

GÜNEŞ KAYNAKLI ISI POMPALARI

Arş. Gör. Kadir BAKIRCI* - Prof. Dr. Bedri YÜKSEL**
Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü-ERZURUM
e-mail: (*) abakirci@atauni.edu.tr - (**) byuksel@atauni.edu.tr

ÖZET

Fosil kökenli enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, insanları yeni enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Bu enerji kaynaklarından birisi de bol ve temiz enerji kaynağı olan güneştir. Önemli derecede güneş alan ülkemizde, bu enerjiyi kullanmak, gerek çevre kirliliği gerekse enerji ekonomisine katkı sağlaması bakımından son derece önemlidir. Bu temiz enerjiyi kaynak olarak kullanıp, ısı pompası vasıtasıyla düşük sıcaklıklardaki ısı enerjisini daha yüksek sıcaklıklara çıkarmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, güneş kaynaklı ısı pompaları anlatılacak ve yapılan teorik analiz sonuçları verilecektir.

Anahtar sözcükler: Güneş enerjisi, ısı pompası.

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının azalması ve bu kaynakların sebep olduğu hava kirliliğinin artması, güneş enerjisi üzerine olan çalışmaları yoğunlaştırmıştır. Ayrıca enerji kaynaklarının azalması paralelinde, enerji ekonomisini de gündeme getirmiştir. Isı pompalarının elektrikli ısıtmaya nazaran 2 ile 6 kat daha avantajlı olmaları, çevre kirliliğine neden olmamaları, istenildiğinde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılmaları nedeniyle üzerinde sıkça çalışılan bir konu olmuştur.

Bilindiği üzere, soğutma makinelerinde soğutulacak ortamdan alınan ısı ile kompresöre verilen enerji, kondenserden dış ortama atılmaktadır. Yani soğutma devresinde soğutma işlemi buharlaştırıcının (evaporatörün) bulunduğu yerde sağlanmaktadır. Isı pompasında ise soğutma devresinde, dışarıya atılan ısı enerjisinden faydalanılmaktadır. Isı pompasında ısıtma işlemi yoğuşturucunun (kondenserin) bulunduğu yerde sağlanmakta olup, soğutma devresinden tek farkı amacın başka elemanlarla gerçekleştirilmesidir [1]. Yani soğutma devresinde soğutma işlemi buharlaştırıcıda, ısıtma işlemi ise kondenserin bulunduğu yerde sağlanmaktadır.

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı vardır. Herşeyden önce bol, temiz ve yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Dışa bağlı olmadığından, çıkabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır. Günümüzde özellikle petrol fiyatlarının artması, güneş enerjisini gittikçe cazip kılmakta ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır [2].

Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmektedir. Çomaklı vd. tarafından, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde evsel ısıtma için enerji depolu güneş destekli ısı pompası sisteminin performansını araştırmak için bir deneysel düzenek kurulmuştur. Deneysel sonuçlar, kullanılan ısı pompasından 1992'nin ısıtma sezonu boyunca Aralık-Mayıs aylarında elde edilmiştir. Isıtma sezonu boyunca deneysel olarak elde edilen sonuçlar, kollektör verimini, ısı pompasının performans katsayısını (COP), sistem COP'unu, depolama verimini ve sistemin toplam enerji tüketimini hesaplamak için kullanılmıştır. Kollektör veriminin, ısı pompası COP'unun, sistem COP'unun ve depolama veriminin aritmetik ortalama değeri, sırasıyla %70, %4,5, %4 ve %60 bulunmuştur [3].

İleri tarafından, 100 kW soğutma kapasitesi için güneş destekli R22-DEGDME absorpsiyonlu ısı pompası sistemi, Ankara için saatte bir data kullanılarak bir bilgisayar simülasyonu ile

araştırılmıştır. Yazları jeneratör, kışları evaporatör güneş enerjisini almış diğer talepler de yardımcı ısıtıcılar tarafından karşılanmıştır. Sistemin performansı güneş enerjisinden sağlanan yük bölümünden değerlendirildiğinde, araştırmadaki biçim ve boyutların, iklimden, kaynak sıcaklık limitinden, kollektör tipi ve alanından çoğunlukla etkilenmekte, fakat depolama tankının boyutundan az etkilenmekte olduğu belirtilmiştir [4].

Abou-Ziyan vd., düşük sıcaklık uygulamaları için güneş destekli R22 ve R134a ısı pompası sistemleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bilinen bir ısı pompası, güneşli bir hava ısıtıcısı ve iki seri bağlı güneş destekli ısı pompası sistemleri için simülasyon sonuçları gösterilmiştir. R22, R404a ve R134a'nın termodinamik özellikleri, 0,99' dan daha yüksek korelasyon faktörleri ile korelasyon şeklinde verilmiştir. Isı pompasının performans karakteristikleri, evaporatör sıcaklığı 0-45°C aralığı için, kondens sıcaklığı 50-70°C aralığı için ve kütle akış oranı 1000-2000 kg/h aralığı için bu çalışma soğutucuları kullanılarak araştırılmıştır [5]. Yamankaradeniz ve Horuz tarafından İstanbul şartlarında açık günler için, güneş enerjisi kaynaklı ısı pompasının teorik ve deneysel incelemesi yapılmıştır. Teorik çalışmada, İstanbul şartlarında açık günler için anlık, aylık ve mevsimlik ortalama ısıtma tesir katsayıları ve sistemin diğer özellikleri incelenmiştir. Isı pompası devresinde 0,75kW gücünde tam hermetik kompresör, hava soğutmalı maksimum 4.5kW soğutma kapasiteli yoğuşturucu, enerji deposu içerisine daldırılmış maksimum 3,5kW ısı çekebiyen buharlaştırıcı ve soğutucu akışkan olarak da F-12 kullanılmıştır [6].

Torres Reyes vd., çalışmalarında havayı ısıtmak için güneş destekli ısı pompasının teoriksel ve deneysel ekserji analizini yapmışlardır. Güneş destekli yada bilinen bir ısı pompası ile çalışan deneysel bir prototip, ekserjetik verimi, tüm sistem tersinmezliğini ve teçhizatların tersinmezliklerini belirlemek için test edildi. Evaporasyon ve kondensasyon basamaklarında çalışan akışkanın optimum sıcaklığını belirlemek için bir metodoloji ileri sürülmüştür [7]. Huang ve Chyng, integral tip güneş destekli ısı pompası su ısıtıcısının dizayn ve test edilmesi konusunda bir çalışma yapmıştır. Depolama tankı ve Rankine çevrim ünitesi daha küçük bir boyut yapmak için birleştirilmiştir. Yapılan testlerde 3,83'lük bir COP elde edilmiştir [8]. Esen çalışmasında, ısı pompası ile alan ısıtmada kullanılan güneş destekli bir gizli ısı deposunun termal performansını incelemiştir. Güneş destekli bir ısı pompasına bağlı silindiriksel faz değişimi depolama hakkında deneysel ve teoriksel olarak araştırma yapmıştır [9].

Kaygusuz tarafından yapılan bir çalışmada ısı pompalı bir güneşle ısıtma sisteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ısıtma sezonu boyunca Kasım ayından Nisan ayına kadar elde edilmiştir. Ortalama mevsimlik ısıtma performans değerleri, seri ve paralel ısı pompası sistemleri için sırasıyla 4,0 ve 3,0 olarak bulunmuştur. Ayrıca güneşle ısıtma sisteminin analizi için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Örneğin sistemin, COP, teorik kollektör sayıları, kollektör verimi, ısıtma kapasitesi, kompresör gücü ve depolama tankındaki sıcaklıklar gibi model parametreleri, deneysel sonuçlar kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada, teorik modelin, deneysel sonuçlarla uygun olduğu belirtilmiştir [10].

Hawlder vd., su ısıtma sisteminde güneş destekli bir ısı pompasının performansını incelemiştir. R134a soğutucusuna uygun bir evaporatör gibi hareket eden, üzeri camla kaplanmamış düz levha güneş kolektörlü, güneş destekli ısı pompası su ısıtma sisteminde analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar, sistemin performansının, kollektör alanı, kompresör hızı ve güneş ışınlanması ile önemli derecede etkilendiğini göstermiş, ekonomik bir analiz ise sistem için yaklaşık iki yıllık bir minimum geri ödeme süresini ortaya koymuştur [11]. Badescu, bir termal depolama ünitesiyle tamamlanan alan ısıtmada kullanılan güneş destekli bir ısı pompası modeli üzerine çalışma yapmıştır. Güneşli hava ısıtıcıları, ısı pompasında buhar sıkıştırma işi için ve diğer maksatlar için termal enerji sağladığı ve termal enerji depolama ünitesinin, toplanan güneş enerjisinin kullanımında birçok etki sağladığı ifade

edilmiştir [12]. Kuang vd. tarafından, düz plaka kolektörlü basit ve pahalı olan güneş destekli ısı pompası sistemi, bir sıcak su depolama tankı ve bir su kaynaklı ısı pompası kurulmuştur. Yaptıkları çalışmada, tüm sistemin ve bu sistemin temel elemanlarının termal performansını, Kuzey Çin’de 2000-2001 ısıtma sezonu boyunca deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan, potansiyel kullanıcılar için bir güneş destekli ısı pompası sisteminin gelişimi ve ilk dizaynında yardımcı olabilecek bazı önemli sonuçlar ve öneriler çıkarmışlardır [13].

2. ISI POMPASI SİSTEMLERİ

Isı pompalarının kurulma maliyeti, diğer ısıtma sistemlerine göre genelde daha yüksektir. Fakat uzun vadede kullanılması durumunda, diğer sistemlere oranla ısı pompaları daha avantajlı olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yüksek yatırım maliyetlerine rağmen ısı pompalarının kullanımı giderek artmaktadır.

Isı pompalarında enerji kaynağı olarak su ve toprak kullanılsa da en çok kullanılan enerji kaynağı genellikle çevre havasıdır. Su kaynaklı sistemlerde, 80m’ye kadar olan derinliklerdeki 5 ile 18 °C sıcaklıkları arasındaki kuyu sularından yararlanır. Yer altı sularına erişim zor olduğu için sistem olarak daha karmaşıktır. Toprak kaynaklı sistemler de, toprak sıcaklığının sabit kaldığı derinliklere ulaşmak için uzun boruların yerleştirilmesini gerektirdiği için karmaşıktır. Hava kaynaklı ısı pompalarının ısıtma kapasitesi ve etkinliği, düşük sıcaklıklarda önemli derecede düşmektedir. Bu yüzden, çoğu hava kaynaklı ısı pompalarında elektrikli ısıtıcı veya doğal gaz ısıtıcısı gibi ek bir ısıtma sistemine gerek duyulur. Su ve toprak sıcaklıkları çok fazla değişmediği için, su kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompası sistemlerinde ek bir ısıtıcıya gerek yoktur. Fakat burada ısı pompası, maksimum ısı yükünü karşılayacak büyüklükte olmalıdır [14].

Basit bir güneş kaynaklı ısı pompasının şematik resmi ve sistemde bulunan elemanlar Şekil 1’de gösterilmiştir.

2.1. Isı Pompası Uygulamaları

Isı pompaları bir mahallin ısıtılması veya sıcak su üretimi amaçlarıyla kullanılabilir. Bina ve işyeri ısıtmalarında, yerden yapılan ısıtmada, sıcak havalı sistemlerde, iklimlendirme tesislerinde ve yüzme havuzlarının ısıtılmasında kullanılır. Endüstriyel uygulamalarda, çeşitli kurutma, buharlaştırma, damıtma işlemlerinde ve süt pastörizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca kombine uygulamalarda ısı pompası, kışın ısıtma yazın ise soğutma yapılan tesislerde kullanılabilir. Kombine uygulamalarda, buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı kış ve yaz uygulamalarında yer değiştirmektedir.

2.2. Isı Kaynakları

Isı pompası sistemlerinde, buharlaştırıcının ısı çektiği ortama ısı kaynağı adı verilmektedir. Isı pompası uygulamalarında ısı kaynağı olarak, çevre havası, toprak, su (deniz, akarsu, göl, yer altı suları), güneş enerjisi, artık ısılar vb. kaynakları sayabiliriz. Isı pompaları, buharlaştırıcının ısı çektiği ve yoğunlaştırıcının ısı attığı kaynağa göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Havadan havaya kaynaklı
- Sudan havaya kaynaklı
- Havadan suya kaynaklı
- Sudan suya kaynaklı

2.3. Güneş Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri

Isı pompalarının buharlaştırıcısı, güneş enerjisini direkt alacak şekilde açık alana yerleştirilebilir. Soğutucu akışkan buharlaştırıcı içinden geçerken, buharlaştırıcı üzerine gelen

güneş enerjisinden aldığı ısıyla buharlaşır. Bu şekildeki güneş enerjisi kaynaklı ısı pompaları açık günlerde kullanılabilir. Diğer şekildeki ısı pompalarında, güneş enerjisi yardımıyla toplayıcılarda elde edilen sıcak su bir tankta depolanıp ısı kaynağı olarak kullanılabilirdiği gibi, ayrıca toplayıcılardan geçirilerek ısıtılan sıcak hava da ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Bu sistemler, güneş kolektörleri ünitesi, enerji depolama ünitesi ve ısı pompası ünitesi olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

2.3.1. Güneş Kolektörleri

Güneşten gelen enerji, toplayıcılar (kolektörler) tarafından emilerek kolektörler içerisinden geçen akışkana aktarılır. Akışkan, güneşten aldığı ısı enerjini sistemdeki enerji deposuna bırakarak tekrar toplayıcılara döner. Bu durum Şekil 1’de görüldüğü gibi, bir sirkülasyon pompasıyla gerçekleştirilir. Pompa, toplayıcılardan aldığı sıcak akışkanı, depo içerisindeki serpantinden geçirerek ısını, kendisinden daha soğuk olan depodaki akışkana aktararak tekrar toplayıcılara gönderir. Bahsedilen bu durum soğuk iklim bölgelerinde donma tehlikesine karşı uygulanmaktadır. Bu bölgelerde, toplayıcılarda dolaştırılan akışkan donmaya karşı emniyetli seçilmelidir. Böyle bir tehlikenin olmadığı bölgelerde, depodaki akışkan serpantine gerek duyulmaksızın direkt olarak toplayıcılardan geçirilebilir.

2.3.2. Enerji Deposu

Depo toplayıcılardan elde edilen sıcak suyun toplandığı kaptır. Kullanılan toplayıcı miktarına, yani toplam kolektör alanına göre depo hacmi tayin edilir. Bunun hesabında $V_d/At \leq 60$ litre/m² eşitliği dikkate alınmalıdır [2]. Burada V_d kullanılan depo hacmi, At toplam kolektör alanını göstermektedir.

Enerji depolanması, duyulur ve gizli olmak üzere iki şekilde olabilmektedir.

Duyulur ısı depolanması: Duyulur ısı depolanmasında kullanılan en uygun maddelerden birisi sudur. Depo içindeki suyun sıcaklığı her noktada aynı değildir. Üst ve alt kısımları arasında sıcaklık farkı vardır. Depo sıcaklığının üniform olması için karıştırılması gerekir. Havalı ısıtma sistemlerinde ve seralarda güneş enerjisinin depolanması, daha ziyade çakıl taşları ile yapılır. Çakıl taşları ucuzdur ve kolay temin edilebilir. Sıcak su tanklarının büyüklüğü, tankın kullanıldığı sisteme (sıcak su sistemi, ısıtma sistemi vs.) ve iklim durumuna bağlıdır. Güneş enerjili sıcak su sisteminde, genellikle toplayıcı büyüklüğüne göre 1m² toplayıcı yüzey alanı için 70–100 litre hacminde tanklar seçilir. Isıtma sistemlerinde ve havanın uzun süre kapalı olduğu bölgelerde depo hacmi daha büyük olmalıdır. Depo büyüdükçe, akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı küçüldüğünden, toplayıcı verimi ve dolayısıyla toplanan ısı miktarı daha fazla olur [2].

Gizli ısı depolanması: Maddelerin, faz değişimi sırasında iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta ısı depolanmasıdır. Bütün maddeler faz değiştirebilir, fakat çoğu maddenin faz değişimi arzu edilen sıcaklıkta değildir. Faz değiştiren maddelerle belli bir miktardaki ısının depolanabilmesi için gerekli hacim, aynı ısyı su ve çakıl taşlarıyla depolamak için gerekli hacimden çok küçüktür. Diğer bir avantajı da, depoda ısı çekilmesi sırasında depo sıcaklığının yaklaşık sabit kalmasıdır. Ancak su ve çakıl taşına göre daha pahalıdır [2].

2.3.3. Isı Pompası

Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından ısı çekerek daha yüksek sıcaklıklarda ısı üreten ünedir.

Isı pompası ünitesinde bulunması gereken temel elemanlar şunlardır;

1. Kompresör
2. Kondenser (yoğuşturucu)
3. Evaporatör (buharlaştırıcı)
4. Genleşme valfi
5. Filtre

6. Gözetleme camı
7. Soğutucu akışkan deposu
8. Manometre
9. Termoeleman

Isı pompasının performans katsayısının hesaplanması: Isı pompasının performans katsayısı (COP),

. Kompresör işi, mır ısı pompası sisteminde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisi, h1 ve h2 sırasıyla kompresörün giriş ve çıkışındaki özgül entalpiler olmak üzere, .

$$W_{1-2} = m_r(h_2 - h_1) \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Kondenserden atılan ısı ise, h2 ve h3 sırasıyla kondenserin giriş ve çıkışındaki özgül entalpiler olmak üzere,

$$Q_{2-3} = m_r(h_2 - h_3) \quad (2)$$

olarak bulunur. Buradan ısı pompasının COP değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{2-3} \text{ COP} = \frac{Q_{2-3}}{W_{1-2}} \quad (3)$$

W1-2 şeklinde hesaplanır.

3. TEORİK ANALİZ SONUÇLARI

Aşağıda, R-134a soğutucu akışkanıyla çalışan, 5 °C aşırı kızdırma ve soğutmanın olduğu, buharlaşma sıcaklığının, kaynak sıcaklığından 10°C aşağı olduğu kabulleri yapılarak, bir ısı pompasının teorik analiz sonuçları verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ısı pompasının performansı ile ilgili bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 2-3'de ısı pompasının buharlaşma sıcaklığı ve yoğuşma sıcaklığının COP değerleriyle değişiminde, COP'nın buharlaşma sıcaklığının artmasıyla arttığı, yoğuşma sıcaklığının artmasıyla azaldığı görülmektedir. Burada buharlaşma sıcaklığı arttığı zaman kompresörün çektiği elektrik gücü azalır. Fakat yoğuşma sıcaklığı arttığı zaman kompresörün çektiği elektriksel güç de artar. Şekil 4-5'de aşırı kızdırma ve soğutma sıcaklığının COP değerine etkisi verilmiştir. Her iki grafikte de aşırı kızdırma ve soğutmanın COP'nı artırdığı görülmektedir. Şekil 6'da toplam net alanı 20 m2 olan düz kollektörlü bir güneş kaynaklı ısı pompasında, 60°C yoğuşma sıcaklığında, güneş radyasyon miktarına göre buharlaşma sıcaklığının ve COP değişiminin grafiği çizilmiştir. Güneş radyasyon miktarı arttığı zaman buharlaşma sıcaklığı ve COP değerinin de arttığı görülmektedir. Bu çalışmada, güneş kaynaklı ısı pompasının COP değeri teorik olarak hesaplanmış ve ısı pompasının COP değeri 3-9 arasında bulunmuştur.

4. SONUÇ

Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve buna paralel olarak da enerjinin pahalı olması günümüzde yeni ve sürekli enerji kaynaklarını gündeme getirmiştir. İşte bu enerji kaynaklarından birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin yeterli olduğu durumlarda bu enerji, direkt olarak kullanılabilen, yeterli olmadığı zamanlarda ise düşük sıcaklık kaynaklı enerji, ısı pompalarına kaynak olarak kullanılmakta ve daha yüksek oranda enerji üretilebilmektedir. Yani, güneşten alınan ısı enerjisi kullanılarak düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı daha yüksek sıcaklıklara çıkarılmaktadır. Bu yüksek sıcaklıktaki enerji, sıcak su ihtiyacını karşılamada, bina ısıtmada vb. amaçlarla kullanılabilir. Uzun vadede güneş destekli ısı pompaları enerji tasarrufu yönünden, diğer sistemlere göre çok daha avantajlı bir sistem olabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. A.K. Dağsöz, Soğutma Tekniği, 1981, İstanbul.
2. A. Kılıç, A. Öztürk, Güneş Enerjisi, Mart 1983, İstanbul.
3. Ö. Çomaklı, K. Kaygusuz, and T. Ayhan, Solar-assisted heat pump and energy storage for residential heating, Solar Energy, Vol.51, No. 5, 1993, pp. 357-366.

4. A. İleri, Yearly simulation of a solar-aided R22-DEGDME absorption heat pump system, *Solar Energy*, Vol. 55, No. 4, 1995, pp. 255-265.
5. H. Z. Abou-Ziyan, M. F. Ahmed, M. N. Metwally and H. M. Abd El-Hameed, Solar-assisted R22 and R134a heat pump systems for low-temperature applications, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 17, Issue 5, May 1997, pp. 455-469.
6. R. Yamankaradeniz and I. Horuz, The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 25, Issue 6, August 1998, pp. 885-898.
7. E. Torres Reyes, M. Picon Nuñez and J. Cervantesde G, Exergy analysis and optimization of a solar-assisted heat pump, *Energy*, Vol. 23, Issue 4, April 1998, pp. 337-344.
8. B. J. Huang and J. P. Chyng, Integral-type solar-assisted heat pump water heater, *Renewable Energy*, Vol. 16, Issues 1-4, 4 January 1999, pp. 731-734.
9. M. Esen, Termal performance of a solar aided- latent heat store used for space heating by heat pump, *Solar Energy*, Vol. 69, No. 1, 2000, pp. 15-25.
10. K. Kaygusuz, Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump, *Renewable Energy*, Vol. 21, Issue 1, 1 September 2000, pp. 79-102.
11. M. N. A. Hawlader, S. K. Chou and M. Z, Ullah, The performance of a solar assisted heat pump water heating system, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, Issue 10, July 2001, pp. 1049-1065.
12. V. Badescu, Model of a solar-assisted heat-pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit, *Energy and Buildings*, Vol. 34, Issue 7, August 2002, pp. 715-726.
13. Y. H. Kuang, R. Z. Wang and L. Q. Yu, Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, Issue 7, May 2003, pp. 1089-1098.
14. Y. A. Çengel, A. M. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, McGraw-Hill, 1989, USA.