

## Seralarda Katı Yakıtlı ve Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemlerini Oluşturan Unsurların Seçimi ve Bu Sistemlerin Maliyet Yönünden Karşılaştırılması<sup>1</sup>

Ersin KARACABEY<sup>2</sup>, A.Kadir YAĞCIOĞLU<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, İzmir

<sup>3</sup>Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, İzmir  
ersin.karacabey@ege.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada seracılığın yoğun olarak yapıldığı Balçova'da ısı gereksinimleri hesaplanan örnek bir sera işletmesi seçilerek, bu işletmenin ısı ihtiyacını karşılayacak olan katı yakıtlı ve jeotermal enerjili ısıtma sistemlerini oluşturan unsurlar belirlenmiş ve kapasiteye uygun olarak seçimleri yapılmıştır. Isıtma sistemlerini oluşturan unsurların seçimi yapılırken, örnek sera işletmesindeki en yüksek ısı gereksinimi değeri dikkate alınmıştır. Hesaplanan ısı gereksiniminin katı yakıtlı ve jeotermal enerjili sistemlerle karşılanması durumunda ortaya çıkacak olan sabit ve değişken maliyetler hesaplanarak aralarındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Sonuç olarak 12 da'lık örnek sera işletmesi için, katı yakıtlı ısıtma sistemlerinin tesis maliyeti, 2007 yılı piyasa fiyatlarına göre jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin tesis maliyetlerinden %27 daha yüksek bulunmuştur. İki sistem arasındaki en belirgin farkı oluşturan değişken işletme maliyetlerine bakıldığında, jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin katı yakıtlı ısıtma sistemlerine göre 10 kat daha düşük maliyete sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sera, ısıtma, jeotermal enerji, katı yakıt

### The Selection of Elements Composing Solid Fuel and Geothermal Heating Systems in Greenhouses and Comparison of These Systems in Point of Costs

**Abstract:** In this study, a sample greenhouse operation whose heat requirements were calculated and located in Balçova where greenhouse production is intensively made was chosen and the elements composing solid fuel and geothermal heating systems providing the heat requirements of this operation were determined and chosen in deference to capacity. While choosing the elements of heating systems, the highest heat requirement in the sample greenhouse operation was considered. In the use of solid fuel and geothermal heating systems providing heat requirements calculated, fixed and variable costs were calculated and the differences between two systems were determined. As a result, the installation cost of fossil fuel heating systems was found 27% higher than geothermal heating systems according to market prices of 2007 for the sample greenhouse operation. When the operating costs which constitute the most explicit difference between two systems were examined, it was determined that geothermal heating system has 10 fold less cost than fossil fuel heating systems.

**Key words:** Greenhouse, heating, geothermal energy, solid fuel

### GİRİŞ

Örtüaltı tarımı açık alan üretimine göre daha fazla girdi kullanarak birim alandan daha fazla ürün almayı hedefleyen bir yetiştiricilik şekli olup, çevre koşullarını denetim altında tutarak bitkilerin mevsimleri dışında yetiştirilmesine olanak sağlar. Seralarda sıcaklık, ışık, oransal nem ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu kontrol edilmesi gereken başlıca iklim parametreleridir. Bu parametrelerin bir bütünlük içerisinde değerlendirilmesi ve bitkilerin optimum istekleri

doğrultusunda sağlanmasıyla nitelik ve nicelik açısından ürün artışı sağlanabilmektedir.

Sıcaklık faktörü bitki gelişmesi üzerinde çok önemli etkilere sahiptir. Sıcaklık bir taraftan bitki bünyesindeki birçok fizyolojik faaliyeti denetlemekte, diğer taraftan da bitkinin içinde yaşadığı ortamı oluşturan toprağı etkilemektedir (Gençtan, 1989).

Seralarda sıcaklık değerinin uygun sistemler kullanılarak istenilen değerlerde tutulması modern

<sup>1</sup>Ersin KARACABEY'in Yüksek Lisans Tezinin bir bölümünü içermektedir.

yetiştiriciliğin gereklerindedir. Sera içi iklimini oluşturan öteki unsurların da uygun değerlerde olması koşulu ve yetiştirilen bitki için izin verilen en yüksek sıcaklığı aşmamak kaydıyla, sera içi sıcaklık derecesinde her 10°C'lik artışın bitki gelişmesini yaklaşık iki kat arttırdığı bilinen bir gerçektir (Yağcıoğlu, 2005). Ancak ısıtma giderlerinin sera üretim maliyeti içerisindeki payı %60'lara kadar çıkabilmektedir. Burada önemli olan, enerji maliyetini olabildiğince düşük düzeyde tutarak ekonomik bir uygulama gerçekleştirebilmektir. Sıvı, gaz ve katı yakıt fiyatlarının yüksekliği nedeniyle de jeotermal vb. alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesinin, ekonomikliği sağlayarak önemli bir tarımsal faaliyet olan seracılığın gelişimini teşvik edeceği düşünülebilir.

Sosyo-ekonomik yönleriyle ülkemizde önemli bir tarımsal üretim şekli olan seracılıkta, özellikle enerji maliyetlerinin yükseldiği son dönemlerde, havalandırma ve ısıtma gibi mühendislik uygulamalarında amaca ve ekonomik yapıya uygun sistemlerin seçimi ve kullanımı oldukça önem kazanmıştır. Bu çalışmada, seralarda ısıtma sistemlerinin maliyetlerinde rol oynayan unsurların saptanması ve bu konuda üreticilerin, Balçova (İzmir) yöresinde ele alınan bir sera işletmesi örneği yardımıyla, bilgilendirilmesi hedeflenmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, İzmir şehir merkezinin 10 km batısında yer alan ve 3.5 km<sup>2</sup> genişliğinde zengin bir jeotermal kaynak potansiyeline sahip olan Balçova'da (Kılıç, 1998), borulu sistemlerle ısıtılan ve 6 adet cam seradan oluşan toplam 12 da'lık alana sahip örnek bir işletmede yürütülmüştür. Örnek seraların teknik özellikleri Çizelge 1'de ve konumları Şekil 1'de verilmiştir. Genel olarak Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü İzmir ili için 1975 - 2006 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri ise Çizelge 2'de yer almaktadır.

Örnek seralarda yetiştirme ortamı olarak torf kullanılmakta olup domates yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kuzey-güney doğrultusunda kurulan seralar, otel ısıtmasında kullanıldıktan sonra reenjeksiyon hattına basılan ve sıcaklığı 50°C'ye kadar düşmüş olan jeotermal suyla ısıtılabilir. Çalışmada sera ısıtma sistemlerini oluşturan unsurlar, örnek sera işletmesi için domates

yetiştiriciliğinde gündüz koşullarında 20 °C ve gece koşullarında 15°C'lik optimum sıcaklık istekleri dikkate alınarak hesaplanan toplam 1 470 825 W'lık (5 294 970 kJ / h) en yüksek ısı gereksinimi dikkate alınarak seçilmiştir.

Çalışmada, ısıtıcı yüzey olarak, 48 mm dış çap ve 2 mm et kalınlığına sahip çelik ısıtma boruları (DIN 2394) ve 160 mm dış çap ve 7.7 mm et kalınlığına sahip PE ısıtma boruları (TS 418 - 2) ele alınmış ve sahip olmaları gereken toplam uzunluk değerleri (1) ve (2) numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Jeotermal enerjili ısıtma sisteminde kullanılacak plakalı ısı eşanjörü, hesaplanan en yüksek ısı gereksinimine uygun olarak, NTU yöntemine göre seçilmiştir. Pratikte yaygın kullanım alanı bulan plakalı ısı eşanjörlerinin ana parçaları Şekil 2'de görülmektedir.

$$A_B = \frac{Q}{k_B \Delta T_m} \quad (1)$$

(1) numaralı eşitlikte;  $A_B$ , ısıtıcı yüzey alanını (m<sup>2</sup>);  $Q$ , toplam ısı gereksinimini (W);  $k_B$ , boru ısı iletim katsayısını (W/m<sup>2</sup>K);  $\Delta T_m$ , logaritmik ortalama sıcaklık farkını (°C) ifade etmektedir. Hesaplanan ısıtıcı yüzey alanının ( $A_B$ ) sağlanabilmesi için kullanılması gereken boru uzunluğu (2) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Yağcıoğlu, 2005).

$$L_B = \frac{A_B}{\pi \times D} \quad (2)$$

(2) numaralı eşitlikte;  $L_B$ , ısıtıcı boru uzunluğunu (m);  $A_B$ , ısıtıcı yüzey alanını (m<sup>2</sup>);  $D$ , ısıtma borularının dış çapını (m) ifade etmektedir. Logaritmik ortalama sıcaklık farkının ( $\Delta T_m$ ) (°C) hesabında sera ısıtma sistemindeki akışkan ile sera havasının sıcaklık farkları kullanılmıştır (Eşitlik 3).

$$\Delta T_m = \frac{(T_{1S} - T_{1H}) - (T_{2S} - T_{2H})}{\ln\left(\frac{(T_{1S} - T_{1H})}{(T_{2S} - T_{2H})}\right)} \quad (3)$$

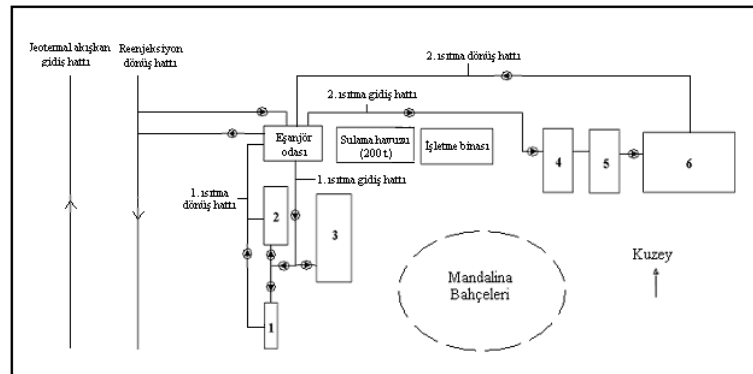
(3) numaralı eşitlikte;  $T_{1S}$ , borulardaki akışkanın ilk sıcaklığını (°C);  $T_{2S}$ , borulardaki akışkanın soğuduğu son sıcaklığı (°C);  $T_{1H}$ , ısıtma sera içerisinde sağlanan sıcaklığı (°C);  $T_{2H}$ , ısıtma yapılmaması durumunda oluşacak sera iç sıcaklığını (°C) belirtmektedir.

Çizelge 1. Örnek seraların teknik özellikleri

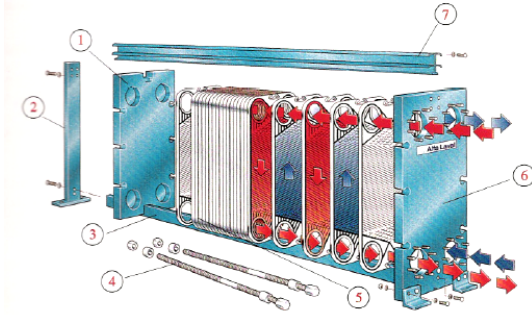
Sera No	1	2	3	4	5	6
Genişlik (m)	18	24	24	24	24	45
Uzunluk (m)	45	90	99	45	45	118
Yan duvar yüksekliği (m)	2	2	2	2	2	2
Çatı yüksekliği (m)	4.4	4.4	3.4	3.4	3.4	5.5
Taban alanı (m <sup>2</sup> )	810	2160	2376	1080	1080	5310
Çatı alanı (m <sup>2</sup> )	1026	2736	2614	309.6	309.6	1057.2
Yan duvar alanı (m <sup>2</sup> )	295.2	513.6	525.6	1188	1188	7497
Sera hacmi (m <sup>3</sup> )	2592	6912	6415	2916	2916	19 794
Örtü malzemesi	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı	Tek kat sera camı
Çatı eğimi	15°	11°	7°	7°	7°	9°

Çizelge 2. İzmir ili için 1975 - 2006 yıllarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2009)

Ay	Min. Sıcaklık (°C)	Max. Sıcaklık (°C)	Ort. Sıcaklık (°C)
Ocak	5.9	12.6	8.9
Şubat	5.8	13.2	9.1
Mart	7.7	16.4	11.7
Nisan	11.4	20.9	15.9
Mayıs	15.6	26.0	20.8
Haziran	20.1	31.0	25.7
Temmuz	22.7	33.3	28.1
Ağustos	22.4	32.7	27.4
Eylül	18.7	29.2	23.6
Ekim	14.7	24.2	18.9
Kasım	10.4	18.2	13.7
Aralık	7.5	13.8	10.3



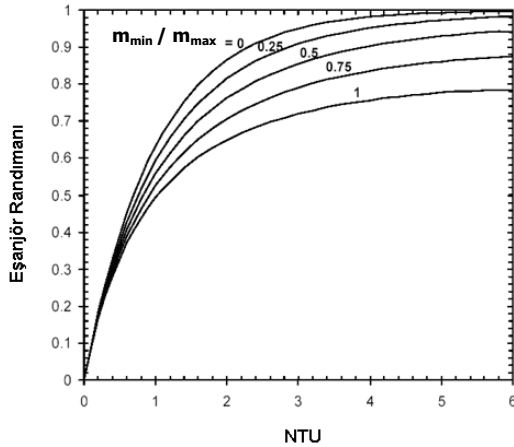
Şekil 1. Çalışmada ele alınan örnek seraların konumları ve ısıtma düzeninin planı



1. Arka baskı plakası
2. Destek kolonu
3. Alt taşıma barı
4. Saplamlar
5. Plaka paketi
6. Ön baskı plakası
7. Üst taşıma barı

**Şekil 2. Bir plakalı ısı eşanjörünün ana parçaları (Anonim, 2007)**

Eşanjörde jeotermal akışkanın dolaşımını sağlayacak olan dolaşım pompasının kapasitesi NTU (Transfer Birimleri Sayısı) yöntemiyle belirlenmiştir (McNeill and Colton, 2007). NTU yönteminde jeotermal akışkan ile sera ısıtma düzeninde dolaşan akışkan arasındaki kütle akış oranı, hesaplanan NTU değeri ve eşanjör verimi arasındaki ilişkiyi veren grafik yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 3).



**Şekil 3. NTU – Verim İlişkisi (McNeill and Colton, 2007)**

$m_{min}$  : Eşanjör içerisindeki en küçük debi değeri (kg/s)  
 $m_{max}$  : Eşanjör içerisindeki en büyük debi değeri (kg/s)

NTU değeri, logaritmik ortalama sıcaklık farkı yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 4 ve 5) (Kakaç ve Liu, 1998).

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

$$NTU = \frac{\Delta T_{max}}{LMTD} \quad (5)$$

(4) numaralı eşitlikte, LMTD, logaritmik ortalama sıcaklık farkını ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\Delta T_1$ , jeotermal akışkan ile sera içi ısıtma borularında dolaştırılacak olan akışkanın ilk sıcaklıklarının farkını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $\Delta T_2$ , jeotermal akışkan ile sera içi ısıtma borularında dolaştırılacak olan akışkanın son sıcaklıklarının farkını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ifade etmektedir. (5) numaralı eşitlikte;  $\Delta T_{max}$ , en yüksek sıcaklık farkını ( $^{\circ}\text{C}$ ) belirtmektedir.

Katı yakıtlı ısıtma sistemlerinde kullanılacak kazan en yüksek ısı gereksinimine uygun olarak seçilmiş olup gerekli yakıt miktarı ısı gereksinimiyle birlikte yakıtın ısı değeri, ısı verimi ve ısıtma dönemindeki toplam ısıtma süresi dikkate alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 6).

$$M = \frac{Q}{\omega \cdot \zeta} \times t \quad (6)$$

(6) numaralı eşitlikte; M, gerekli yakıt miktarını (t); Q, toplam ısı gereksinimini (W);  $\omega$ , yakıtın alt ısı değerini (J / t);  $\zeta$ , yakıtın ısı verimini (%); t, ısıtma dönemindeki toplam ısıtma süresini (s) ifade etmektedir. Yakıt maliyetleri ise hesaplanan yakıt miktarına göre (7) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_y = M \cdot F_y \quad (7)$$

(7) numaralı eşitlikte;  $C_y$ , yakıt maliyetini (YTL); M, gerekli yakıt miktarını (t);  $F_y$ , birim yakıt fiyatını (YTL / t) ifade etmektedir.

Sistemdeki dolaşım pompaları hesaplanan debi değerlerine uygun olarak seçilmiştir. Debi değerleri belirlenirken, toplam ısı gereksinimi, suyun özgül ısı, sera ısıtma düzeninde dolaşan akışkanın sıcaklık farkı kullanılmıştır (Eşitlik 8).

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (8)$$

(8) numaralı eşitlikte; Q, toplam ısı gereksinimini (W); c, suyun özgül ısısını (J / kg . °C); m, sera ısıtma düzeni akışkan debisini (kg / s); Δt, sıcaklık farkını (°C) belirtmektedir.

Dolaşım pompalarının elektrik enerjisi tüketim maliyetleri pompanın yuttuğu güç değeri, pompanın kullanım süresi ve birim elektrik enerjisi maliyeti dikkate alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 9).

$$C_e = P \times T \times F_e \quad (9)$$

(9) numaralı eşitlikte; C<sub>e</sub>, pompanın elektrik enerjisi tüketim maliyetini (YTL / ay); P, pompanın güç tüketimini (kW); T, pompanın kullanım süresini (h / ay); F<sub>e</sub>, birim elektrik enerjisi maliyetini (YTL / kWh) belirtmektedir.

Yatırım süresi boyunca her yıl eşit miktarlarda geri ödenen yatırım sermayesinin amortisman ve faiz maliyetleri birlikte ele alınarak (10) numaralı eşitlik yardımıyla doğru hat yöntemine göre belirlenmiştir (Sındır, 1999). Bakım-onarım maliyetleri, genel bir yaklaşımla toplam yatırım maliyetinin %5'i alınarak hesaplanmıştır.

$$C_D = C_0 \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (10)$$

### ARAŞTIRMA BULGULARI

Hesaplanan ısı gereksinimlerini karşılayabilmek için gerekli olan ısıtıcı boru uzunlukları Çizelge 3'de görülmektedir. Çizelge 3'den de görüleceği gibi, çelik borulara göre daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olan PE boruların, aynı miktardaki ısıyı sağlayabilmesi için daha fazla yüzey alanı ve uzunluğa sahip olması gerekmektedir.

**Çizelge 3. Isı gereksinimini karşılamak için gereken boru uzunlukları**

Sera No	Isıtıcı Boru Uzunluğu (L <sub>B</sub> ) (m)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	622	514
2	1559	1290
3	1493	1235
4	704	583
5	704	583
6	4185	3463
<b>Toplam</b>	<b>9267</b>	<b>7668</b>

Örnek olarak ele alınan sera işletmesinin ısıtma ile ilgili maliyetleri incelenirken maliyet unsurları, tesis ve işletme maliyetleri olarak 2 ana gruba ayrılmıştır. İşletme maliyetleri sabit ve değişken işletme maliyetleri olmak üzere 2 ana başlık altında incelenmiştir. Tesis maliyetleri içerisinde kalorifer kazanı, ısı eşanjörü, ısıtma boruları, dolaşım pompaları ve aşağıda belirtilen diğer sistem elemanları, sabit işletme maliyetleri içerisinde amortisman ile faiz maliyeti ve değişken işletme maliyetleri içerisinde sıcak su maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik enerjisi tüketim maliyeti ve bakım-onarım maliyeti yer almaktadır.

PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri Çizelge 4'de görülmektedir. Çizelge 4'de görüldüğü gibi seralarda PE boruların kullanılması durumunda, daha uzun boru kullanıldığı halde toplam yatırım maliyeti daha düşük olmaktadır.

**Çizelge 4. PE ve çelik ısıtma borularının yatırım maliyetleri**

Sera No	Boruların Yatırım Maliyeti (YTL)	
	PE Isıtma Boruları	Çelik Isıtma Boruları
1	1030	1542
2	2581	3870
3	2473	3705
4	1166	1749
5	1166	1749
6	6931	10 389
<b>Toplam</b>	<b>15 347</b>	<b>23 004</b>

Sera içerisindeki borularda sıcak suyun dolaşımını sağlayacak olan pompanın özellikleri ve maliyeti Çizelge 5'de görülebilmektedir.

**Çizelge 5. Dolaşım pompasının özellikleri ve maliyeti**

Debi	19.53 kg/s
Giriş çapı	100 mm
Çıkış çapı	80 mm
Güç tüketimi	7.5 kW
Devir sayısı	1450 min <sup>-1</sup>
Yatırım maliyeti	1025 YTL

Eşanjör içerisinde dolaştırılacak olan jeotermal akışkanın debi değeri, NTU ve eşanjör verimi arasındaki ilişkiyi veren grafik (Şekil 3) yardımıyla bulunan kütle akış oranı kullanılarak hesaplanmıştır. NTU değeri, örnek olarak alınan sera işletmesindeki

Seralarda Katı Yakıtlı ve Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemlerini Oluşturan Unsurların Seçimi ve Bu Sistemlerin Maliyet Yönünden Karşılaştırılması

eşanjör odasında bulunan termometreler yardımıyla akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları okunarak ve bu değerler (5) numaralı eşitlikte yerlerine konularak hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerleri Çizelge 6'da yer almaktadır.

**Çizelge 6. Akışkan sıcaklıkları**

	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)
Akışkan 1 (Jeotermal)	50	35
Akışkan 2 (Isıtma düzeni)	48	30
ΔT <sub>n</sub> (°C)	2	5

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left[ \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right]} = \frac{5 - 2}{\ln \left[ \frac{5}{2} \right]} = 3.27 \quad ; \quad NTU = \frac{\Delta T_{\max}}{LMTD} = \frac{18}{3.27} = 5.5$$

Jeotermal akışkan ile sera ısıtma düzeninde dolaşan akışkan arasındaki kütle akış oranı Şekil 3 yardımıyla ve %85 eşanjör verimi ve 5.5 NTU değerini dikkate alarak 0.75 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{m_{\min}}{m_{\max}} = \frac{19.53}{m_{\max}} = 0.75 \Rightarrow m_{\max} = 26 \text{ kg / s}$$

Jeotermal akışkanın eşanjördeki dolaşımı için, 26 kg/s debi değerine ve 4 kW güç değerine sahip dolaşım pompası seçilmiştir. İncelenen örnek sera işletmesi için kazan, ısı eşanjörü ve Çizelge 7'de belirtilen diğer sistem unsurlarının 2007 yılı piyasa fiyatları aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 7. Sera ısıtma sistemlerinde kullanılan sistem unsurlarının piyasa fiyatları**

Sistem unsuru	Fiyat
Katı yakıtlı sistemle yapılacak ısıtma uygulamasında kapasiteye uygun kömür yakıtlı, otomatik besleyicili kazan	31 000 YTL
Jeotermal enerjiyle ısıtma için gerekli, kapasiteye uygun plakalı eşanjörü	13 000 YTL
Muhtelif vanalar	1500 YTL
Pislik tutucu	300 YTL
Çek valf	350 YTL
Genleşme tankı (500 l)	700 YTL
3 yollu otomatik kontrol sistemi	5000 YTL
Bağlantı (fittings) malzemeleri	800 YTL

Sabit işletme maliyetleri içerisinde birlikte ele alınan faiz ve amortisman maliyetleri, ortalama 20 yıl sistem ömrü ve % 12'lik reel faiz oranı dikkate alınarak (10) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmış ve aşağıda sunulmuştur.

Jeotermal enerjili ısıtma sistemi için;

$$C_D = \frac{43350 \times 0.12 \times (1 + 0.12)^{20}}{(1 + 0.12)^{20} - 1} = 5803 \text{ YTL/yıl}$$

Katı yakıtlı ısıtma sistemi için;

$$C_D = \frac{59850 \times 0.12 \times (1 + 0.12)^{20}}{(1 + 0.12)^{20} - 1} = 8013 \text{ YTL/yıl}$$

Katı yakıtlı ısıtma sistemlerinde ihtiyaç duyulan yakıt miktarı ve yakıt maliyetleri (6) ve (7) numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmış olup Çizelge 8'de bu değerler görülebilmektedir. Çizelge 8'deki değerler 4 aylık ısıtma döneminde günde 10 saat ısıtma yapılan koşullar için hesaplanmıştır.

**Çizelge 8. İhtiyaç duyulan yakıt miktarları ve yakıt maliyetleri (4 aylık)**

Yakıt tipi	Gerekli toplam yakıt miktarı (t)	Birim yakıt fiyatı (YTL/t)	Aylık yakıt maliyeti (YTL/ay)	Toplam yakıt maliyeti (YTL)
Linyit kömürü	434.4	200	21 720	86 880
Fındık kömürü	309.6	300	23 220	92 880

Balçova'da jeotermal enerjiyle ısıtılan seralarda aylık sıcak su bedelleri Çizelge 9'da verilmiştir (Fiyatlar İzmir Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den alınmıştır).

**Çizelge 9. Balçova'da jeotermal enerjili seralarda aylık sıcak su bedelleri**

Sera alanı (m <sup>2</sup> )	Birim alan ısıtma bedeli
< 1000	0.160 YTL/m <sup>2</sup>
1000 - 3000	İlk 1000 m <sup>2</sup> si 160 YTL, 1000 m <sup>2</sup> nin üzeri 0.130 YTL/m <sup>2</sup>
3000 - 10 000	İlk 3000 m <sup>2</sup> si 420 YTL, 3000 m <sup>2</sup> nin üzeri 0.100 YTL/m <sup>2</sup>
> 10 000	İlk 10 000 m <sup>2</sup> si 1120 YTL, 10 000 m <sup>2</sup> nin üzeri 0.085 YTL/m <sup>2</sup>

Çizelge 9'daki değerlere göre, çalışmada ele alınan 12 da'lık alana sahip sera işletmesinde aylık sıcak su bedeli 1290 YTL olarak hesaplanmıştır.

Sıcak suyun sera ısıtma düzenindeki borularda dolaşımını sağlayan pompanın elektrik enerjisi tüketim

maliyeti (9) numaralı eşitlik yardımıyla 300 h / ay'lık kullanım süresini dikkate alarak 315 YTL / ay olarak hesaplanmıştır. Bu değer jeotermal akışkanın plakalı eşanjördeki dolaşımını sağlayacak olan pompa için 168 YTL / ay olarak belirlenmiştir.

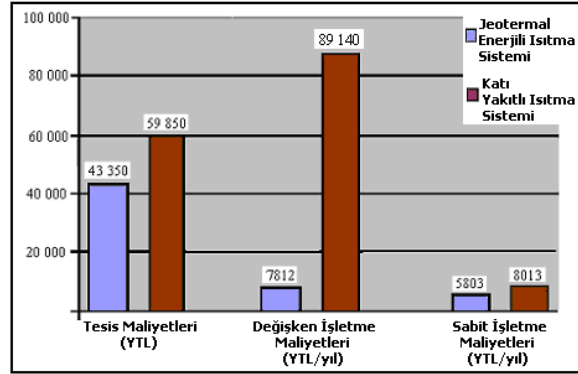
Bakım-onarım maliyetleri toplam yatırım maliyetinin %5'ini alarak jeotermal enerjili ısıtma sistemi için 180 YTL / ay, katı yakıtlı ısıtma sistemi için 250 YTL / ay olarak hesaplanmıştır.

Örnek sera işletmesinde ısıtma sistemlerinin tesis ve işletme maliyetleri ile ilgili olarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 10'da görülmektedir.

**Çizelge 10. Sera ısıtma sistemlerinin tesis ve işletme maliyetleri**

Isıtma Sistemi	Tesis Maliyetleri (YTL)		İşletme Maliyetleri (YTL / yıl)			
			Sabit İşletme Maliyetleri		Değişken İşletme Maliyetleri	
Jeotermal Enerjili Isıtma Sistemi	Isı eşanjörü	13000	Amortisman + Faiz	5803	Sıcak su bedeli	5160
	Isıtma Boruları	19175			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1932
	Dolaşım Pompaları	2525			Bakım-onarım maliyeti	720
	Diğer Sistem Unsurları	8650			<b>TOPLAM</b>	<b>7812</b>
	<b>TOPLAM</b>	<b>43350</b>				
Katı Yakıtlı Isıtma Sistemi	Kalorifer kazanı	31000	Amortisman + Faiz	8013	Yakıt maliyeti	86 880
	Isıtma Boruları	19175			Elektrik enerjisi tüketim maliyeti	1260
	Dolaşım Pompası	1025			Bakım-onarım maliyeti	1000
	Diğer Sistem Unsurları	8650			<b>TOPLAM</b>	<b>89140</b>
	<b>TOPLAM</b>	<b>59850</b>				

Çizelge 10'daki değerlerin grafiksel olarak gösterildiği Şekil 4'de, iki sistem arasındaki maliyet farklılıkları açıkça görülebilmektedir.



**Şekil 4. Sera ısıtma sistemlerinde tesis ve işletme maliyetlerinin değişimi**

Şekil 4'den anlaşılacağı gibi jeotermal enerjili ısıtma sistemleri özellikle değişken işletme maliyetleri yönünden önemli avantajlara sahiptir. Tesis maliyetleri katı yakıtlı ısıtma sisteminde, jeotermal enerjili ısıtma sistemine göre %27 daha yüksektir. Sabit işletme maliyetlerinde çok önemli farklılıklar olmamasına karşın toplam işletme maliyetlerinde jeotermal enerjili ısıtma sistemleri %86 daha düşük maliyete sahiptir.

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Jeotermal enerji potansiyeli açısından bölgesel avantaja sahip olan Balçova'da, ele alınan örnek sera işletmesinin tüm ısıtma yükünün bu enerjiyle karşılanabildiği görülmüştür. Sabit ve işletme masrafları bir bütün halinde değerlendirildiğinde, jeotermal enerji ile yapılacak ısıtmanın, katı yakıtlarla yapılacak ısıtmadan daha ekonomik olduğu da ortaya çıkmaktadır. Katı yakıtlarla yapılacak ısıtma uygulamalarında ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğinin yanında yakıt maliyetlerinin yüksekliği sera yetiştiriciliğinde ısıtmanın rantabl şekilde yapılmasını engellemektedir.

İzmir Jeotermal A.Ş. tarafından satışı yapılan sıcak suyun aylık bedeli ile katı yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamasında aylık yakıt maliyeti arasında büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Rezerv ve özelliği itibarıyla Dünya'daki önemli ilk 7 jeotermal sahadan biri olan ve yeni kaynak araştırmalarının devam ettiği Balçova'da sıcak su için aylık olarak ödenen bedel, katı yakıtlar için ödenen bedelin 16 kat kadar altında kalmaktadır.

Çalışma alanındaki 12 da'lık örnek sera işletmesi için, katı yakıtlı ısıtma sistemlerinin tesis maliyeti, 2007 yılı piyasa fiyatlarına göre, jeotermal enerjili ısıtma

sistemlerinin tesis maliyetlerinden %27 daha yüksek bulunmuştur. İki sistem arasındaki en belirgin farkı oluşturan değişken işletme maliyetlerine bakıldığında, jeotermal enerjili ısıtma sistemlerinin, katı yakıtlı ısıtma sistemlerine göre yaklaşık 10 kat daha düşük

maliyete sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımının, seracılığı daha karlı bir üretim şekline dönüştürebileceğini göstermektedir.

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Anonim. 2007. Alfa Laval Ürün Kataloğu. Değişim Isı Teknik. Ege Bölgesi Distribütörü. İzmir.
- Gençtan, T. 1989. Tarımsal Ekoloji, Tekirdağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi. Yayın No: 88.
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. 2009. İklim Verileri. İzmir.
- Kakaç, S., Liu, H. 1998. Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design. Department of Mechanical Engineering University of Miami. 432 s. Florida.
- Karacabey, E. 2008. Balçova (İzmir) Yöresinde Bazı Ürünler İçin Sera Isı Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Isı Açığının Farklı Sistemlerle Karşılanmasının Teknik ve Ekonomik Yönünden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi. İzmir. 112 s.
- Kılıç, N. 1998. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Sektörüne Bakış ve Jeotermal Enerji Potansiyelinin İrdelenmesi. İzmir Ticaret Odası Yayını No: 56. İzmir.
- McNeill, V. F., Colton, C. K. 2007. Theory for Performance of the Flat Plate Heat Exchanger. Department of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- Sındır, K. O. 1999. Tarımda Makina Seçimi ve Ortak Kullanım Modelleri. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü. Yayın No : 110. Ankara.
- Yağcıoğlu, A. K., 2005, Sera Mekanizasyonu, E.Ü.Z.F. Yayınları No:562, Bornova, 363 s.