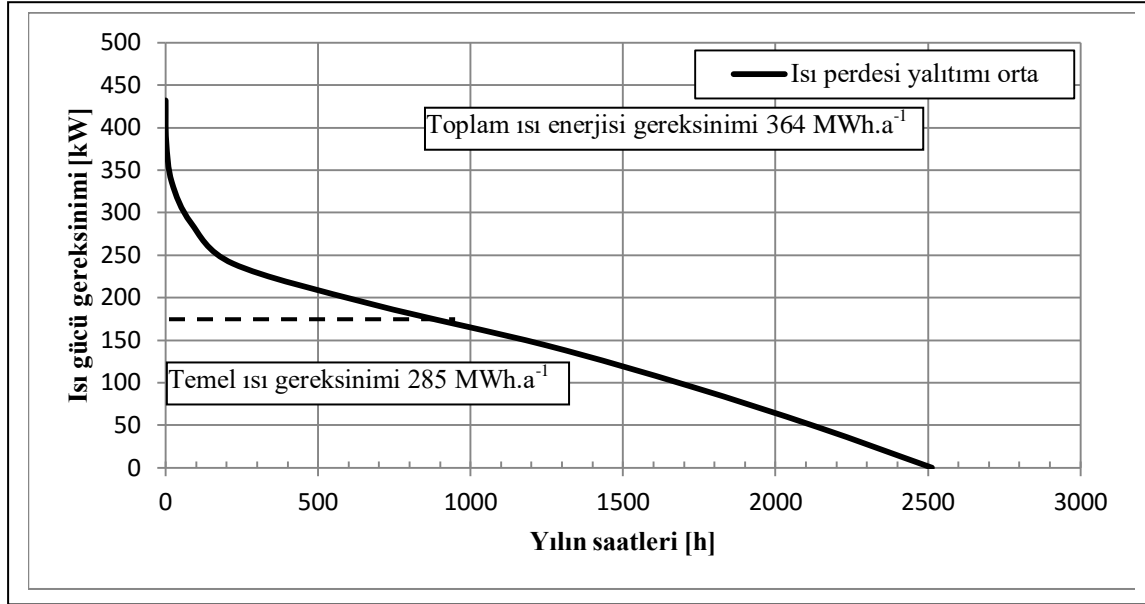
Diğer bir ifade ile 60 W.m^{-2} ısı gücüne sahip ısıtma sistemiyle, iyi ve orta yalıtılmış ısı perdeli serada yılın 101 saati dışında, sızdırmazlığı kötü olan ısı perdeli serada yılın 237 saati dışındaki zamanlarda, sıcaklık arzulanan değerlerde ($16/18^{\circ}\text{C}$) tutulabilmektedir. Belirtilen koşullarda seranın temel ısı ihtiyacını karşılayacak kazan büyüklüğünün belirlenmesinde, üreticinin serada ısı korunumu için kullanılan önlemleri iyi takip etmesi zorunludur.

Seralarda tek bir ısıtma kazanı yerine iki ayrı kazanın seçilmesi önerilmektedir. Bu durum, seranın temel ısı ihtiyacını karşılayacak kazan boyutunun küçülmesine, dolayısı ile ilk yatırım ve ısıtma giderlerinde tasarruf edilmesine olanak sağlayacaktır. Antalya iklim koşullarında 4800 m^2 'lik ısı perdeli (sızdırmazlık orta) serada sıcaklığın gece/gündüz $16/18^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmak istenmesi durumunda, gereksinilen maksimum ısı gücü 430 kW, toplam ısı enerjisi gereksinimi 364 MWh olmaktadır (Şekil 4). 430 kW ısı gücüyle serada tüm yıl boyunca sıcaklığın $16/18^{\circ}\text{C}$ 'de tutulması mümkün olabilmektedir. Kurulacak olan ısıtma sisteminde seranın temel ısı enerjisi

gereksinimini karşılamak amacıyla 150 kW büyüklüğünde bir kazanın seçilmesi durumunda, seranın temel ısı ihtiyacı olan 285 MWh (% 79) karşılanabilecektir. Isıtma sistemi için seçilecek ikinci kazanın büyüklüğü 430 kW olduğunda seranın ekstrem durumlarda ortaya çıkacak ısı enerjisi gereksiniminin karşılanması mümkün olabilecektir.

3.6. İklimlendirme (Otomasyon)

Seralarda bitki gelişim etmenlerinin düzenlenmesinde bilgisayarların kullanılması, gelişim etmenlerinden sıcaklık ve nemin, bitkilerin arzuladıkları biyolojik optimum değerlerde tutulmasını sağlarken, aynı zamanda enerji tasarrufuna da olanak sağlamaktadır. Seralarda ışık, sıcaklık, nem ve CO_2 değerlerinin bitkinin arzuladığı değerlerde tutulması ve bu gelişim etmenlerinin birbirine olan etkileşimine bağlı olarak sera ortamının bilgisayarlarla kontrolü, serada enerji tasarrufu ve bitki gelişimi açısından önemlidir. Büyük işletmeler halinde kurulan modern seralarda, iç ortam denetiminin Bilgisayarlarla gerçekleştirilmesi enerji tasarrufu



Şekil 4. Antalya iklim koşullarında 4800 m² büyüklüğünde, yalıtımı orta derecede olan ısı perdeli serada gece/gündüz sıcaklık değerlerinin 16/18°C'de tutulması durumunda gerekli olan ısı gücü ve toplam ısı enerjisi gereksinimi

yanında iş gücü tasarrufu da sağlamaktadır. Sera iç ortam denetiminde bilgisayarların kullanılması, iklim etmenlerinin kontrolünde yeni stratejilerin geliştirilmesini sağlamıştır. Serada sıcaklık değerlerinin kontrolünde, günlük toplam sıcaklık değerleri dikkate alınarak, serada sıcaklık değerleri düzenlenmektedir. Gündüz saatlerinde serada sıcaklık, bitkilerin arzuladığı biyolojik optimumun üst sınırında tutularak, gece saatlerinde alt sınır değerlerine kadar düşmesine izin verilmektedir.

Seralarda iç ortam denetiminin sıcaklık toplamına göre yapılması durumunda, % 15 oranında ısı enerjisinin tasarruf edilebileceği belirlenmiştir. Bu koşullarda serada gece sıcaklık değerlerinin 13-14°C'ye kadar düşmesine müsaade edilmektedir. Ancak bu durumda, serada nem değerlerinin takibe alınması büyük bir önem arz etmektedir. Serada özellikle gece saatlerinde ortaya çıkan yüksek nem, ısıtma ile kontrol edilemediği durumlarda, havalandırma sistemlerinin ısıtma ile birlikte devreye girmesine neden olabilmektedir. Bu durum ciddi anlamda enerji kaybına neden olmaktadır.

Böyle durumlarda iç ortam iklim etmenlerini denetleyen bilgisayar, denetim elemanlarından üç yollu vanaları kısarak, seraya ulaşan ısı enerjisini düzenlemekte ve havalandırma kapaklarını çok kısa süreli tam açarak nemi kontrol edebilmektedir.

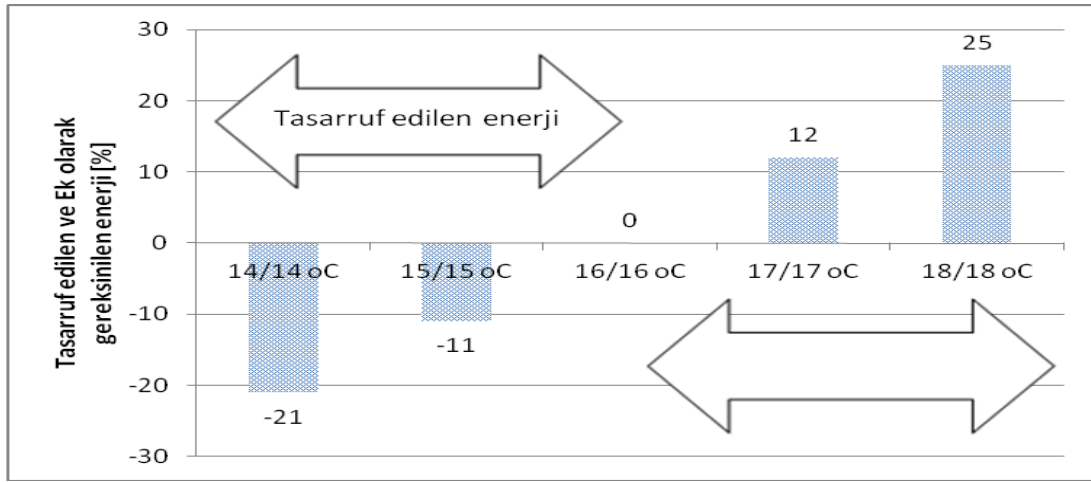
Seralarda havalandırma sıcaklığının yüksek tutulması, serada az da olsa bir enerji tasarrufuna neden olmaktadır. Bu oran gündüz sera sıcaklığının enerji tasarrufu amacıyla düşük tutulması durumunda biraz daha artmaktadır.

Çizelge 7'de Antalya iklim koşullarında serada sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de ve havalandırma sıcaklığının 19-26°C'de tutulduğu yan duvarları izoleli, ısı perdeli plastik serada, gereksinilen yıllık ısı enerjisi değerleri verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği gibi, havalandırma sıcaklığının bitkinin dayanabileceği üst sınırlarda tutulması %3 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Çizelge 7. Antalya iklim koşullarında çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli (yalıtımı iyi) serada, sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C'de tutulması durumunda, farklı havalandırma sıcaklıklarında gereksinilen ısı enerjisi değerleri

Sera tipi	Isı enerjisi gereksinimi [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]		Enerji tasarruf oranı %
	Havalandırma sıcaklığı		
	19°C	26°C	
Çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı, yalıtımı iyi ısı perdeli PE plastik Sera (Gece / Gündüz 16/18°C)	66,0	64,3	3



Şekil 5. Serada sıcaklığın gece/gündüz 16°C'de tutulduğu PE plastik serada, sıcaklığın 16°C'den sapmasına bağlı olarak tasarruf edilen ve ek olarak gereksinilen ısı enerjisi yüzdesi (%)

3.7. Uygun ölçüm algılayıcılarının kullanılması

Seralarda kontrol bilgisayarlarına veri sağlayan algılayıcıların mümkün olduğu kadar bitki sıra aralarına yakın yerleştirilmesi, bakım ve kalibrasyonları enerji tüketimine etki etmektedir. Serada sıcaklık algılayıcıları doğrudan güneş ışınlarını almayacak şekilde hava sirkülasyonuna sahip koruyucular içinde olmalıdırlar. Serada yapılan ölçüm hataları, ortam klimasının düzenlenmesinde hataların ortaya çıkmasına neden olabileceği gibi, daha fazla enerjinin serada tüketilmesine de neden olabilmektedir. Serada sıcaklığın kontrol bilgisayarları tarafından düzenlenmesinde ortaya çıkan sapmaların

büyüklüğü, bitkide stres yaratacağı gibi, enerji kayıplarına da neden olabilmektedir. Şekil 5'te sıcaklığın gece/gündüz 16°C'ye ayarlandığı PE plastik serada, sıcaklık değerlerindeki sapmalara (\pm) bağlı olarak ortaya çıkan ısı enerjisi gereksinimi sapmaları verilmiştir. Şekil 5, her $\pm 1^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklık sapması yaklaşık $\pm\%10$ oranında enerji değişimi olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ

Seralarda ısıtma, verim artışı yanında ürün kalitesine olumlu yönde etki etmektedir. Ancak ısıtma üretim maliyetini artırdığı gibi, fosil enerji kaynaklarının kullanılması durumunda, atmosfere

verilen CO₂ emisyonu nedeniyle çevreye zarar vermektedir. Isıtılan seralarda ısıtma kadar, ısı enerjisinin korunumu, diğer bir ifade ile enerji verimliliğinin artırılmasını zorunlu hale gelmiştir. Seralarda ısı kaybına neden olan yüzey alanlarının küçültülmesi, ısı iletim direnci yüksek olan örtü malzemesinin kullanılması, ısı perdelerinin doğru montajı ve kullanılması, uygun ısıtma sistemlerinin seçilmesi ve boyutlandırılması ve uygun sulama sistemlerinin seçilmesi, seralarda ciddi anlamda enerjinin tasarruf edilmesine ve enerji verimliliğinin yükseltilmesine olanak sağlamaktadır.

Ancak, verilen bu oranlara ulaşmak için alınan önlemlerin doğru projelenmesi ve işletilmesi zorunludur. Aynı zamanda ısı tasarrufu için yapılan yatırımların, tasarruf edilen enerji miktarı ile karşılaştırılması üretim ekonomisi açısından önemlidir. Ancak enerji verimliliğinin artırılması amacıyla gereken ısı enerjisi değerinin düşürülmesinde, atmosfere verilen CO₂ emisyonunun göz ardı edilmemesi önemlidir.

5. KAYNAKLAR

1. Baytorun, A. N., Akyüz, A., Üstün, S., 2015. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. TÜBİTAK 114O533 nolu proje. Yayın aşamasında.
2. Bot, G., 2008. Greening the Greenhouse General consideration.
3. Campiotti, C.A., Dondi, F., 2007. ENEA Casaccia, dpt. BASE mail: campioti@casaccia.enea.it
4. De Pascale, S., Maggio, A., 2005. Acta Horticulturae, 691, s. 29-36.
5. Giuliano, V., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., Schettini, E., 2010. Sustainable Greenhouse Systems. Sustainable Agriculture. ISBN: 978-1-60876-269-9. Nova Science Publishers, Inc.
6. Horscht, M., Ludolph, D., Bessler, B., Akyazı, G., Knösel, K., Tantau, H.J., 2014. Niedrigenergiegewachshaus Mit Maximaler Warmedämmung und Solarwarmenutzung. Zukunftsinitiative Niedrigenergiegewachshaus. Ansätze und Ergebnisse. KTBL Darmstadt.
7. Munoz, P., Anton, A., Nunez, M., Paranjpe, A., Arino, J., Castells, Y., Montero, J., Rieradevall, J., 2008. Acta Horticulturae. 801 (2), 1591-1596.
8. Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martiez-Garcia, P.F., Monteiro, A., Verlodt, H., Villele, O., Zabeltitz, C.v., Denis, J.C., Boudoin, W., Garnaud, J.c., 1988. Cultures Protegees en Climat Mediterranean, FAO, Rome.
9. Russo, G., Delucia Zeller, B., 2008. Acta Horticulturae. 801, 1597-1604.
10. Zabeltitz, C, von. 1986. Gewachshäuser. Verlag Eugen Ulmar. Stuttgart.
11. Zabeltitz, C, von., 1992. Energy-Efficient Greenhouse Designs for Mediterranean countries. Plasticulture no.96 1992/24. s.6-16.
12. Zabeltitz, C, von., 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

