

TOPRAK VE HAVA KAYNAKLI, ISI POMPALI SİSTEMLERİN EKONOMİK İNCELENMESİ

Doç. Dr. Olcay Kıncay - Doç. Dr. Galip Temir

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul
e-posta: okıncay@yildiz.edu.tr, gtemir@yildiz.edu.tr

Dünyada yaşanan ekonomik sorunlarla ortaya çıkan enerji krizi, yenilenemeyen enerji kaynaklarının sonsuz olmadığını göstermiş ve enerjiyi verimli bir şekilde kullanmanın yolları aranmıştır. Alternatif enerji kaynakları arayışı içerisindeki araştırmacılar, ısıtma ve soğutma amacıyla harcanan enerjinin ısı pompaları yardımıyla daha az tüketilebileceğini vurgulamaktadırlar. Bu çalışmada İstanbul Hadımköy'deki bir villa için TS 825'e göre ısı yalıtım kontrolü ile ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları yapılmıştır. Bulunan yüklerle göre, ısıtma ve soğutma amacı ile önce dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemini, sonra da hava kaynaklı ısı pompası sistemini kullanmak üzere gerekli hesaplamalar tamamlanmıştır. Ayrıca her iki sistemin maliyetleri çıkarılarak, toprak kaynaklı sistemin yıllık toplam maliyetinin % 19 daha düşük olduğu bulunmuştur.

1. GİRİŞ

Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve bu yakıtların yarattığı çevre kirliliği gibi sorunlar nedeniyle, tüm dünyada alternatif enerji kaynağı arayışları başlamıştır. Bu arayışlar jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, ısı pompaları gibi farklı sonuçlara ulaşmıştır. Bulunan sonuçlar arasında ısı pompaları, düşük enerji tüketimleri, yüksek performans katsayıları ve çevreye zarar vermemeleri gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir.

Pek çok kişiye oldukça yabancı bir kavram gibi görünen ısı pompaları aslında uzun zamandır hayatımızın içindedir. Evlerimizdeki buzdolabı, klima gibi cihazların hepsi ısı pompasının birer örneğidir. Basit bir ifade ile ısı pompası, düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından, yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına ısı aktaran makinelerdir. Çalışma prensibi soğutma makinesi ile aynı, ancak kullanma amacı farklıdır. Isıyı doğal akım yönünün tersine taşıdığı için ısı pompası adını almıştır. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ısı pompaları yıllardır yaygın bir şekilde uygulanmakta ve bu devletler tarafından tüm uygulamalar teşvik edilmektedir. Dünyadaki 26 ülkede yalnız toprak kaynaklı ısı pompalarının kurulu gücü 6875 MW ve yıllık enerji kullanımı ise 23287 TJ'dur. Kurulu olan cihazların gerçek sayısı 512700 civarındadır[1]. Ülkemizde ise son birkaç yıldır gündeme gelmiş olup, birçok konutta ısıtma/soğutma amaçlı olarak uygulamaya sokulmuştur. Henüz ülkemizde toprak kaynaklı ısı pompaları imal edilmemektedir. Isı pompası ve toprağa döşenen borular işal edilmekte olup montajları gerçekleştirilmektedir[1]. Ülkemizde bu konuda çalışan firma sayısı çok azdır. Isı pompaları, gerekli iyileştirmeler yapıldığı takdirde yüksek performansları ve düşük enerji tüketimleri ile, enerjiye yüksek bedeller ödeyen, üstelik birbiri ardı sıra enerji krizleri yaşayan ülkemize ekonomik anlamda büyük katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmada dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi ile hava kaynaklı ısı pompası sistemi İstanbul Hadımköy'de bir villaya uygulanmış ve maliyet analizi yapılmıştır.

2. DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI

POMPALARI

Toprak kaynaklı ısı pompaları, toprağa gömülü olan bir ısı değiştirici, ve buna bağlı olan bir buharlı sıkıştırma çevriminden oluşur (Şekil 1). Toprak devresinde akışkan olarak genelde su veya su-antifriz karışımı kullanılır. Bu akışkan, toprağa gömülü termoplastik borular vasıtası ile sıvı-soğutucu akışkan ısı değiştiricisi içinde dolaşır ve çektiği ısı enerjisini buharlaştırıcıda ısı pompasındaki soğutucu akışkana devreder. Toprak kaynaklı ısı pompalarının projelendirilmesinde, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, toprak devresinin boyutlandırılmasında önemli kriterlerdir. Ancak toprak

özelliklerinin zamanla değişmesi hesaplamalarda göz önüne alınmalıdır [2,3]. Örneğin ısı pompası ile ısı çekilmesi halinde, toprağa gömülü boru civarındaki toprağın sıcaklığı düşer. Buna bağlı olarak nem ve diğer özellikleri de değişir. Ayrıca toprak sıcaklığı düştüğü için, topraktan gelen akışkanın buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı da düşer. Bu da ısı pompasının etkinliğini değiştirir. Ayrıca eğer topraktan çekilen ısı miktarını karşılayacak kadar toprağa tekrar ısı geçişi olmazsa toprakta donma tehlikesi baş gösterir. Toprak kaynaklı ısı pompaları, toprak devresinin yerleşim şekline göre adlandırılır. Yatay ve dikey toprak kaynaklı olarak iki tipi vardır.

Dikey tip ısı pompaları, iki adet küçük çaptaki yüksek yoğunluklu polietilen tüpün, yere dik olarak açılan bir kuyuya yerleştirilmesinden oluşur (Şekil 2). Bu tüpler, kuyunun dibinde bir U parçası ile birleşir. Dikey tüplerin çapı 3/4" ile 1 1/2" arasında değişir. Kuyunun derinliği ise sondaj koşullarına, ve yapılan hesaplardan sonra elde edilen basınç düşümü ve ısı iletim değerlerine göre 15 - 200 m arasında değişir.

Isı pompası sistemlerinde, ısı değiştirici boru uzunluğu aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişir:

- * Sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesi
- * Toprak ısı direnci
- * Sistemin COP değeri
- * Boru ısı direnci
- * Yıllık ortalama toprak sıcaklığı
- * Isı değiştirici tipi
- * Isıtma ve soğutma için sisteme giren su sıcaklığı
- * Çalışma faktörü

2.1. TANIMLAR

COPI: Cihazın ısıtma gücünün, kompresör gücüne oranıdır.

COPs: Cihazın soğutma gücünün, kompresör gücüne oranıdır.

Çalışma Faktörü: Isı kaybının veya kazancının en yüksek olduğu aylarda, cihazın bu yükleri karşılaması için gereken kapasitesine oranıdır. Isıtma ve soğutma için ayrı, ayrı hesaplanarak boru boyları çıkarılır. Daha uzun olan boru boyu sistemin tasarımında kullanılır. Burada FI ile ısıtma için çalışma faktörünü, FS ile de soğutma için çalışma faktörünü belirtiriz.

Çalışma Zamanı = (Ortalama Isı Kaybı veya

Kazancı / Saat) / Cihazın Kapasitesi (1)

Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı (Tm): Yıl boyunca değişen toprak sıcaklığının ortalamasıdır. Yıllık ortalama toprak sıcaklığı 15 - 45 m derinlikte kuyu suyu sıcaklığına eşit alınabilir, ya da ortalama yıllık hava sıcaklığına yaklaşık 1,1°C eklenerek bulunabilir[3].

Etkilenmiş Toprak Sıcaklığı: Isı değiştiricisinin temas halinde bulunduğu toprak sıcaklığının artması veya azalması borunun gömüldüğü derinliğe bağlı olarak değişir. Bu değer 1,66 - 10 °C arasında değişir ve genelde 5,55 °C olarak kabul edilir. Bunun anlamı ısıtma durumunda toprak sıcaklığının 5,55 °C azalması, soğutma durumunda ise 5,55 °C artmasıdır[3].

Yüksek Toprak Sıcaklığı (TYT) = Ortalama Toprak Sıcaklığı (Tm) + 5,55 (2)

Düşük Toprak Sıcaklığı (TDT) = Ortalama Toprak Sıcaklığı (Tm) – 5,55 (3)

Isıtma için Giriş Suyu Sıcaklığı (TGSİ): Toprak, ısının çekilmesiyle soğur. Fakat değişim soğutmaya göre daha azdır. Boru yüzey alanı ısıtma oranına göre değişir.

Soğutma için Giriş Suyu Sıcaklığı (TGSS): Sirküle eden sudan, toprağa olan ısı transferi nedeniyle, toprak altındaki boruları terk ederek cihaza giren su sıcaklığı normal toprak sıcaklığından daha yüksektir. Aradaki sıcaklık farkı transfer edilen ısı miktarına bağlıdır

Toprak Isıl Direnci (Rt): Toprak boyunca akan ısı için önemli bir dirençtir. Toprak altına gömülen boruların derinliğinin, boruların boyutlarının, açılan her bir hendeğe kaç boru konulduğunun, boruların yatay ve dikey olmasının, bir hendeğe birden fazla boru konulması durumunda boruların birbirleri arasındaki yatay ve dikey mesafelerin ve toprak cinsinin toprak ısı direnci üzerinde etkisi büyüktür. Farklı boru yerleşimleri için toprak ısı direnci değerleri Tablo 1'de verilmiştir[3]. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompası için verilen değerlerde kanalların içinde bulunan, boruların üzerinde görülen rakamlar, kanal derinliğini feet cinsinden göstermektedir. Bu değer 0,3048 ile çarpılarak m'ye dönüştürülmelidir.

Boru Isıl Direnci (Rb): Toprağın korozyon etkisinden en az etkilenen ve en uzun ömre sahip malzeme plastiktir. Toprak altı dört çeşit boru üretilmiş olup bu borulara ait ısı direnç değerleri Tablo 2'de verilmiştir[3].

2.2. DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI

POMPASI TASARIM ADIMLARI

1. Kullanılacak binaya ait ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları yapılır.
2. Kullanılacak ısı pompası tipi seçilir.
3. Kullanılacak olan boru tip ve malzemeleri seçilir. Seçilen boru tipi için direnç değerleri saptanır.
4. Toprak cinsi belirlenir. Ayrıca toprağa ait yıllık ortalama sıcaklık ve direnç değerleri saptanır.
5. Eğer su kaynaklı ısı pompası ise, kullanılacak olan suyun sıcaklık ve direnç değerleri belirlenir. Suyun kalitesi ve içindeki partikül değerlerinin uygunluğu kontrol edilir.
6. Çalışma faktörü hesaplanır.

7. Isı kaynağının ortalama ve minimum sıcaklıkları belirlenir.

8. Kullanılacak ısı pompasına karar verilir.

9. Isı değiştirici boyutu hesaplanır.

2.3. DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI

POMPASINDA ISI DEğİŞTİRİCİ

BOYUTLANDIRMA HESABI

Boru ısı değiştiricisinin birim boyundan çekilen veya atılan ısı miktarı, bina ısı kaybı ve ısı kazancı ile ısıtma veya soğutma tesir katsayısı ve ısı değiştiricisinin boyuna bağlıdır. Isı değiştirici boyutlandırılmasında, ısıtma ve soğutma dönemleri için, aşağıda belirtilen, (4) ve (5) no.lu ifadeler kullanılarak toplam boru boyu (L) bulunur:

COPI – 1

$$q_i = \frac{1}{COPI} [R_b + (R_t \times FI)]$$

COPI

$$L_i = \frac{Q_i}{q_i} \quad (4)$$

TDT – TGSI

COPS + 1

$$q_i = \frac{1}{COPS + 1} [R_b + (R_t \times FS)]$$

COPS

$$L_i = \frac{Q_i}{q_i} \quad (5)$$

TGSS – TYT

q_i binanın ısı kaybı, q_s ise ısı kazancıdır. Ancak seçilen ısı pompası kapasitesi pratikte bu değerlere tam olarakeşit olmaz. Dolayısı ile, bu terimlerin yerine, seçilen ısı pompasının ısıtma kapasitesi veya soğutma kapasitesi kullanılmalıdır.

2.4. DİKEY TİP TOPRAK KAYNAKLI ISI

POMPALI SİSTEM UYGULAMASI

Bina bilgileri: İstanbul Hadımköy'de 350 m²'lik bir villanın ısı kazancı = 37,997 kW, ısı kaybı = 32,640 kW.

Toprak altı boru bilgileri: 1 1/2 ", Polietilen-Schedule 40, Rb = 0,046 mK/W [3].

Toprak bilgileri: Nemli toprak, Tm = 14,7 °C, TYT = 20,25 °C, TDT = 9,15 °C, Rt = 0,308 mK/W (Çukurova Üniversitesi'nin İstanbul Hadımköy'deki ölçüm değeri) [4].

İstanbul için hava tasarım bilgileri: Soğutma yükü dış tasarım değerleri KT = 33 °C, YT = 24 °C, ısıtma yükü dış tasarım sıcaklığı: - 3 °C

Isı Pompası bilgileri: Tip: Robust 38U, TGSS= 35 °C, TGSI= 0 °C, QI= 38,5 kW, COPI= 2,44, COPS= 3,94, FI= 0,330, FS= 0,420 ve debi= 121,8 lt/dak, sistemde antifriz olarak %20 calcium chloride kullanılmıştır[4].

Hesaplanan toprak altı boru boyu: LI= 366,46 m, LS = 567,26 m (soğutma sezonu için hesaplanan boru uzunluğu kullanılarak, 4 adet sondaj kuyusu ve herbiri 141,81 m derinlik tasarımı yapılmıştır).

HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI

Yoğuşturucunun ve buharlaştırıcının ısı transfer ortamının hava olduğu sistemlerdir. Kaynağın sıcaklığının diğer ısı kaynaklarına göre değişken olması hava kaynaklı ısı pompası sisteminin performansını kararsız hale getirmiştir. Bu uygulamada hava kaynaklı ısı pompası olarak V.R.V. sistemi ele alınmıştır.

V.R.V. sistemi, değişken soğutucu akışkan debili sistemdir. Soğutma grubu ve fan-coil sistemiyle aynı prensipte çalışır. Dış ünite soğutucu akışkanın, yoğuşturucu ve buharlaştırıcı sıcaklıklarını sabit tutacak bir kapasitede çalışır. Bu şartlar dış üniteye bulunan inverter kompresörlerle sağlanır. Şekil 3'de [5] şematik olarak görülen V.R.V. iç ünitesi fan, serpantin grubuna ait üç adet termistöre (T1,T2,T3), oransal vanaya ve mikro işlemciye sahiptir. Soğutucu akışkanın giriş-çıkış sıcaklığı ve dönüş havası sıcaklığı termistörler tarafından algılanıp sıcaklık değerleri mikro işlemci tarafından değerlendirilir. Bu irtibat oransal vananın ne kadar açılması gerektiğini belirler ve akışkan debisi oda sıcaklığına göre ayarlanır. Bu sistem konfor şartını artırırken diğer konvansiyonel hava şartlandırma sistemlerine göre enerji tasarrufunu sağlar. Fan-coillerde su yerine soğutucu akışkan dolaşır, sulu sistemde kullanılan pompa, pislik tutucu, vana gibi ekipmanlar bu sistem kullanılmaz. Soğutucu akışkanların birim kütle başına taşıdıkları enerji miktarı suya göre yaklaşık on kat fazla olmasından dolayı daha az enerji ile ısı taşınabilir ve cihaz boyutları daha küçüktür.

Havadan havaya tipteki ısı pompası cihazları kış mevsiminde dış sıcaklığa bağlı olarak performans kaybına uğrarlar. Bu performans düşümünde rol oynayan iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar:

1. Dış sıcaklığın düşmesine paralel olarak düşen buharlaştırıcı sıcaklığı nedeniyle kompresör basınç farkının yükselmesi,
2. Performans katsayısının düşmesi düşük sıcaklıklarda dış ünite(buharlaştırıcı) serpantinlerinde meydana gelen karlanmanın eritilmesi için defrost yapılması gereksinimidir.

V.R.V. sistemlerinde soğutucu akışkan debisi ayarlanmak suretiyle performans katsayısının belli sınırlar arasında sabit tutulabilmektedir. Defrost şartlarında cihazdan beklenen kabullere göre değişkendir. Defrost süresince ısıtma açısından çift katlı bir dezavantaj ortaya çıkar. Sistem performansının düşmesine neden olur. Performans düşümü ise, defrost süresinin yaz ve kış klimasında, iç ve dış hava şartlarına göre belirlenerek, yine performans katsayısı belli sınırlar arasında sabit tutulabilmektedir.

İstanbul Hadımköy'deki villada daha önceden hesaplanan ısı kaybı ve ısı kazancına göre, ısıtma ve soğutma amaçlı Multisplit V.R.V. sistemi kullanılmıştır. Dış ünite RSXY 8KY 1 (2x22 kW) ve iç ünite FXYA 32 KVE (4 kW x 10 adet)'dir.

4. TOPRAK VE HAVA KAYNAKLI, ISI

POMPALI SİSTEMLERİN MALİYETLERİ

Bu karşılaştırmadaki maliyet hesaplamalarında 'Bir Değere Getirilmiş Maliyet' yöntemi kullanılmıştır[7]. İlk yatırımın yıllık maliyeti, toplam ilk yatırım maliyeti ile amortisman faktörünün çarpımına eşittir:

$$CA = IAAF (6)$$

$$(1 + i)^n$$

$$AF = \frac{CA}{(1+i)^n - 1} (7)$$

$$(1+i)^n - 1$$

Amortisman faktörü hesabında, yıllık nominal faiz oranı % 8 ve toplam sistem ömrü 15 yıl olarak alınmıştır. Bugünkü koşullarda yıllık işletme maliyetinden hareketle, bugünkü koşullarda toplam işletme maliyeti bulunur.

$$(COM)PW[1 - (1 + ef)^n (1 + i)^{-n}]$$

$$(IOM)PW = \frac{(COM)PW[1 - (1 + ef)^n (1 + i)^{-n}]}{i - ef} (8)$$

$$i - ef$$

Elektrik için eskalasyon faktörünün % 4 olarak alındığı bu ifadeden yıllık işletme maliyetine geçilir:

$$COM = (IOM)PWAF (9)$$

Yıllık toplam maliyet ise ilk yatırımın yıllık maliyeti ile yıllık işletme maliyetinin toplamına eşittir:

$$CT = CA + COM \text{ (10)}$$

Yıllık toplam maliyetin yıllık ısı enerjisi ihtiyacına bölünmesi ile de birim enerji maliyeti bulunur:

$$gT = CT / \text{yıllık ısı enerjisi ihtiyacı} \text{ (11)}$$

Toprak ve hava kaynaklı, ısı pompalı sistemlerin maliyetleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Toprak ve Hava kaynaklı Isı pompalı

Sistemlerin Maliyeti

Maliyet Isı Pompalı Sistem Fark

Toprak Hava Sayısal Oran

Kay. Kay.

IA (\$) [6] 30772 28866 1906 0,062

CA (\$/Yıl) 3595 3372 223 0,062

(COM)PW (\$/Yıl)[6] 2990 4287 -1297 -0,566

(IOM)PW (\$) 32311 46332 -14021 -0,434

COM (\$/Yıl) 3775 5413 -1638 -0,434

CT (\$/Yıl) 7370 8785 -1415 -0,192

gT(\$/kWh) 0,071 0,082 -0,011 -0,155

İşletme giderleri hesaplanırken cihazların, ısıtma sezonunda günde 12 saat, yılda 150 gün ve soğutma sezonunda ise günde 10 saat, yılda 120 gün çalışacağı düşünülmüştür. Tablo 3'de görüleceği üzere toprak kaynaklı ısı pompalı sistem, hava kaynaklıya göre, yıllık toplam maliyet olarak 1415 \$ (% 19) daha ucuzdur. Onbeş yıllık bir sistem ömrü ele alındığında bu değer 21225 \$ yükselir. Toprak kaynaklı ısı pompalı sistemin birim maliyeti ise 0,071 \$/kWh'dir.

5. SONUÇ

Bir binada ısı pompası uygulamasına başlarken önce ısı kaynağının detaylı irdelenmesi gerekir. Örneğin, ısı kaynağı toprak ise toprak ısı direnci, yıllık ortalama toprak sıcaklığı, toprak yapısı vb.; ısı kaynağı hava ise yıllık sıcaklık değişimi, hava kalitesi vb. gibi parametreler incelenmelidir. Bu parametreler ilk yatırım ve işletme giderlerini etkileyecek önemli hususlardır. Ön araştırması iyi yapılmamış bir sistem ekonomik olmayacaktır.

Isı kaynağı olarak toprak geç ısınıp geç soğuduğu için, toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performans katsayısı kararlı bir yapıdadır ve dış hava sıcaklığından fazla etkilenmez. Ayrıca toprak kaynaklı ısı pompasının belirli sıcaklık aralıklarında pasif soğutma (kompresör kullanılmadan sadece akışkanın toprak içersinde sirküle ettirilmesi) ile de çalışabileceği düşünülürse hava kaynaklı sisteme göre önemli bir avantaja sahiptir. Hava ısı kaynağı olarak kararlı olmadığı için, hava sıcaklığının değişmesi sonucu ısı pompasının performans katsayısındaki kararlılıkta sürekli değişir.

Bu çalışmada, İstanbul Hadımköy'deki bir villanın ısı kaybı ve ısı kazancı değerleri bulunarak dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ile hem ısıtma, hem de soğutma için boyutlandırma hesapları yapılmıştır. Yaz sezonunda bir metre sondaj borusu ile toprağa verilen ısı 0,067 kW'dır. 'Bir Değere Getirilmiş Maliyet' yöntemine göre maliyeti bulunan ısı pompası sisteminin hava kaynaklı ısı pompası sistemi ile (aynı ısı kaybı ve kazancı için) maliyet karşılaştırması tablo haline getirilmiştir. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompasının ilk yatırım maliyetinin hava kaynaklı sisteme göre % 6 daha yüksek, işletme maliyetinin % 43 daha düşük ve yıllık toplam maliyetinin ise % 19 daha az olduğu bulunmuştur.

SEMBOLLER

AF Amortisman faktörü (%)

gT Birim enerji maliyeti(\$/kWh)

CA İlk yatırımın yıllık maliyeti (\$/Yıl)

IA Toplam ilk yatırım maliyeti(\$)

COM Yıllık işletme maliyeti (\$/Yıl)

i Yıllık nominal faiz oranı (%)

(COM)PW Bugünkü koşullarda yıllık işletme

maliyeti (\$/Yıl)

CT Yıllık toplam maliyet (\$/Yıl)

n Sistem ömrü (Yıl)

ef Eskalasyon faktörü (%)

(IOM)PW Bugünkü koşullarda toplam işletme

maliyeti (\$)

KAYNAKLAR

[1] Hepbaşı, A., Hancıoğlu, E., 'Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi, Fizibilitesi', V. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi ve Sergisi, TESKON 2001, 521-564, İzmir, 2001.

[2] Ginlik, C., İlken, Z., 'Yer Kaynaklı Isı Pompaları', Termodinamik, 11/2000

[3] Miles, L., 'Heat Pumps: şeory and Service', Delmar Publishers Inc., NY, 1994.

[4] Yeşil Çizgi Seminer Notları ve Katalogları, 2001.

[5] Isısan Katalogları, 1999.

[6] Süzer, B., 'Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Hava Kaynaklı Isı Pompasının Tekno-Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması', Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Danışman: Olcay Kıncay), 2001.

[7] Aybers, N., Şahin, B., 'Enerji Maliyeti', Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 299, İstanbul, 1995.

TEŞEKKÜR

İstanbul Hadımköy'de bulunan villaya ait yerinde incelemelere olanak sağlayan YEŞİL ÇİZGİ Isı Teknikleri Ltd. Şti. Genel Müdürü Hakan YILMAZ'a ve şirket teknik personeline teşekkür ederiz.