

KIRIKKALE İLİNDE BULUNAN OLİMPİK YÜZME HAVUZUNDA SU ISITMA İÇİN TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI KULLANIMI

Battal Doğan*

Kırıkkale Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Kırıkkale
bttldgn@gmail.com

Cemre Yalçınkaya

Kırıkkale Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Kırıkkale
cemreyalcinkaya@gmail.com

Mehmet Gökberk Balcı

Kırıkkale Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü,
Kırıkkale
mehmetgokberkbalcı@gmail.com

ÖZ

Olimpik havuz tesisatlarında ısıtma için genellikle kömür, doğalgaz ve elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Günümüzde bu enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, olimpik havuzlarda havuz suyunun ısıtılmasında alternatif yöntem olarak toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir. Hesapların uygulamaya yönelik olması açısından Kırıkkale ilinde yer alan olimpik havuzun mimari bilgileri kullanılmıştır. Olimpik havuzun ısı ihtiyaçlarının belirlenmesinde; radyasyon, iletim, buharlaşma ve taşınım yollarıyla gerçekleşen ısı kayıpları göz önüne alınmıştır. Isı kayıplarını doğalgazlı kazan ve toprak kaynaklı ısı pompası birlikte karşılayacak şekilde havuzun ısıtma tesisatı tasarımı yapılmıştır. Havuzun mevcut ısıtma sistemi doğalgazlı kazanlarla yapılmaktadır. Bu çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası destekli sistem ile mevcut sistemin ilk yatırım ve işletmenlik maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havuz tasarımı, ısıtma, toprak kaynaklı ısı pompası, doğalgaz, ekonomik analiz

THE OLYMPIC SWIMMING POOL IN KIRIKKALE FOR WATER HEATING USE GROUND SOURCE HEAT PUMP

ABSTRACT

Olympic pool heating systems normally use coal, natural gas or electricity. However these days such energy sources are giving way to other alternative management systems. In this study, while considering pool design the benefits of using a heat pump system has been evaluated. The proposed heat pump heating needs are determined by; radiation, conduction and evaporation actual heat loss in the pipes. Such a heat pump system used with a sporting natural gas power has been calculated. An example of this application is found in the Kırıkkale province, which was compared to traditional heating methods, it was calculated heat the initial investment cost and upkeep between the systems favored by heat pumps.

Keywords: Pool design, heating, ground source heat pumps, natural gas, economic analysis

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 28.06.2016

Kabul tarihi : 17.10.2016

Doğan, B., Yalçınkaya, C., Balcı, M. G. 2016. "Kırıkkale İlinde Bulunan Olimpik Yüzme Havuzunda Su Isıtma İçin Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanımı," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 681, s. 38-48.

1. GİRİŞ

Teknolojik olarak gelişen dünyada enerji temini bütün toplumlar için büyük sorunlar oluşturmaktadır. Mühendislik çalışmalarıyla birlikte ilerleyen teknoloji, bu sorunların üstesinden gelmek için farklı enerji kaynakları ortaya koymaktadır. Yapılmış olan çalışmalarda alternatif yöntem olarak doğa dostu olan güneş enerjisi sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir [1].

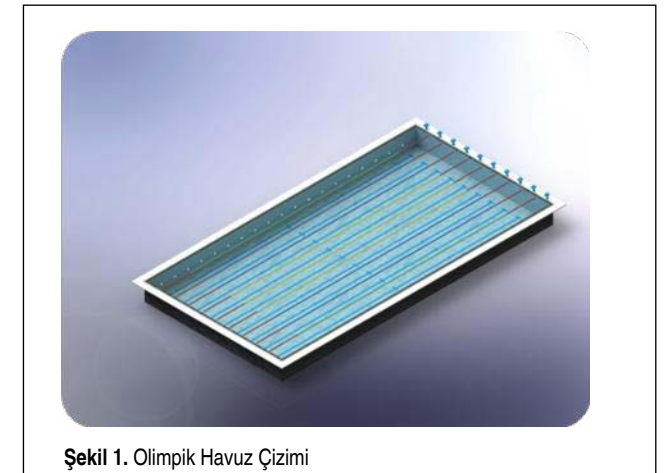
Güneş enerjisinin yayılma ve kararsız yapısı nedeniyle, doğrudan tutulması pahalı ve güçtür [2]. Bugün tüketilen enerji kaynaklarının başında fosil yakıtlar gelmektedir. Yeterli enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkemizde, yalıtım bilinci de yeterince gelişmediğinden, ithal edilen enerjinin çok büyük bir kısmı ısıtma-soğutma ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır [3]. Fosil yakıtlar bir taraftan tükenme eğilimine girmiş, diğer taraftan da çevre kirliliğinin baş aktörü durumuna gelmiştir. Bu nedenle, alternatif enerji kaynakları arayışı başlamış; bunlar güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji çeşitleridir. Son yıllarda kararlı bir enerji kaynağıyla çalışma göz önüne alındığında ise toprak; ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalarak, tüm yıl boyunca yaklaşık olarak sabit sıcaklıktadır ve bu özelliğiyle daha çok tercih edilen bir doğal kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır [4-5].

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulama alanlarından olan, kapalı yüzme havuzlarının ısıtılması amaçlanmaktadır. Ülkemizde yıl içerisinde sürekli olarak kullanılan birçok kapalı havuz bulunmakta ve bu havuzların ısıtılmasında yüksek miktarda enerji harcanmaktadır. Çalışmada, havuz suyu ısı ihtiyacını karşılamak amacıyla gerekli fizibilite çalışmaları yapılarak, toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir. Doğalgazla ısıtmaya ek olarak, yaygın kullanılan bir sistem olan güneş enerjisi ile ısıtma sistemine göre toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kullanımının avantajları öne sürülmüştür. Bu bağlamda, sistemler detaylı şekilde incelenerek ısıl, mekanik ve ekonomik avantajları saptanmıştır.

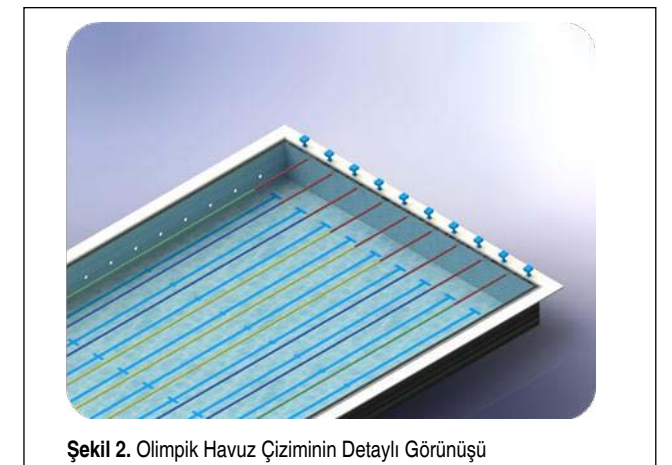
2. KIRIKKALE İLİNDE OLİMPİK HAVUZ TASARIMI

Kırıkkale ilinde tasarlanan olimpik yüzme havuzu TS11899 Standardı'nda belirtilen değerlere uygun olarak yapılmaktadır [6]. Bu standarta göre havuz suyu sıcaklığı 25-28 °C olmalıdır. Havuz su sıcaklığı belli bir seviyede tutulmalı, herhangi bir değişime izin verilmemelidir [7].

Tasarımı yapılan olimpik havuz, Şekil 1 ve Şekil 2'de verildiği gibi 25 x 50 m boyutlarında ve 2 m derinliktedir.



Şekil 1. Olimpik Havuz Çizimi



Şekil 2. Olimpik Havuz Çiziminin Detaylı Görünüşü

2.1. Olimpik Havuz Isı Kayıpları ve Hesaplamaları

Bir olimpik havuzda ısı kayıpları hesapları yapılırken, konveksiyonla duyulur ısı transferi, su yüzeyinden buharlaşmaya bağlı olan gizli ısı kayıpları, havuzun yüzeyi ile çevresi arasında meydana gelen net radyasyon ısı kaybı ve havuzun yan duvarları ile havuzun tabanından toprağa olan konduksiyonla ısı kayıpları dikkate alınmalıdır.

2.1.1 Konveksiyon ile Isı Kayıpları

Konveksiyon ısı kayıpları hava ve havuz suyu sıcaklıkları arasındaki farka bağlıdır. Hava hızının yokluğunda, yani ($v=0$) olduğunda doğal, olmadığı durumlarda ise zorlamalı konveksiyon meydana gelir. Buharlaşma, havanın bağıl nem derecelerine bağlı olarak yoğunluktaki değişim sebebiyle doğal konveksiyon ısı transfer oranını etkiler. Su ve hava sıcaklıkları eşit olduğu zaman, konveksiyon ısı transferi oluşmaz ve sadece havuz suyunun buharlaşmasına bağlı olan gizli ısı kayıpları, havayı donma noktasına getirmeyi sağlamadan (tam doyma olmayacak şekilde) havuz suyundan oda havasına difüzyon meydana getirir. Eşitlik bozulduğu takdirde kayıp ve kazanç yönünde ısı transferi olur [8].

Bu çalışmada, havuz ısı kayıpları belirlenirken, konveksiyonla gerçekleşen ısı kaybı hesaplamalarında istenilen havuz suyu sıcaklığı, istenilen havuz holü hava sıcaklığı, havuz karakteristik uzunluğu, havuz su yüzeyinde ani olarak doymuş hale gelen hava yoğunluğu, oda havası yoğunluğu, kinematik viskozite, holdeki havanın hızı, hava özgül ısı, olimpik havuz yüzey alanı ve ısı iletim katsayısı belirlenmiştir.

Bu değerler doğrultusunda, Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'den ortalama sıcaklık ve ortalama yoğunluk belirlenerek gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra, Eşitlik 3-11 kullanılarak doğal konveksiyon ve zorlanmış konveksiyon durumlarına göre Nusselt değerlerine bağlı olarak taşınım katsayısı hesaplanmıştır. Daha sonra, havuz suyu sıcaklığı ve havuz holü sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı ve havuz yüzey alanıyla birlikte havuzun konveksiyonla olan ısı kayıp miktarı Eşitlik 12'den belirlenmiştir.

Tw (°C)	: İstenilen havuz suyu sıcaklığı
Ta (°C)	: İstenilen havuz holü hava sıcaklığı
L (m)	: Havuz karakteristik uzunluğu
rhs (kg/m ³)	: Havuz su yüzeyinde ani olarak doymuş hale gelen hava yoğunluğu
rh (kg/m ³)	: Oda havası yoğunluğu
u (m ² /s)	: Kinematik viskozite
v (m/s)	: Holdeki havanın hızı
cp (kJ/kgK)	: Hava özgül ısı
Ap (m ²)	: Olimpik havuz yüzey alanı
k (kW/m ² °C)	: Isı iletim katsayısı

$$T_{ort} = \frac{T_w + T_a}{2} [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

$$\rho_{ort} = \frac{\rho_{hs} + \rho_h}{2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (2)$$

$$\text{Gr} = \left[\frac{g(\rho_h - \rho_{hs}) L^3}{\rho_{ort} \nu^2} \right] \quad (3)$$

$$\text{Pr} = \nu \times \rho_{ort} \times \frac{c_p}{k} \quad (4)$$

$$R_e = \nu \times \frac{L}{\nu} \quad (5)$$

Zorlamalı durumda, yani hava hızı sıfırdan farklı (V≠0) ise;

$$(\text{Gr} \times \text{Pr}) > 7 \times 10^{-7} \Rightarrow \text{Nu} = 0,14 \times (\text{Gr} \times \text{Pr})^{1/3} \quad (6)$$

$$10^{-5} \leq (\text{Gr} \times \text{Pr}) \geq 7 \times 10^{-7} \Rightarrow \text{Nu} = 0,54 \times (\text{Gr} \times \text{Pr})^{1/3} \quad (7)$$

$$10^{-5} \leq (\text{Gr} \times \text{Pr}) \geq 7 \times 10^{10} \Rightarrow \text{Nu} = 0,27 \times (\text{Gr} \times \text{Pr})^{1/4} \quad (8)$$

Zorlamalı durumda, yani hava hızı sıfırdan farklı (V≠0) ise;

$$\text{Re} \leq 3 \times 10^5 \Rightarrow \text{Nu} = 0,664 \times \text{Pr}^{1/3} \times \text{Re}^{1/2} \quad (9)$$

$$\text{Re} \geq 3 \times 10^5 \Rightarrow \text{Nu} = 0,037 \times \text{Pr}^{1/3} \times \text{Re}^{4/5} \quad (10)$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times k}{L} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}} \right] \quad (11)$$

$$Q_{konv} = h \times A_p \times (T_w - T_a) [\text{kW}] \quad (12)$$

2.1.2 Buharlaşma ile Isı Kayıpları

Bir su yüzeyinden buharlaşan suyun birim zamandaki miktarı, su yüzeyindeki film katsayısının basıncı ile ortam havası basıncının farkına göre değişir. Buharlaşma miktarı bu fark ile doğru orantılı olarak artar. Yüzme havuzlarındaki buharlaşma miktarında ise ayrıca su yüzeyindeki dalgalanmaların da etkisi vardır [9].

VDI 2089 Normuna Göre Buharlaşma Miktarının Bulunması

$$W = A_p \times \epsilon \times (\rho_s - \rho_h) [g/h] \quad (13)$$

W (g/h): Buharlaşan su miktarı
Ap (m ²): Su yüzeyi
ε(g/h. m ² .m.bar): Toplam buharlaşma sayısı (Tablo 1)
ρ _s (mbar): Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncı
ρ _h (mbar): Hol havasının basıncı

Tablo 1. Kullanım Etkinliğine Göre Buharlaşma Sayısının Belirlenmesi (VDI Norm 2089)

Kullanım Etkinliği	Buharlaşma Sayısı (ε) (g/h.m ² .mbar)
Düşük İşletme (Özel Havuzlar, Otel Havuzları)	13
Orta İşletme (Normal Kullanımlı Havuzlar)	28
Aşırı İşletme (Yapay Dalgalandırılmış Özel Yarışma Havuzları)	35

Tablo 1'de verilen değerler doğrultusunda yapılan hesaplamalarda ε = 35 olarak alınmıştır.

Recknagel'e Göre Buharlaşma Miktarının Bulunması

$$W = \sigma \times (x_s - x_h) \quad (14)$$

w (kg/h. m ²): Buharlaşan su miktarı
σ [kg/h. m ² . (kg/kg)]: Buharlaşma katsayısı (Tablo 2)
x _s (kg/kg kuru hava): Su sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nem
x _h (kg/kg kuru hava): Hol havasındaki mutlak nem
v: Su yüzeyi üzerinde holdeki hava hızı

$$\sigma = 25 + 19 \cdot v \quad (15)$$

Tablo 2. Havuz Tipine Göre σ Değerleri

	Kapalı Havuz	Açık Havuz (Korumalı)	Açık Havuz (Yarı Korumalı)	Açık Havuz (Korumasız)
v	0.6	1	2	4
σ	36	44	63	101

Çalışmada, kapalı olimpik yüzme havuzu esas alındığı için buharlaşma katsayısı, σ = 36 olarak kabul edilmiştir. Su yüzeyi üzerinde holdeki hava hızı ise özel havuzlarda v = 0,1-0,3 m/s, genel kullanım havuzlarda ise v = 0,5 m/s alınması tavsiye edilmektedir [10].

Yapılan çalışmalar sonucunda, VDI normundaki değerlerin biraz daha fazla emniyetli tutulduğu görülmüştür. Bundan dolayı, Recknagel'e göre yapılacak hesap gerçeğe daha yakın sonuçlar verecektir [11].

Buharlaşma Etkisi ile Suyun Soğuması

Buharlaşan su çevresinden ısı çeker. Bu ısı geçişi önce suyun kendi bünyesinde oluşur ve ayrılan kısım gerekli ısıyı kalan kütleden alır. Yani, başka yerden ısı almıyorsa kalan küttele soğuma meydana gelir. Havuz tesisatlarında bu soğutma miktarı hesaplanır ve su sıcaklığının aynı değerde korunabilmesi için aynı miktarda ısıtma yapılır. Bu ısı, buharlaşan su ile havaya gizli ısı olarak geçmektedir.

Buharlaşma gizli ısı, 0°C'deki suyun fiziksel özellikleri temel alınarak şöyle hesaplanabilir:

$$r = (r_0 + c_b \times t_s) - (c_b \times t_s) \quad (16)$$

r (kcal/kg): t _s sıcaklığındaki suyun buharlaşma gizli ısı
r ₀ (597 kcal/kg): 0°C sıcaklığındaki suyun buharlaşma gizli ısı
c _b (0,46 kcal/kg°C): Su buharının ortalama ısınma ısı
c _s (1,0 kcal/kg°C): Suyun ısınma ısı
t _s (°C): Buharlaşan suyun sıcaklığı

$$Q_{vap} = \frac{W_{nr}}{860} [\text{kW}] \quad (17)$$

2.1.3 Radyasyonla Isı Kaybı Hesabı

Isı, kapalı oda duvarları ile bir radyasyon değişimi sağlayacak şekilde havuz yüzeyi arasında transfer edilmiştir. Burada dış sıcaklık, iç sıcaklık, camın ısı iletimi, iç ısı, dış ısı, cam kalınlığı, Stefan Boltzman Sabiti, duvardan geçen ısı ve duvar sıcaklığı göz önünde bulundurulmuştur.

$$Q_{duv} = \frac{(T_i - T_h)}{\left[\left(\frac{1}{\alpha_i} \right) + \left(\frac{L_c}{\lambda_c} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_d} \right) \right]} \quad (18)$$

$$T_{duv} = T_i - \frac{Q_{duv}}{\alpha_i} \quad (19)$$

$$Q_{rad} = SB \times 10^{-3} A_p \left[(T_w + 273)^4 - (T_{duv} + 273)^4 \right] [\text{kW}] \quad (20)$$

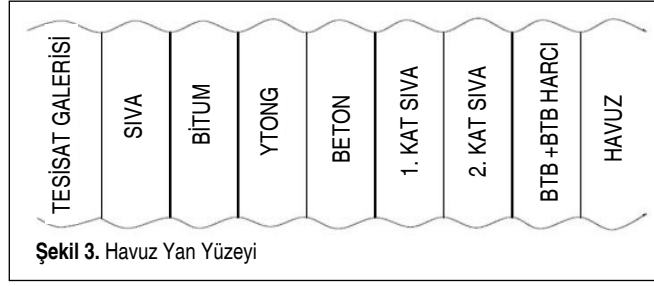
Th (°C): Dış sıcaklık
Ti (°C): İç sıcaklık
λ _c (kcal/mh°C): Camın ısı iletimi
α _i (kcal/m ² h°C): İç ısı
α _d (kcal/m ² h°C): Dış ısı
Lc (m): Cam kalınlığı
SB (W/m ² K ⁴): Stefan Boltzman Sabiti
Q _{duv} (kcal/m ² h): Duvardan geçen ısı
T _{duv} (°C): Duvar sıcaklığı

Kondüksiyon Isı Kaybı Hesabı

Kondüksiyonla olan ısı kaybı ise havuz yan duvarları ve havuz tabanından kaybedilen ısı olarak iki aşamada incelenmiştir.

Havuz Yan Duvarlarından Kaybedilen Isı

Yan duvarların yapımında üç faktör göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3. Havuz Yan Yüzeyi

Bunlar, havuz yan yüzeyinin su basıncına dayanabilmesi, su yalıtımı ve ısı yalıtımını sağlar.

Bundan dolayı, ısı yalıtımı sağlayacak olan malzemeleri tesisat galerisi tarafındaki iç siva ile beton arasına Şekil 3'teki gibi yerleştirmek en iyi çözüm olacaktır.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{\text{galeri}}} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_{\text{havuz}}} \quad (21)$$

Tablo 3. Malzemelerin Isıl Geçirgenlik Değerleri

Malzeme	Isıl Geçirgenliği (kcal/mh°C)	Kalınlık (L) (cm)
Perlit	0,035	10
Ytong	0,035	10
Poliüretan	0,020	5
Cam Yünü	0,034	5
Talaşlı Levha	0,12	1,5
Bitüm	0,15	2
Ruberoit	0,16	2
BTB+BTB Harcı	0,90	3
2. Kat Siva	0,75	2
1. Kat Siva	1,20	3
İç Siva	1,20	2
Beton	1,5	25 veya 35

Çeşitli kombinasyonlar sonucu uygun malzemelerin ısı transfer katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Hesaplarda tesisat galerisinin film katsayısı 7 kcal/(m²h°C) ve havuz suyunun film katsayısı 500 kcal/(m²h°C) olarak alınmıştır. Toprağın film katsayısı ise sonsuz olarak kabul edilmiştir.

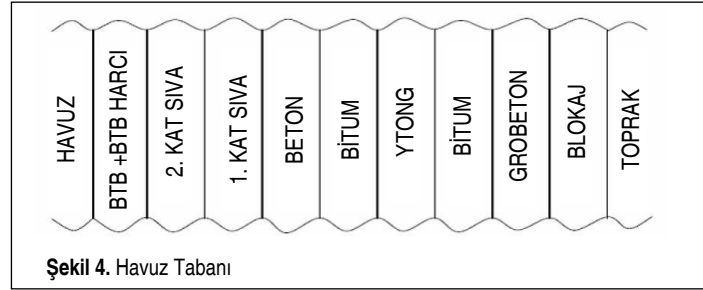
$$Q_{\text{kondy}} = \frac{K_{\text{yan}} \times A_{\text{ty}} \times (T_w - T_g)}{860} [\text{kW}] \quad (22)$$

A_{ty} (m²): Havuz toplam yan yüzey alanı
 T_g (°C): Yer sıcaklığı
 K_{yan} (kcal/m²h°C): Yan yüzey ısı transfer katsayısı

Havuz Tabanından Kaybedilen Isı

Havuz tabanında da daha önce belirtilen ısı yalıtım malzemeleri kullanılacaktır. Yapıda kullanılmasına karşın grobeton ile blokajın ısı iletimi göz önüne alınmayacaktır.

Çünkü bu malzemeler toprakla doğrudan temas halindedir ve nemlenmeleri halinde ısıl geçirgenlik katsayıları değişir. Toprakta direkt olarak ıslanmalar bile zamanla nemleneceklerdir. Bu yüzden, ısıl iletkenlik hesabına alınması sonucu yanıtacaktır. Grobetondan sonra bitüm tabakasının konulması ile su yalıtımı yapılarak ytong tabakasının nemlenmesi engellenmektedir. Ayrıca, BTB ve bitüm tabakaları su geçirmeyeceğinden dolayı su yalıtımı iki yönlü olarak tamamlanmış olur (Şekil 4).



Şekil 4. Havuz Tabanı

$$Q_{\text{kondy}} = \frac{K_{\text{tab}} \times A_{\text{tab}} \times (T_w - T_g)}{860} [\text{kW}] \quad (23)$$

A_{tab} (m²): Havuz toplam taban alanı
 K_{tab} (kcal/m²h°C): Taban ısı transfer katsayısı

Böylece havuzun toplam ısı kaybı aşağıda verilen eşitlikten yararlanılarak hesaplanabilmektedir.

$$Q_{\text{top}} = Q_{\text{konv}} + Q_{\text{evap}} + Q_{\text{kond}} + Q_{\text{rad}} [\text{kW}] \quad (24)$$

Isı değiştiricimizi de toplam ısı kaybını karşılayacak şekilde seçmemiz uygun olacaktır.

2.1.5 İlk Isıtmada Havuz Suyuna Verilen Isı Miktarı

Havuz suyunun ilk ısıtılması, havuz işletmeye alındıktan sonra bir kez yapılır. Bu ısı yükü çok yüksek değerlerde olduğundan kalorifer kazanı ile yapılmalıdır. Yani Q_{havuz} kazanın ısıtma kapasitesine eşit olmalıdır.

$$m_{\text{su}} = V_{\text{su}} \times \rho_{\text{su}} [\text{kg}] \quad (25)$$

$$Q_{\text{havuz}} = \frac{c_{p_w} \times m_{\text{su}} (T_w - T_s)}{t \times 860} \quad (26)$$

m_{su} (kg): Havuz suyu miktarı
 V_{su} (m³): Havuz suyu toplam hacmi
 ρ_{su} (kg/m³): Su yoğunluğu
 t (h): Suyu ısıtma süresi
 T_s (°C): Havuza verilen şehir suyu sıcaklığı

Sular İdaresi, şebeke suyu sıcaklığını 1 m derinlikteki toprak sıcaklığı olarak alınabileceğini belirtmiştir.

Böylece, tüm bu hesaplamalar sonucunda Kırıkkale ilinde yer alan bir havuz için yıllık ortalama ısı kayıpları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Olimpik Havuz Isı Kayıpları

Aylar	İşinim ile Isı Kaybı (kW)	İletim ile Isı Kaybı (kW)	Buharlaştırma ve Taşınım ile Isı Kaybı (kW)	Toplam Isı Kaybı (kW)
Ocak	180,05	11,61	263,44	455,1
Şubat	175,44	12,65	263,71	451,8
Mart	150,69	11,87	263,54	426,1
Nisan	105,48	9,98	263,14	378,6
Mayıs	69,91	7,50	262,69	340,1
Haziran	40,65	5,22	262,23	308,1
Temmuz	13,67	3,33	261,8	278,8
Ağustos	15,23	2,09	261,58	278,9
Eylül	52,76	2,87	261,67	317,3
Ekim	93,29	5,15	262,16	360,6
Kasım	130,10	7,43	262,67	400,2
Aralık	165,49	9,85	263,16	438,5
Toplam	1192,7	89,55	3151,79	4434,1

Bu hesaplar dikkate alındığında, yıllık ortalama ısı kaybı 4434,1 kW'dır. Bu durumda toplam ısı kaybı yaklaşık olarak 5000 kW alınarak hesaplamalar yapılabilir.

3. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ OLİMPİK HAVUZDA KULLANIMI

Toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde en önemli para-

metre, topraktan çekilen ısıdır. Bu bağlamda toprak özellikleri temel etkindir.

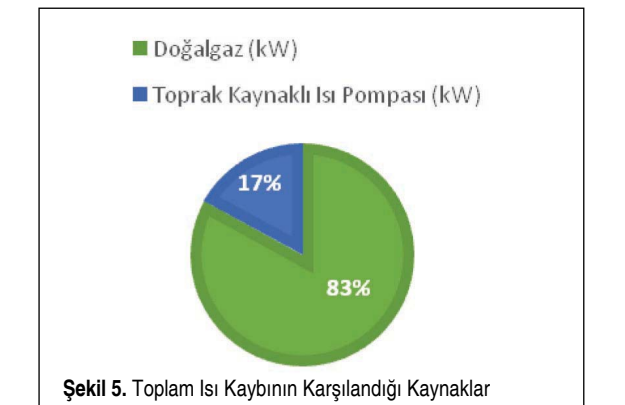
Toprak ısı davranışını etkileyen en önemli üç özellik, yoğunluk, nem oranı ve toprak taneciklerini oluşturan materyallerdir.

Kırıkkale ilindeki toprak özellikleri, toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurulması açısından oldukça elverişli görülmektedir.

Kırıkkale ilinde tasarlanan bu sistemde toplam ısı kaybının karşılanacağı kaynaklar toprak kaynaklı ısı pompası ve doğalgaz olarak belirlenmiştir. Sistemde toplam ısı kaybının ısı pompası yardımıyla karşılanacak kısmı, daha önce yapılmış olan güneş enerjisi destekli sistemle karşılaştırmanın sağlıklı olması açısından aynı kabul edilmiştir [1].

Tablo 5. Toprak Kaynaklı Isı Pompası ve Yardımcı Tesisattan Karşılanacak Enerji Miktarı

Aylar	Havuz Toplam Isı Kaybı (kW)	Isı Pompası ile Kazanılan Isı (kW)	Doğalgaz ile Kazanılan Isı Miktarı (kW)
Ocak	455	30,45	424,55
Şubat	452	42,1	409,9
Mart	426	56,5	369,5
Nisan	379	68,5	310,5
Mayıs	340	80	260
Haziran	308	86	222
Temmuz	279	90,5	188,5
Ağustos	279	87,5	191,5
Eylül	317	78,5	238,5
Ekim	361	62	299
Kasım	400	44,4	355,6
Aralık	439	26,7	412,3
Toplam	4434	752,15	3681,85



Şekil 5. Toplam Isı Kaybının Karşılandığı Kaynaklar

Buna bağlı olarak, Tablo 5'te verilen toplam ısı kaybı olan 4434,1 kW değerinin bir yıl içerisinde 752,15 kW toprak kaynaklı ısı pompası ve 3681,95 kW doğalgaz ile karşılanması durumunda bu enerji kaynaklarının kullanımları yüzdesel olarak Şekil 5'te verilmektedir.

Tablo 6. Derinliklere Göre Ortalama Sıcaklık

Aylar	Derinliklerine Göre Ortalama Sıcaklık (°C)				
	5 cm	10 cm	20 cm	50 cm	100 cm
Ocak	5,2	4,6	4,4	6,4	8,4
Şubat	7,0	5,2	4,4	5,5	6,9
Mart	11,6	9,6	7,9	8,3	8,8
Nisan	16,0	14,3	12,2	11,8	11,4
Mayıs	21,8	20	17,2	16	14,7
Haziran	30,6	27	23,1	21,1	19
Temmuz	38,8	32,9	28,2	26	23,3
Ağustos	34,6	30,4	27,5	27,1	25,7
Eylül	31,6	27,1	24,1	24,7	24,3
Ekim	18,5	16,6	15,3	17,5	19,4
Kasım	7,3	6,2	6,1	9,1	12,3
Aralık	5,1	4,1	4	5,8	8,1

Ayrıca Tablo 6'da görüldüğü üzere, toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak havuzun ısı ihtiyacının belli bir kısmı sağlanabilmekte ve topraktan en fazla Temmuz ayında yararlanılabilmektedir.

Temmuz ayında yararlanılan ısı miktarına bağlı olarak yapılan termodinamik analiz sonucunda, 90,5 kW enerji ihtiyacını karşılayacak 45,9 kW'lık iki adet toprak kaynaklı ısı pompası seçimi havuz ısıtması için uygun bir çözüm olabilmektedir. Tablo 8'de, kullanılacak olan ısı pompası elemanlarının kapasitesi verilmektedir.

3.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistem Özellikleri

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, Kırıkkale ilinde belirli derinliklerdeki toprak sıcaklıkları Tablo 6'da verilmektedir.

Projede 100 cm derinlikte yatay boru montajına uygun ısı pompası tercih edilmiştir. Yatay boru montajı tercih edilme sebebi, dikey boru montajında toprak sıcaklıklarının değişkenlik göstermesi ve buna bağlı olarak kararlı bir ısı akışını sağlanamamasıdır.

Ayrıca dikey boru montajı için gerekli sondaj maliyetlerinin

de fazla olması, yatay boru montajı tercih edilmesinde önemli etkindir.

Sistem hesaplamalarında 100 cm derinlikteki sıcaklıklara göre yıllık ortalama toprak sıcaklığı 15,19 °C olarak kullanılacaktır.

3.2 Isı Pompasında Kullanılan Soğutucu Akışkan Özellikleri

Soğutucu akışkanlar, soğutma, iklimlendirme ve ısı pompaları sistemlerinin en önemli temel akışkanlarıdır. Genellikle bu akışkanlar, buharlaşma ve yoğuşma faz değişimi işlemleri yardımıyla, bir ortamdan (soğutma yapılan bir odadan) çektikleri ısıyı diğer bir ortama (dış çevreye) atarlar. Bu faz değişimleri, mekanik buhar sıkıştırma ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde görülürken, hava gibi bir akışkan kullanan gaz soğutma çevrimlerinde görülmez.

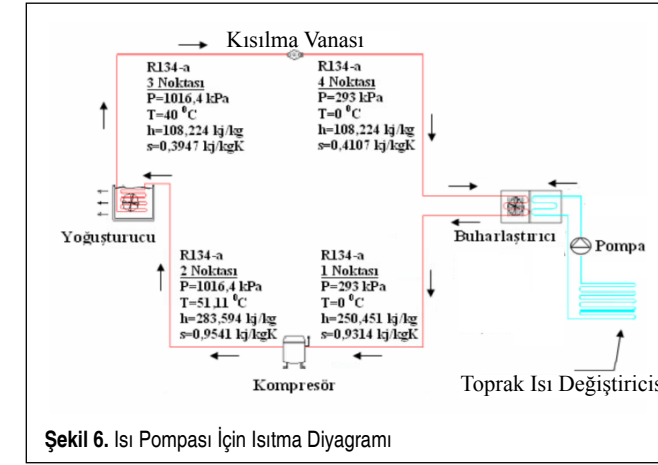
Soğutucu akışkanların, belirtilen bu görevleri ekonomik ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilmesi, yani bir soğutma sisteminin verimli ve emniyetli çalışabilmesi için bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmaları gerekir. Bu özellikler uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişebileceği gibi, bu özelliklerin hepsini yerine getirmeleri her zaman mümkün olmayabilir.

Sistemde soğutucu akışkan tercihi yapılırken; buharlaşma ısısının yüksek olması, evaporatördeki yüksek basınç altında faz özellikleri koruması, kondanser basıncının düşük olması gibi özelliklerin yanı sıra, teminin kolay ve fiyatının uygun olması gibi nedenlerden ötürü R134a soğutucu akışkanı tercih edilmiştir.

3.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Elemanlarının Kapasitelerinin Belirlenmesi

Toprak kaynaklı ısı pompası hesaplamaları yapılırken, Gerçek Rankine Çevrimi'nden yararlanılır. Toprak kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi, buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkan topraktan ısı çekerek buharlaşır, sıcaklığı ve hacmi artar; kompresörde sıkıştırılıp basıncı artırılarak kızgın buhar halini alır. Yoğuşturucuya giren kızgın suyun sıcaklığı ve basıncı yüksek kızgın buhar enerjisini suya aktırır ve sıvı halini alır. Ardından, genleşme valfinden buharlaşma basıncına düşürülür ve çevrim tamamlanır.

Çalışmada, ısı pompası kapasite hesapları ve ekserji analizleri içeriğindeki tüm hesaplamalar EES programında yapılmıştır. EES (Engineering Equation Solver), doğrusal ya da doğrusal olmayan cebirsel veya diferansiyel denklemleri sayısal yöntemlerle çözen bir bilgisayar programıdır. Bu yazılımda matematiksel fonksiyonların yanı sıra, termodinamik özellik fonksiyonları da yüklü olup, kullanıcının ilave özellik verileri girmesine olanak sağlamaktadır. Bazı yazılımların aksine



Tablo 7. Soğutucu Akışkana (R134a) ait Termodinamik Özellikler

	1 Noktası	2 Noktası	3 Noktası	4 Noktası
Sıcaklık, T (°C)	0	51,11	40	0
Basınç, P (kPa)	293	1016,4	1016,4	293
Entalpi, h (kJ/kg)	250,451	283,594	108,224	108,224
Entropi, s(kJ/kgK)	0,9314	0,9541	0,3947	0,4107

EES, mühendislik problemlerini çözmez, sadece kullanıcının verdiği denklemleri çözer. Dolayısıyla kullanıcı, problemi anlamalı ve uygun fizik yasaları ve bağıntılarını uygulayarak modellemelidir [2]. Sistemde soğutucu akışkan R134a kullanılmıştır. Soğutucu akışkana ait özellikler EES programından alınarak R134a Ln-P-h diyagramı ve termodinamik özellik tablolarından kontrol edilmiştir (Tablo 7).

Olimpik havuz ısı yüklerinin hesaplanmasından sonra, sistemde kullanılan soğutucu akışkana göre kompresörün, buharlaştırıcının (evaporatör), yoğuşturucunun (kondanser) kapasiteleri hesaplanır. Toprak kaynaklı ısı pompasına suyun giriş ve çıkış sıcaklık şartları olan +20/+25 °C için sistemin tasarımı Şekil 6'daki gibi tespit edilmiştir.

3.3.1 Devrede Dolaşan Soğutucu Akışkan Miktarı

$$q_0 = h_3 - h_2 \quad (27)$$

$$q_0 = 108,224 - 283,594 = -175,37 \text{ kJ / kg} \quad (28)$$

$$Q_y = \dot{m}_{akışkan} \times q_0 = -91,8 \text{ kW} \quad (29)$$

$$\dot{m}_{akışkan} = 0,5160 \text{ kg / s} \quad (30)$$

q_0 : Yoğuşturucuda soğutucu akışkanın birim kütle başına verdiği ısı miktarı (kJ/kg)

Q_y : Gerekli ısıtma yükü (kW)

3.3.2 Kompresör Kapasitesi

$$W_t = \dot{m}_{akışkan} \times (h_2 - h_1) \quad (31)$$

$$W_t = 0,5160 \times (283,594 - 250,451) \quad (32)$$

$$W_t = 17,101 \text{ kW} \quad (33)$$

$$W_m = \frac{W_t}{\eta_e \times \eta_m} \quad (34)$$

$$(\eta_e = \eta_m = 0,85) \quad (35)$$

$$W_m = \frac{17,101}{0,85 \times 0,85} = 23,6692 \text{ kW} \quad (36)$$

W_t : Kompresör teorik gücü (kW)

W_m : Kompresör tahrik motor gücü (kW)

η_e : Elektriksel verim

η_m : Mekanik verim

3.3.3 Evaporatör Kapasitesi

$$Q_b = \dot{m}_{akışkan} \times (h_1 - h_2) \quad (37)$$

$$Q_b = 0,5160 \times (250,451 - 108,224) \quad (38)$$

$$Q_b = 73,3891 \text{ kW} \quad (39)$$

3.3.4 Kondanser Kapasitesi

$$Q_{yoğuşturucu} = \dot{m}_{akışkan} \times (h_2 - h_3) \quad (40)$$

$$Q_{yoğuşturucu} = 0,5160 \times (283,594 - 108,224) \quad (41)$$

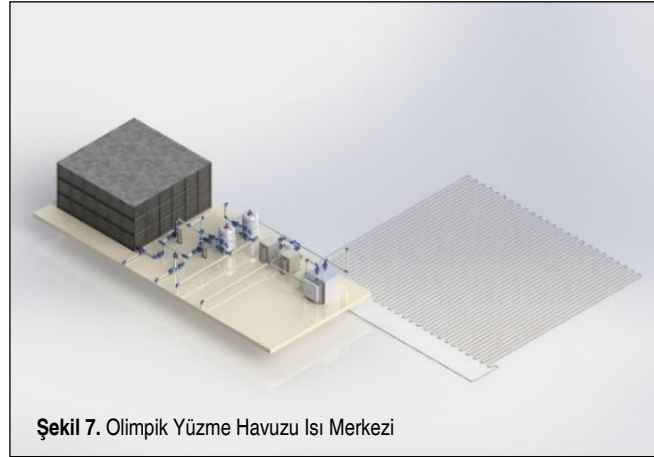
$$Q_{yoğuşturucu} = 30,4909 \text{ kW} \quad (42)$$

Ayrıca sistemde, toprak altına yatay olarak dönecek boruların korozyona dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla çapı 1-1/2 olan PE SCH 40 (polietilen) boru kullanılmaktadır.

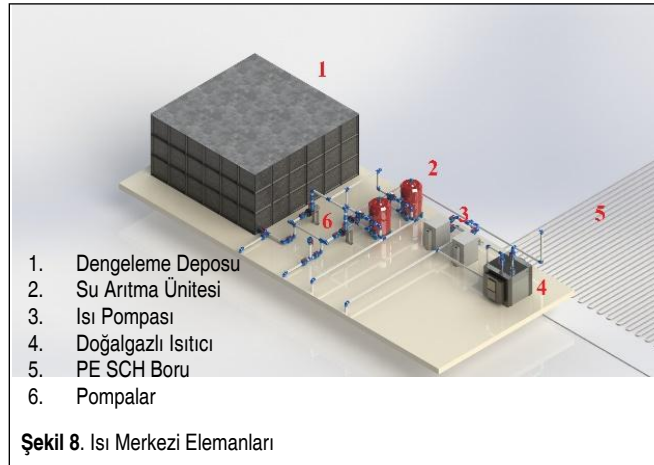
Kullanılacak olan boruların uzunluğu kW başına 14,22 m olduğundan 90,5 kW enerji sağlamak amacıyla toplamda 1286,91 m boru kullanılmaktadır.

Tablo 8. Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Ana Elemanlarının Kapasitesi

	Sembol	Birim	Değer
Gerekli Isıtma Yükü	Q_y	kW	90,5
Soğutucu Akışkan Miktarı	$\dot{m}_{akışkan}$	kg/s	0,51
Kompresör Teorik Gücü	W_t	kW	17,10
Kompresör Tahrik Motor Gücü	η_m	kW	23,66
Buharlaştırıcı Kapasitesi	Q_b	kW	73,38
Yoğuşturucu Kapasitesi	$Q_{yoğuşturucu}$	kW	90,49



Şekil 7. Olimpik Yüzme Havuzu Isı Merkezi



Şekil 8. Isı Merkezi Elemanları

Hesaplanan uzunluklar ve ısı pompası elemanları kapasitesi doğrultusunda Şekil 7'de, havuz suyunun ısıtılması için tasarlanan toprak kaynaklı ısı pompası sistemi görülmektedir.

4. GÜNEŞ ENERJİSİNİN OLİMPİK HAVUZLARDA KULLANIMI

Yüzme havuzlarının ısıtılmasında çeşitli kaynaklardan sağlanan enerji tüketiminde kullanıcının tasarruf sağlaması amacıyla yüzme havuzlarının güneş enerjisi desteği ile ısıtılması alternatif bir yöntem olarak tercih edilmektedir.

Kırıkkale ilindeki bir olimpik yüzme havuzunda güneş paneli için yapılan hesaplamalarda ilk ısıtma dâhil toplam ısı kaybının 5000 kW olduğu göz önüne alındığında, 752.15 kW'lık bir enerji kazancı sağlanmış olmaktadır. Bu kazanımı sağlamak için 500 m²'lik toplayıcı alanına ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir [1].

Bir adet toplayıcının alanı 1,6 m² olduğundan 312 adet bakır toplayıcıya ihtiyaç bulunmaktadır.

Bir adet bakır toplayıcının ortalama maliyeti 840 TL'dir. Buna göre, toplayıcıların toplam maliyeti 262.000 TL'dir.

Güneş enerjisi sisteminin bağlantısı için gerekli olan mekanik tesisat malzemeleri pompa, eşanjör, boru, fittings ve otomasyon için yaklaşık maliyet 200.000 TL olacağı varsayılarak ilk yatırım maliyeti 462.000 TL olarak belirlenmiştir. Böylece, toplam ısı kaybının bir yıl içerisinde güneş enerjisi ve doğalgaz ile karşılanması durumunda bu enerji kaynaklarının kullanımının enerji verimliliğine etkisi incelenmiştir.

Ayrıca, yapılan hesaplamalarda alternatif yöntem olarak kullanılan güneş enerjisi ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinin karşılaştırmaya uygun olması açısından, ısı pompasıyla sağlanan kazanç da aynı oranda olup, yaklaşık 750 kW olarak alınmıştır.

5. YILLIK YAKIT MİKTARI SARFIYATLARI

Yüzme havuzunun ısı kayıpları hesap edildikten sonra yıllık yakıt miktarı hesaplanmaktadır. Yakıt miktarı hesaplanırken kullanım süreleri, yakıtın cinsi ve kullanılacak yakıtın verimi hesaba katılmaktadır.

Yıllık yakıt miktarı sarfiyatı B_y (kg/yıl) için Eşitlik 38'deki ifade kullanılmaktadır.

$$B_y = \frac{3.6 * Q_k * Z_g * Z_y}{2 * H_u * \eta_k} \left(\frac{\text{kg}}{\text{yıl}} \right) \quad (43)$$

Kazan verimi η_k : 0.85 - 0.92

Yakıtların alt ısı değeri H_u : 34535 (kJ/m³)

Q_k : Kazanın ısı kapasitesi	(W)
Z_g : Günlük çalışma süresi	(saat/gün)
Z_y : Yıllık çalışma süresi	(gün/yıl)
H_u : Yakıtın alt ısı değeri	(kJ/kg)
η_k : Kazanın verimi	(%)

5.1 Doğalgaz İçin Yıllık Yakıt Miktarı ve Maliyeti

$$B_y = \frac{3.6 * 5 * 10^6 * 12 * 365}{2 * 34535 * 0.9}$$

$$B_y = 1.268.278,55 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Doğalgazın Fiyatı: 1,088 TL/m³

Yıllık Yakıt Maliyeti: 1.379.886,464 TL/yıl

Doğalgaz Maliyeti:

$$B_y = \frac{3.6 * 4250 * 10^3 * 12 * 365}{2 * 34535 * 0.9}$$

$$B_y = 1.078.037 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Yıllık Yakıt Maliyeti: 1.172.904,256 TL/yıl

Isı Pompası ile Çekilen Enerji:

$$10,6 \text{ kW} * 0,234 \text{ TL} = 2,4804 \text{ TL}$$

Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Kazanç:

$$1.379.886,464 \text{ TL} - 1.172.904,256 \text{ TL} = 206.982 \text{ TL}$$

6. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI İLK YATIRIM MALİYETİ

Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak 750 kW'lık enerji ihtiyacı kazanılabilir. Bu kazanımı sağlamak için 216 m²'lik alana 1286,91 m boru yerleştirmeye ihtiyaç vardır. PE SCH 40 (1 1/2") boru kullanılarak oluşacak maliyet 9.548,87 TL'dir. Ayrıca, boru tesisatı döşenmesi için gereken kazı maliyeti yaklaşık 3.000,00 TL'dir.

Bir adet ısı pompası 45,9 kW enerji sağladığı için 2 adet ısı pompası gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle, ısı pompasının toplam maliyeti 95.868,00 TL'dir.

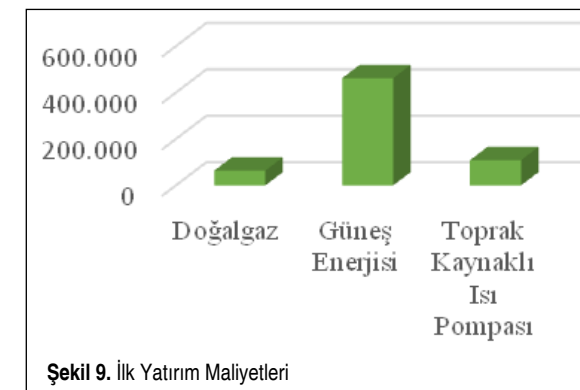
Toplamda toprak kaynaklı ısı pompası ilk yatırım maliyeti 108.416,00 TL olarak ön görülmektedir.

Tablo 9'da hesaplanan değerler sonucunda, ilk yatırım maliyetlerinden de görüldüğü üzere, doğalgaz ile ısıtmaya alternatif olan güneş enerji sistemleri ve toprak kaynaklı ısı pompasının ilk yatırım maliyeti yüksektir.

Ancak işletme maliyeti açısından incelendiğinde, toprak kaynaklı ısı pompası çok kısa sürede ilk yatırım maliyetini karşılamaktadır.

Tablo 9. Maliyet Karşılaştırması

Havuz Suyu Isıtma Türü	Maliyet (TL)
Doğalgaz	63.520
Güneş [1]	462.000
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	108.416



Şekil 9. İlk Yatırım Maliyetleri

Şekil 9'da ise doğalgazla ısıtmaya yardımcı sistem olarak güneş enerjisi sistemi yerine toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının daha avantajlı olduğunu gösteren grafik yer almaktadır.

6.1 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Ömür Boyu Maliyet Analizi

Toprak kaynaklı ısı pompalı sisteminin yanı sıra, yardımcı ısıtıcı olarak doğalgaz kazanı desteğini ve tüm elemanlarının satın alınması, montajı, işletilmesi, bakımı ve imhası gibi tüm aşamaları ile bütün ömrü boyunca oluşan toplam maliyetini bir arada hesaplanmıştır. Bu sayede, güneş enerjisi kaynaklı havuz ısıtma sistemi yöntemindeki gibi olası farklı tasarımların, değişik çözümlerin karşılaştırılması ve eldeki verilerin yeterliliği ile mali açıdan en uygun sonuca ulaşmak mümkündür (Tablo 10).

$$\text{ÖMB} = C_{ic} + C_{in} + C_{ce} + C_o + C_m + C_s + C_d$$

Tablo 10. Ömür Boyu Maliyet Analizi

	Sembol	Fiyat (TL)
İlk Yatırım Maliyeti	C_{ic}	171.936
Montaj ve İşletme Alma Maliyeti	C_{in}	5.000
Enerji Maliyeti	C_{ce}	11.729.776,86
Çalıştırma Maliyeti	C_o	100.000
Bakım Maliyeti	C_m	75.000
İşletme ile Gelen Ekstra Maliyetler	C_s	2.000
Demontaj ve İmha Maliyeti	C_d	4.000
Ömür Boyu Maliyet	ÖMB	12.015.202

6.2 Doğalgaz Kazanı Ömür Boyu Maliyet Analizi

Doğalgaz kazanlı sistemin ömür boyu maliyet analizi Tablo 11'de verilmiştir.

$$\text{ÖMB} = C_{ic} + C_{in} + C_{ce} + C_o + C_m + C_s + C_d$$

Tablo 11. Ömür Boyu Maliyet Analizi

	Sembol	Fiyat (TL)
İlk Yatırım Maliyeti	C_{ic}	63.520
Montaj ve İşletme Alma Maliyeti	C_{in}	3.000
Enerji Maliyeti	C_{ce}	13.798.864,44
Çalıştırma Maliyeti	C_o	100.000
Bakım Maliyeti	C_m	55.000
İşletme ile Gelen Ekstra Maliyetler	C_s	1.500
Demontaj ve İmha Maliyeti	C_d	2.500
Ömür Boyu Maliyet	ÖMB	14.024.384,44

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Kırıkkale ilinde yer alan bir olimpik havuz için havuz suyu ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Isı ihtiyaçları bulunarak, hangi ısı pompası sisteminin kullanılacağı, toprak altına gömülecek olan boru uzunlukları, boru çapları ve sistemin maliyeti bulunmuştur. Sistem elemanı olarak toprak kaynaklı ısı pompası seçilmiştir. Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin seçilmesindeki en önemli nedeni, ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performans katsayısının kararlı bir yapıda olmasıdır. Sistem seçilirken, toprak ısı dirençleri, yıllık ortalama toprak sıcaklıkları, toprak yapısı, ısı kaynağına göre parametrelerin incelenmesi önemli hususlardandır. Bu hususlardan, ilk yatırım maliyetleri ve işletme giderleri de etkilenmektedir.

Böylece, yapılan çalışmalar sonucunda, daha önce yapılmış [1] olan güneş enerjisi katkılı sistemle aynı oranda ısı kazancı elde edilmesine rağmen, toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının ilk yatırım maliyeti, sistemin kendini bir yıldan kısa sürede amorti etmesine karşın, güneş enerjili ısıtma sisteminin üç yılda kendini amorti etmesi gibi kazançları sebebiyle sistemi daha tercih edilir hale getirmektedir. Bunun yanı sıra, toprak kaynaklı ısıtma sistemi güneş enerji sistemine göre, günlük ve mevsimsel sıcaklık farklarından minimum seviyede etkilenmesi, günün her saatinde kullanılabilir olması, enerjiye ihtiyaç duyulan her anda sistemi ön plana çıkarmaktadır.

Ayrıca, mimari açıdan baktığımızda, montaj alanı göz önünde bulundurulduğunda, toprak kaynaklı ısıtma sisteminin yer açısından sıkıntı yaratmaması güneş enerjili sisteme göre ön plana çıktığını gösteren bir diğer etkidir. Projelerde bu alanın otopark, yeşil alan vb. ihtiyaçları karşılamak için kullanılması mümkündür. Ömür boyu maliyet açısından bakıldığında ise toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin doğalgazlı ısıtma sistemi ile on yıllık süreçte 2.009.182 TL avantaj sağladığı görülmektedir.

Tüm bu hususlar dikkate alındığında, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin düşük maliyeti sebebiyle ülkemizde kullanımının artırılması gerektiği saptanmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Doğan, B., Ünal, İ.** 2013. "Olimpik Yüzme Havuzu Suyu Isıtmasında Güneş Enerjisinin Katkısının İncelenmesi," MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 138, İstanbul.
2. **Akbulut, U., Kıncay, O., Kosker, F.** 2006. "Güneş Enerjisinin Kapalı Olimpik Yüzme Havuzlarında Kullanımı," MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 96, İstanbul, s. 11-20.
3. **Güven, Ş.** 2002. "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Diğer Sistemlerle Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
4. **Ünlü, K.** 2005. "Hava ve Toprak Kaynaklı Isı Pompalarına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi," Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
5. **Patlar, Ö.** 2006. "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarından Ekserji Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
6. Türk Standartları Enstitüsü. 2000. TS 11899: Yüzme Havuzu Suyunun Hazırlanması, Teknik Yapım, Kontrol, Bakım ve İşletmesi İçin Genel Kurallar.
7. **Kintner-Meyer, M., Ashley F. Emery.** 1995. "Optimal Control of an HVAC System Using Cold Storage and Building Thermal Capacitance," Energy and Buildings, vol. 23, p. 19-31.
8. **Akbulut, U., Dalkılıç, A. S., Atayılmaz, Ş. O.** 2005. "Kapalı Yüzme Havuzlarında Buharlaşma Miktarının Hesaplanması," MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, İstanbul, sayı 111.
9. **Ozyaman, C.** 2004. "Isıtılan Yüzme Havuzlarında Isıtma Yüğü Hesabı ve Secimi," MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, sayı 79, İstanbul, s. 8.
10. **TTMD.** 2005. "Yüzme Havuzlarının Mekanik Tesisatı İçin Proje Hazırlama Esasları: Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki: 14," TTMD Isıtma, Soğutma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, sayı 37.
11. Ulusal Havuz Enstitüsü Derneği. 2008. Yüzme ve Yıkama Havuzu Suyunun Hazırlanması ve Dezenfeksiyonu, Ulusal Havuz Enstitüsü Komisyonu Teknik Yayın No: 1, İstanbul.