

# İSİ POMPALI BİRLEŞİK İSİ VE GÜC SİSTEMLERİNİN PARAMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ

## Parametric Evaluation of Combined Heat and Power Systems with Heat Pump

Prof. Dr. Birol İ. Kılıç

TTMD Üyesi

### Özet

Bu makalede, ısı pompalarının ülkemizdeki bugünü ile birleşik ısı ve güç sistemleri ile birleşeceği yarını arasında kalan alternatiflerin bugünkü ısı sistemlerimize oranla avantajları değişik senaryolarla çevre, sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu ve ekonomiklik boyutlarında irdelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Birleşik ısı ve güç ısı pompaları, eksjerji.

### Abstract

In this article technological alternatives in our country between today's heat pump applications and the day when heat pumps will integrate with combined heat and power systems are analysed with respect to our current heat systems in terms of environment, sustainability, energy savings, and economic feasibility using different scenarios.

**Keywords:** Combined heat and power, heat pumps, exergy.

### 1. Giriş

İşı pompaları henüz ülkemizde yeterince yaygınlaşmamış olmakla birlikte, birleşik enerji tasarrufu sağlayan ısıtma ve soğutma sistemleri olarak bilinmektedir. Ülkemizde daha çok toprak kaynaklı ısı olarak tanınan bu sistemler, iklim koşullarına daha az bağımlı olduklarından tercih edilmekte, ancak sistemin gereği olan toprak ısı eşanjörleri ek yatırım ve işletme maliyetleri getirmektedir. Binaların ısıtılmasında kullanıldığı durumlarda günümüzün ileri teknolojisine sahip bu tip cihazların Isı Tesir Katsayısi, COP<sub>H</sub>, 5'e, hatta daha yüksek değerlere ulaşmakla birlikte, ülkemizdeki mevcut

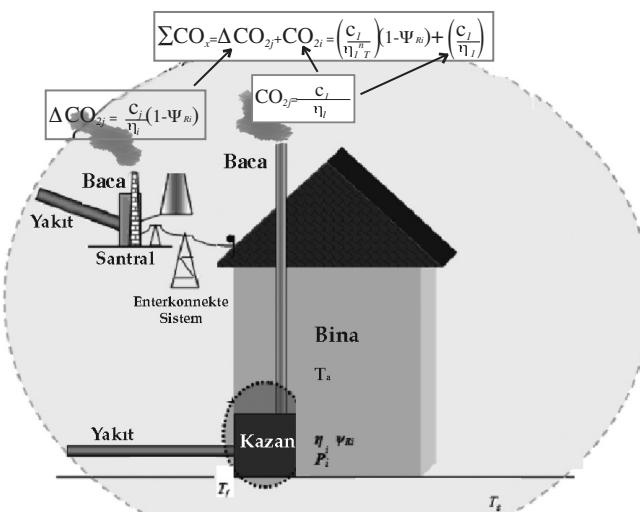
uygulamalara bakarak mevsimlik ortalama değer 2.8 olarak kabul edilebilir. Kullanıcı açısından bunun anlamı; ısı pompasının tahrikinde kullanılacak elektrik gücü bina ısı yükünün yaklaşık 1/3'üdür ve ekonomiklik hesapları bu noktada son bulmaktadır. Acaba böyle bir uygulama çevrenin korunması, sürdürülebilirlik, ve küresel ısınmanın sönmüşlenmesi açısından gerçekten yararlı mı? Sürdürülebilir bir çevre ve ulusal enerji bütçesi açısından olaya bakıldığından durum oldukça değişiktir. Entekonekte sistemden sağlanan elektrik gücünün bir termik santralden sağlandığı varsayımla santrale giren fosil yakıt noktasından itibaren yapılan enerji çevrimleri ve enerji iletimi hesaplarına göre elektrik gücü binaya ortalama % 35 verimle ulaşmaktadır. Bu çerçevede, ısı pompasının tahrik için termik santralde tüketilen fosil yakıt bazında bina ısıtmasının ıslı verimi (Birincil Enerji Oranı) sadece  $2.8 \times 0.35 = 0.98$  olarak bulunur ki, bu değer doğal gazlı, yoğunşalmalı bir ısıtma kazanından veya kombi cihazdan daha iyi değildir. O halde ısı pompalarını prize takip çalıştırma seçeneğine geniş bir sürdürülebilir ulusal enerji politikası, ulusal ekonomi ve daha temiz bir çevre gözlüğü ile baktığımızda önemli bir yarar görmemekteyiz. Bu bakış açısı bizlere, ısı pompalarının daha değişik ve yaratıcı yöntemlerle kullanılması gerekliliğine işaret etmektedir. Bu sorunu aşmak ve ısı pompalarının gerçek avantajlarını yakalayabilmek için, bu cihazların ısı geri kazanımı doğalgaz motorları ile birleşik olarak işletimleri gündeme gelmekte, daha çev-

re duyarlı sistemlerde ise, ısı pompalarını tahrik eden doğalgaz motorları birleşik ısı ve güç sistemi olarak çalıştırılmaktadır. İşte bu ve buna benzer cihaz birleşimleri ve yeni yöntemlerle ısı pompaları gerçek avantajlarını uygulamada gösterebilmektedir. Ancak, çevre, konfor, enerji tasarrufu ve ekonomiklik açılarından bu karmaşık gibi gözüken sistemlerin enerji ve akıcı eksjerji verimleri açısından optimize edilmeleri gerekmektedir.

### 2. İSİ SİSTEMLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ BUGÜNÜ

Ülkemizde binaların konfor ısıtması, doğalgaz kazanları ve kombi cihazların kullanımı ile adeta özdeşleşmiştir. Elektrik gücü ise, çok büyük oranda entekonekte sistemden sağlanmaktadır. Bu enerji arzında en büyük pay, hidrolik ve merkezi termik santrallerden ve ardından da otoprodüktör termik kombinе çevrim santrallerinden gelmektedir. Konuya toplum olarak sadece cihazdaki enerji verimi açısından baktığımızda büyük bir sorun yokmuş gibi algılamakta, ayrıca nakil hatlarındaki kayıpları ve diğer verimsizlikleri de çoğu kez göz ardı etmekteyiz. Ülkemizdeki termik santrallerin ve kombinе güç santrallerinin atık ısları ise, şu, anda kullanılmamaktadır [1]. Şekil 1'de elektrik gücü temini bakımından termik santrale bağlı ve doğalgaz kazanlı bir bina görülmektedir. Doğalgaz hem binada ısıtma amaçlı olarak hem termik santralde tüketilmektedir. Bunun sonucunda CO<sub>2</sub> atımı iki nedenle oluşmaktadır. Şekil 1'deki denkleme göre  $P_i$  ısı yüküne sahip bir binada kuru-

lu ve ıslı verimi  $\eta_i$  olan bir kazanı bulunmaktadır. Bu modelde göre, kazanın sağladığı her birim ısı ( $1 \text{ kW}$ ) için atılan  $\text{CO}_2$ ; doğal gazın birim ısısına karşılık gelen  $\text{CO}_2$  atım miktarı,  $c_j$ 'ye bağlıdır (Yaklaşık  $0.2 \text{ kg CO}_2/\text{kW}$ ). Söz konusu bina tükettiği doğalgazı önce kendi birleşik ısı ve güç sisteminde kendi elektrik gücünü üretmekte kullanabilir, sonra da atık ısını konfor ısıtmasında kullanabilirdi. Böylelikle de, termik santrale ihtiyacı kalmayabilirdi. Bu yapılmadığı sürece konfor ısıtmasının *Akilci Ekserji Verimi*,  $\psi_{ri}$  sadece % 4'tür [2]. Diğer bir deyişle, tüketilen doğal gazın yararlı işlerde (elektrik gücü üretimi gibi) kullanılabilir miktarının % 96'sı geri kazanımı mümkün olmayan bir biçimde kaybedilmektedir. Bu kayıp oranında bir ikinci doğalgaz miktarı termik santralde binaya elektrik gücü sağlamak üzere tüketilmektedir. Dolayısıyla aynı binanın  $\text{CO}_2$  atımındaki sorumluluğu sadece kendi bacası ile sınırlı kalmayıp bağlı olduğu termik santral bacasında da kısmi bir sorumluluğu bulunmaktadır. Toplam sorumluluk bu nedenle  $\sum \text{CO}_{2i}$  olmaktadır. Aynı formül, toplam fosil yakıt tüketimine de yansıtıldığında sistemin ne ekonomik ne de çevre dostu olmadığı anlaşılır. Bu denklemde  $\eta_T$  yaklaşık 0.35 olup, eğer termik santralde doğalgaz yerine, kömür kullanılıyorsa  $c_j$  0.6  $\text{kg CO}_2/\text{kW}$ 'a yükselir.

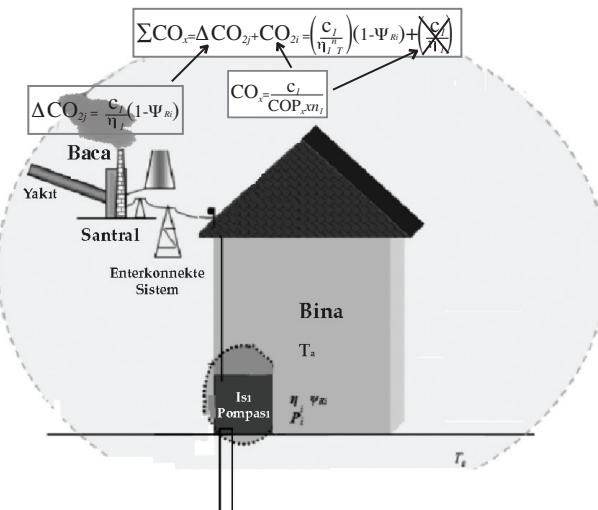


**Şekil 1.** Bugünkü genel durum: Elektrik enerjisini termik santralinden sağlayan ve doğal gaz kazanı ile ısıtılan bina modeli.

### 3. Alternatif Isı Sistemleri

#### 3.1. Enterkonnekte Elektrik Şebekesinden Tahrik Edilen Isı Pompaları

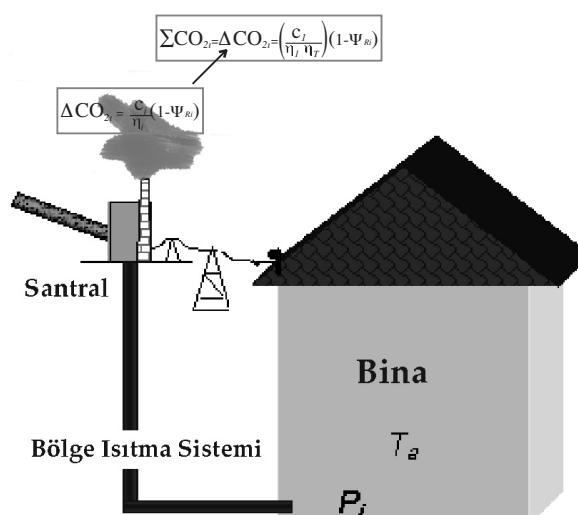
Giriş bölümünde de belirtildiği üzere, enterkonnekte sistemden sağlanan elektrik gücü ile tahrik edilen bir ısı pompasının çevreci olduğu söylenemez. Şekil 2 de gösterildiği üzere,  $\text{CO}_2$  toplam atımındaki tek fark denklemin ikinci terimidir. Bu terim ısı pompasının termik santralce algılanan elektrik gücü yükünü temsil eder. Bu terimde  $\text{COP}_H$  2.8 ve  $\eta_T$  yaklaşık 0.35 alınırsa,  $\psi_{ri}$  değerinin % 4 den yaklaşık % 10 a yükselmesi dışında,  $\sum \text{CO}_{2i}$  ifadesinde hemen hiç bir iyileşme olmaz.



**Şekil 2.** Termik santralden temin edilen elektrik enerjisi ile çalışan toprak kaynaklı ısı pompası modeli.

#### 3.2. Termik Santral Atık Isı Bölgelik Isıtma Sistemi ile Mülayese

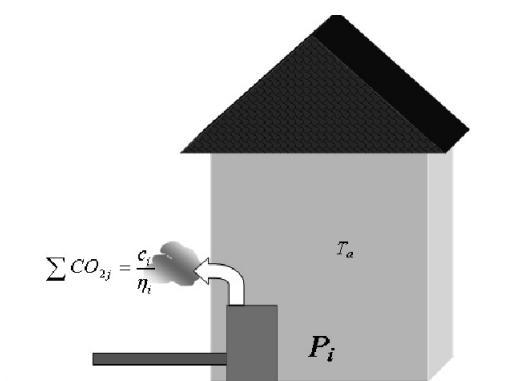
Aynı termik santralin atık ısısı bölge ısıtması sistemi aracılığı ile binaya verildiğinde doğalgaz ısıtma kazanına gerek kalmayacak ve  $\sum \text{CO}_{2i}$  denkleminin ikinci terimi ortadan kalkacaktır. Bu uygulama ile binanın  $\psi_{ri}$  değeri değişmez, çünkü bina elektrik yükü açısından aynı şekilde termik santrale bağlıdır. Termik santralin kendi  $\psi_{ri}$  değeri ise %28 dolayından %70'e kadar yükselir. Şekil 3 deki denklemde bakıldığından,  $\sum \text{CO}_{2i}$  miktarının yarı yarıya azaldığı görülmür [2, 3]. Dolayısı ile termik santrallerin atık ısısından yararlanma yöntemi ile çevredeki yerleşkede zararlı atımlarda en az %50 azalma sağlanmasının yanı sıra, atık ısının abonelere satış tarifesine ve şecline bağlı olarak abonelerin daha ucuz个交易 yapılması ve santrale ek mali kaynak sağlanması söz konusudur.



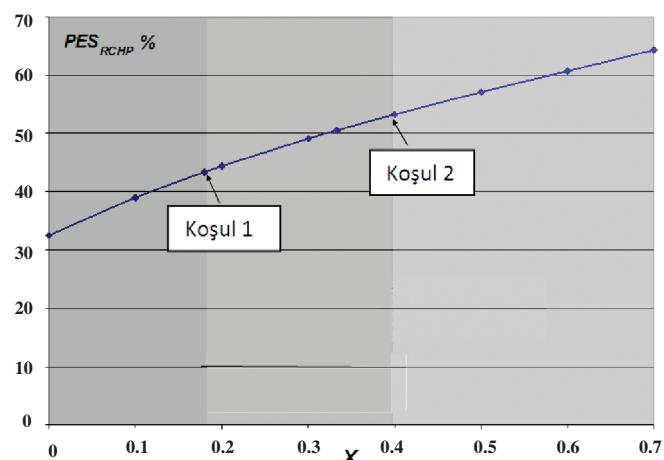
**Şekil 3.** Termik santralin atık ısısını kullanan bina modeli: Bölge ısıtma sistemi.

### 3.3. Küçük Ölçekli Birleşik Isı ve Güç Sistemleri ile Mukayese

Şekil 4' de ise, termik santral atık ısısının kullanılma kavramı minyatürize edilip her binaya uygulanmış şekli gösterilmektedir. Böylelikle binaların termik santralle ilişkisi tamamen kopmuştur ve her bina kendi elektrik gücünü üretmektedir. İşte bu aşamada  $\psi_R$  büyük oranda artar (yaklaşık %80). Zararlı atım ise sadece mini birleşik ısı ve güç cihazının egzoz çıkışında oluşur. Genelde bu değer bölge ısıtmasına oranla %30 ek bir azalmaya karşılık gelir. Aynı oranda da enerji tasarrufu sağlanır.



Şekil 4. Aynı binada mikro birleşik ısı ve güç sistemi modeli.

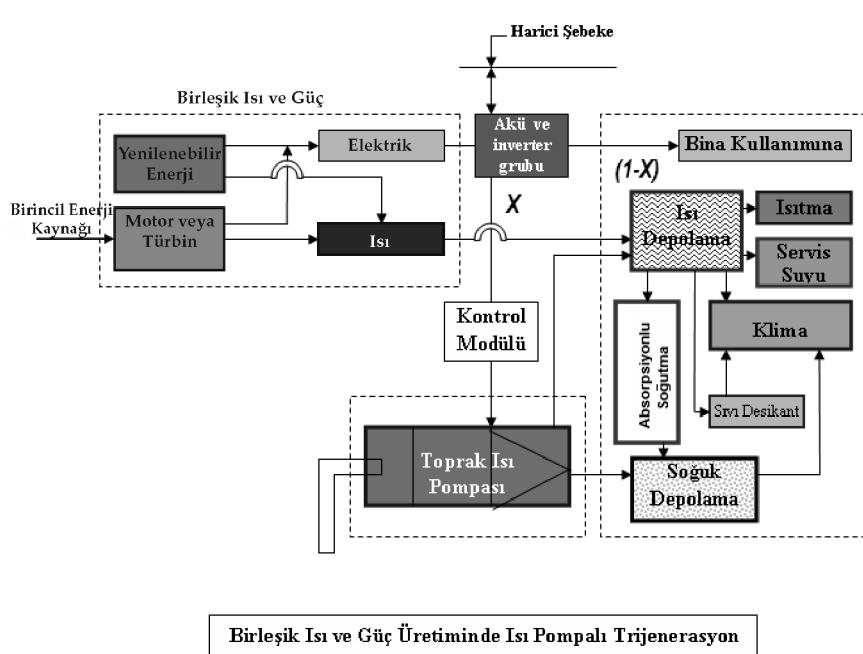


Şekil 6. İst pompa elektrik gücü paylaşım oranının ( $X$ ) yakıt tasarrufuna ( $PES_{RCHP}$ ) etkisi.

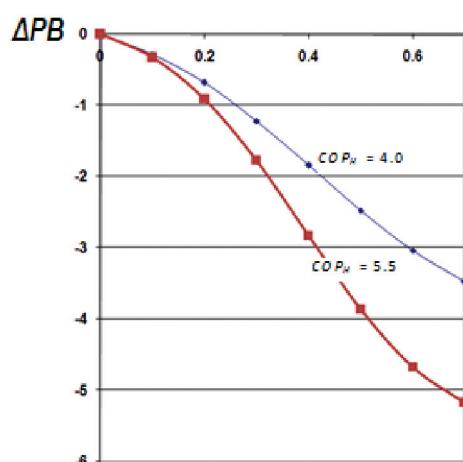
### 3.4. İst Pompalı Birleşik Isı ve Güç Sistemi

Yukarıdaki seçenekler arasında ısı pompasını unuttuk mu? Hayır. İst pompasının avantajları şimdi ortaya çıkacaktır. Genelde birleşik ısı ve güç sistemleri binanın ısı yükünü takip etmek üzere tasarlanır ve seçilir [4]. Kısacası sistemler çögulkula ısı yüküne göre işletilir. Bu durumda ısı yükünü ısı pompası ile paylaşan birleşik ısı ve üretim sistemi daha küçük boyutta seçilebilir ve uygun bir optimizasyonla tüm sistem daha ekonomik olur. Şekil 5'de ısı pompasının kapasitesi dışında kalan ısı yükünü karşılayacak bir birleşik ısı ve güç sistemi seçilmiş ve ürettiği elektrik gücünün  $X$  oranı ısı pompasını tahrif etmeye kullanılmakta, geri kalan bölümde binaya verilmektedir. Burada dikkat edilecek en önemli nokta, birleşik ısı ve güç sisteminin en az ısı pompasını tahrif edebilecek ve tercihen daha fazlasını üretebilecek bir güç kapasitesine (Koşul 2) ve bu arada toplam ısı yükünü ısı pompası ile birlikte karşılayacak ısı kapasitesine sahip olması gerekiğidir (Koşul 1). Bu koşulları da göz önüne alan bir optimizasyon çalışması Şekil 6 da gösterilmiştir. Bu örnekte en fazla birincil enerji tasarruf oranı,  $PES_{RCHP}$  nin %53 oranına ulaşabilmesi için optimum elektrik gücü paylaşım oranı  $X = 0.4$  olarak gözükmektedir.

Yukarıda izah edilen sistemin geri ödeme süresi, ısı pompasının  $COP_H$  ve  $X$  değerlerine bağlıdır.  $COP_H$  değeri 4 olan bir ısı pompasının geri ödeme süresi mahaldeki bir birleşik ısı ve güç sistemi ile tahrif edilmesi durumunda ( $X > 0$ ) azalmaktadır. Örneğin,  $X = 0.4$  değeri için geri öde-



Şekil 5. İst pompa birleşik ısı ve güç sistemi.



**Şekil 7.** Geri ödemes Süresinin ısı pompası  $COP_H$  ve güç paylaşım oranı ( $X$ ) ile değişimi ( $\Delta PB$ ).

me süresindeki kısalma,  $\Delta PB$  ısı pompasının şebekeden temin edilen elektrik gücü ile tahriki durumuna kıyasla (Şekil 2) yaklaşık 2 yıl daha azalmaktadır (Şekil 7). Bu kısalma miktarı  $COP_H$  değeri 5.5 olan bir ısı pompası için 3 yıl olmaktadır [5]. Yukarıdaki analizler, soğutma mevsimi için de benzer sonuçlar vermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Isı pompaları tek başına çalıştırılıp entekonnekte sistemden tahrik edildiklerinde konfor sisitması bakımından küresel sürdürülebilirlik ve milli ekonomi açısından büyük bir yarar getirmemektedirler. Bununla birlikte, aynı ısı pompaları birleşik ısı ve güç sistemleri ile entegre edildiklerinde ve optimum bir yük paylaşımı gerçekleştirildiğinde, çevresel, teknik ve ekonomik yararları çok büyük olmaktadır. Bunu gören birçok ülke, bu yönde önemli yatırımlar ve uygulamalar yapmaktadır. Ülkemizdeki enerji verimliliği yasasında birleşik ısı ve güç sistemlerine bir nebe yer verilmekle birlikte, bunların ısı pompaları ile birlikteliğinden doğacak ek faydalara degenilmemiştir. Bu konunun önumüzdeki günlerde yasa açısından da değerlendirilmesi çok yararlı olacaktır. Yabancı literatüre ve uygulamalara baktığımızda, birleşik ısı ve güç sistemlerinin artık zorunlu yönelikliklere bağlanmış olduğunu, birleşik ısı ve güç sistemleri ile kombiné güç

santralleri arasında da kesin bir ayırım yapılmış olduğunu görmekteyiz [1,6-9]. En son teknolojilere sahip doğal gazlı bir kombine güç santralinin en yüksek yakıt verimi %50, ortalama ekserji verimi de, %48 den fazla değildir [10,11]. Gaz türbinli kombine güç santrallerinin uygulamadaki en yüksek yakıt verimi sınırı %60 daha yeni aşılmıştır [12]. Halbuki optimize edilmiş bir ısı pompalı birleşik ısı ve güç sisteminin yakıt verimi %90, akılçıl ekserji verimi de %80 dolayındadır [3,5]. Konuya hangi açıdan bakılırsa bakılsın, birleşik ısı ve güç sistemleri, sayısız enerji, ekserji, ekonomi ve sürdürülebilirlik avantajları sunmaktadır. Bu avantajlar, ısı pompalarının da entegrasyonu ile daha da artmaka olup, ülkemizde de uygulanmamaları için hiç bir neden yoktur. Eğer sorun karar mevkiiindeki yöneticilerin ve uygulayıcıların bu sistemlerin yeterince tanınmış olmamaları gibi bir gerekçeye siğınmaları ise, diğer ülkeler bu aşamayı yıllar önce aşmışlar ve değişik matematiksel modeller ve bilgisayar benzetim programları ile kamu konuya inandırıp gerçek uygulamalar ile kamuya örneklerini çoktan sunmuş bulunmaktadırlar. Küresel ısınmaya, özellikle CO<sub>2</sub> atımlarının azaltılması yönündeki çabalara [13,14] bu makalede yer verilen çözümün katkıları da çok büyük olacaktır [2].

#### KAYNAKÇA

- [1] Kılıkış, Birol, "Birlikte Üretim Sistemlerinin (Kojenerasyon) Analizi ve Çevresel Yararları." TTMD Dergisi, 48. Sayı EK: 26, TTMD: Ankara, 2007.
- [2] Kılıkış, Şiir, "A Rational Exergy Management Model for Curbing Building CO<sub>2</sub> Emissions." ASHRAE Transactions, Cilt 113, Kısım 2, ASHRAE: Atlanta, 2007.
- [3] Kılıkış Birol, Kılıkış, Şiir. "Upgrading EU Directive with Rational Exergy Model." ASHRAE Transactions, Cilt 113, Kısım 2, ASHRAE: Atlanta, 2007.
- [4] Jalazadeh, A. "Elektrik ve Isı Yükünü İzleyen Birleşik Isı ve Güç Sistemleri İçin Bir Karşılaştırma." TTMD Dergisi, Sayı 48, s. 30-39, Ankara, 2007.
- [5] Kılıkış, Birol; Kılıkış, Şiir. "An Exergetic Optimization of Generated Electric Power Split in a Heat Pump Coupled Poly-Generation System." ASME Energy Sustainability Conference. Haziran 2007.
- [6] EU. 2004. Directive 2004/8/EC, on the Promotion of Cogeneration Based on Useful Heat Demand in the Internal Energy Market and Amending Directive 92/42/EEC. EU Official Journal, L52/50, Vol. 47, pp. 50-60.
- [7] CEN/CENELEC. 2005. Workshop Agreement. Manual for Determination of CombinedHeat and Power (CHP), CWA 45547.
- [8] EC DG TREN. 2006 Analysis and Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Reference Values- Matrix. 2006.
- [9] EC DG TREN. Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Guidelines for Implementation of Annex II and Annex III, Draft. 2006.
- [10] Reddy, B. V. ve Mohamed, K. "Exergy Analysis of a Natural Gas Fired Combined Cycle Power Generation Unit," Int. J. Exergy. Sayı 4, No. 2, s. 180-196, 2007.
- [11] Katsumi, Sugimoto, Terushige, Fujii, Junichi Ohta. "An Appraisal Method of Exergy Cost Minimization for Co-generation Systems." Int. J. Exergy. Sayı 3, No. 3, s. 255-271.
- [12] GE Energy, "Heavy Duty Gas Turbines and Combined Cycle." www.gepower.com
- [13] CMI. Carbon Mitigation Initiative, Princeton University, <http://www.princeton.edu/~cmi/>
- [14] CMI. The Stabilization Triangle, Princeton University,

#### Yazar:

**Prof. Dr. Birol İ. Kılıkış,**

Von Karman Institute for Fluid Dynamics'ten onur derecesi ile mezun olmuştur. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde Ph.D. Derecesi sahibidir. Bir çok uluslararası komitede faal olarak çalışan Kılıkış, ASHRAE üyesidir. Kılıkış, halen ASHRAE Technical Activities Committee Section 6 Head üst düzey üyesi ve TC 1.6 Başkanıdır. Bir çok teknik ve standart hazırlık komitesinde hizmet veren Kılıkış, ASTM E 44 Committee on Solar, Geothermal and Nuclear üyesidir. Kılıkış'ın temel ilgi alanları, sürdürülebilir binalar, yenilikçi karışık HVAC sistemleri, radyant panel uygulamaları, yenilebilir enerji kaynakları ve ekserji analizleridir.



**PeX-a  
veya  
PeX-c  
KULLANIM  
ALANLARI**

- Evsel Su Tedarik Sistemleri
- Kentsel Su ve Basıncı Kanalizasyon Hatları
- Otellerde ve Yüksek Yapılardaki Şaftlar
- Sondaj Kuyuları
- Yerden Isıtma Sistemleri

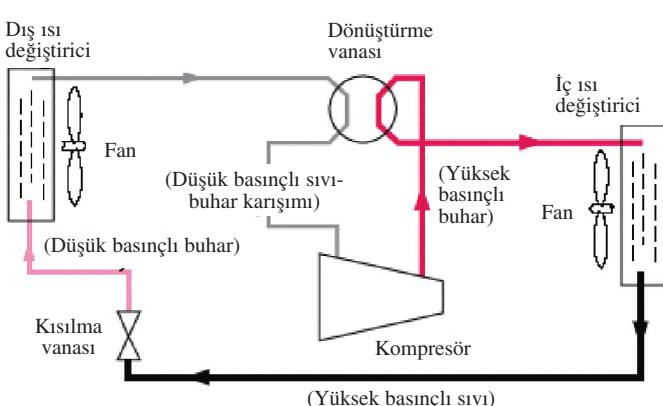
PEXGOL boru 12 mm ile 500 mm çaplar arasında üretilir. 3 tip PEX boru mevcuttur.

\*Peroksit çapraz bağlanmış

\*Işınla (Elektron İşini) çapraz bağlanmış

\*Çok katmanlı Borular

PEXGOL boruları, yerel su tedariki yer altı ve merkezi ısıtma sistemleri, kimyasal ve ağır endüstri uygulamaları için kullanılır. Borular 24 bar'a kadar olan çalışma basınçları ve 95°C ye kadar olan sıcaklıklar için tasarlanmıştır



*Sekil 1. Isıtma modunda ısı pompası sistemi şematik görünüsü [2].*

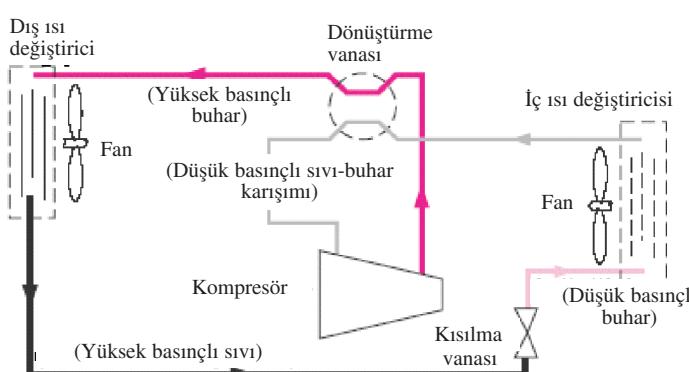


Toprak kaynaklı sistemler de karmaşıktır, çünkü yeraltında toprak sıcaklığının sabit kaldığı derinliklerde uzun boruların yerleştirilmesini gerektirirler. Isı pompalarının etkinlik katsayıları, ısı kaynağına ve kullanılan sisteme bağlı olarak genellikle 1.5 ile 4 arasındadır. Hız kontrollü elektrik motorları kullanan yeni kuşak ısı pompalarının, eskilerine oranla en az iki kat daha etkin olduğu bilinmelidir [1].

Hava kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kapasitesi ve etkinliği, çevre sıcaklığının düşmesiyle hızla azalır. Bu bakımdan, bu tür ısı pompalarının kullanıldığı ısıtma sistemlerinde elektrikli ısıtıcı veya doğalgaz ısıtıcısı gibi ek bir sisteme gerek duyulur. Su ve toprak sıcaklıklarını çok fazla değiştirmek için, su kaynaklı veya toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde ek bir ısıtıcıya gerek yoktur. Fakat bu durumda ısı pompası, en yüksek ısı gereksinimini karşılayacak büyülükle tasarılanmalıdır.

Isı pompaları ve soğutma makinaları sistemlerinin mekanik parçaları aynıdır. Bu nedenle bir hacmin ısıtma ve soğutmasını ayrı sistemlerle yapmak ekonomik değildir. Aynı sistem kışın ısıtma amacıyla, yazın da soğutma amacıyla kullanılabilir. Bunun için sisteme Şekil 1 ve 2 ile verildiği gibi bir dönüştürme vanası eklenir. Bu düzenlemeyle, ısı pompasının içerisinde bulunan yoğunlaştırucu, yazın soğutma sisteminin buharlaştırıcı olarak görev yapar. Benzer biçimde, ısı pompasının dışarıda bulunan buharlaştırıcı da yazın soğutma sisteminin yoğunlaştırucu olarak görev yapar. Bu özelliği ısı pompasının diğer sistemlere göre bir üstünlüğüdür.

Isı pompalarının ekonomik açıdan en kazançlı olduğu yöreler, yazın soğutma yükünün büyük, kışın ısıtma yükünün küçük olduğu yörelerdir. Bu yörelerde ısı pompası konutların ve işyerlerinin ısıtma ve soğutma yüklerinin tümünü karşılayabilir [1, 2].

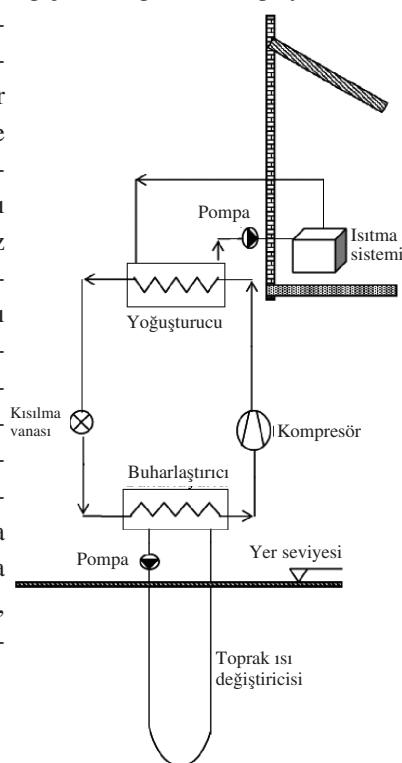


*Şekil 2. Soğutma modunda ısı pompası sisteminin şematik görünümü [2].*

## 2. Toprak Kaynaklı Isı Pompaları

Toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) geleceğin teknolojisidir, fakat fikir olarak oldukça eskidir. Lord Kelvin ısı pompa-

sı fikrini 1852 yılında geliştirmiştir. 1940'lı yılların sonlarında Robert C. Webber adlı, evinin bodrum katında çeşitli icatlarla uğraşan bir mucit, dondurucusun çıkış borusunun elini değiştiremeyecek kadar sıcak olduğunu fark etmiştir. Bu çıkış borularını evindeki su deposuna yönlendirmiştir ve bu sayede evinde kullanacaklarından daha fazla sıcak su elde etmiştir. Kalan atık enerjiyi de kullanarak, sıcak suyu borulardan geçirmiştir ve aralarından bir fan ile hava üfleterek hacim ısıtmada da kullanmıştır. Aldığı sonuçlardan çok memnun olan Webber daha büyük kapasiteli bir ısı pompası kurarak, evin tüm ısınmasını sağlamaya karar vermiştir. Webber daha sonra sıcaklığın yıl boyunca çok fazla değişkenlik göstermediği yeraltından ısı çekme fikriyle ortaya çıkmıştır. Yeraltına bakır borular yerleştirilmiş ve içinden ısıyı toplamak için freon gazı dolaştırılmıştır. Gaz bodrum katında yoğunlaştırılmış, ısısını verdikten sonra toprak ısı değiştiricisine gönderip yeniden ısı çekmesi sağlanmıştır. Yoğunlaştırucunun etrafında bir fan aracılığıyla hava dolaştırılmış, enerjisi eve dağıtılmıştır.



*Şekil 3. Toprak kaynaklı ısı pompalarının çalışma ilkesi [5].*

TKIP, tersinir bir buhar sıkıştırma çevrimi ve buna bağlı toprak altına gömülü ısı değiştiricilerinden oluşan sistemlerdir. En yaygın kullanılan sistemler, su-hava ısı pompalarıdır. Bu sistemlerde su-soğutucu akışkan ısı değiştiricisi ve toprağa gömülü termoplastik boru ağında su veya antifrizli su çözeltisi dolaştırılır. Isıtılacak veya soğutulacak hava ise kanatlı soğutucu akışkan ısı değiştiricisi etrafında dolaştırılır.

Bazı durumlarda TKIP'nda doğrudan genleşmeli sistemler de kullanılabilir. Bu sistemlerde soğutucu akışkan bakır borular içinde toprak altında dolaştırılır. Dolayısıyla toprakla ısı transferi için ara bir akışkan kullanılmamış olur [4]. TKIP'nin çा-

DÜNYA'NIN İLK VE TEK  
YANGIN / SPRINKLER  
HATLARI İÇİN ÖZEL  
CAM ELYAF TAKVİYELİ BORU  
10 YIL SÜRE İLE  
3.000.000 EURO SIGORTALI



#### Kullanım Alanları

- Yangın / Sprinkler hatları için

#### Avantajları

- DIN 4102 –1 normuna göre yangın sınıfı B1'dir.
- Korozyona uğramaz.
- Aşınma sorunu yoktur.
- Yüksek ısıya dayanıklıdır.
- Metal deaktivatörlü polipropilenden üretilmiştir.
- Füzyon kaynağı ile kaynak yapılır.
- Çevre dostudur.
- Antipas ve kırmızı yağlı boya kullanılmasına gerek yoktur.

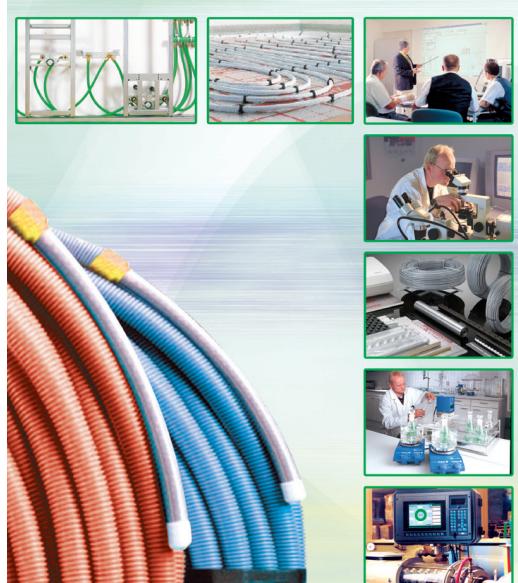


Made in Germany

aquatherm

# aquatherm

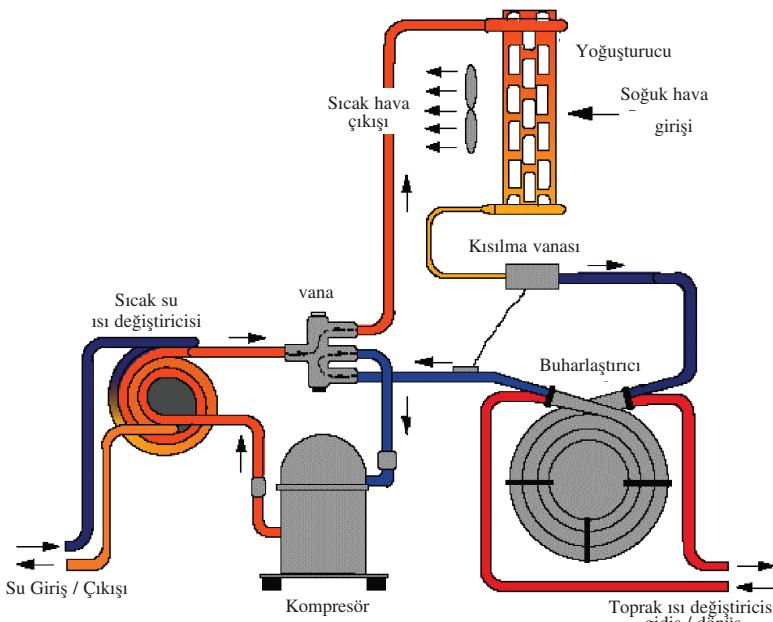
YERDEN ISITMA  
BORU SİSTEMLERİ  
10 YIL SÜRE İLE  
3.000.000 EURO  
SIGORTALI



ışma ilkesi Şekil 3 ile verilmiştir [5, 6].

TKIP, kullandıkları toprak ısı değiştiricisi tipine göre alt gruplara ayrılır. Dikey TKIP genellikle dikey bir sondaj deliğinin içine iki adet küçük çaplı, yoğunluğu yüksek polietilen borunun yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu iki boru deliğin dibinde füzyon kaynağıyla, birbirine çok yakın bir

reksinim göstermesinin yanısıra ısı değiştiricilerin fazla derine gömülü olmamasının getirdiği eksiler de vardır. Toprağın üst kısımları mevsimsel sıcaklık değişimlerinden ve yağışlardan daha fazla etkilenir. Bu yüzden daha düşük sistem verimliliklerine sahiptirler [4]. Isıtma çevrimi için toprak kaynaklı ısı pompasının şematik gösterimi Şekil 4 ile verilmiştir [7].



Şekil 4. Isıtma çevrimi için toprak kaynaklı ısı pompasının şematik gösterimi [7].

U dönüşü yapacak şekilde kaynatılır. Kullanılan boruların çapı genellikle 1.91 ile 3.81 cm nominal çap arasında değişir. Sondaj derinliği ise yerel jeolojik koşullara göre 15 ile 180 m arasında olabilir. Dikey TKIP'nin en önemli artıları yer gereksiniminin az olması ve ısı değiştiricilerinin, toprağın çok az sıcaklık değişimi gösteren kısımlarıyla temas halinde olmasıdır. Dolayısıyla gerekli olan boru boyu ve pompa gücü azdır. Eksileri ise kurulumlarının daha pahalı olması ve kurulumlarının sırasında özelleşmiş donanımlara ve personele duyulan gereksinimdir. Yatay TKIP'da ise, toprak ısı değiştiricileri dikeyle kıyaslandığında fazla derin olmayan hendeklere yerleştirilir. Yatay TKIP tek borulu, çok borulu ve sargı borulu olmak üzere üç tipe ayrılabilir. Yatay TKIP'nin dikeylere göre en büyük artıları daha ucuz olmaları ve donanımlarının daha yaygın olmasıdır. Daha fazla yere ge-

### 3. Dikey Toprak Isı Değiştiricisinin Boyutlandırılması

TKIP'nda toprak, ısıtma veya soğutma modunda çalışmasına bağlı olarak ısı kaynağı veya ısı kuyusu olarak çalışmaktadır. Toprakla boru içerisindeki akışkan arasında ısı transferi gerçekleşebilmesi için aralarında bir sıcaklık farkı oluşturulması gerekmektedir. Kurulan yere göre toprak altında dolaşan akışkanın sıcaklığı yaklaşık olarak -4°C ile 38°C arasında değişebilir. Toprak ısı değiştiricisinin boyutlandırılması yapılmadan önce, ısı pompası sisteminin seçilmesi gerekmektedir. Bu sistemin üretici kataloglarında, toprak ısı değiştiricisinden gelen suyun sıcaklığının hangi aralıktaki olması gerektiği yer almıştır, [6].

Kullanılması gereken borunun uzunluğu aşağıda verilen parametrelerle bağlı olarak belirlenmelidir:

1.  $U_1$  (Sistem kapasitesi-Isıtma), (Isı kaybı hesabı ile belirlenir),
2.  $Us$  (Sistem kapasitesi-Soğutma), (Isı kazancı hesabı ile belirlenir),
3. COPs (Soğutma etki katsayısı), [COPs = (Sistem soğutma kapasitesi) / (Harcanan elektrik gücü)],
4. COP<sub>I</sub> (Isıtma etki katsayısı), [COP<sub>I</sub> = (Sistem ısıtma kapasitesi) / (Harcanan elektrik gücü)],
5.  $T_m$  (Ortalama toprak sıcaklığı),
6.  $T_{max}$  (Sisteme su giriş sıcaklığı-soğutma),
7.  $T_{min}$  (Sisteme su giriş sıcaklığı-isıtma),
8.  $R_t$  (Toprağın ısıl direnci),
9.  $R_b$  (Boru ısıl direnci),
10.  $F_s$  (Sistemin soğutma çalışma faktörü),
11.  $F_I$  (Sistemin ısıtma çalışma faktörü),

### 3.1. Ortalama Toprak Sıcaklığı

Toprak sıcaklığı hem derinliğe hem de zamana bağlı olarak değişim gösterir. Ortalama toprak sıcaklığı, değişik derinliklerdeki yıllık ortalama sıcaklığıdır. Yüzeydeki hava sıcaklığının toprak sıcaklığına etkisi vardır, fakat güneş ışınlarının etkisi daha fazladır. Toprağın ısını depolama ve yavaşça geri verme gibi özelliklerinden dolayı sıcaklık değişimlerini azaltma etkisi vardır. Bu etki toprağın yoğunluk ve nem miktarına ve derinliğe bağlı olarak değişir. Derinlik arttıkça yıl içindeki sıcaklık değişimi azalır, [6].

### 3.2. Sisteme Su Giriş Sıcaklığı

Isı pompası, soğutma modunda çalışırken sisteme giren suyun ya da toprak ısı değiştiricisinden gelen suyun sıcaklığının, toprak sıcaklığından yüksek olması gerekmektedir. Bunun nedeni ısı değiştiricisinde dolaşan su aracılığıyla toprağa ısı atılmak istenmesidir. Bunun için de su sıcaklığının toprak sıcaklığından yüksek olması gereklidir. Bu gereklili sıcaklık farkı, atılması gereklili olan ısuya ve boru yüzey alanına bağlıdır.

Yukarıda verilen bilgiler ısıtma modu için de geçerlidir. Yalnız ısıtma modunda bu sefer topraktan ısı çekileceğinden, sisteme giriş sıcaklığı, toprak sıcaklığından düşük olacaktır. Belki bir ısı miktarını çekerken veya atarken, boru uzunluğunu arttırdığımızda toprak ile su arasında gerekli olan sıcaklık farkı azalır. Daha kısa boru kullanıldığında ise gerekli olan sıcaklık farkı artacaktır. Suyun sıcaklığının kullanılan sistemin sıcaklık sınırları içinde kalması gerekmektedir, [6].

### 3.3. Toprağın ısıl Direnci

Malzemelerin ısı iletim katsayıları, ısıl direnç hesaplarında kullanılan önemli bir özelliktir. Toprağın ısıl direnci, toprağın ısı akışına karşı gösterdiği dirençtir. Yoğunluğu düşük-kuru toprak, ısı enerjisini yoğun-nemli toprak kadar hızlı taşımaz. Bu bilgilere ek olarak boruların dikey uzunlukları, borular arası uzaklık, kullanılan boruların sayısı ve boyutu toprak direncini etkileyen faktörlerdir [6].

Toprak altı ısı değiştiricilerde gerçekleşen ısı transferinin iyi anlaşılabilmesi için malzeme özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Toprak içerisindeki nem miktarının iletkenlik etkisi çok fazladır. Genel olarak iletkenlik nem miktarıyla artış gösterir. Tablo 1 ile toprak için ortalama ısıl iletkenlik değerleri verilmiştir. Bölgenin jeolojik koşullarına bağlı olarak derinlikle beraber çok değişik toprak tabakalarına rastlanabilmektedir. Dolayısıyla toprağın iletim katsayıyı yıl içerisinde hem nem miktarına bağlı olarak değiştirmektedir hem de değişik derinliklerde farklı değerler alabilmektedir [8].

### 3.4. Boru ısıl Direnci

Değişik boru malzemelerinin denenmesi sonucunda, toprağın korozif etkisinden en az etkilenen ve dolayısıyla en uzun ömürlü olan malzeme olarak plastik borular öne çıkmıştır. Boru malzemesi olarak polietilen (polyethylene) ve polibutilen (polybutylene) malzemeler kullanılabilir, [6]. 25°C sıcaklık için polietilen malzemelerin ısı iletim katsayıları 0.42 W/(m°C) ile 0.51 W/(m°C) arasında [10], polibutilen malzemelerin ısı iletim katsayıısı ise 0.24 W/(m°C) civarında [11] değişebilir.

### 3.5. Çalışma Faktörü

Bir sistemin çalışma faktörü, o sistemin en soğuk aydaki ısıtma yükünü ve en sıcak aydaki soğutma yükünü karşılayabilecek sürenin yüzde olarak gösterimidir. Her iki mod için de çalışma faktörlerinin bulunması gereklidir. Çalışma faktörleri kullanılarak ısıtma ve soğutma modları için gereklili olan boru boyaları saptanır ve büyük olan boru boyu seçilir. Çalışma faktörünü bulabilmek için iklimlendirilecek olan yerin saatlik ortalama ısı kazancı ve kayıpları bulunmalıdır. Daha sonra bulu-

**Tablo 1.** Toprak ısıl iletim katsayıları değerleri,  $k$  [W/(mK)] [9].

Toprak için verilen tüm değerlerin aralığı	0.15 -4
Doymuş toprak	0.6-4
Kuru kum	0.15-0.25
Nemli kum	0.25-2
Doymuş kum	2-4
Killi toprak (kuru ile nemli)	0.15-1.8
Killi toprak (doymuş)	0.6-2.5
Humuslu toprak	0.15-2
Sert kayalar	2-7
Tüfler (delikli volkanik kayalar)	0.5-2.5

nan bu değerler sistemin kapasitesine oranlanarak çalışma faktörü bulunmalıdır, [Çalışma faktörü = (Saatlik ortalama ısı kazancı veya kaybı) / (Sistem kapasitesi)], [6].

Saatlik ortalama ısı kayıp veya kazancını hesaplamada kullanılabilecek yöntemlerden birisi aralık yöntemidir. Bunun için de iklimlendirilecek olan yerin bulunduğu bölgenin bazı iklim verilerine gereksinim duyulur. Bu yönteme aralık yöntemi denilmesinin nedeni o bölgede görülen sıcaklıkların aralıklara bölünüp, havanın senede kaç saat hangi sıcaklık aralığında gerçekleştiğinin saptanmasıdır. Bunun için meteoroloji istasyonlarının sıcaklık gözlemleri kullanılır.

Her bir sıcaklık aralığında binanın ısı kaybı/kazancı, Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{q}_i = (U)(A)(T_{\text{tasarım}} - T_{\text{dis,i}}) \quad (1)$$

Denklem (1) ile verilen U, binanın ısı transfer katsayısı [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$ ], A, kayıp/kazançların gerçekleştiği alan ( $\text{m}^2$ ),  $T_{\text{tasarım}}$  ise, binanın tutulmak istediği sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ). Tasarım sıcaklıkları, genellikle kuş ayları için  $18^{\circ}\text{C}$  yaz ayları için ise  $22^{\circ}\text{C}$  olarak alınabilir.  $T_{\text{dis,i}}$  ise, ısı kayıp/kazanç hesabının yapıldığı sıcaklık aralığındaki ortalama sıcaklığıdır. Örneğin  $T_{\text{dis,i}}$ ,  $3-6^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığındaki ısı kaybı hesaplanırken  $4.5^{\circ}\text{C}$  alınır. Hesabı yapılan araliktaki toplam ısı kaybı miktarı ( $Q_i$ ), "Wh" olarak Denklem (2) yardımıyla hesaplanabilir [12].

$$Q_i = (\dot{q}_i)(N_i) \quad (2)$$

Denklem (8) ile verilen  $N_i$ , sıcaklık aralığının saat olarak yıllık gerçekleşme süresidir. Binanın yıllık ısı kaybı/kazancı  $Q_{\text{top}}$ , aralıklarda gerçekleşen kayıp/kazanç miktarlarının toplamıdır.  $Q_{\text{top}}$ , Denklem (3) kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_{\text{top}} = \sum_{i=1}^m Q_i \quad (3)$$

Çalışma faktörü hesabında gerekli olan sa-

atlık ortalama ısıtma/soğutma gereksinimi  $Q_{\text{top}}$  değerinin, kayıp veya kazançın gerçekleştiği toplam süreye (saat) bölünmeyle bulunabilir. Sistemin ısıtma veya soğutma kapasitesi ise, sistem kataloglarının alınırlar [6].

Toprak kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, topraktan ısıl enerjinin çekilmesi veya toprağa bırakılması, işletilmesi, çevresindeki toprağın ısı ve nem akışını birlikte içeren bir toprak ısı değiştiricisini (TID) kullanılarak gerçekleştirilebilir. TID ile bitişigindeki toprak arasındaki ısı geçiği, iletim ve belli bir kısmı da nem geçiği ile olur. Bundan ötürü, ısı geçiği toprağın tipine, sıcaklığına ve nem basamağına önemli ölçüde bağlıdır. Hava özelliklerine bağlı toprak yüzey sınır koşulları ve ısıtma/soğutma yükü nedeniyle, ısı çekilme/bırakılma işleminin hepsi geçici rejimde olur. Toprağın ısı iletkenlik katsayısı; toprak tipi (toprağın yumuşaklık/sertlik derecesi, mineral bileşimi), nem miktarı, kuru yağma yoğunluğu, sıcaklığı ve toprağın nemi ile büyük ölçüde değişir. Kaynaklarda, toprak tipi ve nem koşullarının ısı pompasının performansına olan etkisi üzerine birkaç çalışma mevcuttur [13]. Bu çerçevede bazı önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin performansı önemli ölçüde nem miktarına ve toprağın tipine bağlıdır. Toprağın nemini, kuru toprak koşullarının üstünde mümkün olduğu kadar yüksek tutmak yararlıdır.
- Topraktan ısı çekmenin miktarı kumda en yüksektir. Bunu, alüvyonlu ve killi toprak izlemektedir.
- Bentonit ve iyi kaliteli çimentoya göre, süper plastikli çimento-kum harcı (ısı iletim katsayısi:  $2.24 \text{ W/mK}$ ) ile daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.
- Standard bentonit harcı yerine, kum veya ısıl açıdan iyileştirilmiş bentonit harcı kullanılarak TID derinliği azaltılabilir.

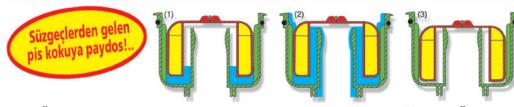
#### 4. Toprak Isı Değiştiricisi Boyu Hesabı

Toprak ısı değiştiricisinin boyu, bölgenin

Made in Germany wavinAS



## SÜZGEÇLER, SİFONLAR VE PİS SU ÇEKVALFLERİ



### DÜNYA'DA SUSUZ DA ÇALIŞAN PIRIMUS SİSTEMLİ TEK SÜZGEÇ

- Yer Süzgeçleri
- Çatı Süzgeçleri
- Balkon ve Teras Süzgeçleri
- Yağmur Suyu Süzgeçleri
- Bodrum Süzgeçleri
- Düş Sifonları
- Küvet Tromplenleri
- Lavabo ve Pısuitar Sifonları
- WC Çıkış Boruları



### PİS SU ÇEK VALFI

Kanalizasyon ve  
Roçar şırmelerine  
bağlı pıs su  
baskınlarına son...



### HL 900 HAVALANDIRMA ŞAPKASI

Pıs su tesisatını ihtiyaç duyduğunda 37 litre / saniye hava ile besler. HL 900'ün dışarıya hava salmadan, pıs su tesisatının temiz hava ihtiyacını karşılaması sayesinde tesisat şaftının içine takılması da mümkündür.

meteorolojik özelliklerine, toprak yapısına, kurulacak ısı değiştiricisinin teknik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Toprak ısı değiştiricisi ısıtma için tasarlanacağı zaman ısı değiştiricisinin boyu olarak  $L_h$  değeri ve soğutma için tasarlanacağı zaman ise, ısı değiştiricisi boyu olarak  $L_c$  değeri hesaplanmalıdır. Bu çalışmada  $L_h$  ve  $L_c$  hesabı için üç farklı yöntem verilmiştir. Hesaplamalar bu yöntemler herhangi biri kullanılarak yapılmalı ve sistemin esas boyunun belirlenebilmesi için  $L_h$  ve  $L_c$  değerlerinden büyük olan seçilmelidir [6, 14, 15].

#### 4.1. Birinci Yöntem

Denklem (3) yardımıyla hesaplanan ısı kayıp/kazanç miktarı göz önüne alınarak ısıtma ve soğutma için sistem kapasiteleri  $U_I$  ve  $U_s$  (W) belirlenir.

$R_p$ , boru direnci faktörü,  $R_s$ , toprak direnci faktörü,  $T_L$ , yılın en düşük toprak sıcaklık değeri ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $T_{\min}$ , sisteme girecek en düşük akışkan sıcaklık değeri ( $^{\circ}\text{C}$ ) olmak üzere ısıtma mevsimi için (kuşin) denklem (4) yardımıyla toprak ısı değiştiricisi boyu hesaplanabilir, [6, 14].

$$L_{h1} = \frac{U_I \left( \frac{\text{COP}_I - 1}{\text{COP}_I} \right) (R_p + R_s F_I)}{|T_L - T_{\min}|} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

$T_h$ , yılın en yüksek toprak sıcaklık değeri ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $T_{\max}$ , sisteme

girecek en yüksek akışkan sıcaklık değeri ( $^{\circ}\text{C}$ ) olmak üzere soğutma mevsimi için (yazın) Denklem (5) yardımıyla toprak ısı değiştiricisi boyu hesaplanabilir, [6, 14].

$$L_{c1} = \frac{U_s \left( \frac{\text{COP}_s + 1}{\text{COP}_s} \right) (R_p + R_s F_s)}{|T_{\max} - T_h|} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

#### 4.2. Birinci Yöntem İçin Örnek Hesaplama

Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde bulunan, taban alanı  $65 \text{ m}^2$ , ısıtma kapasitesi  $3.8 \text{ kW}$  ve soğutma kapasitesi  $4.2 \text{ kW}$  olan bir dersliğin, toprak kaynaklı ısı pompası ile ısıtıması/soğutulması amacıyla bir deney düzeneği tasarlanarak kurulmuştur. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde Kurulu toprak kaynaklı ısı pompasına ait veriler altında yukarıda verilen hesaplama yöntemlerine göre toprak ısı değiştirici boyu boyaları hesaplanmıştır.

İzmir ili için yıllık hava sıcaklıklarının değişimleri ve bu sıcaklıkların yılda kaç saat olduğunu belirlenmesiyle işletme faktörü hesaplanmıştır. İşletme faktörünün hesabında ısıtma mevsimi için  $-5^{\circ}\text{C}$  ile  $+20^{\circ}\text{C}$  arası sıcaklıklar göz önüne alınırken, soğutma mevsimi için  $+20^{\circ}\text{C}$  ile  $+45^{\circ}\text{C}$  arası sıcaklıklar göz önüne alınmıştır. İşletme faktörü, ısıtma ve soğutma mevsimleri için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra, ısı değiştirici boru boyu, boru ve toprak özellikleri ile yerel özelliklere ve seçilen

Tablo 2. Dikey Boru Boyu Hesabı [6,14]

Grup	Sıra	Açıklama	Gösterim	Birim	Hesaplamlar
Boru Özellikleri	1	Boru Malzemesi		-	PESCH40
	2	Boru Çapı		m	0.032 (DN32)
	3	Boru Direnci Faktörü	$R_p$	-	0.089
Toprak Özellikleri	4	Toprağın Cinsi		-	Yoğun/Nemli
	5	Toprak Direnci Faktörü	$R_s$	-	0.96
Yerel Özellikler	6	Ortalama Yıllık Toprak Sıcaklığı	$T_m$	$^{\circ}\text{C}$	19.6
	7	Değişim Derecesi		$^{\circ}\text{C}$	5.4
	8	Yüksek Toprak Sıcaklığı	$T_h$	$^{\circ}\text{C}$	25.0
	9	Düşük Toprak Sıcaklığı	$T_L$	$^{\circ}\text{C}$	14.2
Isı Pompası Özellikleri	10	En Yüksek Sıcaklık	$T_{\max}$	$^{\circ}\text{C}$	42.0
	11	En Düşük Sıcaklık	$T_{\min}$	$^{\circ}\text{C}$	22.0
Çalışma Faktörü	12	Soğutma Kapasitesi	$U_s$	kW	4.2
	13	Isıtma Kapasitesi	$U_I$	kW	3.8
	14	Soğutma Etkinlik Katsayısı	$\text{COP}_s$	-	2.5
	15	Isıtma Etkinlik Katsayısı	$\text{COP}_I$	-	2.9
	16	Dış Tasarım Sıcaklığı, Soğutma		$^{\circ}\text{C}$	33.8
	17	Soğutma Tasarımı Isı Kazancı		kW	4.2
	18	Dış Tasarım Sıcaklığı, Isıtma		$^{\circ}\text{C}$	0
Faktör	19	Isıtma Tasarımı Isı Kazancı		kW	3.8
	20	Soğutma Çalışma Faktörü	$F_s$	-	1.000
	21	Isıtma Çalışma Faktörü	$F_I$	-	0.402

ısı pompasının karakteristik özelliklerine göre Tablo 2 ile de verildiği gibi her iki mevsim için ayrı ayrı bulunmuştur.

Tablo 2 ve Denklem (4 ve 5) ile verilen boru direnci faktörü  $R_p$ , boru malzemesi ve boru çapına göre ve toprak direnci faktörü  $R_s$  ise, toprağın cinsi ve boru çapına göre ilgili tablolardan seçilir, [6].

Denklem (4 ve 5) yardımıyla yapılan hesaplama göre ısı değiştiricisi boru boyu, soğutma mevsimine göre 363 m ve ısıtma mevsimine göre 167 m olarak hesaplanmıştır.

#### 4.3. İkinci Yöntem

31.8 mm boru çapı için toprak ısı değiştiricisi boyu hesabı, ısıtma mevsimi için Denklem (6) ve soğutma mevsimi için Denklem (7) kullanılarak yapılabilir, [15].

$$L_{h2} = 0.05506 \frac{(\text{Topraktan alınan yıllık enerji}) (\text{MJ})}{[(\text{Ortalama toprak sıcaklığı}) - (\text{En düşük akışkan giriş sıcaklığı})] (\text{°C})} \quad (6)$$

$$L_{c2} = 0.05105 \frac{(\text{Topraktan verilen yıllık enerji}) (\text{MJ})}{[(\text{En yüksek akışkan giriş sıcaklığı}) - (\text{Ortalama toprak sıcaklığı})] (\text{°C})} \quad (7)$$

Topraktan alınan ve toprağa verilen yıllık enerji miktarları, "Wh" olarak Denklem (8) ve (9) yardımıyla hesaplanabilir:

$$(\text{Topraktan alınan yıllık enerji}) = (\text{Isıtma yükü}) (\text{sistemin çalışma süresi}) (\text{COP}_i - 1) / \text{COP}_i$$

$$(\text{Topraktan verilen yıllık enerji}) = (\text{Soğutma yükü}) (\text{sistemin çalışma süresi}) (1 + \text{COP}_s) / \text{COP}_s$$

#### 4.4. İkinci Yöntem İçin Örnek Hesaplama

Tablo 2 ile verilen değerlerden yararlanarak, soğutma yükü 4.2 kW, ısıtma yükü 3.8 kW, ortalama toprak sıcaklığı 19.6°C, COP<sub>i</sub> = 2.9, COP<sub>s</sub> = 2.5, en düşük akışkan giriş sıcaklığı 10.1°C ve en yüksek akışkan giriş sıcaklığı 38.2°C olarak alınabilir. İzmir ili için 6 ay ısıtma ve 6 ay soğutma yapılabileceği ve sistemin çalışma süresinin günde 16 saat olabileceği göz önüne alınarak Denklem (8) yardımıyla topraktan alınan yıllık enerji ve Denklem (9) yardımıyla toprağa verilen yıllık enerji hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} (\text{Topraktan alınan yıllık enerji}) &= (3.8 \text{ kW})[(6 \text{ ay})(16 \text{ saat/gün})(30 \text{ gün/ay})](2.9 - 1) / 2.9 \\ &= (7170.21 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) \\ &= 25812.74 \text{ MJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{Toprağa verilen yıllık enerji}) &= (4.2 \text{ kW})[(6 \text{ ay})(16 \text{ saat/gün})(30 \text{ gün/ay})](1 + 2.5) / 2.5 \\ &= (16934.40 \text{ kWh})(3.6 \text{ MJ/kWh}) \\ &= 60963.84 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Isıtma ve soğutma mevsimi için toprak ısı değiştiricisi boyu hesabı Denklem (6 ve 7) yardımıyla hesaplanabilir:

$$L_{h2} = 0.05506 \frac{(25812.74) (\text{MJ})}{[(19.6) - (10.1)] (\text{°C})} = 149.61 \text{ m}$$

$$L_{c2} = 0.05105 \frac{(60963.84) (\text{MJ})}{[(38.2) - (19.6)] (\text{°C})} = 167.32 \text{ m}$$

**METAL  
DEAKTİVATÖRLÜ  
FUSİOLEN®  
TESİSAT SİSTEMLERİ  
10 YIL SÜRE İLE  
3.000.000 EURO  
SIGORTALI**

#### Kullanım Alanları

İçme suyu, kullanım suyu, ısıtma-soğutma hatları için,  
**Özellikleri**

16- 250 mm çapları arasında üretilir.

Uzama Katsayısı 0.035 mm/mK'dır.

260°C füzyon kaynağı ile birleştirilir.

Kaynak yapmadan önce tıraşlamaya gerek yoktur.

DIN normlarına uygundur.

TSE, Hijyen Enstitüsü, DVGW, NSF, GOST

vb sertifikalara sahiptir.

Made in Germany



**climatetherm**  
**DÜNYA'NIN İLK  
ISITMA / SOĞUTMA  
FAN COIL  
JEOTERMAL  
ÖZEL CET BORUSU  
10 YIL SÜRE İLE  
3.000.000 EURO  
SIGORTALI**

#### Özellikleri

- 20- 250 mm çapları arasında üretilir.
- FusioLEN PP-R 80'den mamüldür.
- Siyah çelik boruya alternatif olarak kullanılabilir.
- Sürtünme kayıpları çok düşüktür.
- Pompa performansı artırrır.
- Kesinlikle korozyona uğramaz.
- Metal deaktivatörlüdür.
- Uzama Katsayısı 0.035 mm/mK'dır.
- Sıcaklık dayanımı -20°C ile 90°C aralığındadır.
- Isı kaybı çok düşüktür.
- (Çelik: 60,00 W/mK, Alüminyum: 200,00 W/mK, Bakır: 380,00 W/mK, climatherm: 0,15 W/mK)
- Servis ömrü uzundur.
- Fiyat olarak ekonomiktir.
- Metal sistemlere göre izolasyon ve işçilik maliyeti daha azdır.



Türkiye Distribütörü : Serik Cad. Havaalanı Karşıtı  
No: 411 07300 ANTALYA  
Tel.: 0242. 340 25 75 (Pbx)  
Faks : 0242. 340 25 77  
web : <http://www.gelismteknik.com.tr> • E-mail : [info@gelismteknik.com.tr](mailto:info@gelismteknik.com.tr)

İkinci yöntem ile ısıtma mevsimi için toprak ısı değiştirici boyu 149.61 m ve soğutma mevsimi için toprak ısı değiştirici boyu 167.32 m olarak hesaplanmıştır.

#### 4.5. Üçüncü Yöntem

Bu yöntemde ısı akımı değişimi Denklem (10) ile verilmiştir:

$$\frac{Q}{L} = (U)(AT) \quad (10)$$

$$U = \frac{2\theta}{R_t + R_b} \quad (11)$$

$$AT_s = \frac{T_1 + T_2}{2} - T_0 \quad (12)$$

$$AT_i = T_0 - \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (13)$$

$T_0$ , toprak sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_1$ , akışkan giriş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $T_2$ , akışkan çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) olmak üzere, ısı değiştirici boyu, soğutma (S) ve ısıtma (I) için Denklem (12 ve 13) yardımıyla,  $L \equiv L_s$  için  $\Delta T \equiv \Delta T_s$  ve  $L \equiv L_i$  için  $\Delta T \equiv \Delta T_i$  alınarak Denklem (16) kullanılarak hesaplanır. Denklem (11) ile verilen U, ısı transferi katsayısı [ $\text{W}/(\text{mK})$ ], toprak ve boruya ait ısıl dirençler kullanılarak belirlenir, [10].

#### 4.6. Üçüncü Yöntem İçin Örnek Hesaplama

Yoğun/nemli toprak özellikleri için, toprak direnci 0.45 ( $\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ), boru direnci 0.18 ( $\text{m}^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ), soğutma için ısı transfer akımı 4200 W, ısı pompasına akışkan giriş sıcaklığı 27.3 $^{\circ}\text{C}$ , çıkış sıcaklığı 28 $^{\circ}\text{C}$ , toprak sıcaklığı 25 $^{\circ}\text{C}$  alınarak [17] ve soğutma için Denklem (11 ve 12) kullanılarak, ısı değiştirici boru boyu Denklem (10) yardımıyla, 159 m olarak hesaplanabilir.

### 5. Sonuç

Bu çalışmada toprak kaynaklı ısı pompaları için dikey toprak ısı değiştiricisine üç farklı hesaplama yöntemi verilmiştir. Çeşitli kaynaklarda başka hesaplama yöntemleri de yer almaktadır. Bütün yöntemlerde çeşitli kabullerin yapıldığı ve ortalama değerlerin kullanıldığı göz önüne alınmalıdır. Birinci yöntemde kullanılan çalışma faktörlerinin ve ikinci yöntemde kullanılan sistemin çalışma süresi hesaplarının toprak ısı değiştirici boyu üzerinde önemli etkilerinin olduğu, özellikle toprak ve boru dirençlerinin saptanması için gerekli laboratuvar çalışmalarının yapılması gerektiği dikkate alınmalıdır. Soğutma ve ısıtma durumu için hesaplanan boru uzunlıklarından büyükü dikkate alınarak bir tasarım yapılmalıdır.

Toprak kaynaklı ısı pompaları son yıllarda Türkiye'de ısıtma ve soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin

enerji verimleri yüksek olmasına karşın, ilk yatırım maliyeti de yüksektir. Toplam maliyet içerisinde, toprak ısı değiştiricisinin maliyeti en az %25 tutmaktadır. Bir yandan bu maliyetin düşürülmesi, diğer yandan da sistemin verimli işletilmesi için, toprak ısı değiştiricisinin en uygun şekilde (optimum) tasarlanması gerekmektedir. Bu sistemlerin imalatının halen Türkiye'de yapılmadığı ve tasarımda, yurt dışından getirilen paket programların kullanıldığı göz önüne alınırsa, toprak kaynaklı ısı pompaları sistemin kalbi olan toprak ısı değiştiricisinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada verilen yöntemler uygulanarak (Toprak ısı değiştiricisinin etrafına konulan dolgu malzemesinin uygun seçimi ile) en uygun tasarım yapılabilir.

### KAYNAKÇA

- [1] Çengel YA, Boles MA, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodynamik, Türkçesi: T. Derbentli, ISBN 975-8431-91-9, Literatur Yayıncılık, 1996.
- [2] Çengel YA, Boles MA, Thermodynamics An Engineering Approach, Fifth Edition, ISBN 007-125084-0, McGraw-Hill, 2006.
- [3] The International Ground Source Heat Pump Association, [www.igshpa.okstate.edu](http://www.igshpa.okstate.edu), 5 Aralık 2005.
- [4] Kavanaugh SP, Rafferty K, "Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE: Atlanta, U.S.A., 167, 1997.
- [5] Akpinar EK, Hepbasli A, "A Comparative Study on Exergetic Assessment of Two Ground-Source (Geothermal) Heat Pump Systems for Residential Applications", Building and Environment, 42:2004-2013, 2007.
- [6] Miles L, Heat Pumps: Theory and Service, Thomson Delmar Learning, ISBN 082-734956-4, 1993.
- [7] Lund J, Sanner B, Rybach L, Curtis R, Hellström G, "Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps A World Overview", GHC Bulletin, September 2004.
- [8] International Committee on Anthropogenic Soils, <http://clic.cses.vt.edu/soiltax/soilt/380.html>, 12 December 2004.
- [9] Thermal Conductivity Science, <http://www.hukseflux.com/thermal%20conductivity/thermal.htm>, 5 Aralık 2005.
- [10] Thermal Conductivity of Some Common Materials, [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html), 27 Ağustos 2007.
- [11] Polymer - Thermal Properties, <http://www.goodfellow.com/csp/active/gfMaterialTables.csp?type=30&prop=THE>, 27 Ağustos 2007.
- [12] Bulut H, Büyükalaca O, Yılmaz T, "Bin Weather Data for

**26 yıllık  
birikimin yeni  
adresi...**

Turkey", Applied Energy, Vol.70, pp 135-155, 2001.

[13] Leong WH, Tarnawski VR, Aittomaki A, "Effect of Soil Type and Moiture Content on Ground Heat Pump Performance", Int. J. Refrig, 21(8), 595-606, 1998.

[14] Günerhan H, Ülgen K, Hepbaşlı A, "Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı: Ege Üniversitesi Uygulaması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 21, Sayı 1, Sayfa: 18-24, 2001.

[15] Sizing Heat Pumps and Ground Heat Exchangers, [http://www.canren.gc.ca/prod\\_serv/index.asp?CaId=169&PgId=1004](http://www.canren.gc.ca/prod_serv/index.asp?CaId=169&PgId=1004), 27 August 2007.

[16] Lund JW, "Ground-Source (Geothermal) Heat Pumps", Course on Heating with Geothermal Energy: Conventional and New Schemes, Convenor: P. J. Lienau, World Geothermal Congress 2000, 8-10 June 2000, pp.209-236, Japan.

[17] Hancioğlu E, "Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Bir Hacmin Isıtılması", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 227 sayfa, 2000.

**Yazar**

**Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Günerhan**

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990'da, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992'de ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999'da tamamladı. 1991-2001 tarihleri arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi ünvanı ile çalıştı. 1999-2000 tarihleri arasında, Milli Savunma Bakanlığı Teknik Hizmetler Dairesi Başkanlığında (Ankara) proje subayı olarak görev yaptı. 2001 yılından beri Ege Üniversitesi Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (EBİLTEM)-Enerji Verimliliği ve Yönetimi Ar-Ge Biriminde (EVYAB) kurucu üye olarak, 22.08.2001 tarihinden beri, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor ünvanı ile çalışmaktadır. 20.08.2004 tarihinde, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezine (ÇEVMER) müdür yardımcısı olarak atanmıştır. TTMD üyesidir. Çalışma alanlarını, Isı ve Kütle Transferi, Termodinamik, Sayısal Analiz, Isıl Enerji Depolama, Toprak Kaynaklı Isı Pompaları ve Yeni Enerji Kaynakları oluşturmaktadır.

(huseyingunerhan@gmail.com)

**Sulu Söndürme  
Sistemleri**

**Gazlı Söndürme  
Sistemleri**

**Köpüklü Söndürme  
Sistemleri**

**Yangın Algılama  
Sistemleri**



**ARI YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİ SAN. ve TİC.A.Ş.**

Salih Omurtak Caddesi No: 8 34718 Koşuyolu-İstanbul

Telefon: +90 (216) 339 91 51 pbx Fax: +90 (216) 428 16 23

[www.ariyangin.com.tr](http://www.ariyangin.com.tr) • [info@ariyangin.com.tr](mailto:info@ariyangin.com.tr)

# Gaz Motoru Tahrikli Isı Pompası (GMIP) Sistemi Uygulamaları

## Applications of Gas Engine Driven Heat Pump (GEHP) Systems

Prof. Dr. Arif Hepbaşlı / TTMD Üyesi

Zafer Erbay

Yrd. Doç. Dr. Filiz İçier

Araş. Gör. Y. Müh. Neslihan Çolak

Uzm. Dr. Ebru Hancioğlu

### Özet

Günümüzde enerji verimliliğine verilen önem nedeniyle, ısı pompalarının en yeni tiplerinden birisi olan gaz motoru tahrikli ısı pompası (GMIP) sistemlerine son zamanlarda ilgi önemli ölçüde arttı. Bu sistemler, ilk kez 1977 yılında kullanılmış ve 1985 yılında ticari bir ürün olarak piyasaya sunulmuştur. GMIP sistemleri, özellikle ısı geri kazanımı (motor silindir ceketlerinden ve egzoz gazından ısı geri kazanımı) sayesinde yüksek enerji verimi ile çalışan, düşük enerji tüketiminden dolayı çevre ile uyumlu, gaz kaynağının ayarlanmasıyla kolaylıkla çalışma hızı ayarlanabilen, dış ortam sıcaklığından fazla etkilenmeyen, ekonomik sistemler olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, başta iklimlendirme ve sıcak su eldesi olmak üzere enerji tüketiminin yoğun olduğu alanlarda uygulamaları denenen GMIP sistemlerinin literatürde öne çıkmış olan bazı uygulamaları ele alınıp incelenmiş ve bu uygulamalara da dayanarak bu sistemlerin geleceği tartışılmıştır. Aynı zamanda, hali hazırda yürütülmekte olan bir TÜBİTAK projesi kapsamında, GMIP'nin, enerjinin en yoğun tüketildiği sanayi işlemelerinden biri olan kurutmaya uygulanmasına da değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz motoru tahrikli ısı pompaları, ısı pompaları, ısı pompalı kurutucular.

### Abstract

In recent years, interest in gas engine driven heat pump (GEHP) systems, that are a kind of novel heat pump systems, has significantly increased because

energy efficiency is considered as a very important concept. Although the first investigations had been performed at the late 70's, the first merchandized GEHP was produced and introduced in the market in 1985. GEHP systems are operated with high energy efficiency because of heat recovery. They reduce environmental pollution with low fuel consumption and are an economic choice by using cheap energy sources. GEHP's compressor speed can easily be modulated by adjusting the gas supply and GEHP systems are not effected by ambient temperature. All these features caus interest ünitemperatures GEHP systems.

In this study, the operation of these systems was described, while main studies in the literature conducted on various applications of GEHP systems were reviewed and the future of these systems was discussed. In addition, a research project on the integration of GEHP systems to food drying processes in Turkey initiated by the authors was also introduced.

**Keywords:** Gas engine driven heat pumps, heat pumps, heat pump dryers.

### 1. Giriş

Son yıllarda, araştırmacıların ve politikacıların yoğunlaştiği sorunların başında enerji gelmektedir. Fosil yakıtlar günümüzde en çok kullanılan enerji kaynağıdır. Ancak, buna rağmen, yeryüzündeki fosil yakıt rezervlerinin kısıtlılığı ve yakın gelecekte tamamen tükeneneğinin tahmin edilmesi, dünyamızın geleceğinde enerji kıtlığının çok da uzak olmadığını göstermektedir. Bu sorunun kesin çözümü, alternatif enerji kaynaklarının

kullanımı ve yaygınlaşmasından geçmekte ve bu alanda araştırmacılar ciddi çalışmalar yapmaktadır. Ancak, bugüne kadar yapılmış çalışmalarda henüz aşılamamış temel problem, bu enerji kaynaklarının kullanımında kurulum masraflarının yüksek olmasıdır. Bu sorun yatırımcıları alternatif enerji kaynaklarından uzak tutmaktadır.

Enerji sıkıntısına dönük geliştirilen çözümlerden bir diğer ise, fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi sonucu olacak sorunların aşılması olmasa da, bu kaynakların tükenmesinin geciktirilmesini merkeze koyarak, insanlığa bir miktar daha zaman kazandırmayı hedeflemektedir. Bu yol, enerji geri kazanımını ön plana çıkartarak enerji verimliliğini artırmak ve bu şekilde enerji tüketimini azaltmaktadır. Bu çözümde, kurulum masrafları çok daha düşük, yani uygulanabilirlik yüksektir. Dolayısıyla, sanayicilerin ve araştırmacıların yoğun ilgisini çeken bir alandır.

Dünyamızda yaşanan diğer bir önemli sorun da, yine enerji politikallarıyla birebir bağlantılı olan, enerji üretimi-dönsümü-tüketimi kaynaklı çevre kirliliğidir. Çevre kirliliği özellikle, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan kırletici gazlar ve uçucu kül emisyonundan kaynaklanmaktadır. Yani, bu sorunun kaynağında kullanılan enerji kaynağı yatamaktadır. Dolayısıyla, bu sorunun çözümünde de alternatif enerji kaynakları öne çıkmakta, doğaya zarar vermeyen yenilebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması önerilmektedir.

Özetle, yeryüzünde yaşanan sorunların başında gelen, fosil yakıtların tükenmesi ve çevre kirliliği sorunlarının çözümü aslında ortaktır: (i) alternatif enerji kaynakları (özellikle yenilebilir enerji

kaynakları) ve uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ve (ii) sistemlerin enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ile enerji tüketiminin azaltılması.

Enerji tüketimi incelediğinde ise, başta evsel tüketim olmak üzere, enerjinin en yoğun tüketildiği alanlar, su ve hava ısıtması/soğutması ile iklimlendirmektedir. Bu alanlarda enerji kaynağı olarak genellikle fosil yakıtlar ya da fosil yakıtların tüketilmesiyle elde edilen elektrik kullanılmakta, dolayısıyla bu alanlardaki çalışmalar özellikle kritik hale gelmektedir.

İsı pompaları (IP'ları)ının önemi ise, burada ortaya çıkmaktadır. Hem su-hava ısıtmasında, hem iklimlendirmede kullanılan ve enerji verimi yüksek olan IP sistemleri, düşük sıcaklık ortamından yüksek sıcaklık ortamına ısının transferini sağlayarak ısı üreten cihazlardır. IP sistemlerinde, genellikle buhar-sıkıştırma (vapor-compression) veya absorpsiyon-sıkıştırma (absorption-compression) çevrimlerini kullanır. Buhar-sıkıştırma çevriminin kullanıldığı ilk cihaz 1834 yılında üretilmiş ve 1850 yılında ticari olarak piyasaya sürülmüş, fakat kurułum masraflarının yüksek olmasından dolayı yaygınlaşamamıştır. Ancak, bu sistemlerin geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucunda, işletim masrafları zaten düşük olan IP'larının kurułum masrafları da makul seviyelere inmiş ve 1980'lerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır [1-2].

IP'ları temel olarak su ısıtması/soğutması ve iklimlendirmede kullanılmakla beraber, sanayideki enerji yoğun işlemlerin başında gelen nem alma ve kurutma işlemlerinde de kullanılmaktadır. IP'ları kullandıkları enerji kaynağına göre, elektrikli (EIP), kimyasal, toprak (yer) kaynaklı, jeotermal, güneş enerjili ve/veya hibrit güç kaynaklı IP'ları gibi çeşitli kategorilere ayrılır. Bunlardan biri de, gaz motoru tıihrikli ısı pompalarıdır (GMIP) [3-6].

GMIP ile ilgili ilk çalışmalar 1970'lerin sonrasında yapılmış ve ilk örneği 1 Nisan 1977'de Dortmund-Wellinghofen açık yüzme havuzunun ısıtılmamasında kullanılmıştır [7]. GMIP'nin ilk ticari şekli ise Japon hükümetinin de desteği ile "Gas-multi" adıyla Nisan 1985'te piyasaya sürülmüştür [8].

Elektrik genellikle termik santrallerde yakıtların yakılması ile üretilmekte ve atık ısı doğaya bırakılmaktadır. Daha sonra elektrik tüketileceği yere taşınmakta ve orada IP'nin motoru aracılığıyla mekanik enerjiye dönüştürülenek kul-

lanılmaktadır. Bu şekilde enerji iki kez dönüşümde uğramakta ve bu nedenle kayıtlar fazla olmaktadır. Eğer yakıtın dönüşümü IP'na yakınlaştırılırsa, yani elektrik aracılığı olmaksızın sağlanırsa, hem dönüşüm sayısının azalmasından, hem de dönüşüm sırasında açığa çıkan atık ısının kullanılabilmesi olanağından dolayı enerji verimliliğinin artırılması mümkün hale gelebilecektir. GMIP, bu düşüncenle çalışan ve özellikle ısıtma işlemlerinde yüksek verim sağlayan sistemlerdir [9-10].

GMIP, içten yanmalı bir motorla tıihrik edilen, açık kompresörlü ve genellikle tersinir buhar-sıkıştırma çevrimli IP'ndan oluşmaktadır. Gaz motorunun ısı verimi düşük olmasına karşın (% 30-45), egzoz gazındaki atık ısının ve motor silindir ceketlerindeki atık ısının geri kazanımı ile toplam atık ısının yaklaşık % 80'inden faydalılabilmekte ve bu da GMIP'ları verimli cihazlar haline getirmektedir [11].

Düşük fosil yakıt tüketiminden dolayı GMIP sistemleri doğayla barışık sistemlerdir. Aynı zamanda, doğal gaz, propan, LPG gibi ucuz enerji kaynaklarından faydalanyor olması ve düşük işletim maliyetleri, bu sistemleri ekonomik hale getirmektedir [10-13]. Diğer tarafından, GMIP'larının yaygınlaşması, elektrik tüketimini/ ihtiyacını dengeleyecek ve yaşanan elektrik piklerini hafifletecektir [12].

Aynı zamanda GMIP'larının önemli bir özelliği de, gaz temininin ayarlanmasıyla kompresör hızının kolaylıkla düzenlenmesi ve bu şekilde optimum çalışma koşullarının sağlanabilmesidir [14].

Toparlarsak, GMIP'ları, geleneksel klima cihazlarından daha cazip iklim kontrolü sağlarlar. Bunlar [11,15]:

a) *Değişken hız işletmesi:* Tipik olarak, GMIP minimum hızda çalışmakta olup, gereklı üye uymak için, minimum ve maksimum hız arasında ayarlanabilir. Minimum ve maksimum hızlara, farklı motor ve kompresör performansı ile karar verilir. Sonuç olarak, böyle bir sistemin kısmı yük verimi yüksektir. Mevsimsel işletme gideri ve çevrim kayipları, aç-kapa çalışan kontrol sistemleri olan tek hız sistemlerinden daha düşük olacaktır.

b) *Motordan ısı geri kazanımı:* Motorun ısı verimi, çok yüksek değildir (gazlı motorlar için şimdilerde yaklaşık % 30-45). Yakıtın yanma ısısı, egzoz gazları, soğutma suyu ve motor bloğuyla atılır. Bu

nunla beraber, sistemin verimi, ısıtma modunda soğutma suyu ve egzoz gazlarından ısının geri kazanılmasıyla artırılabilir.

c) *Doğalgaz yakıtı:* GMIP aynı zamanda, elektrikli ısı pompasından enerji kullanımını bakımından fark eder, esas itibarıyle elektriğin yerine doğalgaz veya propan kullanılır. Bu yüzden, GMIP, elektrik giderlerinin yüksek ve doğalgazın mevcut olduğu yerlerde tercih edilirler.

Bu çalışma ile GMIP'nin çalışma prensibi açıklanacak, yarar ve sakıncaları ortaya konacak, yapılmış önemli çalışmalar paylaşılarak, bu cihazların yaygınlaşmasının ve sanayi açısından uygulanabilirliğinin olanakları tartışılacaktır.

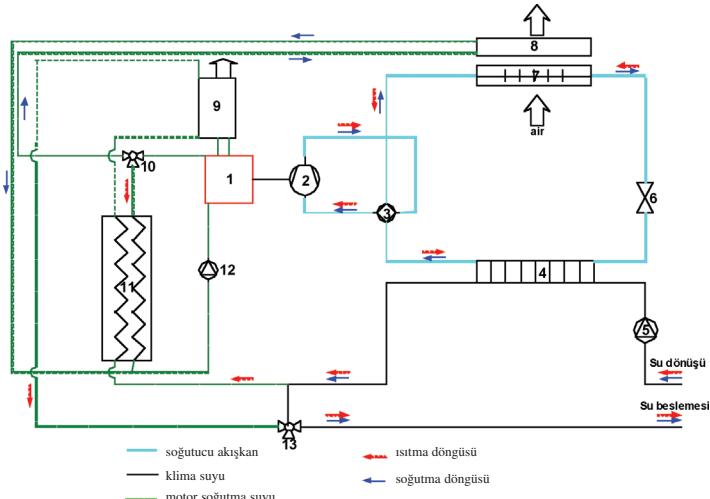
## 2. GMIP'ların Çalışma Şekli

GMIP, elektrik motoru yerine gaz yakıtı çalışan içten yanmalı bir motor tarafından hareketlendirilen açık bir kompresör içeren, genellikle tersinir buhar-sıkıştırma bir IP'ndan oluşmaktadır.

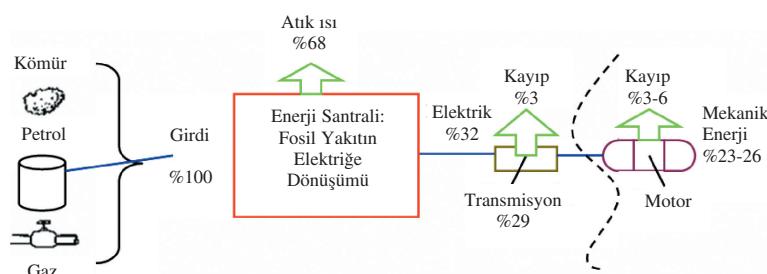
Tüm sistem iki ana bölümde incelenebilir:

- i) IP: Bir açık kompresör, bir kondenser (yoğuşturucu), bir genleşme valfi ve bir evaporatör (buharlaştırıcı) içerir.
- ii) Gaz motoru [14].

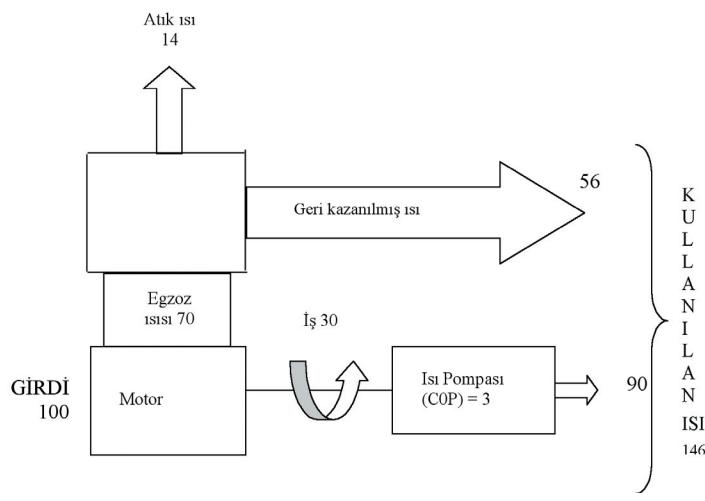
GMIP'nin IP bölümü klasik bir IP'ni içerir. GMIP'nin esas farklığı, kullandığı enerji kaynağıdır. Yagın kullanılan IP'larında, elektrikle çalışan bir motor aracılığıyla elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülürken, GMIP'nda elektrik enerjisi yerine gaz yakıt kullanılır. Kullanılan gaz yakıt, klasik bir içten yanmalı motora pompalanır ve yakılır. Bu işlem sonucu yakıtın kimyasal bağlarının parçalanması ile ısı açığa çıkar ve basıncın değişimi ile birlikte silindirler hareketlenir ve kompresöre mekanik enerji aktarılmış olur. Bu sırada yanmış sıcak gaz dışarı atılır, yeni yakıt motora pompalanır ve işlem tekrarlanır. Bu işlemde ısıl verim yüksek değildir ve genellikle % 30-45 aralığında gezinir. Ancak GMIP'ni verimli kılan atık ısının, yani mekanik enerjiye dönüştürülemediyen % 55-70'lik ısının geri kazanımıdır. Bu ısının bir kısmı motorun ortamla teması sırasında taşınımıla kaybedilen ısı iken, diğer kısmı da egzoz gazı ile ortama bırakılan ısıdır. Motorun ısınması ile kaybedilen ısı, motor silindir ceketlerinden su/hava dolaştırılması ve ısının ısı değiştiriciler vasıtasıyla bu dolaştırılan suya/havaya geçirilmesi yoluyla kazanılır. Yine aynı yöntemle egzoz gazı ile birlikte atılan ısı da geri kazanılır (Şekil 1). Bu şekilde toplam atık ısının yaklaşık % 80'i suya/havaya aktarılır ve ısın-



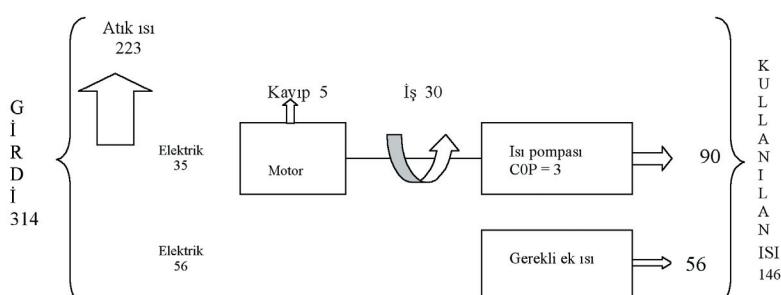
**Şekil 1.** GMIP'nin şematik gösterimi [14]: 1. Doğal gazla çalışan içten yanmalı motoru, 2. Açık kompresör, 3. Dört-yol vana, 4. Plakalı ısı değiştirici, 5. Su besleme pompası, 6. Genleşme vanası, 7. “Kanatlı borulu” ısı değiştirici, 8. Radyatör, 9. Gazdan suya ısı değiştirici, 10. Üç-yollu vana, 11. Sudan suya ısı değiştirici, 12. Soğutma suyu pompası, 13. Üç-yollu vana.



**Şekil 2.** Geleneksel ısı pompaları için yakıttan mekanik enerji elde ediliş sürecindeki enerji dönüşümleri [10].



a) Gaz motoru tahrikli ısı pompası (GMIP).



b) Geleneksel elektrikli ısı pompası (EIP).

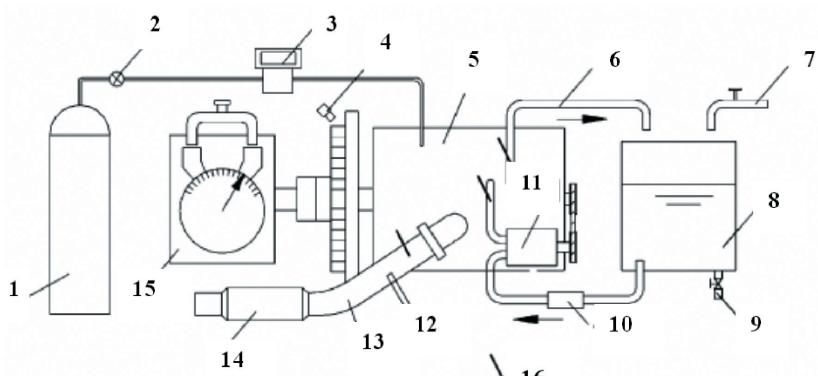
**Şekil 3.** Geleneksel elektrikli ısı pompası (EIP).

mış su/hava, ya direkt olarak ürün halinde kullanılır, ya da buharlaştırıcıya gönderilerek soğutucu akışkan çevriminde faydalamlır.

Bu şekilde gaz motorunun ısıl verimliliği önemli miktarda arttırılır ve yakıtın direk kullanılmasından dolayı da sistemin verimliliği elektrikli sistemlerden daha yüksek olur. Çünkü, elektrikli sistemlere elektrik ulaşana kadar ciddi kayıplar meydana gelmektedir ve sistem dışında olduğu için, bunlara müdahele etme şansı yoktur. Başka bir deyişle, gaz yakıtlı termik santrallerde yakılarak elektriğe dönüsür. Bu dönüşüm sırasında enerji kayıpları yaşanır ve ek olarak egzoz gazının doğaya bırakılmasından ötürü de ciddi ısı kaybı yaşanır. Bu işlem dizisi sırasında enerji iki kez dönüşümde uğratıldığından (yakıttan elektrik, elektrikten mekanik enerji) verim düşer ve dönüşümlerden birisi sistemden tamamen ayrı bir noktada yaşandığından, geri kazanım sağlanamaz (Şekil 2). Tüm bunlar GMIP'ları elektrikli ısı pompalarına oranla 3 kat verimli kılar (Şekil 3) [10].

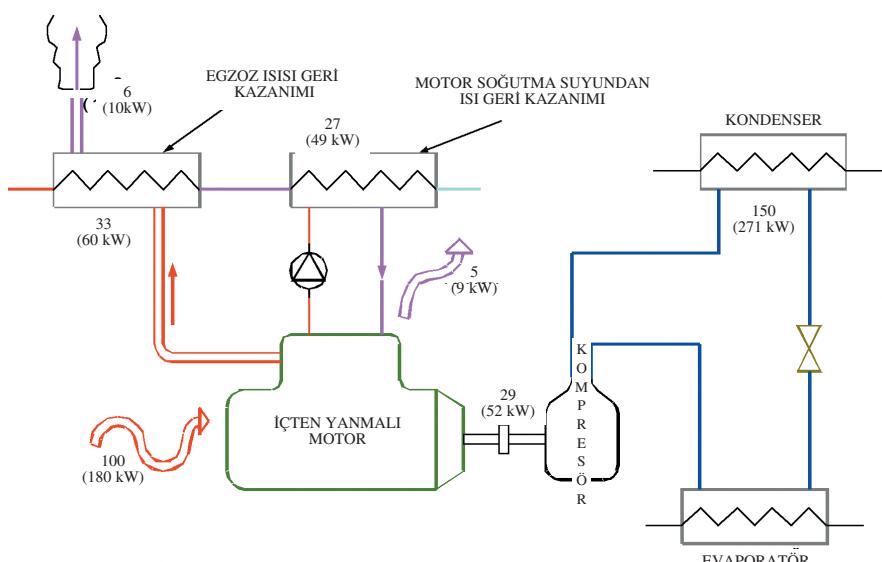
### 3. GMIP Uygulamaları

GMIP'ları, enerji tüketiminde önemli bir azalma sağlar. Buna karşın, bu sistemler günümüzde halen yaygınlaşamamış, özellikle sanayide kendine henüz yer bulamamıştır. Bunun ilk nedeni, kurulum masraflarının yüksekliği, ikincisi ise özellikle sanayi uygulamalarının ve denemelerinin azlığı dolayıyla yatırımcıların bu sistemleri uygulamaya çekinmeleridir.



**Şekil 4.** Gaz motorundaki atık ısı deneyi için oluşturulan deney düzeneğinin şematik gösterimi [14].

1. Doğal gaz deposu, 2. Basınç yardım süpabı, 3. Doğal gaz akış hızı ölçeri, 4. Taktajeneratör, 5. Motor, 6. Sicak su borusu, 7. Su ilave musluğu, 8. Su tankı, 9. Boşaltma vanası, 10. Su akış hızı ölçeri, 11. Su pompası, 12.  $\lambda$  sıcaklık sensörü, 13. Egzoz borusu, 14. Susturucu, 15. Hidrodinamometre, 16. Termometre



**Şekil 5.** "S.Nicola" daki HVAC tesisine entegre edilmiş olan GMIP'nin şematik gösterimi (değerler ısıtma modu dikkate alınarak yazılmıştır) [12].

Enerji ve çevre sorunlarının dünyada ele alınan en önemli konular olduğu düşünülürse, GMIP'ların enerji verimliliği ve düşük işletim masrafları göz önüne alındığında, ekonomik bir seçenek olarak bu sistemlerin hala yaygınlaşamamış olması düşündürücüdür. Kurulum masraflarının yüksekliği genellikle işletim masraflarının düşüklüğü ile karşılaşabilir durumdadır, ancak asıl problem yatırımcıların yüksek kurulum maliyetli bir sisteme yatırım yapmaya çekinmesi, yapılmış örnekler görmek istemesi ve ikna olmaya ihtiyaç duymasıdır. Bu noktada araştırmacılar düşen görev ise, GMIP uygulamalarını çeşitlendirmek ve enerjinin yoğun tüketildiği başka alanlara da taşımaktır.

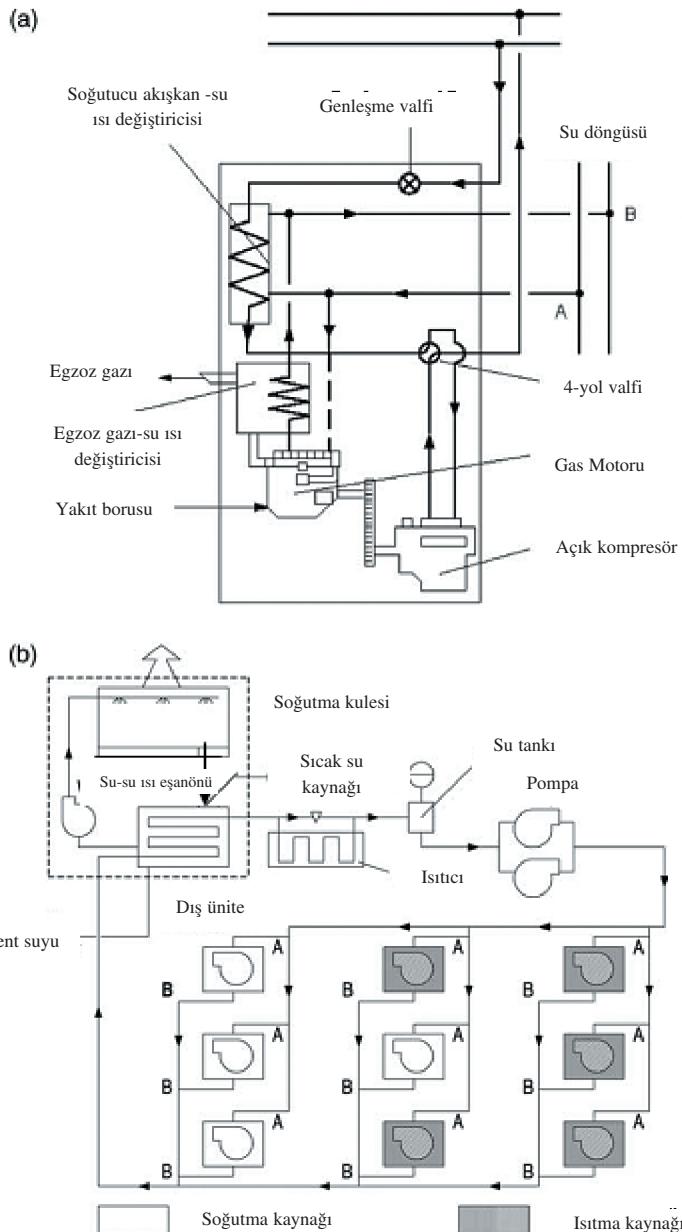
Zhang ve arkadaşları [14], GMIP sistemlerinde enerji geri kazanımını da dikkate alarak, sistemin matematiksel modellemesini yapmışlar, daha sonra bu modellemeyle birlikte GMIP sistemlerinin ısıtma performanslarını analiz etmişlerdir. Matematiksel modelin çıkarılabilmesi için, Şekil 4'de gösterilen deneyel düzeneği kurmuşlar ve gaz motorunun enerji kayiplarını deneyel olarak hesaplamışlar ve bu veriler üzerinden sistem modellemesini tamamlamışlardır. Çıkarılan modelle birlikte, motor hızının ve dış ortam sıcaklığının GMIP performansına etkisi araştırılmış, değişken motor hızında performans analizi yapılmıştır.

Lazzarin ve Noro [12] ise, İtalya'daki

Padova Üniversitesi'ne bağlı Yönetim ve Mühendislik Bölümü binasında iklimlendirme amacıyla kurulmuş GMIP sistemini enerji verimi ve maliyetler açısından incelemiştir. İtalya'daki Padova Üniversitesi'ndeki Yönetim Mühendisliği Bölümü'nün Vicenza'da Kurulu olan ve "S.Nicola" diye anılan binasının iklimlendirmesi Şekil 5'de gösterilen GMIP sistemiyle yapılmaktayken, belediyenin, kentteki merkezi iklimlendirme sisteminin kapasitesinin artırılmasından ötürü üniversitenin de bu sisteme dahil olması önerisi araştırmacılar tarafından değerlendirilmiştir. "S.Nicola"daki GMIP sistemi tanımlanmış, sistemin 3 yıllık gaz tüketim bilgilerine dayanarak ısıtma ve soğutma dönemlerinde ayrı ayrı maliyetler çıkarılmış ve varolan sistemin devre dışı bırakılarak merkezi sisteme bağlanması durumunda olabileceği enerji masrafları belirlenerek iki sistem kıyaslanmıştır.

Lian ve arkadaşları [10] ise, Çin'de yürütülmekte olan bir proje kapsamında yaptıkları çalışmaya Şekil 6'da gösterilen su çevrimli GMIP sistemini tasarlamışlardır. Hem alan ısıtması/soğutması, hem de soğuk/sıcak su eldesi amaçlı tasarlanan sistemin performans analizi yapılmış, geleneksel iklimlendirme ve su çevrimli EIP sistemleriyle performansı karşılaştırılmıştır. Tüm bu verilere dayanarak su çevrimli GMIP sisteminin yüksek kurulum maliyetlerini ne kadar sürede geri kazandıracığı ve dolayısıyla uygulanabilirliğini tartışılmıştır.

Ülkemizde ise, konuya ilgili çalışmalar yeni başlamaktadır. Türkiye'de kullanım alanı bulan GMIP sayısı 2'dir, konuya ilgili yürütülen tek çalışma ise Hepbaşılı ve ark. [9] tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada araştırmacılar, iklimlendirme ve soğuk/sıcak su eldesi dışında direkt sanayi uygulamasını amaç edinmişler ve endüstriyel işlemler içerisinde en çok enerji tüketen işlemlerden birisi olan kurutma işlemeye GMIP sistemi uygulanmasını planlamışlardır. Bu na göre, Şekil 7'de gösterilen sistemde havanın ısıtılması GMIP ile yapılacak, kurutma ise bantlı tünel tip bir kurutucuda gerçekleştirilecektir. Farklı gidaların kurulacağı ve bu yeni sistemin kurutmadağı performansının değerlendirileceği çalışmada, yeni sistem aynı zamanda başka kurutucu sistemlerle de karşılaştırılacaktır. Gidalar, aynı koşullarda, havanın EIP ile ısıtıldığı bantlı tünel tip bir kurutucu sistemde, havanın elektrikle ısıtıldığı tepsili kurutucu sisteme ve elektrikle çalışan yatak kurutu-



**Şekil 6.** (a) Isıtma modunda çalışan su soğutmalı GMIP sisteminin dış ünitesinin şematik gösterimi; (b) Su çevrimli ısı pompasının şematik gösterimi. Sırasıyla A ve B bağlantı noktalarından GMIP sistemi uygulanabilir [10].

cu sisteminde kurutularak elde edilen veriler kıyaslanacaktır. Bu çalışma, Türkiye'de ilk olmasının yanında GMIP'nin sənaye uygulanması anlamında da dün-yadaki sayılı çalışmalarından.

#### 4. GMIP'lerinde Etki Katsayısının Belirlenmesi

IP'lardan söz edildiğinde, bilindiği gibi, "verim" kavramı kullanılmaz. Bunun yerine, etki katsayı (EK) veya COP (coefficient of performance) geçerlidir. GelenekSEL EIP'lerinin EK'sı, cihaz ve sistem bazında aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$EK_{ger,IP} = \frac{\dot{Q}_{isıtma}}{\dot{W}_{ger,g}}$$

$$EK_{ger,sis} = \frac{\dot{Q}_{isıtma}}{\dot{W}_{ger,g} + \sum \dot{W}_{ilave}}$$

Yukarıdaki eşitlik paydasında yer alan ilave güç girişisiyle, sistemde bulunan ve enerjinin kullanıldığı tüm pompa, fan gibi elemanlar kastedilmektedir.

GMIP için etki katsayı aşağıdaki şekilde yazılabılır [16]:

$$EK_{GMIP} = \eta_{motor,eff} \cdot EK_{ger,IP} + a_{motor,yar}$$

## Problem:

Montaj kolaylığı  
sağlamayan, montajı zor  
banyo süzgeçleri

## Çözüm:

**ERTEM "Pureflow"**  
serisi banyo süzgeçleri



"Pureflow" banyo süzgeçlerinin  
Özellikleri

- Yüksekliği ayarlanabilen teleskopik üst gövdesi ile seviye ayar imkanı sağlar.
- Her iki eksende üst gövdenin eğimi ayarlanabilir.
- Dösemeye uygunluk gösterebilmesi için üst gövde kendi ekseni etrafında rahatça döndürülebilir.
- Sökülebilir koku fermetürü ile rahatça temizlik ve bakım yapılabilir.

Ertem Pureflow serisi banyo  
süzgeçleri EN 1253 Avrupa  
Standardına uygundur.

Sıhhi Tesisattaki özel sorunlarınızın çözümü  
için ERTEM'in ürün ve hizmetlerinden faydalanan.  
Çözüm ERTEM'de başlar!

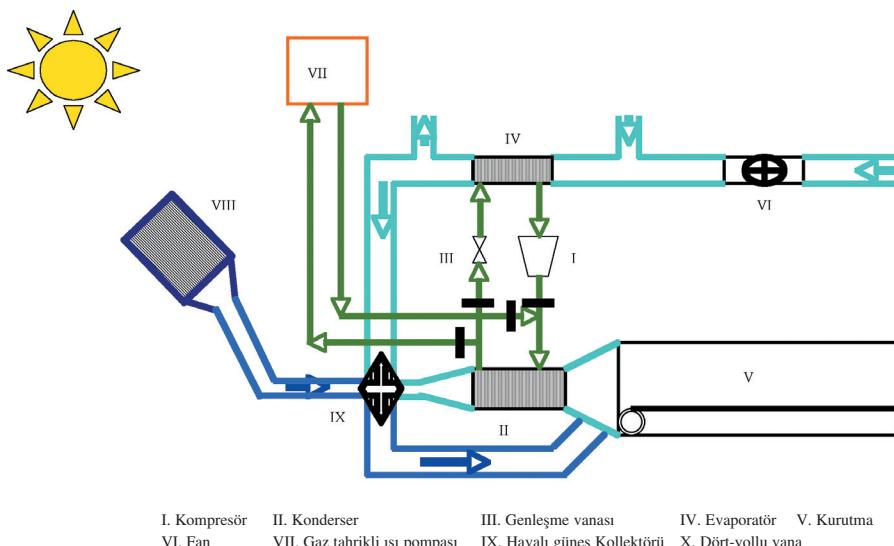
**ertem**

Ertem Hijyen Teknolojisi A.Ş.

**Genel Merkez:** Çetin Emeç Bulvarı  
6.Cadde No:65/1 06460 Öveçler/Ankara  
Tel:0312. 472 12 72 -74 • Faks: 0312. 472 12 73  
info@ertem-sanitary.com

[www.ertem-sanitary.com](http://www.ertem-sanitary.com)

$$EK_{GMIP} = \eta_{motor,eff} EK_{ger,IP} + (\eta_{toplam} - \eta_{motor,eff})$$



*Şekil 7. Gaz motoru tahrlikli güneş enerjisi destekli ısı pompalı tünel tipi bantlı kurutucu sistemin şematik gösterimi [9].*

## 5. Bazı Uygulamaların İncelenmesi

Kimi uygulamalarından bahsedilen GMIP'ları, bu uygulama ve deneylerde yapılan analizlerle beklenen performansı göstermiş ve bu çalışmalarla yeni araştırmaların önü açılmıştır. Yukarıda kısaca açıklanan uygulamalardan elde edilen sonuçlar, GMIP sistemlerinin çeşitli alanlarda başarıyla uygulanabileceğini ve bu sistemlerin yaygınlaşma potansiyeli taşıdığını göstermiştir.

### 5.1. Uygulama-1

Zhang ve arkadaşları [14]'nın yaptıkları çalışmada, GMIP'larda enerji geri kazanımının önemine ve etkisine dikkat çekilmiştir. Aynı zamanda GMIP'lerinin dış ortam sıcaklığından ne oranda etkilendiği gösterilmiş, GMIP'lerinin motor devir hızının enerji verimine etkisi tartışılmıştır. Buna göre;

- GMIP'lerinin ısıtma kapasitesinin yaklaşık %30'u enerji geri kazanımından (motor silindir ceketlerinden ve egzoz gazından ısının geri kazanımı) sağlanmaktadır.
- GMIP'nin iki ana bölümünden IP bölümünün ısıtma kapasitesi ortam sıcaklığı ile birlikte artarken, gaz motorunun ısıtma kapasitesine sağladığı katkı (yani ısı geri kazanımı ile faydalananır hale gelen enerji) ortam sıcaklığından etkilenmemektedir.

• Bundan kaynaklı olarak ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte birincil enerji oranı (PER) değeri artar gözyükse de, gaz motorunun en verimli olduğu ortam sıcaklığı 0°C'dır.

• Motor hızı arttıkça yaklaşık aynı oranlarda GMIP'nin ısıtma kapasitesi artmaktadır, yani kondenser, silindir ve egzoz ısısı artmaktadır.

• Ancak PER değeri motor hızı arttıkça düşmektedir. Yani GMIP'leri düşük çalışma hızlarında daha yüksek enerji verimi ile çalışabilmektedir.

• Buna karşın, motorun çok düşük hızlarında çalışması durumunda kompresör tahrlik edilememekte, çok yüksek hızlarda ise kompresörde arızalar yaşanabilmektedir.

Diesel motoruyla tahrlik edilen ısı pompaları için (aynı şekilde GMIP için de geçerli), EK aşağıdaki şekilde tanımlanır [17]:

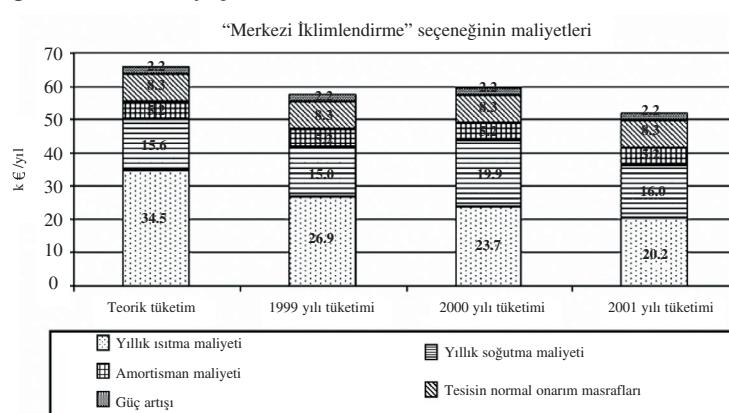
dir. Yapılan uygulamada motor devri 1000-3500 dev/dak aralığında oynatılmış ve farklı ortam sıcaklıklarında GMIP'nin ısıtma kapasitesinin gerekli ısıtma ihtiyacı ile uyumluluğu gözlemlenmiştir. Değişken hız modunda GMIP'nin, -1 ile 9°C aralığında en verimli ısıtma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni: i) düşük ortam sıcaklıkları için motor hızının yetmemesi ve GMIP'sinin ihtiyacı altında ısı üretmesi, ii) yüksek ortam sıcaklıklarında ise, GMIP'nin en düşük çalışma devri bile ihtiyaçtan fazla ısı üretmektedir. Bu durum, GMIP'lerinin daha etkin kullanılabilmeleri için uygun kontrol stratejilerinin ve GMIP ekipmanlarının geliştirilmesi gerekliliğini göstermiştir.

• Değişken hız modunda enerji geri kazanımları da göz önüne alındığında, motor verimi 9°C ortam sıcaklığında %83'ün üzerine çıkmıştır. Buna karşın, sadece motorun kompresöre ilettiği mekanik enerji dikkate alındığında ise motor verimi en yüksek değerine 5°C ortam sıcaklığında %30'a vararak ulaşmıştır.

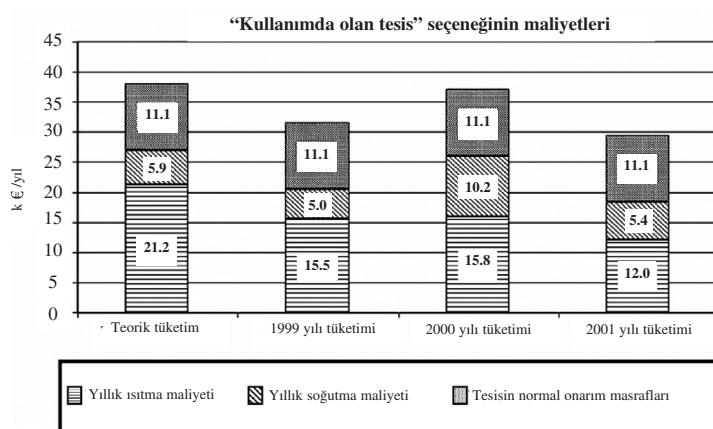
Tüm bu sonuçlar gaz motorundan ısı geri kazanımına önem verilmesi durumunda GMIP'lerinin oldukça verimli sistemler olduğunu göstermektedir.

### 5.2. Uygulama-2

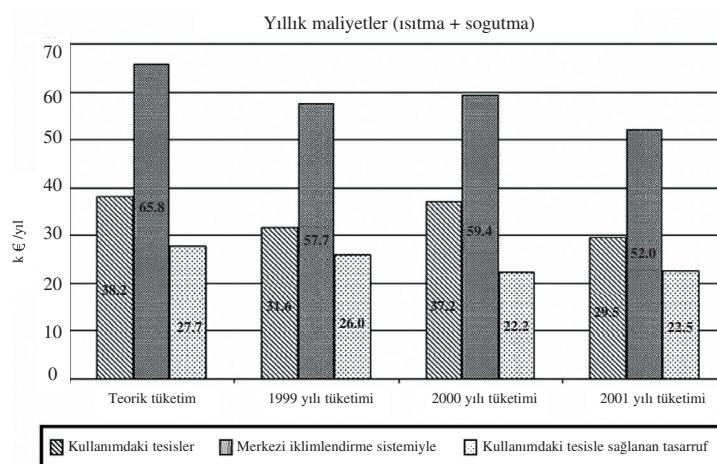
Lazzarin ve Noro [12], yaptıkları çalışma ile İtalya'da Padova Üniversitesi'ne bağlı olan Vicenza'daki Yönetim ve Mühendislik Bölümü binasının halen kullanım-



*Şekil 8. “S.Nicola” binasının “merkezi iklimlendirme” sistemine bağlanması durumunda ortaya çıkacak maliyetler [12].*



**Şekil 9.** "S.Nicola" binasının halen kullanıldığı dönemde ortaya çıkan maliyetler [12].



**Şekil 10.** "S.Nicola" binasında halen kullanılmakta olan iklimlendirme sistemiyle, önerilen yeni sistemin maliyetlerinin kıyaslanması [12].

da olan GMIP'li iklimlendirme sisteminin performansını ekonomik parametrelerle değerlendirmiş ve iklimlendirmenin kentteki merkezi sistemle yapılması durumunda ortaya çıkacak maliyetlerle karşılaştırılmıştır.

Buna göre Şekil 8'de merkezi sisteme bağlanması durumunda ortaya çıkacak maliyetler 1999, 2000 ve 2001 yıllarındaki enerji tüketimleri ve enerji fiyatları göz önüne alınarak çıkartılmış, aynı zamanda sonraki yılları öngörmek için hazırlanmış ve geçmiş yılları değerlendirmede başarılı sonuçlar vermiş simülasyonla geleceğe dair beklenen maliyetler de ortaya konmuştur. Şekil 9'da ise aynı verilere parametrelerle kullanımında olan sistemin maliyetleri gösterilmiştir. Şekil 10'da ise iki sistemin kıyaslanması yapılarak kullanımında olan sistemin yıllık olarak sağladığı tasarraf grafikte gösterilmiştir.

### 5.3. Uygulama-3

Lian ve ark. [10]'nın yaptığı çalışma ile su çevrimli GMIP sistemi ilk defa kullanılmıştır. GMIP ile su çevrimli IP sistemlerinin kombine kullanımı fikrinin ortaya çıkışmasını sağlayan, tek tek GMIP ve su çevrimli IP'nin avantajları ve bu sistemlerin birlikte kullanımının doğuracağı öngörülen ek avantajlardır. Bu çalışmadan aşağıdakiler elde edilmiştir:

- Su çevrimli GMIP sistemi hava çevrimli sisteme göre daha verimli sonuç vermiştir.
- Su çevrimli GMIP sistemi ile özellikle yüksek miktarlarda sıcak su gereksinimi olan alanlarda elde edilen verim daha da yüksektir.
- Su çevrimli sistemin GMIP sistemine uyumu oldukça kolaydır.
- Her ne kadar su çevrimli GMIP sisteminin kurulum masrafları yüksek olsa da,

## Sürdürülebilir Bir Çevre İçin...



### Serbest Topoloji ve Sistem Entegrasyonu

novaNET BACnet Modbus RTU M-Bus PROFI LonMARK EIB



Otomasyon İstasyonları

Oda Kontrol Sistemi



İşletim Üniteleri Dokunmatik Ekran



novapro ile Yönetim Seviyesi  
CASE : Tasarlama ve Konfigürasyon Yazılımı



bu çalışmada yapılan hesaplamalar, su çevrimli GMIP sistemi geleneksel iklimlendirme sistemlerine göre ortalama olarak 2 yıl içerisinde, su çevrimli EIP sistemine göre ise 2,6 yıl içerisinde kurułumdan kaynaklı ek masrafları karşıladığı göstermiştir. Bu veriler, enerji verimi yüksek ve işletim maliyeti düşük olan su çevrimli GMIP sisteminin ekonomik olarak uygun bir seçenek olduğunu ortaya koymuştur.

- GMIP içeren sistemlerin kullanımı, elektrik tüketimi/ihtiyacını dengeleyebilecek ve yaşanan elektrik piklerini hafifletecektir.

## 6. Sonuçlar

Gaz motoru tahrikli ısı pompası sistemleri, ülkemizde göreceli olarak yeni uygulamalardan biridir. Bu çalışmada, bu sistemlerin gerek etki katsayılarının belirlenmesine (diğer geleneksel sistemlerin etki katsayılarından farklı) gereksiz uygulamadan elde edilen önemli sonuçlara yer verildi. Bir bakıma, bu konuda çalışmağa istekli HVAC mühendislerimize bir bakış açısı kazandırmağa çalışıldı. Burada yürütülen çalışmalarдан, dünyamızın geleceğinde yaşanabilecek enerji kıtlığı ve çevre kirliliği tehditlerine karşı, yüksek enerji verimi ile çalışan GMIP'ları gelecek vadeden ve yaygınlaşma potansiyeli taşıyan yeni teknolojilerden birisi olduğu sonucuna varılabilir.

## Teşekkür

Yazarlar, "Gaz Motoru Tahrikli Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompalı Bantlı Bir Kurutucu Sistemin Tasarımı, Testi ve Performansının Değerlendirilmesi" başlıklı 106M482 numaralı projeye mali desteğinden ve ilgisinden dolayı TÜBİTAK'a (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) teşekkür etmektedir.

## Semboller

a	gaz motorunun yararlı atık ısısının birinci enerji kullanımındaki payı (%)
EK (COP)	etki katsayı (-)
Q	ısı akımı (kW)
W	güç (kW)

## Yunan Harfleri

η	verim (%)
---	-----------

## İndisler

g	giriş (giren)
GMIP	gaz motoru tahrikli ısı pompası
sis	sistem
IP	ısı pompası
ger	gerçek
eff	efektif
yar	yaranınma

## Kısaltmalar

EIP	elektrikli ısı pompası
EK	etki katsayı
GMIP	gaz motoru tahrikli ısı pompası
IP	ısı pompası

## Kaynakça

- [1] Çengel, Y.A., Boles, M.A., "Thermodynamics: An Engineering Approach", McGraw-Hill, 5.Baskı, 2006.
- [2] Calm, J.M., "Heat pumps in USA", International Journal of Refrigeration, 1997;10:190-96.
- [3] Wongsuwan, W., Kumar, S., Neveu, P., Meunier, F., "A review of chemical heat pump technology and applications", Applied Thermal Engineering, 2001;21:1489-1519.
- [4] Hepbasli, A., Ozgener, L., "Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2004;8:433-60.
- [5] Ozgener, O., Hepbasli, A., "A review on the energy and exergy analysis of solar assisted heat pump systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007;11:482-96.
- [6] Omer, A.M., "Ground-source heat pumps systems and applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, makale baskıda.
- [7] Bussmann, W., "Heating of the Dortmund-Wellinghofen open air swimming pool with a gas heat pump (two years of operational experience)", Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, 1978:26-31,34.
- [8] Ogura, M., Kawasaki, T., Motokawa, M., Terada, F., "The first commercialized direct-expansion type gas engine heat pump", Government Inst Inc Publishing, 1987.
- [9] Hepbasli, A., Erbay, Z., Icier, F., Colak, N., Hancioğlu, E., "A review of gaz engine driven heat pumps (GEHPs) for residential and industrial applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007 (Baskıda Makale).
- [10] Lian, Z., Park, S., Huang, W., Baik, Y., Yao, Y., "Conception of combination of gas-engine-driven heat pump and water-loop heat pump system", International Journal of Refrigeration, 2005;28:810-19.
- [11] Li, S., Zhang, W., Zhang, R., Lv, D., Huang, Z., "Cascade fuzzy control for gas engine driven heat pump", Energy Conversion & Management, 2005;46:1757-66.
- [12] Lazzarin, R., Noro, M., "District heating and gas engine heat pump: economic analysis based on a case study", Applied Thermal Engineering, 2006;26:193-99.
- [13] Ficarella, A., Laforgia, D., "Energy conservation in alcohol distillery with the application of pinch technology", Energy Conversion & Management, 1999;40:1495-1514.
- [14] Zhang, R.R., Lu, X.S., Li, S.Z., Lin, W.S., Gu, A.Z., "Analysis on the heating performance of a gas engine driven air to water heat pump based on a steady-state model", Energy Conversion & Management, 2005;46:1714-30.
- [15] Hepbaşlı, A., "Doğal Gazlı Isı Pompalarının Enerjetik ve Ekserjetik Modellemesi", Doğal Gaz Günleri, Pamukkale Üniversitesi, 1-3 Haziran 2006,
- [16] Jüttemann, H., "Waermepumpen: Band 3-Anwendung der Gas-und Dieselswaermepumpe in der Haustechnik", Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, Almanya, 1981.
- [17] Berntsson, T. ve Franck, P., "Learning from Experiences with Industrial Heat Pumps", CADDET Analyses Series No. 23, İngiltere, 1997.

**Yazarlar:****Arif Hepbaşlı, Prof. Dr.**

27 yıllık iş yaşamı Üniversitede asistan, Sanayide değişik konum ve mevkilerde mühendis-yönetici, MMO İzmir Şubesi'nde Teknik Müşavir ve E.Ünde öğretim üyesi olarak çalışarak geçti/geçmektedir. Yurt içi ve yurtdışında bir çok eğitim ve seminerlere katılan, bir çok bilimsel yayın organında yazar ve/veya danışma kurulu üyesi olan Dr. Hepbaşlı'nın ilgi alanları, enerji verimliliği ve yönetimi, ısı sistemlerin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizleri, alternatif enerji kaynaklarının potansiyeli ve istatiksel değerlendirilmesi, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı (özellikle jeotermal ısı pompaları ve bölgesel ısıtma sistemleri), boru mühendisliği ve değişik ısı tekniği uygulamalarıdır.

**Zafer Erbay, Gıda Müh.**

2006 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Daha sonrasında aynı üniversitede ve bölümde Temel İşlemler Bilim Dalında yüksek lisans yapmaya başladı. Halen yüksek lisans öğrenimi sürdürmektedir.

**Filiz İçier, Yrd. Doç. Dr.**

Üniversiteye 1994 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde başlayan Dr. İçier, 2005'ten günümüze de aynı bölümde Yardımcı Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Elektriksel yöntemler başta olmak üzere, gıdaların alternatif yöntemlerle işlenmesi ve işlemlerin gıdaların kalitesi üzerine etkileri konusunda çalışmalarını sürdürden Dr. İçier'in uzmanlık alanları arasında; gıda ekipmanlarının tasarımını ve optimizasyonu da bulunmaktadır.

**Neslihan Çolak, Araş. Gör. Gıda Y. Müh.**

1999 yılında Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden mezun olan Çolak, 2003'ten günümüze Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde doktorasına devam etmektedir. Çalışmalarını Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde sürdürmekte olan Çolak'in, yenilenebilir enerji kaynakları, gıdaların kurutulması ve ekserji konularında çalışmaları bulunmaktadır.

**Ebru Hancioğlu, Dr. Müh.**

1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ünü bitirdi. Üniversite ve Sanayide çalışmalarını sürdürdü. Toprak kaynaklı ısı pompaları ile ısıtma-soğutma ve kurutma konularında çalışmış olan Dr. Hancioğlu, Sanayide Enerji Yöneticisi sertifikasına sahiptir.

**Dimplex****Isı Depolu Radyatör****Elektrikle ucuzca isıtın...****İngiltere'nin en ince tasarımlı ve beğenilen ısı depolu radyatör serisi, size verimli, ekonomik ve bakım gerektirmeyen bir isıtma çözümü sunuyor...**

Isı depolu radyatörlerin tasarım amacı kullanıcının elektrik enerjisini düşük tarifeden satın almasına imkan vermektedir. Sistemin ısıtıcı gece boyunca düşük tarifeden çalışarak radyatör içinde depo görevi gören tuğlayı ısıtır. Gün içerisinde bu ısı, kontrollü olarak ortamın ısıtılmasında kullanılır.

**Neden Elektrikli Isıtıcı?**

- Tesisat gerektirmeden kolayca monte edilir.
- Sisteme ısıtıcı eklemek veya çıkarmak çok basittir.
- İnce ve sık tasarımı sahiptir.
- Her ısıtıcı ayrı çalıştığından odalar arası tam istenilen sıcaklık dağılımı elde edilir. Konfor ve tasarruf sağlanır.
- Elektrikli ısıtıcılar yakıtlı ısıticılara göre satın aldığımız enerjinin çok daha fazlasını enerjiye çevirirler, verimlidirler.
- Sürekli hareketli parça bulunmadığından bakım masrafı azdır.

**HAVAK ENDÜSTRİ TESİSLERİ TİC. LTD. ŞTİ.**

Çaycılar Sokak No. 42 Topçular 34050 İSTANBUL

Tel : (0212) 612 27 74 - 501 20 08

Faks : (0212) 501 35 25

E-posta : info@havak.com Web : www.havak.com

**Havak**

EN ISO 9001:2000

Düzenlidir.