

Kırşehir ve Antalya İlleri İçin Seraların Isı Gereksiniminin Belirlenmesi ve Isıtmada Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması

Sedat BOYACI 

¹Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kırşehir
✉: sedat.boyaci@ahievran.edu.tr

ÖZET

Akdeniz iklimine sahip ve ülkemizde seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya ili ve karasal iklim özelliği gösteren ve seracılığın gelişmekte olduğu Kırşehir illerinde farklı donanım özelliğine sahip seralarda iç sıcaklığın 18 °C'de sabit tutulması durumunda gereksinim duyulan ısı enerjisi, yakıt miktarı, karbondioksit emisyon değerleri ve rekabet edebilirlik açısından jeotermal enerjinin fiyat belirlenmesinin yapıldığı çalışmada, Kırşehir ve Antalya illerinde kurulacak tek katlı polietilen plastik ile örtülü seralarda içi sıcaklığın 18 °C'de sabit tutulması durumunda ihtiyaç duyulan maksimum ısı gücü gereksinimi Kırşehir ili için (253 W m⁻²), Antalya ili için (141 W m⁻²) olarak belirlenmiştir. Bunun yanında ülkemizde yaygın olarak kullanılan tek katlı PE plastiğin ısı korunum önlemleri alınmadan kullanılması halinde üretim periyodu süresince ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimi Kırşehir ili için 589.02 kWh m⁻² yıl⁻¹ ve Antalya ilinde 219.06 kWh m⁻² yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Seralarda çift katlı PE plastiğin ve yalıtımı iyi yapılmış ısı perdelerinin kullanılması durumunda ise bu değerler Kırşehir ili için 304.09 kWh m⁻² yıl⁻¹ ve Antalya ili için 103.35 kWh m⁻² yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre Kırşehir ilinde seralar için gerekli olan ısı enerjisinin fosil yakıtlar ile sağlanması durumunda Kırşehir ilinin Antalya ili ile rekabet edebilme şansı bulunmamaktadır. Ancak sahip olduğu jeotermal enerjinin seracılıkta kullanılması ve kWh maliyetinin en fazla 0.115 TL olması durumunda Kırşehir ilinin Antalya gibi seracılığın geliştiği iller ile rekabet edebilmesinin yanında, fosil yakıtların (ithal kömür, kalorifer yakıtı ve doğalgaz) atmosfere verdiği karbondioksit salınımının azaltılması açısından da önemli üstünlükleri olacaktır.

DOI:10.18016/ksutarimdog.vi.464627

Makale Tarihiçesi

Geliş Tarihi : 23.08.2017

Kabul Tarihi : 03.11.2017

Anahtar Kelimeler

Seraların ısıtılması,
ısı gereksinimi,
fosil ve jeotermal enerji

Araştırma Makalesi

Determination of Heat Requirements and Comparison of Energy Sources Used in Heating in Greenhouses of Kırşehir and Antalya Provinces

ABSTRACT

In the study in which the cost of geothermal energy is determined in terms of required heat energy, fuel quantity, carbon dioxide emission values and competitiveness if the internal temperature is kept constant at 18 °C in the greenhouses with different characteristic features in Antalya province, which has a Mediterranean climate and is heavily used for greenhouses in our country, and in Kırşehir province, which has a continental climate and the greenhouse cultivation has been developing. The maximum heat power requirement if the temperature inside the greenhouse is kept constant at 18 °C was determined as 253 W m⁻² for Kırşehir province and as 141 W m⁻² for Antalya province. In addition, the required heat energy requirement during the production period was calculated as 589.02 kWh m⁻² year⁻¹ for Kırşehir province and as 219.06 kWh m⁻² year⁻¹ for Antalya province if the single-layer PE plastic which is widely used in our country is used without heat protection measures. When the double-layer PE plastic and well-insulated heat curtains are used, these values were determined as 304.09 kWh m⁻² year⁻¹ for Kırşehir province and as 103.35 kWh m⁻² year⁻¹ for Antalya province.

Article History

Received : 23.08.2017

Accepted : 03.11.2017

Keyword

Greenhouse heat requirement,
heat saving,
energy sources

Research Article

According to the results obtained, if the heat energy required for greenhouses in Kırşehir province is supplied with fossil fuels, Kırşehir province does not have a chance to compete with Antalya province. However, when geothermal energy is used in the greenhouse and the maximum cost of kWh is 0.115 TL, Kırşehir province will have significant advantages in terms of reducing the carbon dioxide emissions from fossil fuels (imported coal, heating oil and natural gas) to the atmosphere as well as being able to compete with the provinces where greenhouse cultivation is well-developed like Antalya.

To cite: Boyacı S 2018. Kırşehir ve Antalya İlleri İçin Seraların Isı Gereksiniminin Belirlenmesi ve Isıtmada Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması. KSÜ Tar Doğa Derg 21(6) : 976-986, DOI:10.18016/ksutarimdog.vi.464627

GİRİŞ

Ülkemizde mevcut sera işletmelerinin teknoloji kullanımlarını, yapısal özelliklerini ve büyüklüklerini göz önünde bulundurarak küçük ölçekli aile işletmeleri ve iklim kontrolü yapılan modern işletmeler olarak ikiye ayırmak mümkündür. (Tüzel ve ark., 2005). Bunların ilkinde teknoloji kullanımı sınırlı olup enerjinin oldukça pahalı olduğu günümüzde bu seralarda bitkilerin optimum istekleri doğrultusunda ısıtılması büyük maliyetler gerektirmektedir. Bu nedenle bu seralarda verim arttırmak amacıyla düzenli bir ısıtma yerine yalnızca bitkileri dondan korumak amacıyla ısıtma yapılmaktadır. Düzenli ısıtma yapılmayan seralarda verim düşüklüğü, üretim çeşidinde sınırlama ve hormon kullanma zorunluluğu gibi problemleri beraberinde getirmektedir (Hazardın, 1994; Yağcıoğlu, 1999; Kendirli, 2010).

İklim kontrolü yapılan modern işletmelerde ise sera iç ortam iklim koşulları doğal yollarla sağlanamadığından bu seralarda enerji maliyetleri oldukça fazladır. Seralarda en önemli enerji ihtiyacı kış aylarında yapılan ısıtma nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Sıcaklığın düşük olduğu mevsimlerde sera iç ortam sıcaklığının bitki isteklerine uygun değerlere çıkarılması amacıyla yapılan ısıtma için gerekli enerji harcamaları tüm üretim harcamalarının (Tekinel ve Baytorun, 1990), % 80, (Yağcıoğlu, 1999) %50, (Kendirli 2010)% 60, (Çaylı ve ark., 2014), % 40-80, den fazlasını oluşturduğunu bildirmişlerdir. Bu payın azaltılması, tarımda önemli bir potansiyeli oluşturan seracılık sektöründe işletme karını artırırken, ülke ekonomisine de büyük katkı sağlayacaktır.

Sera işletmelerinde enerji ihtiyacını azaltmak için alınacak önlemlerden bir tanesi seralarda ısı korunumudur. Isı korunum önlemleri ile ısıtma maliyetleri düşürülebilmekte ve fayda maksimize edilebilmektedir (Yağcıoğlu, 1999). Bunun yanında, seralarda ısıtma maliyetlerini ve giderek tükenmekte olan fosil enerji kaynaklarının kullanımını en aza indirmek için seralarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önem verilmelidir (Kendirli, 2010). Bu amaçla biokütle, rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanında sanayi kuruluşlarının atık ısı

enerjisinin de seraların ısıtılmasında kullanımı ısıtma maliyetinin azaltılması açısından önemlidir. (Yıldız, 2010; Çaylı ve ark., 2014). Isıtma maliyetlerinin azaltılması yanında günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynaklarının yerine doğal enerji kaynaklarından yararlanılmasının öncelikli bir gereksinimdir. Bu nedenle son yıllarda seralarda jeotermal enerjiyle ısıtma sistemlerinin tasarımına ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmaları oldukça önem kazanmıştır (Yıldız, 2010).

Yapılan bu çalışmada, seracılığın yaygın olarak yapıldığı ve Akdeniz ikliminin özelliklerini gösteren Antalya ili ile karasal iklimin özelliklerini gösteren ve seracılığın gelişmeye başladığı Kırşehir ilinde kurulacak dört farklı donanım özelliğine sahip seralarda on iki ay süresince ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksiniminin fosil yakıtlar ile karşılanması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt miktarı, maliyet ve karbondioksit emisyon miktarının karşılaştırılması ve Kırşehir ilinde bulunan jeotermal kaynakların seralarda kullanımı durumunda rekabet edebilirlik açısından jeotermal enerjinin kWh üzerinden fiyat belirlenmesi yapılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Kırşehir ili içi seralarda ihtiyaç duyulan ısı gereksiniminin belirlenmesinde hesaplamalarda esas alınan sera boyutları Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplamalarda esas alınan sera boyutları ve ısı iletim katsayıları

Boyutlar	Birim	Değer
Bölme genişliği	m	8.00
Sera uzunluğu	m	51.00
Bölme sayısı	adet	5.00
Yan duvar yüksekliği	m	3.50
Tek katlı polietilen (TKPE)	kWh m ⁻² yıl ⁻¹	7.0

Boyutlar	Birim	Değer
Mahya yüksekliği	m	3132.36
Örtü Alanı (Ac)	m ²	
Taban alanı (Ag)	m ²	2040.00
Ac/Ag	-	1.54
Çift katlı polietilen (ÇKPE)	kWh m ⁻² yıl ⁻¹	5.1

Çalışmada ısı enerjisi gereksinimi ISIGER uzman sistemle hesaplanmıştır. ISIGER uzman sistem DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslardan farklı olarak, dış sıcaklık yerine belirli bir sıcaklık değerine kadar havalandırılmayan ve ısıtılmayan serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve seranın özelliğine bağlı ortaya çıkan sıcaklık yükselmelerini dikkate alarak ısı gereksinimini saatlik değerlerden giderek hesaplamaktadır. ISIGER uzman sisteme göre ısı enerjisi gereksinimi Eşitlik 1, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır (Baytorun ve ark., 2017).

$$Q = \sum_{n=1}^{8760} \left((\vartheta_{i_n} - \vartheta_{i,0Hn} - \Delta\vartheta_{Spn}) * k'_a * A_H * (1 - EE_{ES}) * t_{Si} \right) \quad (1)$$

Eşitlikte;

Q =Isı enerjisi [Wh], ϑ_i Serada istenen sıcaklık [°C], $\vartheta_{i,0H}$ =Isıtılmayan serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık [°C], $\Delta\vartheta_{Sp}$ =Seranın özelliğine bağlı ortaya çıkan sıcaklık yükselmesi [°C], k'_a =Örtü malzemesinin toplam ısı gereksinim katsayısı [$W m^{-2}C^{-1}$], A_H =Sera örtü yüzey alanı [m^2], EE_{ES} =Isı perdesi ile sağlanan ısı tasarrufu [-], n =Yılın saatleri, t_{Si} =Simülasyonda zaman dilimi (1 h)

ISIGER uzman sistemde toplam ısı gereksinim katsayısı (k'_a) serada kullanılan farklı örtü malzemeleri için saatlik rüzgar hızı dikkate alınarak Eşitlik 2 ile yılın her saati için hesaplanarak Eşitlik 1'de kullanılmıştır.

$$k'_a = k'_F + \frac{k'_F}{x_1} * (x_2 * v_w + x_3) \quad (2)$$

Eşitlikte;

k'_F =Örtü malzemesinin 4 m s⁻¹ rüzgâr hızında toplam ısı gereksinim katsayısı [$W m^{-2}C^{-1}$], k'_a =Örtü malzemesinin saatlik rüzgâr hızına göre düzeltilmiş toplam ısı gereksinim katsayısı [$W m^{-2}C^{-1}$], v_w =Rüzgâr hızı [$m s^{-1}$], x_1 =7.56 [-], x_2 =0.35 [$s m^{-1}$], x_3 =-1,4 [-]

Serada gerçek sıcaklık değerinin belirlenmesi için

Çizelge 2 Hesaplamalarda kullanılan yakıtların değerleri

Yakıt türü	Yakıtın alt ısı değerleri kWh	Ortalama işletme verimi %	Fiyat TL kWh ⁻¹	FSEG (CO ₂) Dönüşüm Katsayısı (kg Eşd. CO ₂ kWh ⁻¹)
Doğal gaz	9.59	93	0.027	0.239
İthal kömür	8.14	65	0.055	0.448
Kalorifer yakıtı No 6	11.12	80	0.067	0.313

BULGULAR ve TARTIŞMA

Seralardan kaliteli yüksek verimin elde edilebilmek için dış sıcaklık değerlerinin 12 °C'nin altına düşmesi durumlarda ısıtma, 12-22 °C doğal havalandırma, 22-27 °C arasında sürekli havalandırma ve/veya soğutma ve 27 °C nin üzerinde olduğu durumlarda serada üretim yapılmamalıdır (Zabeltitz, 2011).

Ülkemizin güneyinde yer alan ve seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ilinin iklim değerleri Akdeniz iklim özelliği gösterirken, İç Anadolu bölgesinde yer

öncelikle teorik olarak ortaya çıkan sıcaklık Eşitlik 3'e göre hesaplanması gereklidir. Hesaplamalarda seraya ulaşan güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşüm faktörü (η) 0,70 olarak alınmıştır.

$$\vartheta_{i,th} = \frac{q_{GS} * D_G * \eta * A_G}{k'_a * (1 - EE_{ES}) * A_H} + \vartheta_a \quad (3)$$

Eşitlikte;

$\vartheta_{i,th}$ =Havalandırılmayan - ısıtılmayan serada ortaya çıkan teorik sıcaklık (°C), q_{GS} =Güneş radyasyonu ($W m^{-2}$), D_G =Örtü malzemesinin geçirgenliği (%), η =Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşüm faktörü (0.7), A_G =Sera taban alanı (m^2), ϑ_a =Dış sıcaklık (°C)

Kırşehir ilinde seralarda yetiştiriciliği yapılan domates bitkisi için ısı gereksinimi hesaplanmasında sera içi sıcaklığı olarak 18 °C kullanılmıştır. Isıtma sistemi olarak yan duvarlara ve çatılara yerleştirilmiş, çelik borulu ısıtma sistemi planlanmıştır.

Seralarda yıllık ısı enerjisi esas alınarak gereksinilen yakıt tüketimi Eşitlik 4, Sera ısıtmasında kullanılan yakıtların atmosfere olan CO₂ salınımları Eşitlik 5 yardımı ile hesaplanmıştır (Baytorun ve ark., 2016a).

$$By = \frac{qH}{Hu * \eta_{ges}} \quad (4)$$

$$SEGM_y = By * Hu * FSEG \quad (5)$$

Eşitliklerde; By = Birim alana karşılık gelen yakıt miktarı ($kg m^{-2}$ veya $m^3 m^{-2}$), Hu = Yakıtın alt ısı değeri ($kWh kg^{-1}$), qH = Seranın belli sıcaklığa göre ısı enerjisi gereksinimi ($kWh m^{-2}$), η_{ges} = Ortalama işletme verimi (%), $SEGM_y$ = Yıllık CO₂ emisyon miktarı ($kg eşd. CO_2$), $FSEG$ = Yakıt cinsine göre CO₂ emisyonu dönüşüm katsayısı ($kg eşd. CO_2 kWh^{-1}$).

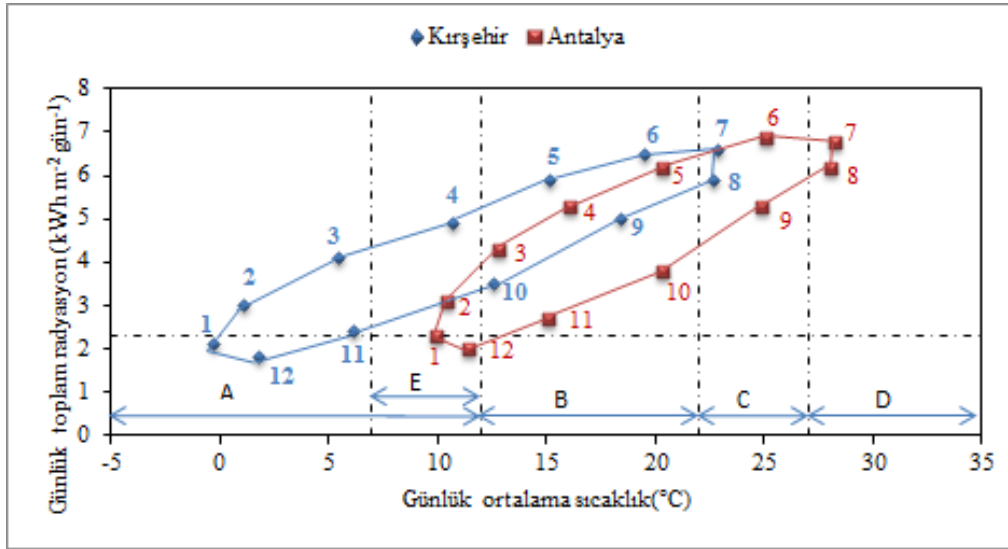
Seranın ısıtılmasında kullanılacak yakıtların alt ısı değerleri, ortalama işletme verimleri, fiyatları ve CO₂ emisyonu dönüşüm katsayıları Çizelge 2'de verilmiştir.

alan Kırşehir ili karasal iklim özelliği göstermektedir. Farklı iklim özellikleri gösteren bu iki ilin uzun yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri incelendiğinde, Kırşehir ilinde Kasım-Nisan döneminde 12°C nin altında olması nedeniyle seralarda altı ay süresince ısıtma ihtiyacı ortaya çıkarken, Antalya ili seralarında ise Aralık-Ocak-Şubat aylarında yalnızca yılın üç ayında ısıtmaya gereksinim duyulmaktadır. Kırşehir ilinde 12-22 °C arasında olan dört aylık dönemde doğal havalandırma

ihtiyacı ortaya çıkarken Temmuz ve Ağustos aylarında ortaya çıkan sıcaklıkların 22 °C biraz üzerinde olması ve 27 °C yi geçmemesi nedeniyle doğal havalandırma ve gölgeleme materyalleri ile üretime yıl boyu devam edilebileceği görülmektedir. Antalya ilinde 12-22 °C arasında olan dört aylık dönemde doğal havalandırma ihtiyacı ortaya çıkarken Mayıs ayı ortalarından Haziran ayı ortalarına ve Ağustos ayı ortalarından Eylül ayı sonlarına kadarki yaklaşık iki aylık dönemde doğal havalandırma ile birlikte mekanik soğutmaya ve Haziran ayı ortalarından Ağustos ayı ortalarına kadar olan iki aylık dönemde sıcaklıkların 27 °C yi geçmesi

ve günün belli saatlerinde 30 °C'nin üstüne çıkması nedeniyle bu dönemlerde seralar boş bırakılmaktadır (Şekil 1).

Buna göre Kırşehir ilinde, yıl boyunca aylık ortalama sıcaklık değerlerinin 10 ay süresince 22°C'nin üstüne çıkmaması ve Temmuz ve Ağustos aylarındaki sıcaklıkların doğal havalandırma gölgeleme ile giderilecek olması nedeniyle Kırşehir ilinde düşük maliyetli alternatif enerji kaynaklarının kullanılması durumunda 12 ay süresince seralarda üretim yapma imkanı bulunmaktadır.



Şekil 1. Kırşehir ve Antalya illerindeki seralar için iklimlendirme yapılacak aylar

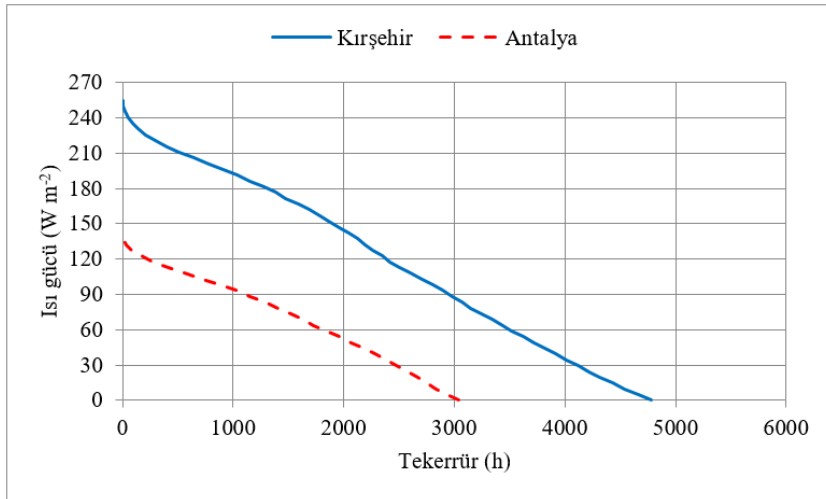
(A=Isıtma ihtiyacı; B=Havalandırma ihtiyacı; C= Havalandırma veya soğutma ihtiyacı;
D=Üretim yapılamayacak dönemler; E=Yalnızca gece saatlerinde ısıtma ihtiyacı)

Seralarda, ısı gücünün hesaplanması, ortalama en düşük sıcaklık değerlerinden gidilerek kabaca belirlenmektedir. Bu durum ısıtma giderlerinin hesaplanmasında ciddi anlamda hatalara neden olmaktadır (Baytorun ve ark., 2012). Seralarda ısıtma sistemlerinin projelenmesi ve ısı enerjisi tüketimi açısından sağlıklı bir analiz yapılabilmesi için, seralarda ısı gücü ve ısı enerjisi gereksiniminin gerçeklere yakın olarak belirlenmesi zorunludur. Serada gereksinilen ısı gücü ve ısı enerjisi gereksinimi sera kurulacak yöre nin saatlik iklim değerlerine göre hesaplanmalıdır (Baytorun ve ark., 2016b).

Kırşehir ve Antalya illerinde kurulacak TKPE plastik ile örtülü seralar için uzun yıllık saatlik iklim değerleri kullanılarak hesaplanan ısı gücü gereksinimleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu illerde sera içi sıcaklığın 18 °C sabit sıcaklıkta tutulması halinde ihtiyaç duyulacak maksimum ısı gücü gereksinimi Kırşehir ili için (253 W m⁻²), Antalya ili içinse (141 W m⁻²) olarak ortaya çıkmaktadır.

Seralarda ihtiyaç duyulan ısı gücünün belirlenmesi yanında belirlenen bu ısı gücüne yılın kaç saatinde ihtiyaç duyulduğunun ortaya koyulması ısıtma sistemlerinin projelenmesi açısından son derece önem

arz etmektedir. Şekil 2'ye bakıldığında, karasal iklim özelliği gösteren Kırşehir ilinde yılın 4775 saatinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşullarda serada ortaya çıkan maksimum ısı gücü gereksinimi 253 W m⁻² olmaktadır. Ancak bu değere yılın çok az bir zamanında (1 h) ihtiyaç duyulmaktadır. Serada ısıtma sisteminin planlanmasında gerekli olan ısı gücü 235 W.m⁻² alındığında yılın ısıtmaya ihtiyaç duyulan (4775-88) 4687 saatinde iç sıcaklık 18 °C'de tutulabilecek ve gerekli olan ısı enerjisinin % 98'i karşılanabilecektir. Bu koşullarda yılın 88 saatinde iç sıcaklık 18 °C'nin biraz altında seyredecektir. Akdeniz iklimine sahip Antalya ilinde yılın 3036 saatinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşullarda serada ortaya çıkan maksimum ısı gücü gereksinimi 141 W m⁻² olmaktadır. Ancak bu değere yılın çok az bir zamanında (1 h) ihtiyaç duyulmaktadır. Serada ısıtma sisteminin planlanmasında gerekli olan ısı gücü 127 W m⁻² alındığında yılın ısıtmaya ihtiyaç duyulan (3036-84) 2952 saatinde iç sıcaklık 18 °C'de tutulabilecek ve gerekli olan ısı enerjisinin % 97'si karşılanabilecektir. Bu koşullarda yılın 88 saatinde iç sıcaklık 18 °C'nin biraz altında seyredecektir.



Şekil 2. Kırşehir ve Antalya illerinde TKPE plastik ile örtülü serada yıl içinde ortaya çıkan ısı gücü tekerrürleri

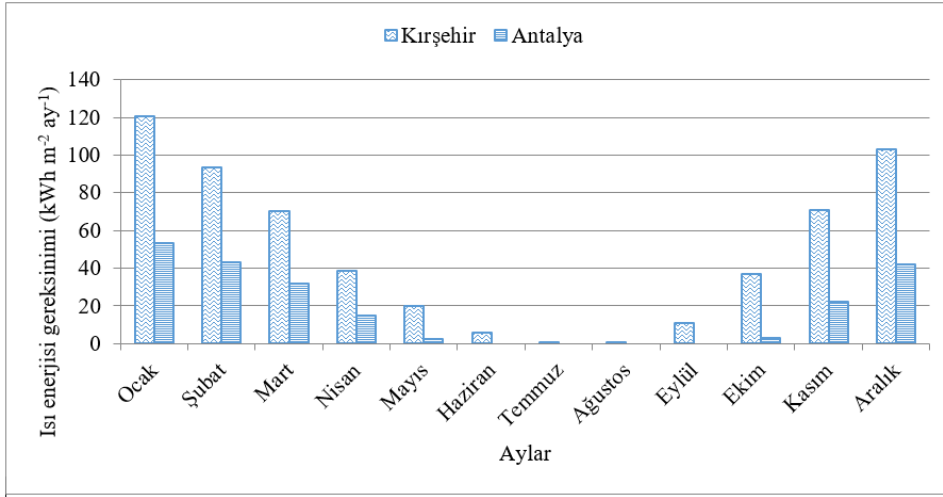
Kırşehir ve Antalya illeri iklim koşullarında farklı donanım özelliklerine sahip seralarda sıcaklığın 18 °C'de tutulması durumunda, ısı enerjisi gereksiniminin aylık değişimi Çizelge 3 ve Şekil 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir. Buna göre Kırşehir ve Antalya illerinde seralarda en yüksek ısı enerjisi gereksinimi Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ortaya çıkmaktadır. İllerin toplam ısı enerjisi gereksinimlerine bakıldığında Kırşehir ili için ısıtma gereksiniminin

Antalya ili için gereken ısıtma gereksiniminden çatı ve yan duvarları TKPE olması durumunda 2.69 kat, çatı TKPE ve yan duvarların ÇKPE olması durumunda 2.67 kat, çatı TKPE, yan duvarların ÇKPE ve yalıtımı orta düzeyde olan ısı perdesi kullanılması durumunda 2.81 kat ve çatı TKPE, yan duvarların ÇKPE ve yalıtımı iyi düzeyde olan ısı perdesi kullanılması durumunda 2.94 kat fazla ısı enerjisine gereksinim olduğu görülmektedir (Çizelge 3).

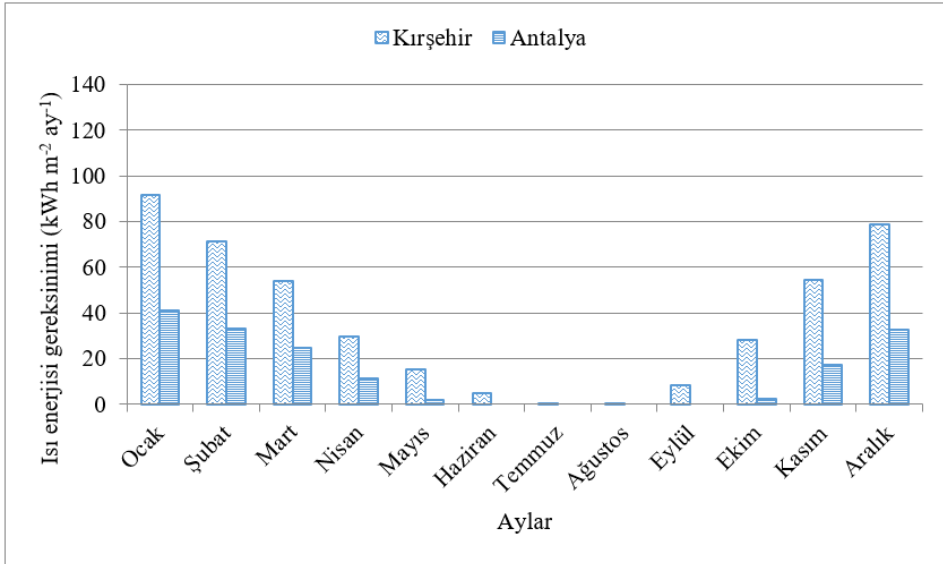
Çizelge 3. Kırşehir ve Antalya illerinde ısı enerjisi gereksiniminin aylık değişimi

Aylar	Kırşehir	Antalya	Kırşehir	Antalya	Kırşehir	Antalya	Kırşehir	Antalya
	1*		2*		3*		4*	
Ocak	120.34	53.10	91.76	40.86	75.19	31.57	64.83	25.76
Şubat	93.18	42.88	71.35	33.10	56.99	25.03	48.02	20.04
Mart	70.51	31.97	54.13	24.63	42.38	18.40	35.03	14.50
Nisan	38.67	14.68	29.75	11.32	23.25	8.54	19.18	6.80
Mayıs	20.03	2.50	15.42	1.94	12.00	1.42	9.87	1.10
Haziran	6.06	0.00	4.65	0.00	3.63	0.00	2.99	0.00
Temmuz	0.46	0.00	0.35	0.00	0.27	0.00	0.22	0.00
Ağustos	0.80	0.00	0.62	0.00	0.47	0.00	0.37	0.00
Eylül	11.00	0.00	8.47	0.00	6.51	0.00	5.28	0.00
Ekim	36.66	3.05	28.26	2.36	21.68	1.73	17.56	1.33
Kasım	71.02	22.39	54.58	17.29	43.38	13.03	36.38	10.38
Aralık	103.13	42.11	78.71	32.43	64.43	25.05	55.50	20.43
Toplam (kWh m ⁻² yıl ⁻¹)	571.86	212.68	438.05	163.93	350.18	124.77	295.23	100.34

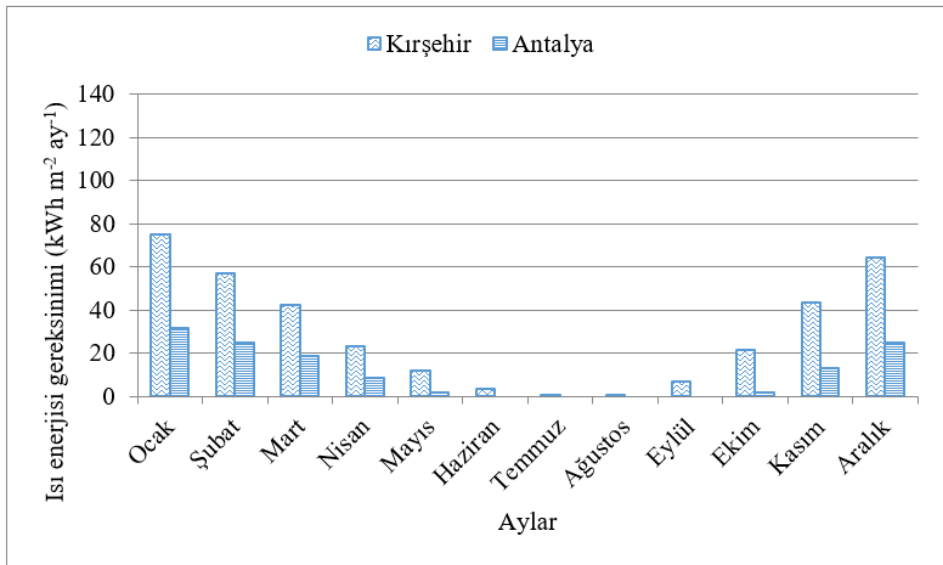
1* çatı ve yan duvarların tek katlı PE (TKPE) olması durumu,
2* çatı tek kat PE (TKPE) ve yan duvarların çift katlı PE (ÇKPE) olması durumu,
3* çatı tek kat PE (TKPE) ve yan duvarların çift katlı PE (ÇKPE) ve yalıtımı orta düzeyde olan ısı perdesi olması durumu,
4* çatı tek kat PE (TKPE) ve yan duvarların çift katlı PE (ÇKPE) ve yalıtımı iyi düzeyde olan ısı perdesi olması durumu



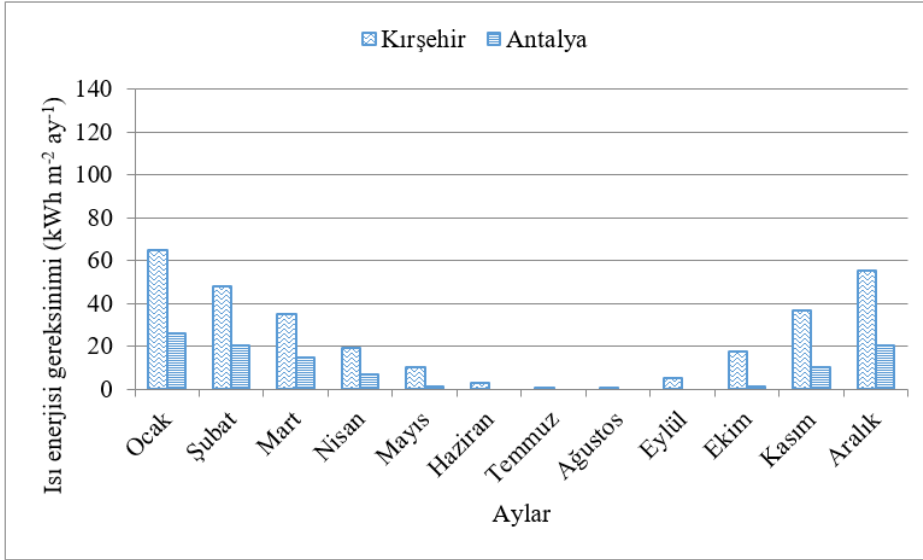
Şekil 3. Kırşehir ve Antalya illerinde TKPE plastik kaplı serada gereksinim duyulan ısı enerjisinin aylık değişimi



Şekil 4. Kırşehir ve Antalya illerinde ÇKPE plastik kaplı serada gereksinim duyulan ısı enerjisinin aylık değişimi



Şekil 5. Kırşehir ve Antalya illerinde ÇKPE kaplı ve ısı perdesi yalıtımı orta olan serada gereksinim duyulan ısı enerjisinin aylık değişimi



Şekil 6. Kırşehir ve Antalya illerinde ÇKPE plastik kaplı ve ısı perdesi yalıtımı iyi olan serada gereksinim duyulan ısı enerjisinin aylık değişimi

Kırşehir ve Antalya illerinde farklı donanım özelliklerine sahip seralarda sıcaklığın üretim periyodu süresince 18 °C'de tutulması durumunda gereksinilen ısı enerjisi, yakıtın miktarı, yakıt maliyeti (TL m⁻² yıl⁻¹), ısıtmada kullanılan yakıtı bağlı CO₂ emisyonu ve birim alandan elde edilecek domates

verimi için ısıtma maliyeti Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi ısı iletim katsayısına bağlı olarak en yüksek ısı enerjisi gereksinimi TKPE ile örtülü sera için Kırşehir ilinde 571.86 kWh m⁻² yıl⁻¹ ve Antalya ilinde 212.68 kWh m⁻² yıl⁻¹ olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4. Kırşehir ve Antalya illerinde farklı donanımlara sahip seralarda gerekli olan ısı enerjisi, yakıt miktarı ve CO₂ emisyon değerleri

Özellikler	İller							
	Kırşehir				Antalya			
Donanım	1	2	3	4	1	2	3	4
Isı enerjisi (kWh m ⁻² yıl ⁻¹)	571.86	438.05	350.18	295.23	212.68	163.93	124.77	100.34
İletim kayıpları (%)	17.16	13.14	10.51	8.86	6.38	4.92	3.74	3.01
Toplam ısı enerjisi (kWh m ⁻² yıl ⁻¹)	589.02	451.19	360.69	304.09	219.06	168.85	128.51	103.35
Domates verimi (kg m ⁻²)	50.00				32.00			
Gereksinim duyulan yakıt miktarı								
İthal kömür (kg m ⁻²)	111.32	85.28	68.17	57.47	41.40	31.91	24.29	19.53
Kalorifer yakıtı (kg m ⁻²)	66.21	50.72	40.54	34.18	24.62	18.98	14.45	11.62
Doğal gaz (m ³ m ⁻²)	66.04	50.59	40.44	34.10	24.56	18.93	14.41	11.59
Yakıt maliyeti (TL m ⁻² yıl ⁻¹)								
İthal kömür	115.78	88.69	70.90	59.77	43.06	33.19	25.26	20.31
Kalorifer yakıtı	139.04	106.51	85.14	71.78	51.71	39.86	30.34	24.40
Doğal gaz	56.67	43.41	34.70	29.25	21.07	16.24	12.36	9.94
Isıtmada kullanılan yakıtı bağlı CO ₂ emisyonu (CO ₂ eşdeğeri kg m ⁻² yıl ⁻¹)								
İthal kömür	405.97	310.98	248.60	209.59	150.98	116.38	88.58	71.23
Kalorifer yakıtı	230.45	176.53	141.12	118.97	85.71	66.06	50.28	40.44
Doğal gaz	151.37	115.95	92.69	78.15	56.30	43.39	33.03	26.56
Birim domates verimi için ısıtma maliyeti (TL kg ⁻¹ yıl ⁻¹)								
İthal kömür	2.32	1.77	1.42	1.20	1.35	1.04	0.79	0.63
Kalorifer yakıtı	2.78	2.13	1.70	1.44	1.62	1.25	0.95	0.76
Doğal gaz	1.13	0.87	0.69	0.59	0.66	0.51	0.39	0.31

Seraların ısıtılması kadar ısıtılan seralarda enerjinin korunması da oldukça önemlidir. dünyada ve ülkemizde seralarda ısı enerjisinin korunumu amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntem, ısı perdeleridir. Enerjinin korunumu sayesinde seralarda ortaya çıkan yüksek ısıtma maliyetlerinin üretim maliyeti içindeki payının azaltılabilmesi nedeniyle kullanımı oldukça önemlidir. Çizelge 5' te görüldüğü üzere serada yan duvarların ÇKPE plastikle örtülmesi halinde Kırşehir ili iklim koşullarında üretim periyodu boyunca ihtiyaç duyulan ısı enerjisi % 23.4 azalarak 451.19 kWh m⁻² yıl⁻¹'a, ısı perdelerinin sızdırmazlık durumunun orta şekilde kapatılması durumunda

gerekli ısı enerjisi miktarı % 38.8 azalarak 360.691 kWh m⁻² yıl⁻¹'a ve sızdırmazlık durumunun iyi olması durumunda ise gerekli ısı enerjisi miktarı % 48.4 azalarak 304.09 kWh m⁻² yıl⁻¹ a kadar düşmektedir. Bu değerler Antalya ilinde yan duvarların ÇKPE plastikle kaplanması durumunda % 22.9 azalarak 168.85 kWh m⁻² yıl⁻¹'a, ısı perdelerinin sızdırmazlık durumunun orta şekilde kapatılması halinde gerekli ısı enerjisi miktarı % 41.3 azalarak 128.51 kWh m⁻² yıl⁻¹ ve sızdırmazlık durumunun iyi olması durumunda ise gerekli ısı enerjisi miktarı % 52.8 azalarak 103.35 kWh m⁻² yıl⁻¹'a kadar düşmektedir.

Çizelge 5. Kırşehir ve Antalya illerinde farklı donanımlara sahip serada ısı enerjisi gereksinimi ve tasarruf oranları

Donanım özelliği	Isı enerjisi gereksinimi (kWh m ⁻² yıl ⁻¹)				Tasarruf oranı (%)		
	1	2	3	4	2	3	4
Kırşehir	589.02	451.19	360.69	304.09	23.4	38.8	48.4
Antalya	219.06	168.85	128.51	103.35	22.9	41.3	52.8

Seralarda kullanılan örtü malzemeleri ve ısı perdelerinin sızdırmazlık durumları ısı tüketimini önemli derecede etkilediğinden montajlarının en iyi şekilde yapılması gerekmektedir (Baytorun ve Gügercin, 2015). Arınze ve ark., (1986); Critten ve Bailey, (2002); Le Quillec ve ark., (2005); Çaylı ve ark., (2014); Çaylı (2014); Baytorun ve ark., (2016a) ısı perdelerinin türüne ve sızdırmazlık durumuna göre % 17-70 oranında tasarruf sağlayacağını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen bu değerler araştırmacıların tasarruf oranlarına benzemekle birlikte, Kırşehir ilinde sera yan duvarlarında tek kat örtü malzemesi yerine çift kat kullanılması ve ısı perdelerinin montajının iyi yapılması tasarruf edilen enerji miktarının artırılmasında oldukça önemli olduğunu göstermiştir.

Kırşehir ve Antalya iklim koşullarında seranın birim alanı için ihtiyaç duyulan yakıt miktarı incelendiğinde (Çizelge 4), Kırşehir ili iklim koşullarında TKPE plastikle örtülü ısı perdesiz bir serada ithal kömür kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt miktarları Kırşehir ili için 111.32 kg m⁻² iken Antalya için 41.40 kg m⁻², kalorifer yakıtı kullanılması durumunda Kırşehir ili için 66.21 kg m⁻² iken Antalya için 24.62 kg m⁻², doğalgaz kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt miktarları Kırşehir ili için 66.04 m³ m⁻² iken Antalya için 24.56 m³ m⁻² iken bu değerler ÇKPE plastikle örtülü ve ısı perdelerinin yalıtımı iyi düzeyde yapılan serada ithal kömür kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt miktarları Kırşehir ili için 57.47 kg m⁻² iken Antalya için 19.53 kg m⁻², kalorifer yakıtı kullanılması durumunda Kırşehir ili için 34.18 kg m⁻² iken Antalya için 11.62 kg m⁻², doğalgaz kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt miktarları Kırşehir ili için 34.10 m³ m⁻² iken

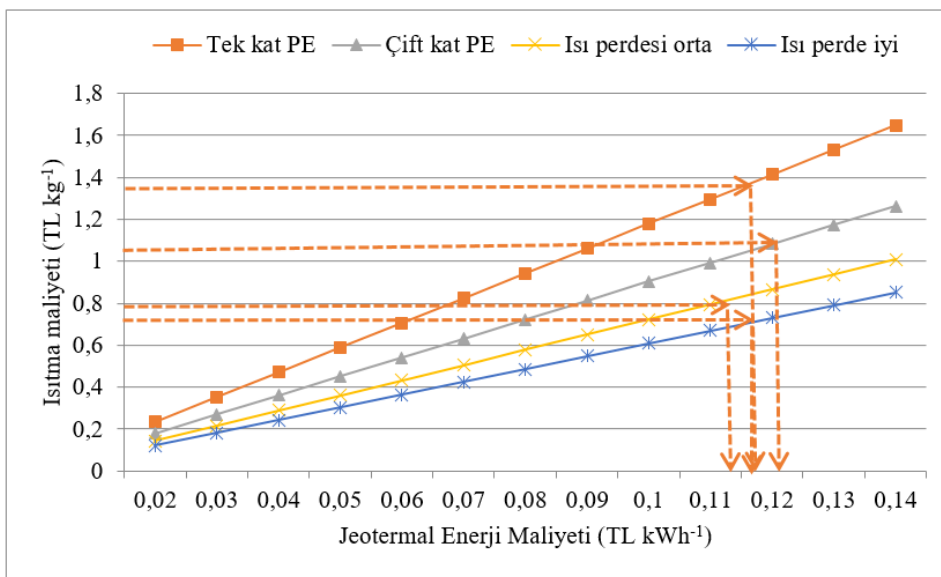
Antalya için 11.59 m³ m⁻² dir (Çizelge 4). Buna göre Kırşehir ve Antalya illerinde TKPE plastik kullanılması durumunda Kırşehir ilinin Antalya iline göre 2.69 kat fazla yakıt miktarına ihtiyaç duyulurken yan duvarlarda ÇKPE plastik kullanılması durumunda Kırşehir ilinin Antalya iline göre 2.94 kat fazla yakıt miktarına ihtiyaç duyduğu Çizelge 4 te görülmektedir (Baytorun ve ark., 2016a) seralarda gece/gündüz sera içi sıcaklığın 16/18 °C tutulması durumunda tek katlı PE serada Kütahya ilinde Aydın iline göre 2.62 kat, Antalya iline göre 3.32 kat fazla yakıt miktarına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Seralarda kullanılan yakıt miktarı dış ortam sıcaklığı, yetiştirme ortam sıcaklığı ve serada kullanılan örtü malzemesinin ısı geçirme katsayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu sebeple seralarda kullanılan yakıt miktarı illere, seradaki donanım özelliklerine ve yetiştirme ortamında bitkinin isteği olan iç sıcaklık değerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle sera işletmeleri kurulmadan önce yapılacak olan yatırımlar açısından işletme giderlerinin sağlıklı şekilde ortaya konulması işletmeler açısından oldukça önemlidir.

Kırşehir ve Antalya iklim koşullarında seranın birim alanı için ihtiyaç duyulan yakıt maliyeti Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre Çizelge 4 incelendiğinde, Kırşehir ili iklim koşullarında TKPE plastikle örtülü ısı perdesiz serada ithal kömür kullanılması durumunda yakıt maliyeti Kırşehir ili için 115.78 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 43.06 TL m⁻² yıl⁻¹, kalorifer yakıtı kullanılması durumunda yakıt maliyeti Kırşehir ili için 139.04 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 51.71 TL m⁻² yıl⁻¹, doğalgaz kullanılması durumunda yakıt maliyeti Kırşehir ili için 56.67 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 21.07 TL m⁻² yıl⁻¹ iken bu değerler ÇKPE

plastikle örtülü ve ısı perdelerinin yalıtımı iyi düzeyde yapılan serada ithal kömür kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt maliyeti Kırşehir ili için 59.77 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 20.31 TL m⁻² yıl⁻¹, kalorifer yakıtı kullanılması durumunda yakıt maliyeti Kırşehir ili için 71.78 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 24.40 TL m⁻² yıl⁻¹, doğalgaz kullanılması durumunda ihtiyaç duyulan yakıt maliyeti Kırşehir ili için 29.25 TL m⁻² yıl⁻¹ iken Antalya için 9.94 TL m⁻² yıl⁻¹ dir (Çizelge 4). Buna göre Kırşehir ve Antalya illerinde TKPE plastik kullanılması durumunda Kırşehir ilinin Antalya iline göre 2.69 kat fazla yakıt maliyetine ihtiyaç duyulduğu ve ısıtmada kalorifer yakıtı kullanılması durumunda ithal kömüre göre 1.20 kat, doğal gaz kullanılması durumunda ise doğal gaza göre 2.04 kat fazla yakıt maliyeti ortaya çıkacağı Çizelge 4 te görülmektedir. Tezcan ve Büyüктаş (2013) sera örtü malzemeleri ve yakıt türlerini incelediği çalışmasında fueloilin katı yakıttan 1.90 kat ve doğalgazdan 2.48 kat daha pahalı olduğunu, katı yakıtın ise doğal gazdan 1.31 kat daha pahalı olduğunu bildirmişlerdir.

Seralarda ihtiyaç duyulan yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan yakıt maliyetlerinde karşılaştırılabilmesi için elde edilecek ürün miktarlarının da yapılacak değerlendirmelerde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kırşehir koşullarında oniki ay süresince üretimin yapılabilir olması Antalya'ya iline göre daha fazla verimin alınabilmesine imkan sağlamaktadır. Tüm yıl üretimin yapılabildiği bölgelerde üretim periyodunun uzunluğuna bağlı olarak birim sera alanından 50 kg

domates verimi alınırken Eylül-Haziran aylarında üretimin yapıldığı bölgelerde 30-34 kg arasında olmaktadır (Zabeltitz 2011; Baytorun ve ark., 2016a). Düzenli ısıtma yapılan seralarda üretim periyodu süresince domates verimi Kırşehir ilinde 50 kg m⁻² ve Antalya ilinde 32 kg m⁻² olarak kabul edildiği takdirde bu illerde sera ısıtması için ithal kömür ve yalıtımı iyi yapılmış ısı perdesinin kullanılması durumunda, bir kilogram domatesin üretilmesi için ısıtma maliyeti, Kırşehir ili için 1.20 TL kg⁻¹ iken bu değer Antalya ili için 0.63 TL kg⁻¹ olacaktır. Buna göre Kırşehir ilinde bir kg domates için 1.90 kat fazla ısıtma maliyeti ortaya çıkacaktır. Yapılan hesaplamalardan görüldüğü üzere, Kırşehir ilinde sera ısıtmasında ithal kömürün kullanılması durumunda yapılacak üretim Antalya ili koşullarında yapılacak üretim ile rekabet edemeyeceği açıkça görülmektedir. Bu iki il arasında rekabet ancak bir kilogram domates üretimi için aynı enerji bedellerinin sağlanması ile mümkündür. Bu nedenle Kırşehir ilinde seraların ısıtılmasında kullanılacak jeotermal enerjinin kWh ücretinin en fazla 0.115 TL olması gerekmektedir (Şekil 3). (Baytorun ve ark., 2016a) Kütahya, Aydın ve Antalya illeri için yaptığı maliyet analizinde jeotermal enerjinin birim fiyatı 0.06 TL kWh⁻¹ olduğunda, jeotermal kaynaklara sahip Aydın ilinde yapılacak seracılık büyük üstünlüklere sahip olurken, Kütahya'da jeotermal ısıtmalı serada yapılacak domates üretimi Antalya ile ancak rekabet edebileceği belirtilmiştir. Buna göre karasal iklime sahip bölgelerde seracılığın akdeniz iklimine sahip bölgeler ile rekabet edebilmesi için jeotermal yakıt fiyatlarının kWh üzerinden bilinmesi ve işletmenin buna göre maliyet hesabı yapması gerekmektedir.



Şekil 7 Kırşehir ilinde rekabet edebilirlik açısından jeotermal enerjinin fiyat belirlemesi

Seralarda kullanılan fosil enerji kaynaklarının (ithal kömür, kalorifer yakıtı, doğalgaz vb.) maliyeti ve

atmosfere vermiş oldukları karbondioksit emisyonu farklıdır. Kırşehir ili iklim koşullarında TKPE

plastikle örtülmüş ısı perdesiz serada ithal kömür kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $405.97 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $150.98 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, kalorifer yakıtı kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $230.45 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $85.71 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, doğalgaz kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $151.37 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $56.30 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken bu değerler ÇKPE plastikle örtülü ve ısı perdelerinin yalıtımı iyi düzeyde yapılan serada ithal kömür kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $209.59 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $71.23 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, kalorifer yakıtı kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $118.97 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $40.44 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$, doğalgaz kullanılması durumunda atmosfere verilen karbondioksit emisyonu miktarları Kırşehir ili için $78.15 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ iken Antalya için $26.56 \text{ kg m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ dir (Çizelge 4). Buna göre Kırşehir ve Antalya illerinde serada ithal kömürün kullanılması durumunda kalorifer yakıtına göre 1.76 kat, doğal gazla göre 2.68 kat ve kalorifer yakıtı kullanılması durumunda ise doğal gazla göre 1.52 kat fazla karbondioksit emisyonunun atmosfere salınacağı görülmektedir.

Çizelge 4 incelendiğinde yakıt olarak doğalgazın fiyat ve karbondioksit emisyonu bakımından seraların ısıtılmasında kullanılacak en uygun yakıt olduğu görülmektedir. Benzer olarak (Tezcan ve Büyüktaş, 2013) farklı materyal ile kaplı ve aynı alana sahip modern seraların doğalgaz ile en düşük maliyetle ısınabileceğini bildirmişlerdir. Fakat ülkemizde seraların kurulduğu alanlarda doğalgaz altyapısının tesis edilmemesi nedeniyle henüz kullanımı mümkün değildir. Bu yüzden Kırşehir ili gibi karasal iklim özelliklerini gösteren illerde yıl boyu üretim yapmak ve seracılığın yoğun olarak yapıldığı Akdeniz ve Ege bölgeleri ile rekabet edebilmek alternatif enerji kaynağı olmaması durumunda mümkün görülmemektedir. Ancak Kırşehir ili Türkiye'nin jeotermal enerji kaynağı olan önemli illerinden biridir. Bu nedenle ilde seralarda pahalı ve çevreye CO₂ salınımı fazla olan fosil kaynaklar yerine sahip olduğu jeotermal enerjinin seracılıkta kullanılmasıyla daha ucuz ısıtma maliyetleri yanında daha çevreci bir üretim yapma olanağı mümkündür. Böylelikle ısıtmanın üretim içerisindeki payı önemli miktarda düşürülerek daha karlı üretim yapabilme imkanı bulunmaktadır.

SONUÇ

Ülkemizin güneyinde yer alan ve seracılığın yaygın olarak yapıldığı Antalya ilinin iklim değerleri Akdeniz iklim özelliği gösterirken, İç Anadolu bölgesinde yer

alan Kırşehir ili karasal iklim özelliği göstermektedir. Farklı iklim özellikleri gösteren bu iki ilin uzun yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam radyasyon değerleri incelendiğinde Kırşehir ilinin sahip olduğu jeotermal kaynakların seracılıkta kullanılması ile yıl boyu üretim yapma imkanı bulunduğu fakat Antalya ilinin Haziran- Eylül aylarında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar karşısında seraların soğutma ihtiyacından doğan enerji maliyetlerinin yüksek ve dış ortamda yapılan yetiştiriciliğin bu döneme denk gelmesi nedeniyle ürün fiyatlarının da düştüğü göze önüne alınınca seraların boş bırakılması daha uygundur. Üretim periyodunu kısıtlayan bu durum, Antalya ilinde birim alandan alınacak verim miktarının düşüşünde önemli bir etkidir. Bu durum Kırşehir ili seralarında yıl boyu yapılacak jeotermal ısıtmalı yetiştiriciliğin Antalya ili seralarına göre daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Seralarda üretim maliyetleri içerisinde büyük pay tutan ısıtma giderinin azaltılması için ısı korunum yöntemlerinin kullanılması oldukça önemlidir. Ancak Kırşehir ilinde kurulacak seralarda ısı korunum önlemlerinin alınması halinde bile seracılığın yoğun bir şekilde yapıldığı Antalya ili ve benzer iklimlere sahip diğer iller ile rekabet edebilmesi mümkün görülmemektedir. Bu yüzden ilde ucuz ve yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerji kaynaklarının sera işletmelerinin kullanımına uygun hale getirilmesi ilin seracılıkta rekabet edebilirliğini artırarak ilin seracılıkta bir cazibe merkezi haline getirecektir. Aynı zamanda ilde kurulacak jeotermal seraların bir avantajı da seraların ısıtılmasına için kullanılan fosil yakıtların tüketimini azaltarak, atmosferde sera etkisi meydana getiren en önemli gazlardan biri olan CO₂ gazı salınımı da önemli oranda azaltarak çevrenin korunumuna katkı sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Arinze EA, Schoenau GJ, Besant RW 1986. Experimental and Computer Performance Evaluation of a Movable Thermal Insulation for Energy Conservation in Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 34: 97-113.
- Baytorun AN, Gügercin Ö 2015. Seralarda Enerji Verimliliğinin Artırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2): 125-135.
- Baytorun AN, Önder D, Gügercin Ö 2016a. Seraların Isıtılmasında Kullanılan Fosil ve Jeotermal Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (10): 832-839.
- Baytorun AN, Üstün S, Akyüz A, 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, Zaimoğlu Z, Üstün S 2012. Akdeniz Bölgesi Seralarında Isı Enerjisi Gereksiniminin ve Enerji Artırım Önlemlerinin Etkisinin Belirlenmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24-25 Mayıs, İzmir.
- Baytorun N, Üstün S, Akyüz A 2016b. Sera Isıtma Sistemlerinin Projelenmesinde Uzman Sistem "ISIGER-SERA". Tesisat Mühendisliği, 155: 13-24.
- Critten DL, Bailey BJ 2002. A Review of Greenhouse Engineering Developments During the 1990s. Agricultural and Forest Meteorology, 112, 1-22.
- Çaylı A 2014. Plastik Seralarda Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi ve Isı Artırım Önlemlerinden Isı Perdelerinin Etkinliğinin Araştırılması. KSÜ Fen Bil. Ens., Biyosistem Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, 198 s.
- Çaylı A, Boyacı S, Üstün S, Akyüz A 2014. Kahramanmaraş Bölgesi İçin Seralarda Maksimum Isıtma Yükünün Belirlenmesi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ.
- Hazardın G 1994. Jeotermal Enerjinin Sera Isıtılmasında Kullanım Olanakları. Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu, 27-30 Eylül, Denizli.
- Kendirli B, Çakmak B 2010. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtılmasında Kullanımı. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi. 2 (1): 95-103.
- Le Quillec S, Brajeul E, Lesourd D, Loda D 2005. Thermal Screen Evaluation In Soilless Tomato Crop Under Glasshouse. Paper presented at the Acta Horticulturae, 691: 709-716.
- Tekinel O, Baytorun A 1990. Seracılıkta Yeni Teknolojiler. Türkiye 5. Seracılık Sempozyumu, 17-19 Ekim, İzmir.
- Tezcan A, Buyuktas K 2013. Calculation of Structural and Heating Costs in Modern Greenhouses. 5th International Conference Trends in Agricultural Engineering, 3-6 September, Prag.
- Tüzel Y, Gül A, Daşgan HY, Özgür M, Özçelik N, Boyacı HF, Ersoy A 2005. Örtüaltı Tarımdaki Gelişmeler. Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildirileri, 3-7 Ocak, Ankara.
- Von Zabeltitz C 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control. 285-311.
- Yağcıoğlu A 1999. Sera Mekanizasyonu, E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Notları: 59/1 Bornova/İzmir.
- Yıldız M 2010. Aydın İlindeki Jeotermal Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmak Amacıyla Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 93 s.