



Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma Sisteminin Diyarbakır İlinde Örnek Bir Sera Uygulaması İçin Tekno-Ekonomik Analizi

Bilsay PASTAKKAYA^{1*}

Uludağ Üniversitesi Orhangazi MYO Makine Programı, Orhangazi, Bursa, Türkiye
**e-posta: bilsay@uludag.edu.tr; Tel: 224 573 98 62*

Geliş Tarihi: 18.01.2016; Kabul Tarihi: 12.03.2017

Öz: Örtü altı yetiştiriciliği, geleneksel tarımsal üretim yöntemlerinden daha verimli ve daha yüksek getirileri olan bir üretim yöntemidir, ancak işletim ve ilk yatırım maliyetleri açısından geleneksel yöntemlere göre daha pahalıdır. Isıtma ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayan sera uygulamaları, enerji kullanımına bağlı ekonomik ve çevresel sorunların çözümünde büyük faydalar sağlamaktadır. Bu çalışmada, ısıtma ihtiyacı güneş enerjisi destekli toprak/su kaynaklı ısı pompası sistemi ile sağlanan örnek bir sera tasarımının, Diyarbakır ili şartlarına göre ısı kaybı ve yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenerek, elde edilen sonuçlar, geleneksel ısıtma sistemleri kullanan mevcut sera uygulamaları ile karşılaştırılabilir olarak incelenmiştir. Yapılan tekno-ekonomik analizler sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma sistemlerinin, geleneksel ısıtma sistemlerine göre ısıtma ihtiyacına bağlı işletme maliyetleri açısından %68 oranında daha tasarruflu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklı ısı pompası sistemleri, yaz sezonunda soğutma amaçlı olarak da kullanılabilir olduğundan, tarımsal üretim veriminin artışı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Buna göre, örtü altı yetiştiriciliğinde yenilenebilir enerji kullanımına bağlı olarak elde edilen faydaların, tarımsal üretimde enerji kullanımına bağlı sorunların çözümünde önemli alternatif çözümler sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Örtü altı yetiştiriciliği, Yenilenebilir enerji, Isıtma, Isı pompası.

Techno-Economic Analysis of a Renewable Energy Sourced Heating System for a Greenhouse Application in Diyarbakır Province

Abstract: Greenhouse cultivation is more efficient and has more benefits than the conventional agricultural production, but it's operational and initial investment costs are more than the conventional methods. Greenhouse applications with renewable energy sourced heating systems, provide great benefits for solving the economic and environmental problems related to the energy. In

this article, the heat loss and the energy requirement for heating of a greenhouse design with solar assisted water/ground sourced heat pump heating system in Diyarbakır province were calculated, the results were investigated and compared with the existing greenhouse application with conventional heating systems. The techno-economic analysis showed that in operational costs for heating, renewable energy sourced heating systems are 68 percent more cost-efficient than the conventional systems. Moreover, renewable energy sourced heat pumps provide significant advantages in agricultural production efficiency since they can be used for cooling in summer period as well. Therefore, benefits gained through the use of renewable energy in the greenhouse cultivation will provide considerable alternative solutions related to the energy use in the agricultural production.

Keywords: Greenhouse cultivation, Renewable energy, Heating, Heat pump.

Giriş

Tarımsal üretimde ihtiyaç duyulan enerjinin temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, enerji kullanımı ile bağlantılı ekonomik, sosyal ve çevresel sorunların çözümü noktasında önemli alternatifler sunmaktadır. Örtü altı yetiştiriciliği iklimsel koşullara bağlı olarak gerçekleştirilen geleneksel tarımsal üretim yöntemlerinden daha verimli ve daha yüksek getirileri olan, katma değeri yüksek, her türlü tarımsal ürünün yüksek kalitede üretilmesi için gerekli koşulları yıl boyunca sağlayan bir üretim yöntemidir. Ülkemiz tarafından yapılan ihracatta büyük bir paya sahip tarımsal ürünlerin önemli bir bölümü örtü altı yetiştiriciliği ile sağlanmaktadır. Ancak örtü altı yetiştiriciliği, işletim ve kurulum maliyetleri açısından geleneksel tarımsal üretim yöntemlerine göre daha pahalıdır ve daha çok teknik bilgi ve beceri gerektirmektedir. Bu nedenle örtü altı yetiştiriciliğinde kullanılan seraların tasarımlarının ve işletme şartlarının doğru şekilde tasarlanması, bu sistemlerden sağlanacak faydanın en üst düzeyde elde edilmesi noktasında büyük önem arz etmektedir.

Sistem tasarımlarının doğru şekilde yapılması ve uygulanması için sunulan rehber kaynaklar (Zabeltitz, 2010) ve örnek çalışmalar (Pastakkaya, 2014) sayesinde konu ile ilgili yeni proje uygulamalarının hayata geçirilmesi ve mevcut bilgi birikiminin artırılması açısından önemli faydalar sağlanmıştır. Literatürde yer alan örnek deneysel (Esen ve Yüksel, 2013) (Özgener ve Hepbaşı, 2005) ve sayısal (Kıyan ve ark. 2013) çalışmalar, farklı sistem tasarımlarının oluşturulması ve uygulanmasına olanak vermektedir.

Bu çalışmada Diyarbakır ilinde yer alan örnek bir sera tasarımının ısı kaybı belirlenmiş ve ısıtma ihtiyacının analizi yapılmıştır. Analiz işlemlerinde takip edilen yöntem ve hesaplamalar tanımlanarak seranın ısıl özelliklerinin belirlenmesi için gerekli olan değerler sunulmuştur. Örnek sera tasarımı için ısı kaybı ve ısıtma sezonu boyunca toplam ısıl ihtiyaçları aylık ve yıllık toplam değerler olmak üzere hesaplanmıştır. Diyarbakır ilinde yer alan mevcut seraların işletim koşullarına göre, kömür yakıtlı ısıtma sistemleri için yakıt sarfıyatı ve yakıt maliyeti değerleri tespit edilerek tablo ve şekiller halinde belirtilmiştir. Ayrıca elektrik enerjisi ile çalışan toprak/su kaynaklı ısı pompası sisteminin çalışma özellikleri belirlenerek elde edilen veriler sunulmuş, elektrik ve kömür ile çalışan iki farklı sistemin ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır. Çalışma sayesinde tarımsal üretimde kullanılan sistemlerin doğru şekilde tasarlanması, buna bağlı olarak elde edilen enerji tasarrufu ile üretim maliyetlerinde iyileştirmeler sağlanması hedeflenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Ülkemizde seraların ısı kaybı hesabı için belirlenmiş bir hesap standardı bulunmamaktadır. Literatürde, seraların ısıtma ihtiyacının belirlenmesi için birçok farklı yöntem yer almaktadır (Anonim 2003, Anonim 2014 a). Ancak, belli bir seranın ısı kaybı hesabı için farklı yöntemlerde önerilen hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler büyük farklılık gösterebilmektedir. Buna göre, mevcut bir seranın ısı kaybı değeri hesaplanırken, seranın kuruluşu, yapı elemanlarının özelliği ve işletme koşullarını detaylı bir şekilde hesaplamaya dâhil eden bir hesaplama yönteminin belirlenmesi ısı kaybı hesabının doğruluğu açısından büyük önem arz etmektedir. Sera için seçilecek ısıtıcı ekipman tasarımının ısı kaybı hesabına göre yapılacağı düşünüldüğünde, seranın ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesinde ve seradan sağlanacak faydanın artırılması noktasında ısı kaybı hesabının rolü büyüktür. Bu çalışmada; örnek sera için ısı kaybı hesaplamaları yapılırken, Amerikan Ziraat Mühendisleri Derneği (American Society of Agricultural Engineers - ASAE) Seraların Isıtılması, Soğutulması ve Havalandırılması Standardı ANSI - ASAE EP 406.4 (Anonim, 2003) tercih edilmiştir.

ANSI - ASAE EP 406.4 standardına göre bir serada oluşan toplam ısı kaybı değeri (Q_T), seradan ışınım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri (Q_{rc}) ile infiltrasyon sonucu gerçekleşen ısı transferi değerinin (Q_i) toplamına eşittir.

$$Q_T = Q_{rc} + Q_i \quad (1)$$

Işınım, taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı transferi değeri Q_{rc} aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanır.

$$Q_{rc} = U \times A_c \times (t_i - t_o) \quad (2)$$

Denklemleri oluşturan parametreler şu şekildedir;

$$U = \text{Toplam ısı transfer katsayısı [W/m}^2\text{°C]}$$

$$A_c = \text{Sera örtüsünün toplam yüzey alanı [m}^2\text{]}$$

$$t_i = \text{Sera iç ortam tasarım sıcaklığı [°C]}$$

$$t_o = \text{Dış ortam tasarım sıcaklığı [°C]}$$

Sera için toplam ısı transfer katsayısının (U) belirlenmesinde, kaplama yöntemi ve malzemesine göre toplam ısı transfer katsayısı Çizelge 1. kullanılır. Bu çalışmada, örnek sera tasarımı için çift kat polietilen film sera örtüsü kullanılmış ve $U = 4 \text{ W/m}^2\text{°C}$ olarak belirlenmiştir.

t_i [°C] sera iç ortam tasarım sıcaklığıdır ve sera içerisinde yetiştirilen bitkinin ısı gereksinimlerine göre belirlenir. Örtü altı yetiştiriciliğinde farklı bitkiler için ihtiyaç duyulan sera içi tasarım sıcaklık değerleri literatürde yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenecek örnek serada, Diyarbakır yöresinde ağırlıklı olarak yetiştirilen ürünlerin yetiştirilmesi öngörülmüş ve buna bağlı olarak sera için iç ortam tasarım sıcaklığı 15 °C ve iç ortam bağıl nem değeri 0,7 olarak belirlenmiştir (Pastakkaya, 2014).

Çizelge 1. Sera kaplama yöntemi ve malzemesine göre toplam ısı transfer katsayısı (U) yaklaşık değeri (Anonim, 2003)

Sera Kaplama Malzemesi	Toplam ısı transfer katsayısı değeri U [W/m ² °C]
Tek kat cam, sızdırmaz contalı	6,2
Tek kat cam, düşük emisiviteli	5,4
Çift kat cam, sızdırmaz contalı	3,7
Tek kat plastik	6,2
Tek kat polikarbonat, kıvrımlı-dalgalı	6,2 – 6,8
Tek kat fiberglas, kıvrımlı-dalgalı	5,7
Çift kat polietilen	4,0
Çift kat polietilen, IR katkılı	2,8
Rijit akrilik, çift cidarlı	3,2
Rijit polikarbonat, çift cidarlı ¹⁾	3,2 – 3,6
Rijit akrilik, W/polistren pelet ²⁾	0,57
Cam üstü çift katlı polietilen	2,8
Tek kat cam ve şilte tipi ısı izolasyonu ³⁾	4,0
Çift kat polietilen ve şilte tipi ısı izolasyonu ³⁾	2,5

¹⁾ Cidarlar arasındaki boşluk mesafesine bağlıdır.
²⁾ Polistren pelet ile doldurulmuş 32 mm rijit akrilik paneller
³⁾ Sadece şiltenin kapalı ve iyi yalıtımlı olması durumunda

t_o [°C] dış ortam tasarım sıcaklığı olup, seranın kurulacağı il için en soğuk ayın ortalama en düşük dış sıcaklık değeri olarak alınabilir (Müller, 1996). ASHRAE tarafından bildirildiğine göre (Anonim, 2009) Diyarbakır ili için en soğuk ay Ocak ayı olup, ortalama sıcaklık değeri -9 °C'dir ve çalışma kapsamında yapılan dış ortam tasarım sıcaklığı değeri -9 °C olarak belirlenmiştir.

Q_i serada infiltrasyon sonucu gerçekleşen ısı transferi değeri olmak üzere (3) denklemi ile hesaplanabilir.

$$Q_i = \rho_i \times N \times V \times [c_{pi} \times (t_i - t_o) + h_{fg} \times (W_i - W_o)] \quad (3)$$

Denklemi oluşturan parametreler şu şekildedir;

$$\rho_i = \text{Sera havasının } t_i \text{ sıcaklığındaki yoğunluğu [kg/m}^3\text{]}$$

$$N = \text{İnfiltrasyon oranı [1/s]}$$

$$V = \text{Sera hacmi [m}^3\text{]}$$

$$c_{pi} = \text{İç ortam havasının } t_i \text{ sıcaklığındaki özgül ısısı [J/kgK]}$$

$$t_i = \text{Sera iç ortam tasarım sıcaklığı [°C]}$$

$$t_o = \text{Dış ortam tasarım sıcaklığı [°C]}$$

$$h_{fg} = t_i \text{ sıcaklığında suyun buharlaşma entalpisi (buharlaşma gizli ısısı) [J/kg]}$$

$W_i = \text{İç ortam havasının özgül nemi [kg}_{su} / \text{kg}_{hava}]$

$W_o = \text{Dış ortam havasının özgül nemi [kg}_{su} / \text{kg}_{hava}]$

Denklemden yer alan N parametresi infiltrasyon oranı olup Çizelge 2. aracılığı ile hesaplanabilir (Anonim, 2003). Çalışmada, Diyarbakır ilinde yer alan örnek sera için infiltrasyon oranı, mevcut çalışma koşullarına göre ortalama bir değer olarak $3,1 \times 10^{-4}$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 2. Sera tipi ve konstrüksiyonuna göre infiltrasyon oranı değerleri (Anonim, 2003)

Sera Tipi ve Konstrüksiyon Özelliği	İnfiltrasyon oranı $N^{(1)}$ [1/s]
<i>Yeni yapı</i>	
Çift kat plastik film	$2,1 \times 10^{-4} - 4,1 \times 10^{-4}$
Cam veya Fiberglas	$1,4 \times 10^{-4} - 2,8 \times 10^{-4}$
<i>Eski Yapı</i>	
Cam, iyi bakımlı	$2,8 \times 10^{-4} - 5,6 \times 10^{-4}$
Cam, zayıf bakımlı	$5,6 \times 10^{-4} - 11,1 \times 10^{-4}$
1) İç hava hacmi değişiminin birim zamana oranıdır. Yüksek rüzgâr hızlarında ya da direkt rüzgâra maruz kalınmasında infiltrasyon oranını artacak, düşük rüzgâr hızlarında ve rüzgâra karşı korunaklı durumlarda infiltrasyon oranını azalacaktır.	

h_{fg} , t_i sıcaklığında suyun buharlaşma entalpisi (buharlaşma gizli ısısı) olup, aynı sıcaklıktaki suyun ve buharın entalpi değerleri farkından ya da direkt olarak tablo değerlerinden elde edilebilir (Çengel ve Boles, 1996)

$$h_{fg} = h_b - h_s \quad (4)$$

W_i , iç ortam havasının özgül nem değeri; iç ortam bağıl nemi (φ_i), t_i sıcaklığında suyun buharlaşma basıncı (P_{dT_i}) ve iç ortam hava basıncına (P_i) bağlı olmak üzere (5) denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_i = 0,622 \times (\varphi_i \times P_{dT_i}) / (P_i - \varphi_i \times P_{dT_i}) \quad (5)$$

W_o , dış ortam havasının özgül nem değeri; dış ortam bağıl nemi (φ_o), t_o sıcaklığında suyun buharlaşma basıncı (P_{dT_o}) ve dış ortam hava basıncına (P_d) (açık hava basıncı) bağlı olmak üzere (6) denklemi ile hesaplanabilir.

$$W_o = 0,622 \times (\varphi_o \times P_{dT_o}) / (P_o - \varphi_o \times P_{dT_o}) \quad (6)$$

Çalışmada, Diyarbakır ilinde kurulu mevcut seraların işletme şartları göz önünde bulundurularak iç ortam bağıl nemi (φ_i) 0,7 olarak ve dış ortam bağıl nemi değeri (φ_o), Diyarbakır ilinde Ocak ayı dış ortam bağıl nemi ölçüm değerlerinin beş yıllık ortalaması alınarak 0,8 olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2014 b. , Anonim 2014 c.). Diyarbakır ili için dış ortam açık hava basıncı değeri 93,45 kPa olarak tespit edilmiş (Anonim, 2009) ve sera iç ortam hava basıncı bu değere eşit alınmıştır.

Seralarda ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yakıt tüketimi/enerji sarfiyatı değerlerinin belirlenebilmesi için, serada ısıtma ihtiyacı görülen ayların tespit edilmesi gereklidir. ASHRAE tarafından bildirilen Diyarbakır ili aylık iklimsel tasarım değerlerine göre (Anonim 2009) Diyarbakır ilinde yer alan seralar için Kasım – Nisan ayları arasında ısıtma

ihtiyacı söz konusudur. Zabeltitz (2010) tarafından bildirildiğine göre, seraların ısıtılması için gereken aylık enerji ihtiyacının ve yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesinde Hallaire (1950) tarafından önerilen hesaplama metodu kullanılabilir. f_d ve f_n , gün uzunluğu d_1 'ye bağlı katsayılar olup Çizelge 3.'de verilmektedir.

Çizelge 3. Gün uzunluğuna bağlı katsayılar (Hallaire, 1950)

d_1	$\Sigma \phi_v$	$\Sigma \phi_v / (24 - \delta_n)$	$\Sigma \phi_s$	$\Sigma \phi_s / \delta_n$
7	8,21	0,48	4,25	0,61
9	6	0,4	5,67	0,63
11	4,5	0,375	6,99	0,635
13	3,45	0,31	8,1	0,623
15	2,51	0,28	9,29	0,62
17	1,58	0,23	10,96	0,644

Hallaire (1950) tarafından bildirildiğine göre t_{mmax} ortalama maksimum dış ortam sıcaklığı, t_{mmin} ortalama minimum dış ortam sıcaklığı, t_{mind} ortalama minimum gündüz sıcaklığı olmak üzere;

Ortalama gündüz saatlik sıcaklık değeri t_h ;

$$t_h = t_{mind} + f_d \times A \quad (7)$$

Ortalama gece sıcaklık değeri t_{mn} ;

$$t_{mn} = t_{mind} + A \times (\Sigma f_n / (24 - d_1)) \quad (8)$$

Ortalama gündüz sıcaklık değeri t_{md} ;

$$t_{md} = t_{mind} + A \times (\Sigma f_d / d_1) \quad (9)$$

A, ortalama maksimum ve minimum gündüz sıcaklığının farkını ifade etmektedir ve denklem (10) ile hesaplanır.

$$A = t_{maxd} - t_{mind} \quad (10)$$

Pastakkaya (2014) tarafından yapılan çalışmada, Diyarbakır ili için t_{mmax} ortalama maksimum dış ortam sıcaklığı, t_{mmin} ortalama minimum dış ortam sıcaklığı değerlerini içeren meteorolojik veriler, ortalama maksimum ve minimum gündüz sıcaklık değerleri tablo halinde sunulmuştur.

Isıtma uygulamasının ılıman, subtropik ve kurak bölgelerde gerçekleştirileceği ve çoğunlukla gece saatlerinde uygulanacağı kabulü ile ısıtma için gereken aylık toplam enerji miktarı denklem (11) ile hesaplanabilir.

$$Q_{(ay)} = U \times (A_c / A_g) \times (t_{id} - t_{st} - t_{mn}) \times n_n \times n_d \quad [Wh / m^2 ay] \quad (11)$$

U = Toplam ısı transfer katsayısı [W/m²K]

A_c / A_g = Sera örtüsü yüzey alanı / Sera taban alanı oranı [-]

t_{id} = Sera iç ortam tasarım sıcaklığı [°C]

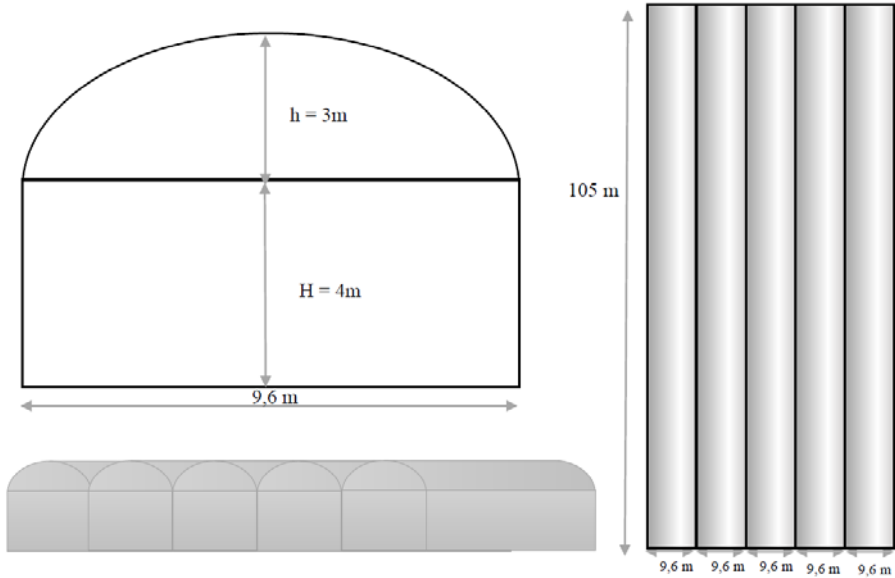
t_{mn} = Ortalama gece sıcaklık değeri [°C]

t_{st} = Gündüz toprağa depolanan ısı ile gece sıcaklık artışı ortalama değeri [°C]

n_n = Gece saatleri sayısı [-]

n_d = Ay içerisinde ısıtma yapılan gün sayısı [-]

Zabeltitz (2010) tarafından bildirildiğine göre, gündüz toprağa depolanan ısı nedeni ile gece oluşan sıcaklık artışı ortalama değeri t_{st} , 1 – 2 °C olarak alınabilir. n_n , hesaplama yapılan aydaki gece saatlerinin aylık ortalama değeridir. Bu değer, aylık ortalama gün uzunluğunun toplam gün uzunluğundan çıkarılması ile elde edilebilir. Pastakkaya (2014) tarafından yapılan çalışmada Diyarbakır ili için tüm bir yıl boyunca gün uzunluğu değerleri hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda aylık ortalama gün ve gece uzunluğu değerleri tablo halinde sunulmuştur. n_d ısıtma sezonunda bir ay içerisinde ısıtma yapılan gün sayısıdır. Bu çalışmada ısıtma sezonunda yer alan ayların tüm günlerinde ısıtma yapıldığı ön görülmüştür ve n_d değeri ısıtma yapılan aydaki gün sayısına eşit alınmıştır.



Şekil 1. Örnek sera tasarımının boyutları ve şematik görünümü

Çalışma kapsamında, 4+3 m yüksekliğinde ve toplam 5000 m² taban alanına sahip tünel tip seranın ısıl özellikleri incelenmiştir (Şekil 1.). Serada ısıtma sistemi olarak kömür yakıtlı kazan ve toprak/su kaynaklı ısı pompası sistemi kullanımı öngörülmüştür. Diyarbakır bölgesinde kurulu seraların ısıtılmasında ithal kömür kullanıldığından, hesaplamalarda kömürün alt ısı değeri yaklaşık 6,98 kWh/ kg (6000 kcal/kg) (Anonim 2014 d) olarak belirlenmiştir. Pastakkaya (2014) tarafından bildirildiğine göre Diyarbakır ilindeki farklı seralarda kömür maliyetleri 300 – 365 \$/ton arasında değerler almaktadır, bu nedenle örnek sera tasarımı için ortalama kömür maliyeti 320 \$/ton olarak belirlenmiştir. Kömür yakıtlı kazan için verim değeri % 75 olarak tespit edilmiştir (Anonim, 2008) Döviz kurunda hesaplamaların yapıldığı tarih baz alınmıştır (Anonim 2014 e.). Buna göre örnek sera için kömür sarfiyatı ve yakıt maliyeti değerleri şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Aylık Kömür Sarfiyatı} = \text{Aylık Enerji İhtiyacı} / (\text{Kömür Alt Isı Değeri} \times \text{Kazan Verimi}) \quad (12)$$

$$\text{Aylık Kömür Maliyeti} = \text{Aylık Kömür Sarfıyatı} \times \text{Yakıt Birim Fiyatı} \times \text{Döviz Kuru} \quad (13)$$

Isıtma ihtiyacının toprak/su kaynaklı ısı pompası ile karşılanması durumunda, COP ısı pompası sisteminin ısıtma tesir katsayısı olmak üzere, elektrik sarfıyatı ve enerji (elektrik) maliyeti (14) ve (15) denklemleri ile belirlenir.

$$\text{Aylık Elektrik Sarfıyatı} = \text{Aylık Enerji İhtiyacı} / \text{COP} \quad (14)$$

$$\text{Aylık Elektrik Maliyeti} = \text{Aylık Elektrik Sarfıyatı} \times \text{Elektrik Birim Fiyatı} \quad (15)$$

Pastakkaya (2014) tarafından bildirildiğine göre Diyarbakır yöresinin özelliklerine bağlı olarak sera ısıtma amaçlı uygulanacak toprak/su kaynaklı ısı pompası sistemi için COP değeri 6, günlük 8 saatlik ısıtma periyodu boyunca ortalama elektrik birim fiyatı 0,26 kr/kWh olarak alınabilir.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışma kapsamında incelenen örnek seranın taşınım ve iletim ile gerçekleşen ısı kaybı Q_{rc} denklem (2) aracılığı ile hesaplanabilir. Örnek sera tasarımının toplam yüzey alanı 7828 m² ve toplam hacmi 32 040 m³ olmak üzere Q_{rc} :

$$Q_{rc} = 4 \times 7828 \times (15 - (-9))$$

$$Q_{rc} = 751\,488 \text{ W} \rightarrow Q_{rc} = 751,488 \text{ kW olarak bulunur.}$$

Q_i , serada infiltrasyon sonucu gerçekleşen ısı transferi değeri olmak üzere denklem (3) aracılığı ile şu şekilde hesaplanır;

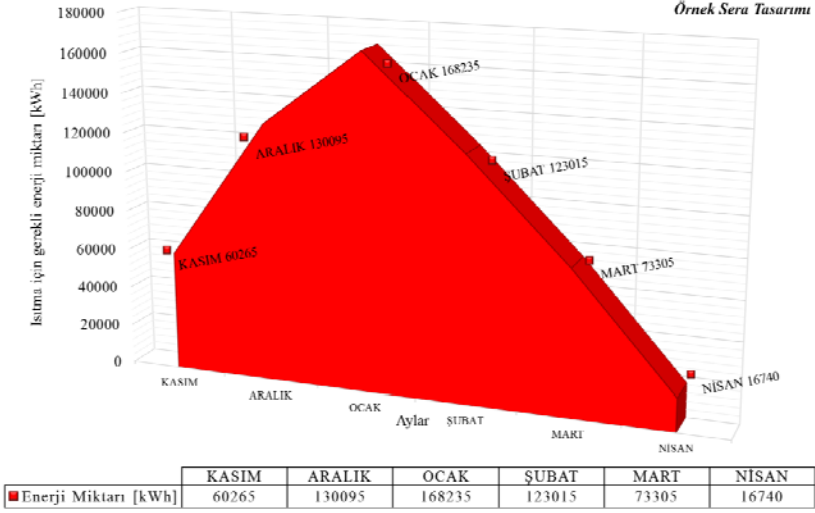
$$Q_i = 1,225 \times 1,4 \times 10^{-4} \times 32040 \times [1000,5 \times (15 - (-9)) + 2466110 \times (0,00806 - 0,00153)]$$

$$Q_i = 220,430 \text{ kW}$$

Buna göre seranın toplam ısı kaybı değeri denklem (1) aracılığı ile bulunur.

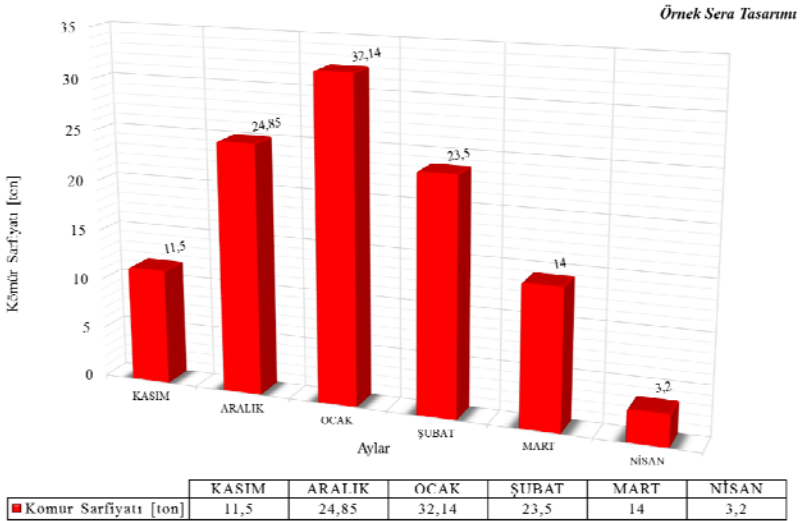
$$Q_T = Q_{rc} + Q_i = 751,488 \text{ kW} + 220,430 \text{ kW} = 971,918 \text{ kW}$$

Örnek sera tasarımı için ısıtma uygulamasında aylara bağlı ısıtma enerjisi ihtiyacı (11) denklemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin grafiksel görünümü Şekil 2.'de yer almaktadır. Buna göre seranın ısıtılması için gereken yıllık toplam enerji miktarı 571 655 kWh olarak tespit edilmiştir.

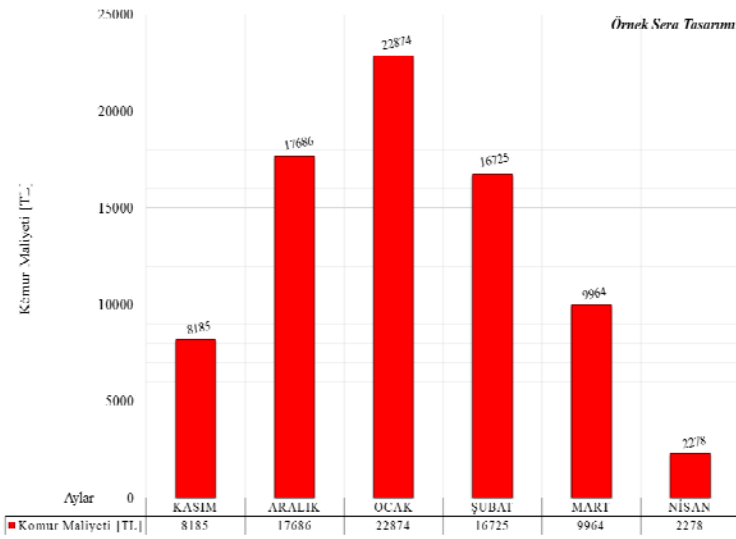


Şekil 2. Örnek sera tasarımı için aylık ısıtma enerjisi ihtiyacının değişimi

Örnek seranın kömür ile çalışan katı yakıtlı kazan ile ısıtılması durumunda, aylık kömür sarfiyatı ve yakıt maliyeti değerleri sırasıyla denklem (12) ve denklem (13) aracılığı ile hesaplanarak, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Buna göre seranın yıllık toplam kömür sarfiyatı 109,2 ton, yıllık toplam kömür maliyeti 77 719 TL olarak belirlenmiştir.

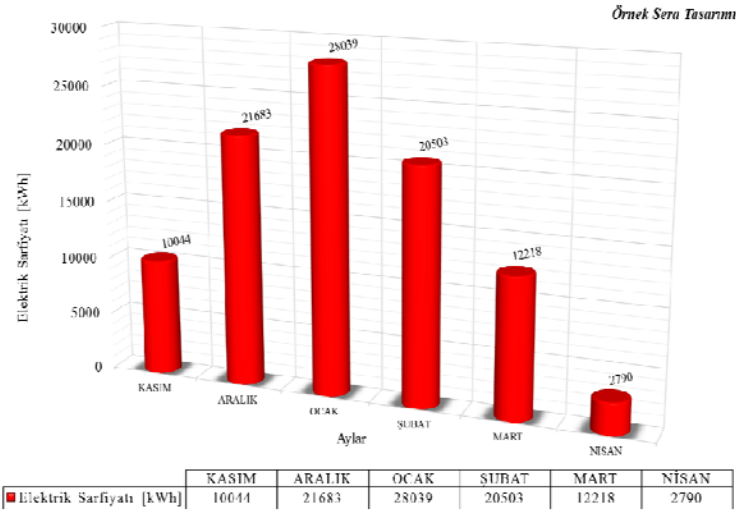


Şekil 3. Örnek sera tasarımı için yaklaşık kömür sarfiyat değerleri

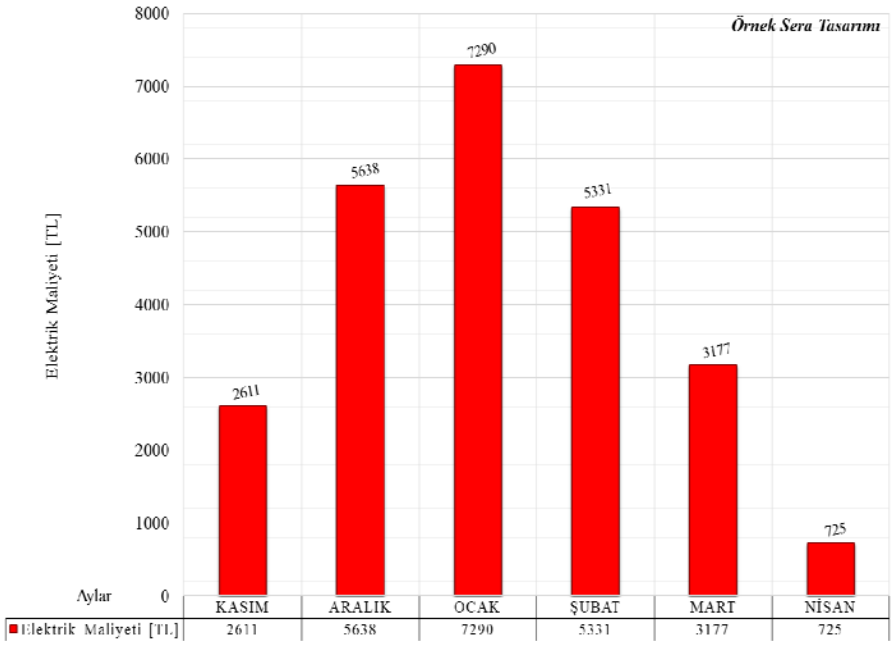


Şekil 4. Örnek sera tasarımı için yaklaşık kömür maliyetleri

Örnek sera tasarımının ısı ihtiyacının toprak/su kaynaklı ısı pompası ile karşılanmasında aylık elektrik sarfiyatı ve enerji (elektrik) maliyeti sırasıyla denklem (12) ve denklem (13) aracılığı ile hesaplanarak Şekil 5 ve Şekil 6’da sunulmuştur. Buna göre seranın yıllık toplam elektrik sarfiyatı 95 276 kWh, yıllık toplam elektrik maliyeti 24 772 TL olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Örnek sera tasarımı için yaklaşık elektrik sarfiyat değerleri



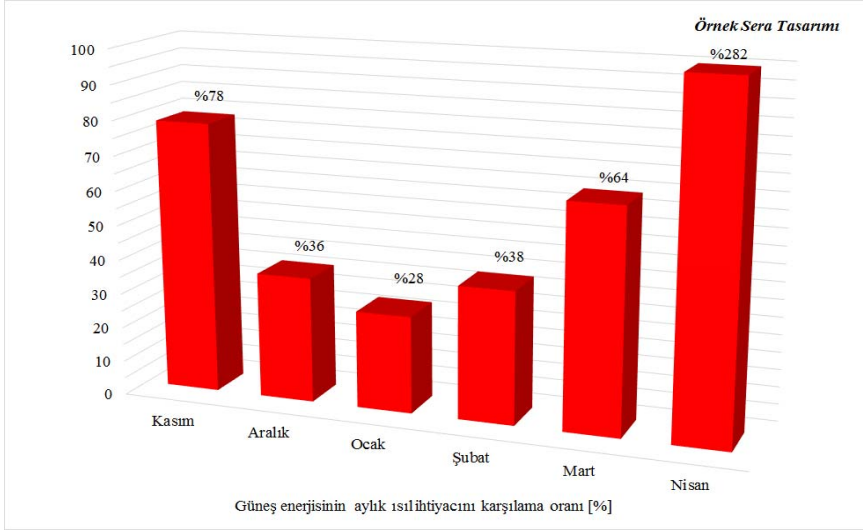
Şekil 6. Örnek sera tasarımı için yaklaşık elektrik maliyetleri

Hesaplamalar sonucunda, örnek sera tasarımının ısıtma ihtiyacının elektrik enerjisi ile karşılanması durumunda, ısıtma ihtiyacının kömür ile karşılanması durumuna göre yıllık toplam 52 947 TL tasarruf sağlandığı, ısı pompası sisteminin kömür yakıtlı kazan sistemine göre işletme maliyetlerinde yaklaşık % 68 daha tasarruflu olduğu görülmüştür.

Diyarbakır ili güneşlenme potansiyeli, ülkemizdeki birçok bölgeye ve ile göre daha yüksektir. Diyarbakır ilinde, güneye bakacak şekilde yerleştirilmiş ve eğimi bulunduğu yerin enlemine eşit olan bir yüzeyin yıllık ortalama güneşlenme miktarı 5,63 kWh/m²gün olarak hesaplanmıştır (Anonim 2010). Güneş kolektör sistemi tasarımında güneş enerjisinden optimum şekilde yararlanmak için, verim değeri kabul edilebilir seviyelerde olan en ekonomik sistem ekipmanlarını seçmek en doğru tercih olacaktır. Yapılacak hesaplamalara esas teşkil eden tasarımda, düz tip kolektörlerden oluşmuş bir güneş kolektör sisteminde, ısı kayıpları da göz önüne alınarak ortalama kolektör verimi yaklaşık 0,5 olarak kabul edilebilir (Pastakkaya, 2014). Örnek sera tasarımının toplam ısı enerji ihtiyacının %25'inin güneş enerjisi ile karşılanması durumunda gereken enerji miktarı 142 914 kWh'tir. Diyarbakır ili için 1 m² kolektör ile güneş enerjisinden elde edilebilecek aylık enerji miktarları Pastakkaya (2014) tarafından hesaplanmış ve yıllık toplam enerji miktarı 392 kWh olarak belirtilmiştir. Buna göre örnek sera tasarımı için toplam ısı enerji ihtiyacının %25' inin güneş enerjisi ile karşılanması durumunda güneş enerjisinin aylık ısı ihtiyacı karşılama oranları Şekil 7'de sunulmuştur.

Yapılan hesaplamalara göre toprak/su kaynaklı ısı pompası sisteminin, kömür yakıtlı kazan sistemine göre yıllık toplam işletim maliyetleri açısından çok daha avantajlı olduğu

sonucuna varılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma-soğutma sistemlerinin en önemli dezavantajı, sistemin ilk yatırım maliyetinin günümüz şartlarında alternatiflerine göre yüksek olmasıdır (Pastakkaya 2012). Bu nedenle toprak/su kaynaklı ısı pompası sistemi kurulum maliyetleri açısından kömür yakıtlı kazan sistemine göre oldukça pahalıdır. Ancak, işletim maliyetlerinde sağlanacak tasarruflar nedeni ile bu fark kısa sürede kapanacak ve ısı pompası sistemi kabul edilebilir bir süre içerisinde kendini amorti ederek, kullanıcıya ekonomik açıdan önemli faydalar sağlayacaktır.



Şekil 7. Örnek sera tasarımı için güneş enerjisinin aylık ısı ihtiyacı karşılama oranları

Isı pompası sistemlerinde kullanılan enerji kaynağı elektrik enerjisidir ve diğer ısıtma sistemlerine göre elektrik enerjisini en yüksek verimle kullanan sistemler ısı pompalarıdır (Pastakkaya, 2005). Elektrik enerjisi, ülkemizde yerli üretimle sağlanan en önemli enerji kaynağıdır. Diyarbakır ilinde yer alan mevcut seralarda kullanılan yakıt ithaldir. Enerjide dışa bağımlılığın ve ekonomide enerji ithalatına bağlı cari açığın ülke ekonomisine etkileri düşünüldüğünde, enerji kaynağı olarak yerli üretim elektrik enerjisinin kullanımının önemi ortadadır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları ilk yatırım masrafları açısından hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinden %33 daha pahalı olsalar da, yıllık yaklaşık %33 oranında daha az enerji tüketirler (Hepbaşlı ve Ertöz, 1999) Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde, ilk yatırım maliyetleri her ne kadar önemli olsa da, toplam maliyetin düşürülmesi açısından ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından bir denge kurulmalıdır (Pastakkaya, 2005). Diyarbakır ilinde yer alan seralarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada (Anonim, 2014 f.) enerji yönünden optimize edilmiş, fotovoltaik ünite destekli toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin amortisman süresinin 9,5 ila 4,7 yıl arasında değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada

sunulan ölçüm sonuçlarının, bu çalışmada gerçekleştirilen hesaplamalar dâhilinde elde edilen sonuçları doğrular nitelikte olduğu görülmektedir.

Seraların ısıtılmasında güneş enerjili aktif sistemler veya fotovoltaik sistemlerin kullanımı ile işletim maliyetleri açısından önemli tasarruflar elde edilmesi mümkündür. Ayrıca, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi fotovoltaik sistemler aracılığı ile karşılanması, hava kirliliği ve CO₂ salınımına bağlı küresel ısınma gibi enerji kullanımına bağlı çevresel sorunların çözümünde büyük faydalar sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Anonim 2003. ASAE Amerikan Ziraat Mühendisleri Derneği (American Society of Agricultural Engineers - ASAE) Seraların Isıtılması, Soğutulması ve Havalandırılması Standardı ANSI - ASAE EP 406.4, USA.
- Anonim 2008. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, ErişimTarihi:01.12.2014.<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/200812059.htm>
- Anonim 2009. ASHRAE American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Hand Book, ASHRAE Inc., USA.
- Anonim 2010. NREL 2010. National Renewable Energy Laboratory Geospatial Tool Kit – Turkey.
- Anonim 2014 a. NSW New South Wales Government Department of Primary Industries – Agriculture Greenhouse Horticulture, Heating Greenhouses, Australia. Erişim Tarihi: 01.12.2014.<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/greenhouse/structures/heating>
- Anonim 2014 b. Weatheronline- Diyarbakır ili ölçüm değerleri. Erişim Tarihi: 01.12.2014. <http://www.havaturkiye.com/Turkiye/Diyarbakir.htm>.
- Anonim 2014 c. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2014. İllere ait meteorolojik veriler – Diyarbakır. Erişim Tarihi: 01.12.2014. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DIYARBAKIR#sfB>
- Anonim 2014 d. İZGAZ Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzgaz yakıt verileri, Erişim Tarihi: 01.12.2014. <https://www.izgaz-gdfsuez.com/Icerik.aspx?cat=42&id=270#>
- Anonim 2014 e. TC Merkez Bankası Döviz Kurları, Erişim Tarihi: 01.12.2014 <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TCMB+TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Doviz+Kurlari/Gosterge+Niteligindeki+Merkez+Bankasi+Kurlari>
- Anonim 2014 f. Enerji Simülasyonu Tekniği ile Diyarbakır İli Seralarında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Belirlenmesi, T.C. Kalkınma Bakanlığı Karacadağ Kalkınma Ajansı 14 DFD 25 No’lu Projesi Sonuç Raporu.
- Çengel Y. ve M. Boles, 1996. Mühendislik Yaklaşımı ile Termodinamik, McGraw Hill-Literatür İstanbul.
- Esen M., T. Yuksel, 2013. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse, Energy and Buildings 65 (2013) 340–351.
- Hallaire M., 1950. Les températures moyennes nocturnes, diurnes et nycthe’me’rales exprime’es en fonction du minimum et du maximum journaliers de température. C R Acad Sci 331:1533–1535.
- Hepbaşlı A., Ersöz Ö, 1999. Geleceğin Teknolojisi: Yer Kaynaklı Isı Pompaları. TMMOB Makina Mühendisleri Odası IV. Tesisat Kongresi Bildirileri Kitabı, Cilt I., İzmir. s. 445-492

- Kıyan M., E. Bingöl, M. Melikoğlu, A. Albostan, 2013. Modelling and simulation of a hybrid solar heating system for greenhouse applications using Matlab/Simulink, *Energy Conversion and Management* 72, 147–155.
- Müller MJ., 1996. Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier, Mertesdorf, Germany.
- Özgener Ö., A. Hepbaşlı. 2005. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system, *Energy and Buildings* 37, 101–110.
- Pastakkaya B., 2005. Yatay Tip Isı Değiştiricili Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 114 s., Bursa.
- Pastakkaya, B., 2012. Bir konutun ısıtılması ve soğutulmasında güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu sistemlerin kullanımı, U.Ü. Fen Bil. En. Doktora Tezi, 198 s.
- Pastakkaya, B. 2014. Diyarbakır İlinde Yer Alan Seraların Isıl Sistem Analizi, GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi (GAPUTEAM) Araştırma Raporu, 243 s., Bursa.
- Zabeltitz C., 2010. *Integrated Green Houses for Mild Climate*, Springer, 374 p., Germany.