

Farklı Isıtma-Derece-Gün (HDD) Değerlerine Bağlı Olarak Seralarda Isı Enerjisi Gereksiniminin Belirlenmesi

A. Nafi BAYTORUN^{*1}, Sait ÜSTÜN², Adil AKYÜZ²

¹Ç.Ü Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana

²KSÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 01.06.2016

Kabul tarihi: 23.11.2016

Öz

Seralarda üretim periyodu boyunca ortaya çıkan ısı enerjisi gereksinimi, üretim ekonomisinin belirlenmesi ve yapılacak fizibilite çalışmaları için önemlidir. Seralarda ısı enerjisi gereksinimi DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre ortalama sıcaklık değerlerinden gidilerek belirlenmektedir. Ancak ortalama değerlere göre yapılan hesaplamalar sıcaklık ortalamasının yüksek olduğu geçiş dönemlerinde yanıltıcı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Seralarda ısı enerjisi gereksinimi saatlik iklim değerlerine göre en sağlıklı olarak hesaplanabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada, Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı ve ısıtma kaynakları açısından seracılık potansiyeline sahip farklı illerin Isıtma Derece-Gün (HDD) değerleri ile ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerine göre hesaplanan ısı enerjisi gereksinimi arasındaki istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Serada gerçek ısı enerjisi elde edilen istatistiksel ilişkilere göre kolayca belirlenebilmektedir. Ancak elde edilen ısı enerjisi gereksinimleri, seranın tipine (A_H/A_G) ve serada kullanılan ısıtma sistemine bağlı olarak geliştirilen katsayılar yardımıyla düzeltilmelidir. Elde edilen sonuçlar farklı HDD değerlerine sahip bölgelerde kurulacak farklı donanımlara sahip seralarda ısı enerjisinin kolayca belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sera, Isıtma, Isıtma derece-gün, Isı enerjisi

Determination of Heat Energy Requirements for Greenhouses in Regions with Different Heating-Degree-Day (HDD) Values

Abstract

The heat energy requirement in greenhouses throughout the production period is important in determining the production economy and feasibility studies to be conducted. Heat energy requirement in greenhouses is determined according to DIN 4701 standards by using mean heat temperatures. However, the calculations based on mean temperature causes misleading results in transition periods and in places where mean temperature is high. In order to have the most accurate heat energy requirement of a greenhouse, the hourly climate data should be used.

* Sorumlu yazar (Corresponding author): A. Nafi BAYTORUN, baytorun@cu.edu.tr

In this study, the statistical correlations between the data of heating-degree-day (HDD) and heat energy requirements calculated by ISIGER-SERA expert system were determined for the provinces having potential of heating sources and where greenhouse are widely used in Turkey. The real heat energy requirement of the greenhouse is determined with the aid of coefficients calculated with the heat energy requirements obtained from statistical methods, type of the greenhouse (A_H/A_G) and heating system used in the greenhouse. The obtained results become easier to determine the heat energy requirements of the greenhouses to be installed in different regions having different HDD values and different equipment.

Keywords: Greenhouse, Heating, Heating degree-day, Heating energy

1. GİRİŞ

Farklı dönemlerde ortaya çıkan enerji krizleri serada üretimin ılıman iklim bölgelerine kaymasına neden olmuştur. Orta ve kuzey Avrupa ülkelerindeki seralar Akdeniz bölgesinde kurulan seralardan daha modern ve karmaşık olup tüm yıl boyunca bitkilerin arzuladıkları gelişim etmenlerini (sıcaklık, nem, ışınım ve CO_2) optimum düzeyde tutmak zorundadırlar.

Akdeniz bölgesindeki seralar ise makul yatırım bedelleri ile kurulup bitki gelişim etmenlerini ucuz işletme yatırımları ile optimum düzeyde tutmaya çalışan yapılardır. Ancak Akdeniz bölgesinde yapılan seracılıkta, sıcak yaz aylarında seraların boş bırakılması nedeniyle üretim periyodu kısadır. Bu durum birim alandan elde edilen verimin düşmesine neden olmaktadır.

Soğuk iklim bölgelerinde kurulan seralar, yılın uzun dönemlerinde ısıtılmak zorundadır. İlıman iklim bölgelerinde ise ısıtma süresi daha kısa olup ısıtma gereksinimi kış aylarında ortaya çıkmaktadır. İsrail gibi sıcak iklim ve Akdeniz gibi ılıman iklim bölgelerinde, ısı gereksinimi kış aylarının sadece gece saatlerinde ortaya çıkmaktadır.

Akdeniz bölgesi seralarında ısı enerjisi gereksinimi soğuk kuzey Avrupa ülkelerine göre çok daha azdır. De Pascale ve Maggio'ya [1] göre, güney İtalya'da 1 ha'lık kesme çiçek serası için 5200–6800 GJ yıl⁻¹ ısı enerjisi gereksinimi ortaya çıkarken, Hollanda'da bu değer 16000 GJ yıl⁻¹ olmaktadır.

Kuzey ve güney Avrupa ülkelerinde kurulan seralarda gereksinilen yakıt tüketimleri ciddi anlamda farklılık göstermektedir. Kuzey Avrupa ülkelerinde ihtiyaç duyulan yakıt miktarı, güney Avrupa ülkelerinin 10 - 13 katı olmaktadır [2]. Kuzey Avrupa ülkelerindeki seralarda ısı enerjisi gereksinimi 1900 MJ m⁻² a⁻¹ (528 kWh m⁻² a⁻¹) iken, bu değer orta Avrupa ülkeleri için 1500 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 1900 MJ m⁻² a⁻¹ ısı enerjisi gereksinimi için üretim periyodu boyunca 45 l m⁻² fueloile ihtiyaç duyulurken, orta Avrupa ülkelerinde 35 l m⁻², Güney Avrupa ülkelerinde 12 l m⁻² fueloile ihtiyaç duyulmaktadır [3].

Avrupa'nın 7 ayrı ülkesinde standartlara göre inşa edilen seralarda birim alana bağlı olarak gereksinilen yıllık ısı enerjisi değerleri Garcia vd. [4] tarafından hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda en yüksek ısı enerjisi gereksinimi Almanya'da (453 kWh m⁻² a⁻¹) en düşük Almeria'da (İspanya) (88 kWh m⁻² a⁻¹) ortaya çıkmıştır. Akdeniz ikliminden kuzeye doğru çıkıldıkça ısı enerjisi gereksiniminde ciddi artışlar meydana gelmektedir.

Akdeniz bölgesi daha az ısı enerjisi gereksinimi açısından orta ve kuzey Avrupa ülkelerine göre büyük bir avantaja sahiptir. Ancak yılın belli dönemlerinde yüksek sıcaklık nedeniyle serada üretimin yapılmaması elde edilen verim açısından bir dezavantaj yaratmaktadır.

Akdeniz bölgesinde küçük aile tipi işletmelerde bulunan seralar basit yöntemlerle düşük sıcaklıklara karşı korunmaktadırlar. Ancak son yıllarda Akdeniz bölgesinde inşa edilen modern

seralarda düzenli ısıtma yapılmaktadır. Bu seralarda çoğunlukla ısı koruma önlemleri tam olarak uygulamadan, çevre üzerinde olumsuz etkileri olan fosil enerji kaynakları kullanılarak ısıtma yapılmaktadır.

Seralarda ısı enerjisi gereksinimi farklı yöntemlere göre hesaplanmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerden biri ortalama sıcaklık değerlerine göre yapılan hesaplamalardır. Bu yöntemle göre yapılan hesaplamalarda ısıtma zamanı çoğunlukla kabul edilerek veya sadece gece uzunluğu dikkate alınarak ısı enerjisi gereksinimi belirlenmektedir.

Türkiye’de seracılığın yaygın olarak yapıldığı Akdeniz bölgesinin farklı illeri için değişik araştırmacılar tarafından farklı yöntemlere göre yapılan ısı enerjisi hesaplamaları Çizelge 1’de verilmiştir [5].

Çizelge 1. Akdeniz bölgesinde farklı iller için plastik serada sıcaklığın 16°C’de tutulduğu koşullarda farklı yöntemlere göre hesaplanan ısı enerjisi gereksinimleri

İller	Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh m ⁻² a ⁻¹)		
	Çanakçı vd. (2013)	Saatlik iklim değerlerine göre	ISIGER-SERA uzman sisteme göre
Antalya	147,1	114,6	101,0
Muğla	290,5	217,1	203,6
Mersin	99,8	88,7	76,8
Adana	156,2	102,9	90,8
Hatay	159,9	121,8	109,5

Çanakçı ve arkadaşları [6] PE plastik seralarda sıcaklığın gece/gündüz 16/18°C’de tutulmak istenmesi durumunda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimini, serada arzulan sıcaklık ile gece saatlerinde ortaya çıkan ortalama sıcaklık farkını ve her ayın gece uzunluğunu dikkate alarak belirlemişlerdir. Çizelgeden de görüleceği gibi Çanakçı ve arkadaşları [6] Akdeniz bölgesindeki farklı iller için yaptıkları hesaplamalarda yıllık ısı

enerjisi gereksinimleri 100-290 kWh m⁻² a⁻¹ arasında bulmuşlardır. Aynı illerimiz için saatlik iklim değerlerinden gidilerek DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler 89–204 kWh m⁻² a⁻¹ arasında değişmektedir [5].

Zabeltitz [7] yaptığı hesaplamalarda sera kurulan yerin enlem derecesi, gün uzunluğu ve serada ortaya çıkan sıcaklık yükselmelerini dikkate alarak Akdeniz ülkelerindeki farklı yerler için ısı enerjisi gereksinimini belirlemiştir. Zabeltitz Antalya için serada sıcaklığın 16°C’de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca ısı enerjisi gereksinimini gece saatleri için 56,1 kWh m⁻² a⁻¹ olarak hesaplamıştır.

Seralarda ısı gereksiniminin ortalama sıcaklık değerlerinden gidilerek hesaplanması sıcaklığın yüksek olduğu geçiş dönemleri ve serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda yanıtıcı sonuçlara neden olabilmektedir [8,9].

Seralarda ısı enerjisi gereksinimi, saatlik iklim değerlerine göre en doğru hesaplanmaktadır [10,11,7,9]. Ancak saatlik iklim değerlerinin elde edilmesi güç olup yapılan hesaplamalar oldukça fazla zaman almaktadır.

DIN 4701 standartlarında belirlenen esaslara göre, seralarda ısı enerjisi hesaplamalarında kullanılan toplam ısı gereksinim katsayısı (u_{cs}), rüzgar hızına bağlı olarak değişmektedir. Literatürlerde verilen toplam ısı gereksinim katsayısı (u_{cs}) genelde rüzgar hızının 4 m s⁻¹ olduğu koşullar için geçerlidir. Saatlik iklim değerlerine göre yapılan hesaplamalarda u_{cs} katsayısı, saatlik rüzgar hızına göre yeniden belirlenerek hesaplamalara katılmalıdır.

DIN 4701 standartlarına göre serada ısı enerjisi gereksiniminin hesaplanmasında, serada arzulan sıcaklık ve dış sıcaklık arasındaki fark dikkate alınmaktadır. Ancak ısıtılmayan ve belirli bir sıcaklığa kadar havalandırılmayan seralarda ortaya çıkan gerçek sıcaklık değerleri, dış sıcaklık değerlerinden yüksektir. Belirtilen nedenle hesaplamalarda dış sıcaklık yerine hesaplanan teorik sıcaklık, serada arzulan sıcaklık ve

havalandırma sıcaklığına bağlı olarak belirlenen gerçek sera sıcaklığı dikkate alınmalıdır [11]. Ayrıca ılıman iklim bölgelerinde kurulan seralarda gün boyu depolanan ısı enerjisi, serada sıcaklık yükselmelerine neden olmaktadır. Belirtilen nedenle serada ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesinde, serada ortaya çıkan gerçek sıcaklık ve sıcaklık yükselmeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar daha gerçekçi sonuçlar vermektedirler [11]. Zabeltitz [7] Akdeniz Bölgesi için seralarda sıcaklık yükselmelerinin 1-2°C alınabileceğini ifade etmektedir.

Baytorun ve arkadaşları [5] Rath [11] tarafından geliştirilen matematiksel modeli kullanarak, yukarıda belirtilen sakıncaları ortadan kaldıran ve saatlik iklim değerlerine bağlı ısı enerjisi gereksinimini hesaplayabilen ISIGER-SERA uzman sistemi geliştirmişlerdir. ISIGER-SERA uzman sistemle, farklı donanımlara sahip seraların farklı sıcaklık değerlerinde gereksindikleri ısı enerjisinin hesaplanması yanında, ısıtma sistemlerinin projelenmesi için gerekli olan parametrelerin de belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Ancak bu programın kullanılması bilgisayar desteği gerektirmektedir.

Bir yerin iklim sertliği Derece-Gün cinsinden hassasiyetle karakterize edilebilmektedir. Tüm dünyada özellikle ısıtma ve ısı yalıtımı uygulamaları için Derece-Gün sayıları kullanılarak coğrafik bölgelerden farklı olarak Derece-Gün bölgeleri tespit edilmektedir [12,13,14].

Yapılan bu çalışmada son yıllarda Türkiye’de kurulan sera boyutları dikkate alınarak farklı donanımlara sahip PE plastik seralar için ISIGER-SERA uzman sistemle hesaplanan ısı enerjisi gereksinimi ile, Isıtma-Derece-Gün değerleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve elde edilen nomogram yardımıyla Isıtma-Derece-Gün değerlerine göre farklı bölgeler için ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Hesaplamalarda gerekli olan Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri, Bulut ve arkadaşları [15]

tarafından eşitlik 1’e göre 16°C eşik sıcaklığı için hesaplanmış değerler alınmıştır.

$$HDD(\vartheta_h) = \sum_1^N (\vartheta_h - \vartheta_o) \quad (1)$$

ISIGER-SERA uzman sistem yardımıyla serada ısı enerjisi gereksinimi eşitlik 2 yardımı ile hesaplanmıştır. Eşitlikte bulunan değişkenlerin belirlenmesi Baytorun [2] tarafından yapılan çalışmada detaylı verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan seranın boyutları Çizelge 2’de verilmiştir.

$$Q_{cs} = \sum_{n=1}^{8760} \left(\left((\vartheta_i - \vartheta_{i,oH} - \Delta\vartheta_{sp}) * u_{cs} * \sum_{r \in HFa} A_r * (1 - EE_{ES,n}) \right) * t_{si} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte;

Q_{cs} : Seranın yıllık ısı enerjisi gereksinimi (Wh)

ϑ_i : Serada arzulan sıcaklık değeri (°C)

$\vartheta_{i,oH}$: Isıtmasız serada ortaya çıkan sıcaklık (°C)

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

u_{cs} : Seranın ısı gereksinim katsayısı (W.m⁻² K⁻¹)

A_r : Örtü yüzey alanı (m²)

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

n : Yılın saatleri

t_{si} : Simulasyon zaman dilimi (1 h)

Çizelge 2. Hesaplamalarda kullanılan PE plastik seranın boyutları

Bölme sayısı	(Adet)	10
Bölme genişliği	(m)	9,60
Sera uzunluğu	(m)	50,0
Yan duvar yüksekliği	(m)	4,25
Çatı yüksekliği	(m)	2,75
Örtü alanı	(m ²)	7338,04
Taban alanı	(m ²)	4800,0
A_H/A_G	(-)	1,53

3. BULGULAR

Türkiye’nin farklı illeri için hesaplanmış Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri Bulut ve arkadaşları [15] tarafından yapılan çalışmalardan 16°C eşik değeri için alınmıştır (Çizelge 3). Çizelgeden de

görüreceği gibi en düşük Isıtma-Derece-Gün (HDD) değeri Akdeniz bölgesindeki Mersin ilinde ortaya çıkarken, en yüksek HDD değeri Ardahan ilinde görülmektedir.

Çizelge 3. Türkiye'nin farklı illeri için ısıtma derece-gün (HDD) değerleri [15]

Şehir	16°C	Şehir	16°C
Adana	579	Isparta	2120
Adapazarı	1413	İstanbul	1433
Adıyaman	1328	İzmir	845
Afyon	2325	K. Maraş	1284
Ağrı	3867	Karaman	2229
Aksaray	2157	Kars	4145
Amasya	1778	Kastamonu	2567
Ankara	2199	Kayseri	2587
Antalya	731	Kilis	1196
Ardahan	4469	Kırıkkale	2145
Artvin	1951	Kırklareli	1828
Aydın	867	Kırşehir	2365
Balıkesir	1498	Kocaeli	1375
Bartın	1747	Konya	2350
Batman	1450	Kütahya	2360
Bayburt	3545	Malatya	2037
Bilecik	1933	Manisa	1166
Bingöl	2399	Mardin	1621
Bitlis	2800	Mersin	552
Bolu	2291	Muğla	1458
Burdur	1902	Muş	3088
Bursa	1491	Nevşehir	2508
Çanakkale	1371	Niğde	2362
Çankırı	2370	Ordu	1361
Çorum	2428	Rize	1375
Denizli	1245	Samsun	1377
Diyarbakır	1739	Siirt	1577
Edirne	1791	Sinop	1430
Elazığ	2211	Sivas	2896
Erzincan	2564	Şanlıurfa	1157
Erzurum	4205	Tekirdağ	1586
Eskişehir	2516	Tokat	1938
Gaziantep	1605	Trabzon	1291
Giresun	1328	Tunceli	2280
Gümüşhane	2702	Uşak	1945
Hakkari	2986	Van	2938
Hatay	797	Yalova	1409
Iğdır	2319	Yozgat	2853
		Zonguldak	1557

Seracılığın yoğun olarak yapıldığı Akdeniz Bölgesindeki illerde Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri 552 (Mersin) ile 797 (Hatay) arasında değişmektedir. Ege ve Marmara bölgesinde bu değer 1500'e Jeotermal kaynakların bulunduğu iç Ege ve Orta Anadolu'da 2500'lere kadar yükselmektedir.

Çizelge 4. Farklı ısıtma-derece-gün değerlerine sahip illerde çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı seralarda sıcaklığın gece/gündüz 16°C'de tutulduğu koşullarda gereksinilen ısı enerjisi

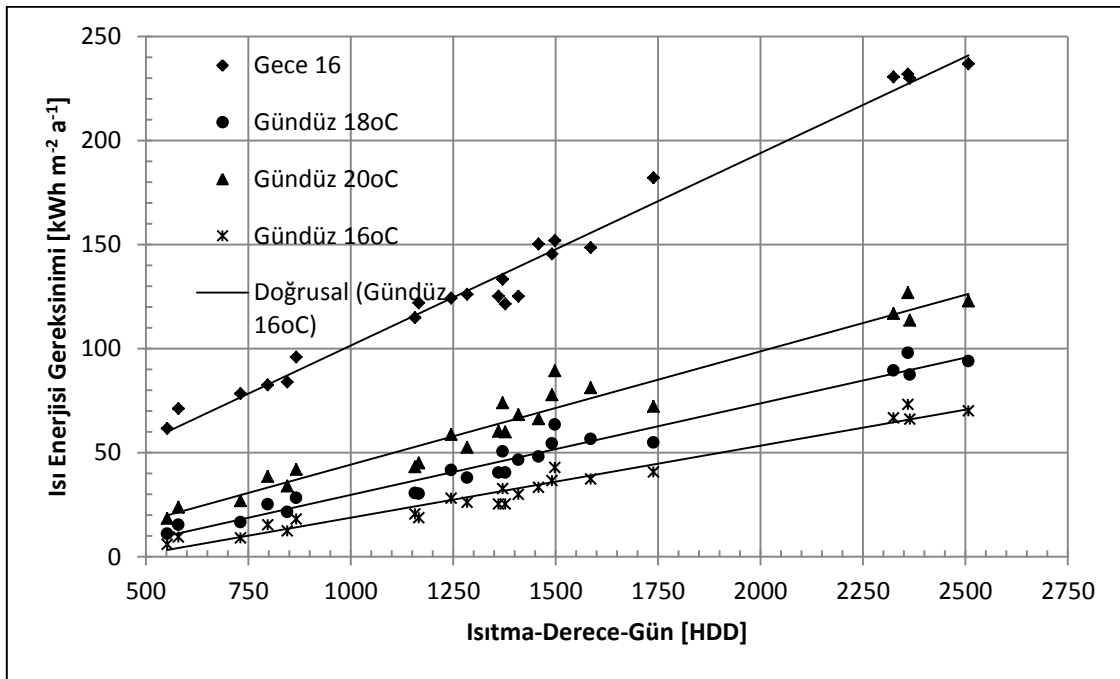
İl	HDD	Isı enerjisi gereksinimi kWh m ⁻² a ⁻¹		
		Isı perdesiz	Isı perdesi yalıtımı orta	Isı perdesi yalıtımı iyi
Adana	579	99,6	80,7	68,9
Mersin	552	84,1	67,5	57,1
Antalya	731	110,7	87,5	73,0
Antakya	797	120,7	97,8	83,4
Aydın	867	139,6	114,0	98,0
İzmir	845	121,5	96,4	80,7
Denizli	1245	185,0	152,3	131,8
Manisa	1166	173,7	140,6	119,9
Şanlıurfa	1157	165,8	135,5	116,5
Bursa	1491	221,9	182,0	157,0
Çanakkale	1371	207,1	166,0	140,2
K.Maraş	1284	184,9	152,2	131,7
Muğla	1458	224,5	183,6	158,0
Ordu	1361	183,8	150,4	129,4
Samsun	1377	180,7	146,7	125,4
Yalova	1409	188,9	155,1	133,9
Balıkesir	1498	236,9	194,8	168,4
Diyarbakır	1739	272,6	222,7	191,5
Tekirdağ	1586	228,7	185,9	159,2
A.Karahisar	2325	360,8	297,1	257,3
Kırşehir	2365	358,7	296,0	256,8
Kütahya	2360	366,1	305,0	266,9
Nevşehir	2508	373,5	306,9	265,3

ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerinden gidilerek Türkiye'de seracılığın yoğun olarak yapıldığı iller ve jeotermal kaynaklar

bakımından seracılık potansiyeline sahip iller için, çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı farklı donanımlara sahip seralarda sıcaklığın 16°C'de tutulduğu koşullar için üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri hesaplanarak Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi illerin Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerlerine bağlı olarak serada üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi değerleri değişmektedir. ISIGER-SERA uzman sisteme göre yapılan hesaplamalarda en düşük ısı enerjisi gereksinimi Mersin ilinde ($57,1 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ortaya çıkarken, en yüksek ısı enerjisi gereksinimi Nevşehir ($265,3 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) için hesaplanmıştır.

Seralarda istenen gece ve gündüz sıcaklık değerleri üretilen bitki çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Seralarda en fazla üretilen domates bitkisi

17-27°C sıcaklığa adapte olmuştur [16,17]. Seralarda domates üretiminde enerji tasarrufu amacıyla gece/gündüz sıcaklıkları 16/18°C'de tutulmaktadır. Akdeniz bölgesinde seralarda sıcaklığın 16°C'de tutulmak istenmesi durumunda gündüz saatlerinde ısıtmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu bölgede gündüz saatlerinde seralarda sıcaklığın 18°C veya 20°C'ye yükseltilmesi ısı enerjisi gereksinimini fazla etkilememektedir. Çatısı tek kat yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeleri orta derecede olan serada, sıcaklığın gece 16°C, gündüz 16°C, 18°C ve 20°C'de tutulmak istenmesi durumunda üretim periyodu boyunca birim sera alanı için gece ve gündüz saatlerinde gereksinilen ısı enerjisi farklı HDD değerleri için Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çatısı tek, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli serada sıcaklığın gece 16°C ve gündüz 16°C, 18°C, 20°C'de tutulması durumunda HDD değerlerine bağlı gereksinilen ısı enerjisi değerleri

Şekil 1'den de görüleceği gibi Isıtma-Derece-Gün (HDD) değeri 1250 olan bir yerde kurulacak PE plastik serada sıcaklığın tüm gün 16°C'de tutulmak istenmesi durumunda, üretim periyodu boyunca

gece ve gündüz gereksinilen toplam ısı enerjisi $124+27=151 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ olurken, gündüz sıcaklığın 18°C'ye yükseltilmesi durumunda bu değer $124+40=164 \text{ kWh m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ olmaktadır. Diğer bir ifade ile serada gündüz saatlerinde sıcaklığın

16°C'den 18°C'ye yükseltilmesi, toplam ısı enerjisi gereksinimini %8 artırmaktadır. Gece 16°C ve gündüz farklı sıcaklıklar için yapılan istatistiksel analizler sonucunda çatısı tek kat, yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı serada farklı HDD değerleri için elde edilen istatistiksel ilişkiler Çizelge 5'te verilmiştir.

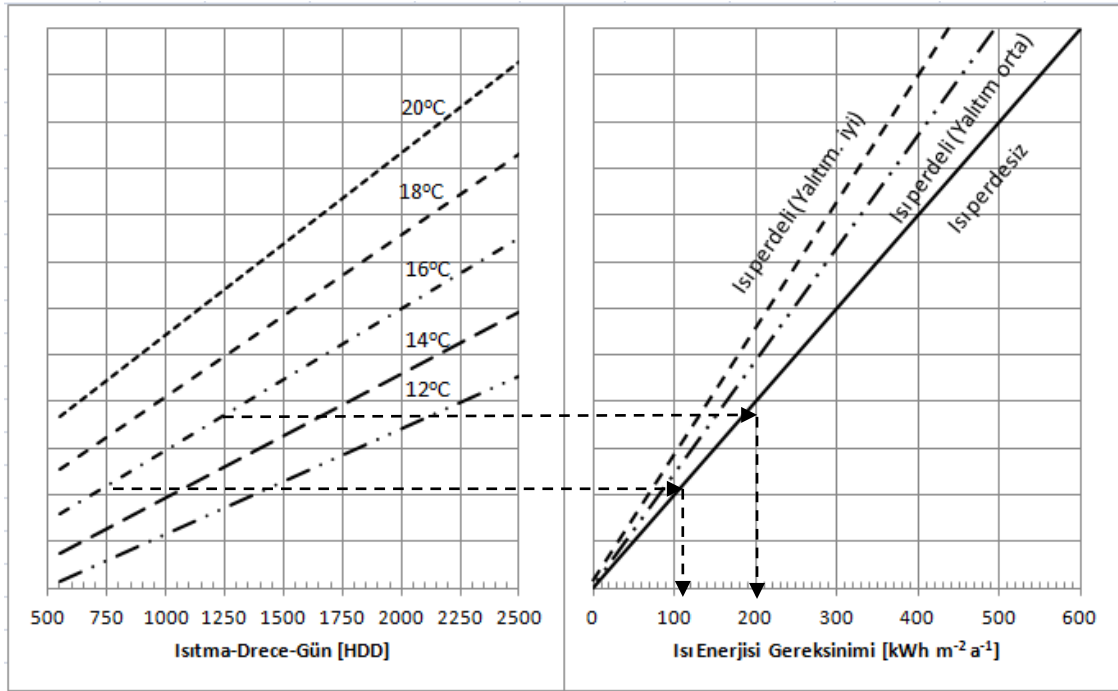
Çizelge 5. Isı perdeli PE plastik serada ısı enerjisi ve ısıtma-derece-gün (HDD) değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler

Sıcaklık	İlişki	R ²
Gece 16°C	$q=0,092*HDD + 9,000$	0,983
Gündüz 16°C	$q=0,034*HDD - 15,87$	0,962
Gündüz 18°C	$q=0,043*HDD - 14,22$	0,962
Gündüz 20°C	$q=0,054*HDD - 10,18$	0,950

Seralarda Gece/Gündüz ısı enerjisi tüketim oranı bölge iklimine ve serada istenen sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Ilıman iklimin hakim olduğu yerlerde düşük gündüz sıcaklıkları için gece/gündüz enerji gereksinim oranı 9 olurken,

HDD değerinin büyüdüğü soğuk bölgelerde bu oran 3'e düşmektedir. Ilıman iklim bölgelerinde gündüz sıcaklık değerlerinin yükseltilmesi, gece/gündüz enerji tüketim oranını soğuk iklim bölgelerindeki değerlere yaklaştırmaktadır.

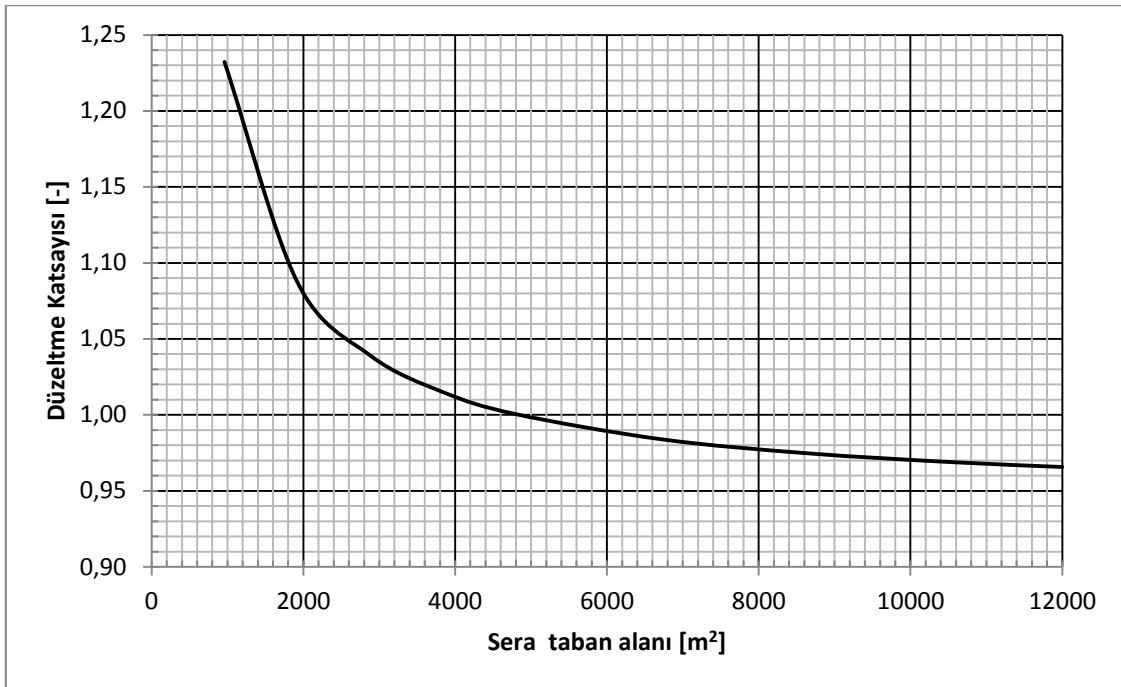
Seralarda ısı enerjisi gereksinimi seranın tipine, dış iklim koşullarına, sera donanımına ve serada arzulan sıcaklık değerlerine göre değişim göstermektedir. Serada arzulan sıcaklık ve ısı perdelerinin yalıtım durumuna bağlı olarak üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisinin belirlenmesi için geliştirilen nomogram Şekil 2'de verilmiştir. Geliştirilen bu nomogram yardımıyla herhangi bir yerin Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerine, serada istenen sıcaklık ve serada kullanılan ısı perdesinin yalıtımına bağlı olarak, üretim periyodu boyunca gereksinilen ısı enerjisi gereksinimi belirlenebilmektedir.



Şekil 2. Çatısı tek yan duvarları çift kat PE plastikle kaplı ısı perdeli serada ($A_G/A_H=1,53$) HDD değerlerine bağlı ısı enerjisi gereksinimi (Isıtma boruları sera tabanına yakın yerleştirilmiş)

Serada ısı enerjisi gereksinimi sera örtü yüzeyinin sera taban alanına oranına bağlı olarak değişmektedir. Serada alan büyüdükçe örtü yüzeyinin taban alanına oranı küçülmektedir. Bu durum serada birim alan için gereksinilen ısı enerjisini de etkilemektedir. Şekil 2’de verilen ısı enerjisi gereksinimleri örtü yüzey alanının sera taban alanına oranının (A_H/A_G) 1,53 olduğu sera

için geçerlidir. Farklı A_H/A_G oranına seralar için yapılacak hesaplamalarda Şekil 3’ten elde edilen düzeltme faktörüyle, Şekil 2’den belirlenen ısı enerjisi gereksiniminin çarpılması gereklidir. Şekil 3’ten de görüleceği gibi sera alanı büyüdükçe örtü yüzey alanının sera taban alanına oranı küçülmekte, bu durum ısı enerjisi gereksinimini de o oranda azaltmaktadır.



Şekil 3. Sera taban alanına bağlı olarak ısı enerjisinin belirlenmesinde gerekli olan düzeltme faktörü

Seralarda üretim periyodu boyunca tüketilen ısı enerjisi, sera ısıtma sisteminin tipine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan hesaplamalarda ısıtma sistemi sera tabanına ve bitki masuralarına yakın olarak kabul edilmiştir. Serada üfleli ısıtma sistemlerinin kullanılması veya ısıtma borularının seranın yan duvarlarına, çatı bölgesine veya masa altına yerleştirilmesi durumunda enerji tüketimleri farklı olmaktadır [8]. Çizelge 6’da Tantau [8] tarafından farklı ısıtma sistemleri için belirlenen ısı gereksinim katsayılarından yararlanılarak farklı ısıtma sistemleri için hesaplanan düzeltme faktörleri verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği

gibi en yüksek ısı enerjisi tüketimi ısıtma borularının sera tavanına yakın yerleştirildiği ve üfleli ısıtıcıların düşük kademelerde çalıştırılması durumunda ortaya çıkmaktadır.

Şekil 2’deki nomogram serada ısıtma borularının sera tabanına yakın yerleştirildiği koşullar için geçerlidir. Serada farklı ısıtma sistemlerinin kullanılması durumunda Çizelge 6’da verilen ısıtma sistemlerinden hangisi kullanılıyorsa, Şekil 2 ve 3 yardımı ile belirlenen ısı enerjisi gereksinimi Çizelge 6’dan alınan düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır.

Çizelge 6. Seralarda farklı ısıtma sistemleri için düzeltme faktörleri

Isıtma Sistemi	Düzeltilme Faktörü [-]
Yükseğe yerleştirilmiş borulu ısıtma	1,22
Masa altına borulu ısıtma sistemi	1,10
Yan duvarlarda borulu ısıtma sistemi	1,21
Isıtma boruları tabana yakın	1,00
Düşük hızlı hava ısıtıcısı (1. Kademe)	1,48
Orta hızlı hava ısıtıcısı (2. Kademe)	1,06
Yüksek hızlı hava ısıtıcısı (3. Kademe)	1,19
Delikli plastik borulu hava ısıtıcısı	1,04

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Seralarda ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi işletme planlamasında ve yapılacak olan fizibilite hesaplamaları için gereklidir. Isı enerjisi seranın tipine, donanımına, serada arzulan sıcaklık değerlerine ve dış iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Serada ısı enerjisi gereksiniminin belirlenmesi genelde ortalama sıcaklık değerlerinden ve ısıtma zamanının kabul edilmesiyle belirlenmektedir.

Ortalama sıcaklık değerlerine göre yapılan hesaplamalarda özellikle serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda veya hava sıcaklığının yüksek olduğu geçiş dönemlerinde elde edilen sonuçlar, gerçek değerlere göre sapmalar göstermektedir. Seralarda ısı enerjisinin saatlik iklim değerlerinden gidilerek belirlenmesi en sağlıklı sonuçları vermektedir. Aynı zamanda seranın termik özelliğine bağlı olarak serada ortaya çıkan sıcaklık yükselmelerinin de dikkate alınması elde edilen sonuçları daha sağlıklı kılmaktadır.

Sera kurulacak farklı yerler için saatlik iklim değerlerinin elde edilmesi ve saatlik değerlerden yararlanarak seralarda ısı gereksinimi hesaplarının elle yapılması zaman alıcı ve sıkıcıdır. Ayrıca ısıtılmayan ve havalandırılmayan seralarda hesaplamalar için gerekli olan gerçek sıcaklık

değerlerinin belirlenmesinde mantıksal ifadelerin kullanılması, hesaplamaların elle yapılmasını zorlaştırmaktadır. Belirtilen nedenle yapılan bu çalışmada seralarda ısı enerjisi gereksinimi ISIGER-SERA uzman sistemle saatlik iklim değerlerinden gidilerek hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada yukarıda ifade edilen dezavantajlar nedeniyle elde edilen ısı enerjisi gereksinimleri ile bölge iklimini temsil eden Isıtma-Derece-Gün değerleri arasında istatistiksel analizler yapılarak, belirlenen matematiksel ilişkiler ve grafikler yardımı ile farklı donanımlara sahip seraların ısı enerjisi gereksiniminin kolayca belirlenmesi mümkündür. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda farklı donanımlara sahip seralarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi gereksinimleri ile Isıtma-Derece-Gün (HDD) değerleri arasında yüksek güvenilirlikli ilişkiler elde edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 114O533 nolu proje çerçevesinde geliştirilen ISIGER-SERA uzman sistemden yararlanarak hazırlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. De Pascale, S., Maggio, A., 2005. Sustainable Protected Cultivation at Mediterranean Climate, Perspectives and Challenges. Acta Horticulturae, 691, 29-42.
2. Campiotti, C.A., Dondi, F., 2007. ENEA Casaccia, dpt. BASE mail: campiootti@casaccia.enea.it.
3. Bot, G.P.A., 2008. Greening the Greenhouse General Consideration. Wageningen UR Greenhouse Horticulture.
4. Garcia, J.L., De la Plaza, S., Navas, L.M., Benavente, R.M., Luna, L., 1998. Evaluation of the Feasibility of Alternative Energy Sources for Greenhouse Heating J. agric. Engng Res. 69, s.107-114.
5. Baytorun, A.N., Akyüz, A., Üstün, S., 2016. Seralarda Isıtma Sistemlerinin Modellemesi ve Karar Verme Aşamasında Bilimsel Verilere

- Dayalı Uzman Sistemin Geliştirilmesi. Proje No: 114O533.
6. Çanakçı, M., Emekli, Y.N., Bilgin, S., Çağlayan, N., 2013. Heating Requirement and Cost in Greenhouses: A Case Study for Mediterranean Region of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, 483-490.
 7. Zabeltitz, Chr. von., 2011. *Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates*. Springer -Verlag Berlin Heidelberg.
 8. Tantau, H.J., 1983. *Heizungsanlagen im Gartenbau*. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
 9. Baytorun, A.N., Zaimoğlu, Z., Üstün, S., 2012. Akdeniz Bölgesi Seralarında Isı Enerjisi Gereksiniminin ve Enerji Artırım Önlemlerinin Etkisinin Belirlenmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. Bornova, İzmir.
 10. Damrath, J., 1980. Tabellen zur Heizenergieermittlung von Gewächshäusern. *Gartenbautechnische Information ITG Hannover*. Heft 8 Klima Hannover.
 11. Rath, T., 1992. Einsatz wissenbasierter 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.
 12. Dağsöz, A.K., 1998. Sıcak Sulu Kalorifer Tesisatı, Demirdöküm Teknik Yayınları No:6, İstanbul.
 13. Sahal, N., 2006. Proposed Approach for Defining Climate Regions for Turkey Based on Annual Driving Rain Index and Heating Degree-Days for Building Envelope Design, *Building and Environment* 41,520–526.
 14. Lstiburek, J.W., 2001. Hygrothermal Climate Regions, Interior Climate Classes and Durability, *Proceedings of the Eighth Conference on Building Science and Technology*, Toronto, Canada, pp. 319–29.
 15. Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 2007. Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri.
 16. Nisen, A., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martinez-Garcia, P.F., Monteiro, A., Verlodt, H., Villele, O., Zabeltitz, C.V., Denis, J.C., Baudoin, W., & Garnaud, J.C., 1988. *Cultures Protegees en Climat Mediterranean*. FAO, Rome.
 17. Verlodt, H., 1990. *Greenhouses in Cyprus, Protected Cultivation in the Mediterranean climate*. FAO, Rome, Italy.