



Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Duvardan Isıtma Sistemi

Mak.Yük.Müh. Aslıhan BAŞKAL
Araş. Gör. Uğur AKBULUT
Prof. Dr. Olcay KINCAI

ÖZET

Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemi, çevre dostu yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasının yanında konvansiyonel ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanılabilir. Hidronik radyant sistemler (duvardan ısıtma sistemi vb.) gibi özellikle düşük sıcaklıklı enerji kaynağından faydalanarak konfor şartlarını sağlayabilen ısıtma sistemlerinin enerji ihtiyacının TKIP sistemi ile karşılanması olumlu sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası (DTKIP) sistemi kullanılarak elde edilen enerjinin duvardan ısıtma sisteminde kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde kurulu bulunan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde mevcut DTKIP ve duvardan ısıtma sistemlerinin verileri kullanılmıştır. Isıtma sisteminden saniye bazında veriler alınarak analiz edilmiştir. Isıtma sezonu için hesaplanan performans değeri 3,30 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası, toprak kaynaklı ısı pompası, radyant hidronik duvardan ısıtma

1. Giriş

Duvardan ısıtma ve soğutma sistemi, uygulamasının son derece basit olmasının yanında, yatırım ve işletme maliyetlerini azaltması ve ısı konforunun artırılması gibi önemli avantajları olan bir sistemdir. Bu sistem henüz ülkemizde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ancak enerji kullanımı ve tasarrufu ile ilgili yasalar gereği düşük seviyede enerji tüketen sistemlere talebin artmasıyla birlikte kullanımı yaygınlaşacaktır.

Duvardan ısıtma ve soğutma sistemi ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde öncelikle transfer edilen ısı enerjisinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar görülmektedir. Bu bağlamda, Pamelee ve Huebscher [1], doğal konveksiyon katsayısına bir artırım uygulayarak, ısıtma ve soğutma panel yüzeylerindeki ısı transferine cebri konveksiyonun etkisini hesaba katmıştır. Min ve ark. ise [2], bir odanın doğal konveksiyon katsayılarını belirlemişlerdir. Schutrum ve Vouris

Abstract:

In addition to being an environmentally friendly, renewable energy source, the earth heat pump (EHP) system can be used in combination with conventional and other renewable energy sources. Meeting energy requirements of heating systems such as hydronic radiant systems (wall heating systems etc.), which are capable of providing the conditions of comfort by utilizing low temperature energy sources in particular yield favourable results.

In this study the utilization of the energy obtained by using a vertical earth heat pump (VEHP) system in a wall heating system was examined. To this end, the data of the VEHP and wall heating systems residing in the Yıldız Renewable Energy House set in the Davutpaşa Campus of the Yıldız Technical University were used. Data were obtained from the heating system on a second by second basis and analyzed. The performance value calculated for the heating season was found to be 3.30.

Key Words:

Vertical earth heat pump, earth heat pump, radiant hydronic wall heating





Makale

[3] konveksiyon katsayısı hesaplamalarında hangar ve depolama alanları gibi çok geniş alanların dışında, oda büyüklüğünün etkisinin genellikle önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir. Bir review çalışması yapan Feustel [4], hidronik radyant soğutma hakkında birçok çalışmayı incelemiştir. Konvektif soğutma sistemleriyle karşılaştırıldığında radyant soğutma sistemlerinin, ortamdaki hava sıcaklığının dağılımının ve çevre ile insan vücudu arasında ısı değişiminin homojen olmasından dolayı daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Ardından, Imanari [5], radyant çatı paneli sistemi ile konvektif bir hava şartlandırma sistemini ısıl konfor, enerji tüketimi ve maliyetler açısından mukayese etmiştir. Zmrhal ise [6], radyant çatı paneli ile soğutulan bir mahali modelleyerek simüle etmiştir, mahal yüksekliğinin ısıl konfora etkisini incelemiştir. Vangtook [7, 8], sıcak ve çok nemli bölgelerde, doğal havalandırma ile birlikte kullanılan radyant soğutma sistemi üzerinde deneysel ve simülasyon çalışmalar yapmıştır. Bütün bu çalışmaların hepsinde, duvardan ısıtma ve soğutma sisteminin enerji tasarrufu sağlayan bir sistem olduğu vurgulanmış olup yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanımına rastlanmamıştır.

Duvardan ısıtma ve soğutma sistemi radyatör veya fan coil sistemleri ile yerden ısıtma ve soğutma sisteminin olumlu yönlerine sahip bir ısıl konfor oluşturma sistemidir. Yıl boyunca sıcaklığında fazla değişim olmayan toprağı ısı kaynağı olarak kullanan toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) ile birlikte uygulanarak, gerekli ısıl konforu sağlarken çevreye zararı minimuma indirir. Ayrıca konvansiyonel iklimlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında daha az enerji tüketerek çalıştığından ekonomiktir.

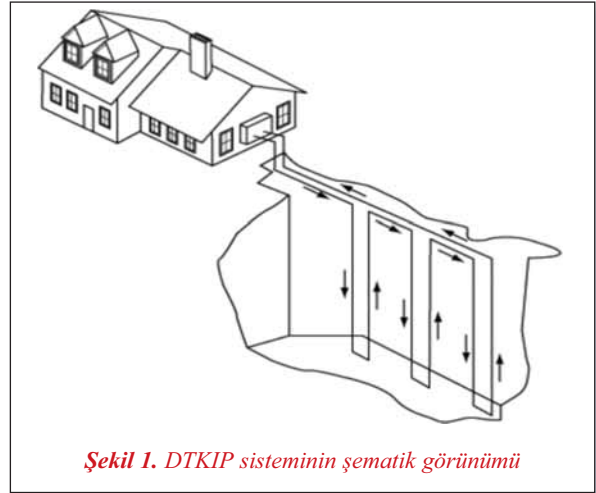
Bu çalışmada, fosil yakıtların gittikçe artan maliyetlerinin yanında ömrünün kısa olması ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı etkisi yaratma özelliği sebebiyle yönelinen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan DTKIP sistemi ile duvardan ısıtma sisteminin birlikte kullanımı ile oluşan birleşik sistemin performansı değerlendirilmiştir.

2. Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) [9, 10]

Dünyanın hayat kaynağı olan güneşten gelen enerji-

nin yaklaşık yarısı dünyanın kütleinde tutulur. TKIP'larının amacı, dünyanın kütleinde bulunan bu hazır enerji kaynağından faydalanmaktır. Isıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta, soğutma sezonunda ise havadan daha düşük sıcaklıkta kalan toprak sıcaklığı, tüm yıl boyunca yaklaşık olarak sabit kalır ve dolayısıyla daha kararlı bir enerji kaynağıdır.

Şekil 1'den de görüldüğü gibi DTKIP, iki adet küçük çaptaki yüksek yoğunluklu polietilen tüpün, yere dik olarak açılan bir kuyuya yerleştirilmesinden oluşur. Bu tüpler, kuyunun dibinde bir U parçası ile birleşir. Dikey tüplerin çapı 3/4"-1 1/2" arasındadır. Kuyunun derinliği ise, sondaj koşullarına, toprak yapısına ve tesisatta kullanılan malzemelerin özelliklerine göre 15-200 m arasında değişmektedir.



Şekil 1. DTKIP sisteminin şematik görünümü

Tüketim hattının ısıl enerji ihtiyacını karşılamak üzere ısıtma ve kullanım suyu amaçlı TKIP sistemlerinde toprak altı devresinin polietilen boru uzunluğu aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesap edilir. Bu ifadelerde geçen ısıtma yükü ısı pompası kataloğundan alınmış ısıl kapasite değeridir.

$$L_{H} = \frac{\dot{Q}_H \cdot \frac{(COP_H - 1)}{COP_H} \cdot [R_p + (R_s \cdot F_H)]}{T_{DT} - T_{GSI}} \quad (1)$$

$$COP_H = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_K + \dot{W}_P} \quad (2)$$



3. Duvardan Isıtma Sistemi

3.1. Duvardan Isıtma Sistemi Tanıtımı [11-15]

Duwardan ısıtma sistemleri, mahal sıcaklığının suyun veya havanın sirkülasyonu veya panellere bağlanan elektrik devrelerinden akım geçirilmesi suretiyle kontrol edildiği sistemlerdir. Mahalin iç yüzeyleri kullanılmaktadır. Isı transferinin %50 den fazlasının ışımayla gerçekleşmesi karakteristik bir özelliktir. Sıcaklığın kontrol edildiği yüzey, radyatif panel adını alır. Panellerin yüzeyleri yaklaşık 5-7 cm kalınlığında alçı sıva ile kaplanır. Bölge ve yapının enerji gereksinimine göre değişmekle birlikte genellikle panellere su gidiş sıcaklığı 30-35°C ve dönüş suyu sıcaklığı 25-30°C arasındadır. Literatürde en yüksek çalışma değerlerinin 45/40°C olduğu ve bunun üzerindeki değerlerin sıva çatlaklarına neden olduğu belirtilmektedir.

İnsanın ısıl konforu üzerinde ortalama radyatif sıcaklığın (MRT) önemli bir etkisi bulunmaktadır. Binayı oluşturan yüzeylerin (özellikle aşırı büyük cam yüzeyler içeren dışa bakan duvarların) sıcaklığı, çevre sıcaklığından önemli miktarda farklıysa, konveksiyon mekanizması aşırı soğuk veya sıcak yüzeylerin yarattığı konforsuzluğu ortadan kaldırma hususunda zorlanır. Radyatif paneller, bu eksikliği nötralize ederken, insan bedeninden radyasyonla ısı kaybı ya da kazancını en aza indirirler. Duvardan ısıtma sistemi ile birlikte kullanılacak en uygun sistemler; güneş enerjisi, ısı pompası ve yoğuşmalı kazanlardır.

3.1. Duvardan Isıtma-Soğutma Sistemi İçin Isı Transferi Hesabı

Duwardan ısıtma ve soğutma sisteminde, panellerle mahal arasında konveksiyonla ısı transferinin yanı sıra radyasyonla ısı transferi de olmaktadır. Bu sistem için literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır [16-21]. (3) no'lu ifade ısıtılan yada soğutulan duvar panelinden doğal konveksiyonla kaynaklanan ısı akısının hesaplanmasında kullanılabilir [16].

$$q_c = 1,87 \frac{[t_p - t_a]^{0,32} (t_p - t_a)}{H^{0,05}} \quad (3)$$

Mahaldeki tüm yüzeyleri, panel yüzeyleri ve ısıtılan yüzeyler olarak iki grupta sınıflandırırsak; panellerden diğer yüzeylere radyasyonla aktarılan ısı akısı aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanır:

$$q_r = \sigma F_r [(T_p)^4 - (T_r)^4] \quad (4)$$

Bu ifadedeki F_r ve T_r aşağıdaki (5, 6) ifadeleri ile bulunur:

$$F_r = \frac{1}{\frac{1}{F_{p-r}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_p} - 1\right) + \frac{A_p}{A_r} \left(\frac{1}{\varepsilon_r} - 1\right)} \quad (5)$$

$$T_r = \frac{\sum_{j=p}^n A_j \varepsilon_j T_j}{\sum_{j=p}^n A_j \varepsilon_j} \quad (6)$$

Mahaldeki tüm yüzeyleri, panel yüzeyleri ve ısıtılan yüzeyler olarak iki grupta sınıflandırılmıştır. MRT yöntemine göre bir oda içerisinde alınıp verilen radyasyon, gerçek ve çok yüzeyli durumdaki ile aynı ısı akıyı veren yüzey sıcaklığına ve yayıcılığa sahip sonlu ve düşünsel bir yüzeye yayılım yapıldığı varsayılarak modellenir [22]. Artık iki yüzeyli bir kapatma hacmi söz konusu olduğundan bu değer "1" olarak alınır. Uygulamada, metal veya yansıtıcı boyalı olmayan yüzeylerin yayıcılığı 0,9 civarındadır. Bu değer (5) no'lu ifadede yerine konduğunda, iç mahal yüzeyleri için çoğunlukla F_r değeri 0,87 olarak elde edilir. Bu durumda (4) no'lu ifadede (σF_r) çarpımı 5×10^{-8} olarak kullanılarak (7) no'lu sadeleştirilmiş ifade elde edilir. (8) no'lu ifadede gösterildiği gibi, panellerden aktarılan edilen toplam ısı enerjisi doğal konveksiyon ve ışıma ile yoluyla aktarılan ısıların toplamıdır.

$$q_r = 5.10^{-8} [(T_p)^4 - (T_r)^4] \quad (7)$$

$$q = q_c + q_r \quad (8)$$

Isıtılan panel yüzeylerinde radyasyon ısı akısı ve ısı-



Makale

tılan panellerin yüzeylerinde oluşan doğal konveksiyon ısı akışı grafik yöntemle de bulunabilmektedir [11].

4. Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi (YYEE)

Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Yerleşkesi'nde bulunan ve YYEE olarak çalışma grubu tarafından adlandırılan konteynerde, duvardan ısıtma ve soğutma sistemi ile birlikte çalışan DTKIP sistemi kullanılmaktadır (Şekil 2). İki katlı ve toplam 46 m² taban alanına sahip olup YYEE'deki toplam 3 oda ısıtmakta ve soğutmaktadır. Isıtılan odalardan biri de test odasıdır. Isı pompası cihazının çalıştığı farklı zamanlardaki veriler yine ısı pompası cihazına ait bilgisayar programında kaydedilmiş ve MySQL veri toplama programında saklanmıştır. Sisteme yerleştirilen sensörler ve data-loggerlar vasıtasıyla anlık olarak saniye bazında veri toplanmakta ve değerlendirme yapılabilmektedir.

YYEE'de kullanılan Heliotherm marka ısı pompası cihazının katalog değerleri;

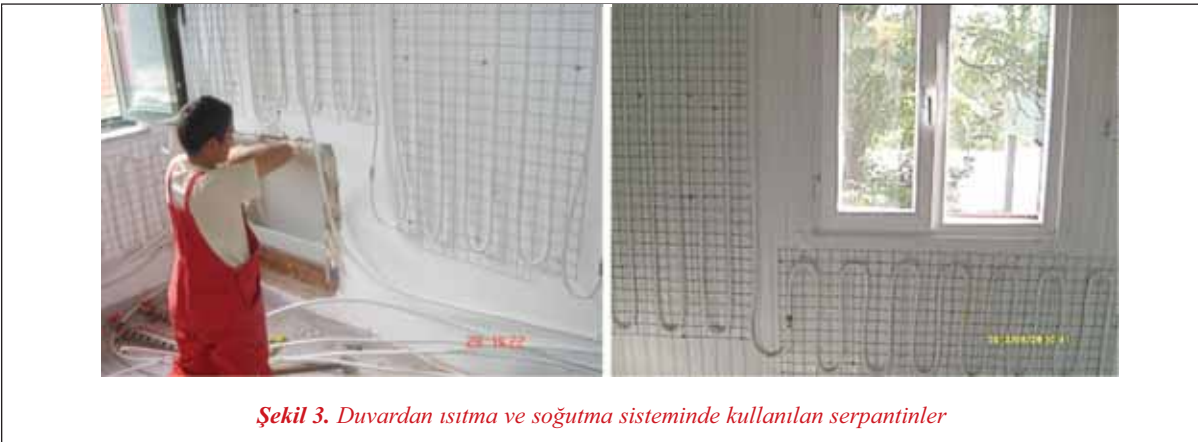
- Isıtma kapasitesi : 8,13 kW ve soğutma kapasitesi : 6,43 kW
- Kompresör elektrik tüketimi : 1,7 kW
- COP_H: 4,78 ve COP_C: 3,78 olarak belirtilmiştir. Isı pompası çevriminde kullanılan soğutucu akışkan R410A'dır.

Duvarlara ısıtma ve soğutma amaçlı serpantin halinde 14 mm PEX borular yerleştirilerek üzerleri alçı sıva ile kaplanmıştır. Test odasında toplam 17,15 m² serpantinli duvar alanı mevcuttur. Odadaki duvarlarının farklı noktalarına ve odanın merkezine termokupullar yerleştirilmiştir. Sıcaklık verileri saniye bazında toplanmaktadır. Duvar serpantinlerinin monte edilişi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 2. Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi

Bu çalışmada test odasından alınan deneysel veriler kullanılmıştır. Konteynerin üst katında bulunan test odasının duvarları ve diğer ısı kaybeden yapı elemanlarının ısı iletim katsayıları, yönleri ve alanları Tablo 1'de görülmektedir. TS 825'e göre test odasının hesaplanan toplam ısı kaybı değeri Tablo 2'de verilmiştir [23].



Şekil 3. Duvardan ısıtma ve soğutma sisteminde kullanılan serpantinler



Tablo 1. Test odası yapı elemanlarının özellikleri

Yapı Elemanı	Yön	Isı İletim Katsayısı (U) [W/m ² K]	Alan [m ²]
Dış Duvar 1	GB	0,332	7,25
Dış Duvar 2	KB	0,332	6,156
Dış Duvar 3	KD ₁	0,332	2,85
Dış Duvar 4	KD ₂	0,342	1,514
Pencere	KD	5,8	1,132
Dış Kapı	KD	0,321	1,755

Tablo 2. Test odasının toplam ısı kaybı

Yapı Özelliği		ISI KAYBI HESABI										Kat No :				
Prefabrik												Tesisatın Cinsi:				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Yapı Bileşeni İşareti	Yönü	ALAN HESABI					ISI KAYBI HESABI					ARTIRIMLAR				
		Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Toplam Isı Geçiş Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamsız Isı Kaybı	Birleştirilmiş Artırım Katsayısı	Yön Artırımı Katsayısı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Toplam Artırım Katsayısı	Toplam Isı İhtiyacı	
																A
		m	m	m ²	tane	m ²	m ²	W/m ² K	°C	W	%	%	%	%	W	
TESTODASI (20°C)																
DD1	GB	3,180	2,280	7,250	1	-	7,250	0,332	23	55,361						
DD2	KB	2,700	2,280	6,156	1	-	6,156	0,332	23	47,007						
DD3	KD1	1,25	2,28	2,85	1	-	2,85	0,332	23	21,763						
DD4	KD2	1,93	2,28	4,40	1	2,887	1,514	0,342	23	11,907						
PCR	KD	1,015	1,115	1,132	1	-	1,132	2,8	23	72,9						
DK	KD	0,90	1,95	1,755	1	-	1,755	0,321	11	12,957						
İletimle olan ısı kaybı Σ										221,89	7	5	0	1,12	248,5	
Pencereden infiltrasyon ısı kaybı $q_{sp} = 3 \cdot 5,88 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 23 \cdot 1$										128,3					354,19	
Test Odası Toplam Isı Kaybı															602,7	

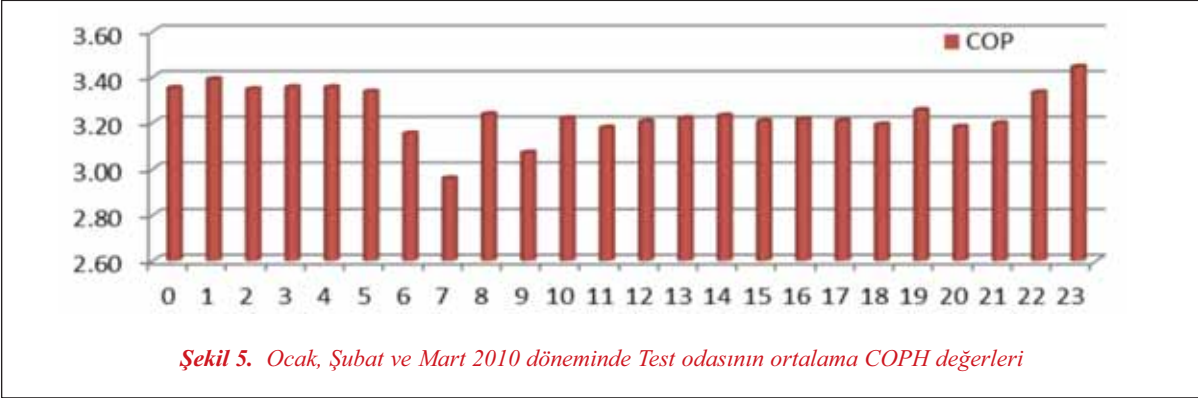
4.1. Test Odasının Performansının İncelenmesi

Bu çalışmada 2010 yılının Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki ortalama sistem performansı (COP_H) hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 5'de sunulmuştur. Bu süreçte, test odası sıcaklığı 20°C olarak sabit tutul-

muştur. Isı pompasından tesisata gönderilen ısıtma suyu sıcaklığı 30,8°C, ısı pompasına dönen suyun sıcaklığı 24,3°C, dış hava sıcaklığı 8°C olarak ölçülmüştür. Kompresör tarafından 1,7 kW elektrik tüketilirken hesaplanan COP_H değeri 3.3 olmuştur.



Makale



Şekil 5. Ocak, Şubat ve Mart 2010 döneminde Test odasının ortalama COPH değerleri

Bu sonuca göre ısıtma için gereken enerjinin maliyeti %30 oranında faturaya yansımakta, topraktan %70 oranında bedava enerji sağlanmaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde bulunan YYEE'ne ait DTKIP ile hidronik radyant duvardan ısıtma sisteminin birlikte kullanılması ile oluşan sistemin performansı incelenmiştir. Bu bağlamda, test odası için TS 825'e göre toplam ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Sistemden saniye bazında alınan veriler kullanılarak 2010 yılının Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki ortalama sistem performansı (COP_H) hesaplanarak Şekil 5'de sunulmuştur.

Bu süreçte, test odası sıcaklığı 20°C olarak sabit iken ısı pompasından tesisata gönderilen ısıtma suyu sıcaklığı $30,8^{\circ}\text{C}$, ısı pompasına dönen suyun sıcaklığı $24,3^{\circ}\text{C}$, dış hava sıcaklığı 8°C olarak ölçülmüştür. Kompresör tarafından $1,7\text{ kW}$ elektrik tüketilirken hesaplanan COP_H değeri $3,3$ olmuştur. Duvardan ısıtma için gereken enerjinin maliyetinin %30 oranında olduğu görülmüştür. Toprakten çekilen ve para ödemediğimiz enerji ise %70 oranındadır.

Ayrıca 12.03.2010 gününde alınan anlık veriler kullanılarak sadece test odasındaki ısıtma panellerine aktarılan enerji $1,43\text{ kW}$ ve panellerden odaya aktarılan ısı enerjisi 1.041 kW olarak bulunmuştur. Buna göre paneller bu esnada %72,8 verimle çalışmaktadır. Panellerden odaya aktarılan enerjinin % 61'inin ışıma ile kalan miktarın doğal konveksiyonla aktarıldığı hesaplanmış olup bu durum sistem karakteristi-

ğine uygundur. Bu süreçte, test odası sıcaklığı $21,4^{\circ}\text{C}$ olarak sabit tutulmuştur. Isı pompasından tesisata gönderilen ısıtma suyu sıcaklığı $32,7^{\circ}\text{C}$, ısı pompasına dönen suyun sıcaklığı $26,1^{\circ}\text{C}$, dış hava sıcaklığı $8,6^{\circ}\text{C}$ ve panel yüzey sıcaklıkları $28,4^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Panellerde dolaşan su debisi $0,052\text{ kg/s}$ dir.

12.03.2010 günü için yeniden ısı kaybı değeri hesaplandığında gerçek değer $335,41\text{ W}$ olduğu görülmektedir. Test odası penceresi gölgede bulunduğu ve sürekli perde ile kapatıldığından güneşten gelen ısı kazancı değerleri dikkate alınmamıştır. Çatı beşik çatı olup içerden 5 cm XPS ile yalıtılmıştır, çatı arasında kalan hava dış hava sıcaklığından yüksek sıcaklıkta olup bu şartlarda çatıdan ısı kaybı da ihmal edilebilir). Dolayısıyla test odasına verilen 1.041 kW enerjinin gereğinden fazla olduğu görülmüştür. Fazla enerji verilmesinin nedeni sistemdeki ısıtma panellerinin aynı zamanda soğutma için kullanılmak üzere büyük yüzey alanına sahip olması ve pompaların frekans konvertörlü olmayıp sabit debide çalışmalarıdır. Edinilen tecrübelerle göre bu tür sistemlerde; duvarlardaki panel alanlarının sadece ısıtma yüküne göre belirlenmesi, aynı anda soğutma yapılacak ise soğutma panellerinin öncelikle tavana yerleştirilmesi, mümkünse ısıtma ve soğutma panellerinin vana ile ayrılması, ısıtma yükü değeri hesaplanırken kullanılan -3°C değerinin yeniden tartışılması gerekmektedir. Son 2 yıldır alınan saniye bazlı değerlerde İstanbul'un ısıtma sezonu için ortalama değeri 8°C olarak tespit edilmiştir.

Duvardan ısıtma sistemi, uygulamasının son derece



basit olmasının yanında, yatırım ve işletme maliyetlerini azaltması ve ısıl konforun artırılması gibi önemli avantajlarıyla önümüzdeki dönemlerde kullanımını artacak olan bir sistemdir. Sistem soğutma / serinletme amacı için de kullanılabilirliği gibi alternatif enerji kaynaklarının da kullanımına son derece uygundur. Bu sistem henüz ülkemizde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Ancak enerji kullanımı ve tasarrufu ile ilgili yasalar gereği düşük seviyede enerji tüketen sistemlere talebin artmasıyla birlikte yaygınlaşacaktır.

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Kurumu'nun verdiği finansal desteğine (YTÜ-BAPK / 27-06-01-03, 2007) teşekkürlerimizi sunarız.

SEMBOLLER

A	Yüzey alanı (m ²)
COP	Performans Katsayısı
F	Faktör (boyutsuz)
H	Isıtma paneli yüksekliği (m)
L	Serpantin uzunluğu (m)
K, U	Isı iletim katsayısı (W/mK)
\dot{m}	Isıtma suyu debisi (kg/s)
q	Birim alandan transfer olan ısı miktarı (W/m ²)
\dot{Q}	ısı akısı (kW), Debi (lt/s)
r, R	Isıl direnç (m ² K/W), (mK/W)
t, T	Sıcaklık (°C), (K)
\dot{W}	İş (kW)

Yunan Harfleri

ϵ	Yayıcılık (boyutsuz)
σ	Stephan Boltzman sabiti (5,67x10 ⁻⁸ Js ⁻¹ m ⁻² K ⁻⁴)

Alt İndisler

a	iç mahal kuru termometre
c	ısıtma panellerinden mahale doğal konveksiyon
C	soğutma
d	panel tasarımındaki su
DT	düşük toprak sıcaklığı
GSI	su giriş sıcaklığı
H	ısıtma, yüksek sıcaklık

K	kompresör
p	toplam panel yüzeyi, panel yüzeyindeki etkin sıcaklık
r	radyasyon aktarılan ısı akısı
p-r	panel yüzeyleri ile panel harici yüzeyler arasında açı
P	Pompa, boru
S	toprak

Kaynaklar

1. Pamelee, G.V., Huebscher R.G., Forced convection heat transfer from flat surfaces, ASHVE Transactions 53: 245, 1947.
2. Min, T.C., LF. Schutrums, G.V. Parmelee, and LO. Vouris, Natural convection and radiation in a panel heated room. ASHAE Transactions 62: 337, 1956.
3. Schutrums, L.F., and J.D. Vouris, Effects of room size and non uniformity of panel temperature on panel performance, ASHVE Transactions 60: 455, 1954.
4. Feustel, H. E., Stetiu, C., Hydronic radiant cooling - preliminary assessment, Energy and Buildings, 22, 3, 193-205, August 1995.
5. Imanari T., Omori T., Bogaki K., Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system, Energy and Buildings, 30, 167-175, 1999.
6. Zmrhal, V., Hensen J., Drkal, F., Modelling and simulation of a room with radiant cooling ceiling, Eighth international IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11- 14, 2003.
7. Vangtook, P., Chirarattananon S., An experimental investigation of application of radiant cooling in hot humid climate, Energy and Buildings, 38, 273-285, 2006.
8. Vangtook, P., Chirarattananon S., Application of radiant cooling as a passive cooling option in hot humid climate, Building and Environment, 42, 543-556, 2007.
9. Kincay, O., Temir ,G., Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası – Bir Uygulama, Termodinamik Dergisi, Sayı: 125, 87-92, 2003.
10. <http://www.ncsc.ncsu.edu/fact/27body.htm>

**Makale**

11. ASHRAE, 2004, El Kitabı Sistemler ve Ekipmanlar, Bölüm 6, Panel Isıtma ve Soğutma.
12. <http://www.gelisimteknik.com>
13. ASHRAE., 1992, Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992R.
14. <http://aquatherm.com.tr/yeni/index.php/sistemler/istma-soutma-panelleri.html>
15. <http://www.novaterm.com.tr/tur/sistemler/duvardan.ht>
16. Min, T.C., L.F. Schutrum, G.V. Parmelee, and L.O. Vouris, Natural convection and radiation in a panel heated room. ASHAE Transactions 62: 337, 1956.
17. Imanari T., Omori T., Bogaki K., Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system.Comparison with the conventional all-air system, Energy and Buildings 30-1999.167–175.
18. Pamelee, G.V. and R.G. Huebscher, Forced convection, heat transfer from flat surfaces, ASHVE Transactions 53: 245, 1947.
19. Schutrum, L.F., and J.D. Vouris, Effects of room size and non uniformity of panel temperature on panel performance, ASHVE Transactions 60: 455, 1954.
20. Vangtook, P., Chirarattananon S., An experimental investigation of application of radiant cooling in hot humid climate, Energy and Buildings 38 (2006), 273–285.
21. Vangtook, P., Chirarattananon S., Application of radiant cooling as a passive cooling option in hot humid climate, Building and Environment, 42-2, February 2007, 543-556
22. Walton, G.N., A new algorithm for radiant interchange in room loads calculations. ASHRAE Transaction. 86 (2): 190-208, 1980.
23. Başkal, A., ‘Duvardan Isıtma ve Soğutmalı Toprak Kaynaklı Isı Pompası Performansının İncelenmesi’, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 2011.

