

SICAK SU İHTİYACININ ISI POMPASI İLE KARŞILANMASI

Tuncay YILMAZ¹, Muammer ÖZGÖREN¹ ve Hüsamettin BULUT²

¹ Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 01130 Balcalı/ADANA

² Harran Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

ÖZET

Bu çalışmada, tasarımı ve imalatı yapılan ısıtma ve soğutma amaçlı split tip ısı pompasıyla sıcak su üretiminin elektrikli ısıtıcı ile karşılaştırılması yapılmıştır. Isı pompasının su ısıtmak amacıyla kullanıldığında ne kadar enerji tasarruf edilebileceği tespit edilmiştir. İmalatı yapılan ısı pompasında soğutucu akışkan olarak R22 kullanılmıştır. Ortamdan çekilen ısının ısıtılacak suya taşınması, buharlaştırıcıda ısısını vererek soğutucu akışkanın buharlaşmasını ve yoğuşturucuda ise ısı alarak yoğuşmasını sağlayan ara soğutucu akışkan olarak kullanılan suyla sağlanmaktadır. Deneylerde, 450 litre kapasiteli, ısı kayıplarını önlemek için yalıtılmış, bir tank içerisindeki su, elektrikli ısıtıcı ve ısı pompası kullanılarak 45°C'ye kadar ısıtılmıştır. Tank içindeki su, bir sirkülasyon pompası yardımıyla ısı pompasının yoğuşturucusu üzerinden devri daim ettirilerek ısınması sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda ısı pompasının ortalama su ısıtma etkinliği 1.84 olarak belirlenmiştir. Aynı deney yine sirkülasyon pompası aracılığıyla tank içerisindeki su elektrikli ısıtıcı üzerinden sirküle ettirilerek yapılmıştır. Elektrikli ısıtıcının ortalama su ısıtma etkinliği 0.87 olarak bulunmuştur. Buradan ısı pompası ile su ısıtma işleminde elektrikle ısıtmaya göre yaklaşık %111 enerji kazancının sağlandığı tesbit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Isı pompası, su ısıtma, etkinlik.

GİRİŞ

Günümüzde ısı pompası aracılığıyla, ısı sağlama teknolojilerinden dünyanın bütün ülkelerinde faydalanılmaktadır. Isı pompası sistemlerinin klasik ısı üretim sistemlerine göre en önemli avantajlarından biri yazın soğutma amaçlı olarak da kullanılabilmesidir. Isı pompalarının etkinliği yüksek olduğundan mevcut klima sistemlerinin harcadığı enerjiden daha az miktarda enerji harcayarak aynı miktarda ısıtma ve soğutma yapabilirler. Direk elektrikle çalışan ısı pompaları düşük çalışma maliyetli ve daha yüksek verimli cihazlardır. Isı pompalarının daha az enerji kullanması, binaların ısıtma

ve soğutma ihtiyaçlarını ısı pompası ile karşılamak için önemli bir avantajdır. İmalatçıların profesyonelce tasarım, müşteri eğitimi ve cazip fiyatları bilgilendirici programlarla birleştirmesi ısı pompalarının pazarını arttırmıştır. Merkezi ısıtma-soğutma sistemlerinden farklı olarak ısı pompaları tamamen kısmi yüklerde de yüksek verimle çalışabilirler. Örneğin bir binanın sadece bir bölümünün iklimlendirmeye ihtiyacı varsa, ısı pompası diğer alanlarda çalışmazken o alanda çalışabilir. Böylelikle gereksiz enerji kullanımı önlenir.

Isı pompası nem alma ve kurutma, ısıtma, soğutma ve ısı geri kazanım amaçlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yüzme havuzları, çamaşırhaneler gibi yerlerde sadece ısıtma amaçlı olan ısı pompaları kullanılarak sıcak su ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Yemekhaneler, mezbahalar, mandıralar, meyve suyu fabrikaları gibi yerlerde genellikle hava-hava ve hava-su ısı pompaları kullanılarak ortamın ısıtma ve soğutma gereksinimleri ve sıcak su ihtiyaçları aynı anda sağlanabilir. Isıtma-soğutma amaçlı olarak kullanılan bazı tesislerdeki ısı pompası uygulamaları tablo 1'de, ısı geri kazanım amaçlı olarak kullanılan ısı pompası uygulamaları ise tablo 2'de verilmiştir[1].

Tablo 1. Isıtma-soğutma amacıyla kullanılan ısı pompası uygulamaları

Tesisin Tipi	Isıtma İhtiyacı	Soğutma İhtiyacı
Balık işleme üniteleri	Temizlik için ılık su	Buz üretimi
Et işleme fabrikaları	Temizlik için ılık su	Soğutma ve buz üretimi
Zirai alanlar	Makinaların yıkanması ve temizlenmesi için ılık su	Ortam soğutulması, süt ve ürünlerinin soğutulması, soğuk depolar
Mandıralar	Temizlik için ılık su	Sütün ve depolama odalarının soğutulması
Mezbahalar	Temizlik için ılık su	Soğuk depolar ve derin dondurucu odaları
Buz sahaları	Ortam ısıtılması	Soğuk odalar ve buz üretimi
Soğutma depoları	Ortam ve su ısıtılması	Soğuk depolama odalar
Meyve suyu fabrikaları	Temizlik için ılık su	Depoların soğutulması
Endüstriyel enerji merkezleri	Ilık ve sıcak su	Salamura, buz veya buzlu suyun soğutulması
Yemekhaneler	Ilık ve sıcak su	Kilerin soğutulması

Tablo 2. Isı geri kazanım amaçlı olarak kullanılan ısı pompası uygulamaları

Tesisin Tipi	Isıtma İhtiyacı	Atık Isının Alındığı Yer
Çamaşırhaneler, oteller ve hastaneler	Sıcak su, ılık su ortam ısıtılması	Atık su ve hava
Boyahaneler ve diğer tekstil işleme üniteleri	Sıcak su ve sıcak çamaşır suyu	Atık su
Dökümhaneler	Sıcak su, ortam ısıtılması	Atılan soğutma suyu
Kağıt üretim ve işleme endüstrisi	Sıcak su	Atık su
Zirai iklimlendirme tesisleri	Isıtma, sıcak su	Ahırlar, kuluçka makinaları, meyve depoları
Muz olgunlaştırma tesisleri	Olgunlaşma odaları	Soğuk depolar
Kurutma tesisleri	Kuru hava	Eksoz havası

Isı pompaları su ısıtmak için de uygulamada başarı ile kullanılmaktadırlar[2,3]. Bu çalışmada sıcak su depolamada ısı pompası ile su ısıtma etkinliği araştırılacaktır.

DENEY DÜZENİĞİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Tasarımı yapılan ısı pompası sistemi şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Isı pompası ve elektrikli ısıtıcı ile su ısıtma işlemlerinin çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır.

Isı pompasından faydalanılarak su ısıtma: Ortamdan çekilen ısıtıcının tank içerisindeki suya taşınması, buharlaştırıcıda ısıtıcının vererek soğutucu akışkanın buharlaşmasını ve yoğuşturucuda ise ısı alarak soğutucu akışkanın yoğuşmasını sağlayan ara soğutucu akışkan olarak kullanılan suyla sağlanmaktadır. Bu su buharlaştırıcı ile dış ortamda bulunan fancoil ve yoğuşturucu ile su deposu arasında bulunan pompalar aracılığıyla buharlaştırıcı, yoğuşturucu, dış ortamda bulunan fancoil devrelerinde devri daim ettirilmektedir[4]. Yoğuşturucuda atılan ısı ile sıcak su üretilmektedir. Şekil 2'de su ısıtmak amacıyla kullanılan ısı pompası deney devresi basit olarak gösterilmiştir. Sistemde soğutucu akışkan ve su devresi olmak üzere iki devre mevcuttur. Soğutucu akışkan devresi ters Rankine çevrimine göre çalışmaktadır. Şekil 2'de soğutucu akışkanın buharlaştırıcıda buharlaşması, çevresindeki sudan ısı alması ile sağlanır. Isı vererek soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlayan su, düşük sıcaklıkta buharlaştırıcıyı terk eder. Bu su 2 nolu dört yollu vana (DYV₂) üzerinden, dış ortamdaki fan-coile (FCD) gider. Burada düşük sıcaklıktaki su ortamdan ısı çekerek ısınır ve FCD'ı terk eder. 1 nolu dört yollu vana (DYV₁) üzerinden geçerek buharlaştırıcıya geri döner. Buharlaştırıcı sirkülasyon pompası çalıştığı sürece buharlaştırıcı üzerinden suyun sirkülasyonu devam eder ve FCD aracılığıyla ortamdan ısı çekilir. Yoğuşturucu hattının çalışması ise şöyledir: Kızgın buhar olarak yoğuşturucuya gelen soğutucu akışkanın ısısı yoğuşturucuda bulunan su tarafından alınır. Yoğuşturucuyu ısıtarak terk eden su 450 litre kapasiteli bir tank üzerinden devri daim ettirilerek , tank içerisindeki su ısıtılır. Depodaki suyun sıcaklığı, istenilen sıcaklık seviyesine eriştiğinde sistem durdurulur. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu su devresi üzerine monte edilen venturimetreler ile debi sürekli olarak ölçülebilmektedir. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu giriş-çıkışına monte edilen termometreler ile buharlaştırıcı ve yoğuşturucuya suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesi dolaylı olarak hesaplanabilir.

Elektrikli ısıtıcı ile su ısıtma: Şekil 1'de gösterilen deney düzeneğinde, sadece elektrikli ısıtıcı ve yoğuşturucu sirkülasyon pompası çalıştırılarak deney yapılmıştır. Elektrikli ısıtıcı üzerinden 450 litre kapasiteli tank içerisindeki su devri daim ettirilerek istenilen sıcaklığa kadar zorlanmış konveksiyonla ısıtılır. Devri daim ettirilen suyun sıcaklığı, debisi ve kullanılan elektrik enerjisi 20 dakikalık periyotlarla ölçülerek ısı pompası ve elektrikli ısıtıcı ile su ısıtmanın karşılaştırılması yapılmıştır.

Isı pompası sisteminde yoğuşturucu ve buharlaştırıcı olarak plakalı ısı eşanjörü kullanılmıştır[4]. Plakalı ısı eşanjörleri kompakt olup, yüksek ısı transfer katsayılarına sahip olduklarından diğer eşanjörlere göre daha küçük olarak imal edilebilirler. Sistemde oluşan basınç kayıplarını karşılamak ve istenilen debide

suyun sirküle etmesini sağlamak amacıyla, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu devresi üzerine birer adet, üç ayrı hızda ayarlanabilen sirkülasyon pompası monte edilmiştir.

ETKİNLİK DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Bütün etkinlik değerleri sistemden elde edilen ısı enerjisinin sisteme verilen elektrik enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Sistemin tüm etkinliğinin hesaplanmasında sistemde harcanan elektrik enerjisine kompresör, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu pompaları, kompresör soğutma ve dış ortamda bulunan fan-coilin vantilatörlerinin harcadıkları enerji dahil edilmelidir[5].

Isı pompasının ısıtma ve soğutma kapasitesi, ısıtma-soğutma amaçlı kullanılan suyun yoğuşturucuya ve buharlaştırıcıya giriş-çıkış sıcaklıkları ve debilerinin ölçülmesi ile dolaylı olarak hesaplanabilir[5]. Buharlaştırıcıya su giriş sıcaklığı T_{bg} , çıkış sıcaklığı $T_{bç}$ ve buharlaştırıcıdan geçen suyun debisi $\dot{M}_b$ olmak üzere buharlaştırıcının soğutma kapasitesi Q_s ,

$$Q_s = \dot{M}_b C_p (T_{bg} - T_{bç}) \quad (1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Aynı şekilde yoğuşturucu(su ısıtma) kapasitesi, yoğuşturucuya su giriş sıcaklığı T_{yg} , çıkış sıcaklığı $T_{yç}$ ve yoğuşturucudan geçen suyun debisi $\dot{M}_y$ olmak üzere yoğuşturucunun su ısıtma kapasitesi Q_{sy} ,

$$Q_{sy} = \dot{M}_y C_p (T_{yç} - T_{yg}) \quad (2)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada C_p suyun özgül ısısı olup giriş-çıkış sıcaklıklarının ortalama değeri için alınmıştır. Isı pompasının etkinliğinin hesaplanabilmesi için sisteme verilen elektrik enerjisinin bilinmesi gerekir. Deneyler yapılırken ısı pompasının harcadığı anlık güç wattmetre ile ölçülmüştür. Su ısıtma etkinliği, yoğuşturucudan alınan ısı enerjisinin sistemin harcadığı güce oranı olup,

$$\eta_{sy} = \frac{Q_{sy}}{W_h} \quad (3)$$

formülü ile hesaplanır. Burada η_{sy} su ısıtma etkinliğini, W_h ise sistemin harcadığı elektrik enerjisini göstermektedir. Aynı şekilde soğutma etkinliği de, buharlaştırıcıdan alınan ısı enerjisinin sistemin harcadığı elektrik enerjisine oranı olup,

$$\eta_s = \frac{Q_s}{W_h} \quad (4)$$

eşitliği ile bulunur. Burada η_s soğutma etkinliğini göstermektedir. Ayrıca sistemin yaz çalışması durumunda ortamın soğutulması esnasında sıcak su üretimi de yapılırsa etkinlik, sistemden alınan toplam ısı enerjinin harcanan enerjiye oranı olarak tanımlanabilir.

$$h_t = \frac{Q_{sy} + Q_s}{W_h} \quad (5)$$

Burada η_t toplam etkinliği göstermektedir[1].

Isı pompası ile yapılan deneylerde sisteminin çalışmaya başladığı andan itibaren 10 dakikalık periyotlarla, ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler 240 dakika süresince yapılmıştır. Ölçülen değerler kullanılarak buharlaştırıcıya suyun giriş-çıkış sıcaklık farkı, yoğuşturucuya suyun giriş-çıkış sıcaklık farkı, soğutma kapasitesi, ısıtma (su ısıtma) kapasitesi, soğutma, su ısıtma ve toplam etkinlik değerleri bulunmuştur. Elektrikli ısıtıcı ile yapılan deneyde ise 20 dakikalık periyotlarla, ölçümler alınmış olup deney 360 dakika sürmüştür.

Şekil 1'de gösterilen su-hava ısı pompası için yapılan deney sonuçları tablo 3'de ve şekil 3-6'da verilmiştir. Değişik pompa hızlarında ısı pompası ile yapılan deneylerde hava-su ısı pompası için en iyi sonuçlar buharlaştırıcı pompa hızı III ve yoğuşturucu pompa hızı II olması durumunda elde edilmiştir. Bu çalışma sisteminde yoğuşturucudan atılan ısı ile 450 litrelik depodaki suyun ısıtılması ve buharlaştırıcının ısı çektiği ortamın soğutulması işlemleri aynı anda yapıldığı durumdaki etkinlik değerleri de incelenmiştir. Tablo 3'de görüldüğü gibi buharlaştırıcı su giriş-çıkış sıcaklığı arasındaki fark 10'uncu dakikadan itibaren 4°C'dir. Buharlaştırıcıya su giriş sıcaklığı 20.5°C'den 25°C'ye, çıkış sıcaklığı ise 16.5°C'den 21°C'ye yükselmiştir. Yoğuşturucuya suyun giriş sıcaklığı 24°C'den 41.5'ye, çıkış sıcaklığı ise 31°C'den 49°C'ye artmıştır. Yoğuşturucuya su giriş-çıkış sıcaklığı arasındaki fark 20'nci dakikadan itibaren 7.5°C'dir. Buharlaştırıcı devresi su debisi 0.152 kg/s, yoğuşturucu devresi su debisi ise 0.117 kg/s olarak deney süresince sabit kalmıştır. Kompresör basma basıncı, yoğuşturucuya giren su sürekli ısındığından 16.8 bardan 25.6 bara yükselmiştir. Buna bağlı olarak emme basıncı da 4 bar'dan 4.9 bar'a kadar artmıştır. Sistemin harcadığı elektrik enerjisi emme ve basma basınçları arasındaki farkın artması nedeniyle 1380 W'tan 1660 W'a kadar çıkmıştır. Soğutma kapasitesi 10'uncu dakikada 2541 W, ısıtma kapasitesi ise 20'nci dakikada 3668 W'a ulaşmış ve deney süresince sabit kalmıştır. Emme ve basma basınçlarındaki artışlara bağlı olarak ısıtma ve soğutma kapasitesi değerlerinde bir miktar değişme olması gerekmektedir. Fakat, bu deney düzeneğinde buharlaştırıcıya ve yoğuşturucuya su giriş-çıkış sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan termometreler yeterince hassas olmadığı için küçük değişimler gözlenememiştir. Isı pompasının etkinlik değerleri sistemin harcadığı elektrik enerjisindeki artıştan dolayı, soğutma etkinliği 1.84'ten 1.53'e, ısıtma etkinliği 2.64'ten 2.21'e kadar düşmüştür. Su ısıtma ve ortam soğutmanın birlikte yapılması durumunda ise toplam etkinlik değeri 4.47'den 3.74'e kadar azalmıştır. Şekil 5'de kapasite zaman grafiğinden görüldüğü gibi 20'nci dakikadan sonra kapasite

değerlerinde değişme olmadığından, sistemin bu andan itibaren rejime girdiği söylenebilir. Şekil 7’de elektrikli ısıtıcı ve ısı pompası ile su ısıtma işlemleri süresince depodaki su sıcaklıklarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Bu grafikte ısı pompası ile yapılan deneyler için verilen depodaki su sıcaklığı değerleri, yoğuşturucu su giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalamasıdır.

Tablo 3. Su ısıtma amaçlı su-hava ısı pompası için deney sonuçları.

t s	T _{bg} °C	T _{bç} °C	ΔT _b °C	T _{yg} °C	T _{yç} °C	ΔT _y °C	P _e bar	P _b bar	W _h W	Q _s W	Q _{s1} W	η _s -	η _{s1} -	η _t -
0	26	26	0	28	28	0	8.4	10.4	0	0	0	0	0	0
10	20.5	16.5	4	24	31	7	4	16.8	1380	2541	3423	1.84	2.48	4.32
20	20.5	16.5	4	24	31.5	7.5	4	16.8	1390	2541	3668	1.83	2.64	4.47
30	20.5	16.5	4	25.5	33	7.5	4	17.4	1400	2541	3668	1.82	2.62	4.44
60	22	18	4	28	35.5	7.5	4.3	18.8	1450	2541	3668	1.75	2.53	4.28
90	23	19	4	30.5	38	7.5	4.6	20.0	1490	2541	3668	1.71	2.46	4.17
120	23	19	4	33	40.5	7.5	4.6	21.2	1530	2541	3668	1.66	2.40	4.06
150	23.5	19.5	4	35	42.5	7.5	4.8	22.4	1570	2541	3668	1.62	2.34	3.96
180	24	20	4	37	44.5	7.5	4.8	23.4	1590	2541	3668	1.60	2.31	3.91
210	24.5	20.5	4	39.5	47	7.5	4.9	24.6	1620	2541	3668	1.57	2.26	3.81
240	25	21	4	41.5	49	7.5	4.9	25.6	1660	2541	3668	1.53	2.21	3.74

Deneyin yapılış tarihi :18.08.1996

FD Hızı: 1

Dış ortam sıcaklığı(T_d): 36 °C

$\dot{M}_b = 0.152 \text{ kg/s}$

Deneyin yapılış saati: 13:00

Tank suyu sıcaklığı : 24 °C

İç ortam sıcaklığı(T_i): 31 °C

$\dot{M}_y = 0.117 \text{ kg/s}$

Şekil 1'de gösterilen çalışma sisteminin sadece su ısıtmak amacıyla kullanıldığı düşüldüğünde ne kadar enerji tasarrufu sağladığını tespit etmek amacıyla elektrikli ısıtıcıyla karşılaştırması yapılmıştır. Yoğuşturucu sirkülasyon pompası, depodaki suyu elektrikli ısıtıcı üzerinden dolaştırarak zorlanmış konveksiyonla ısının suya taşınmasını sağlar ve depodaki su zamanla ısıtılır. Tablo 3'de görüldüğü gibi depodaki suyun sıcaklığı deney sonunda ortalama 45.5°C civarında olmuştur. Depodaki suyun deney başlangıcındaki sıcaklığı 24°C olduğundan, deney süresince suya yaklaşık olarak 40442 kJ'luk ısı transfer edilmiştir. Isı pompası ile su ısıtılması yapıldığında işlem 240 dakika sürmüştür. Bu zaman zarfında sistemin ortalama olarak harcadığı güç 1526.7 W'tır. Sisteme deney süresince iş olarak verilen toplam enerji 21985 kJ'dur. Buradan ısı pompasının su ısıtma etkinliği değeri 1.84 olarak hesaplanır. Aynı deney yukarıda açıklandığı gibi elektrikli ısıtıcı ile yapıldığında deney 360 dakika sürmüştür. Depodaki su, 23.5°C'den 45°C'ye kadar ısıtılmıştır. Sistemin harcadığı ortalama elektrik gücü 2157 W olup, deney süresince elektrikli ısıtıcı aracılığıyla suya 40442 kJ'luk enerji transfer edilmiştir. Cihazın deney süresince harcadığı enerji 46591 kJ olmuştur. Buna göre elektrikli ısıtıcı ile su ısıtma etkinliği değeri 0.87 olarak hesaplanmıştır. Bu değer birden küçük çıkmasının nedeni su ısıtma işlemi zorlanmış olarak yapılmasını sağlayan pompanın harcadığı enerjiden kaynaklanmaktadır. Bu değerlerden ısı pompası ile

su ısıtma etkinliğinin elektrikli ısıtıcı ile doğrudan ısıtmaya göre %111 daha tasarruflu olduğu görülmektedir.

SONUÇ

Isı pompalarının çalışması için gerekli olan elektrik enerjisi, sağladığı ısıtma ve soğutma enerjisinin bir kısmını teşkil etmektedir. Bu nedenle ısı pompaları aracılığıyla bir sistemden elde edilen enerjiden daha verimli olarak faydalanılabilmektedir. Bu çalışmada ısı pompasının su ısıtmak amacıyla kullanıldığında elektrikli ısıtıcıya göre yaklaşık %111 enerji kazancının sağlandığı yapılan araştırma sonucunda bulunmuştur. Elde edilen sonuçtan görüldüğü gibi konutlar, restoranlar ve çamaşırhaneler gibi düşük sıcaklık uygulamaları olan yerlerde gerekli olan ısıyı sağlamak için ısı pompaları kullanılarak büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca ısı pompaları soğutma modunda çalışırken, yoğuşucudan atılan ısı ile de su ısıtma yapılırsa tasarruf edilen enerji daha da artacaktır.

SEMBOLLER

h : Entalpi	T_{bg} : Buharlaştırıcı su giriş sıcaklığı (°C)
$\dot{M}_b$: Buharlaştırıcı devresi su debisi (m^3/s)	$T_{yç}$: Yoğuşturucudan su çıkış sıcaklığı (°C)
$\dot{M}_y$: Yoğuşturucu devresi su debisi (m^3/s)	T_{yg} : Yoğuşturucuya su giriş sıcaklığı (°C)
P_b : Kompresör basma basıncı (Bar)	W_h : Harcanan elektrik enerjisi (W)
P_e : Kompresör emme basıncı (Bar)	ΔT_b : Buharlaştırıcı suyun giriş-çıkış sıcaklık farkı (°C)
Q_s : Soğutma kapasitesi (W)	ΔT_y : Yoğuşturucuya suyun giriş-çıkış sıcaklık farkı (°C)
Q_{s1} : Isıtma(su ısıtma) kapasitesi (W)	$T_{aç}$: Soğutucu akışkanın eşanjörden çıkış sıcaklığı
t : Zaman (dk)	T_{ag} : Soğutucu akışkanın eşanjöre giriş sıcaklığı
$T_{bç}$: Buharlaştırıcıdan su çıkış sıcaklığı (°C)	

KAYNAKLAR

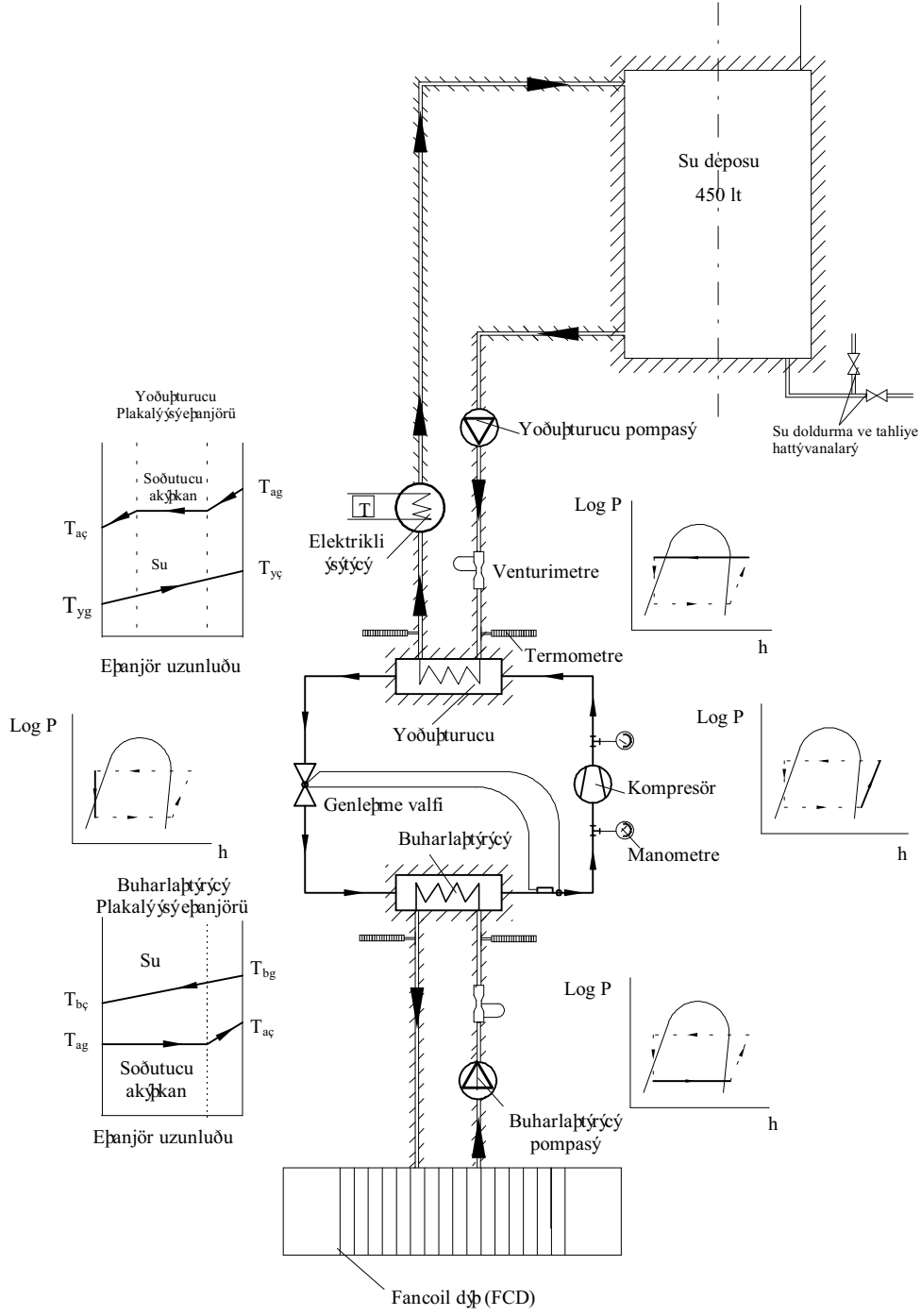
- (1) ÖZGÖREN, M., “Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Modellenmesi”, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kod No.1155, 162s, Adana, 1996.
- (2) B.A., PRITHARD, W.A., BECKMAN, J.W. MITCHELL, “Heat Pump Water Heaters for Restaurant Applications”, Int. J.of Ambient Enerji, Vol.12, No.2, pp59-67, 1991.
- (3) PIHTILI, K., BOZKIR, O., “Isı Pompası ile Sıcak Su Üretimi”, 4. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, pp.295-302, Adana, 1996.
- (4) YILMAZ, T., ÖZGÖREN, M., “Isıtma ve Soğutma Amaçlı Isı Pompası Sisteminin Tasarımı ve

Tanıtılması”, Çukurova Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 1996.

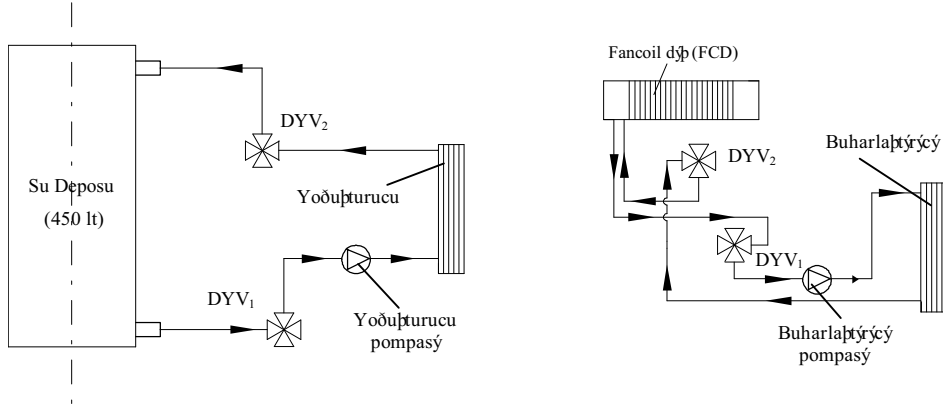
(5)

YILMAZ, T., ÖZGÖREN, M.,” Hava-Hava ve Hava-Su Isı Pompası Uygulaması”, 1.Makina Mühendisliği Kongresi, pp.86-93, İstanbul, 1997.

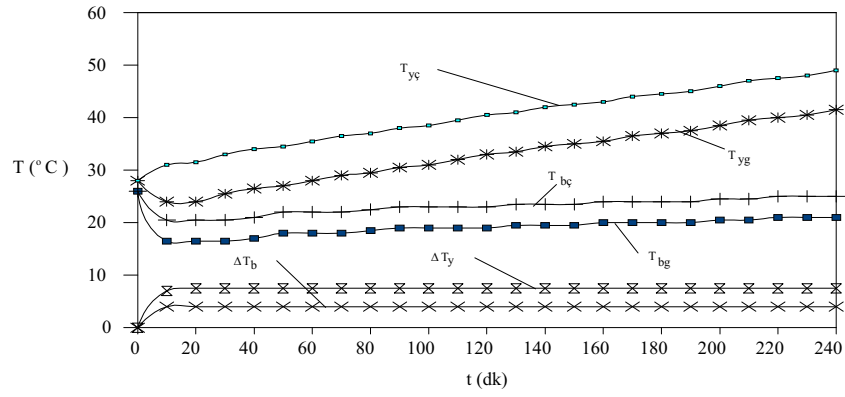
ŞEKİLLER



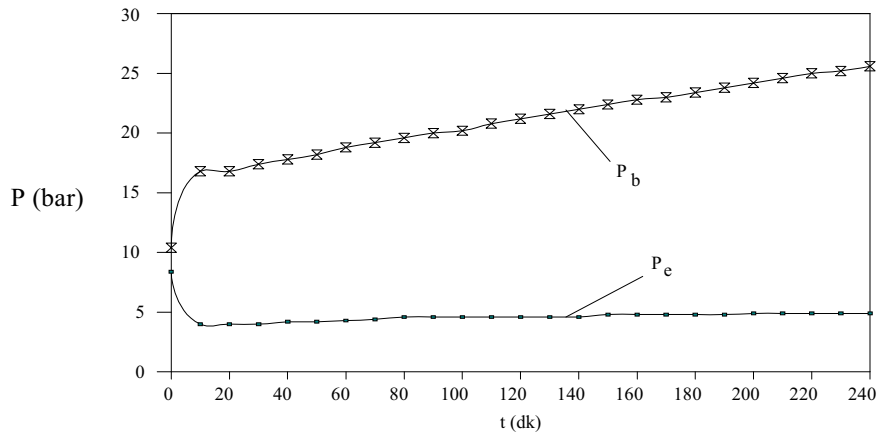
Şekil 1. Su ısıtma amaçlı hava-su ısı pompası sistemi deney düzeneğinin şematik gösterimi.



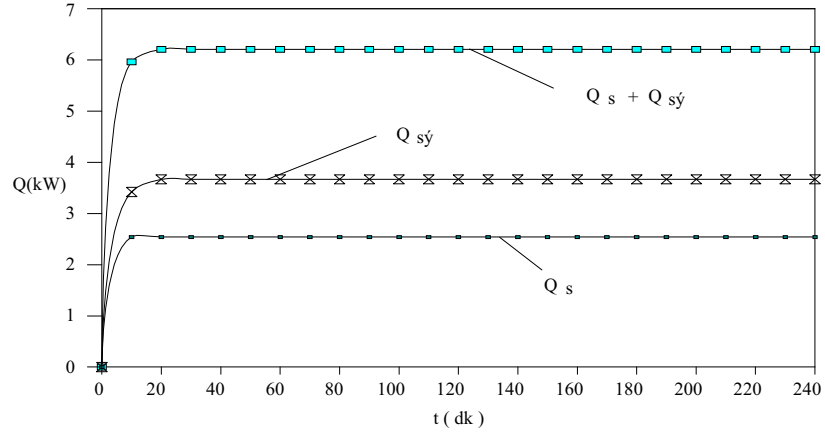
Şekil 2. Etkinlik deneyi yapılan hava-su ısı pompası devresi.



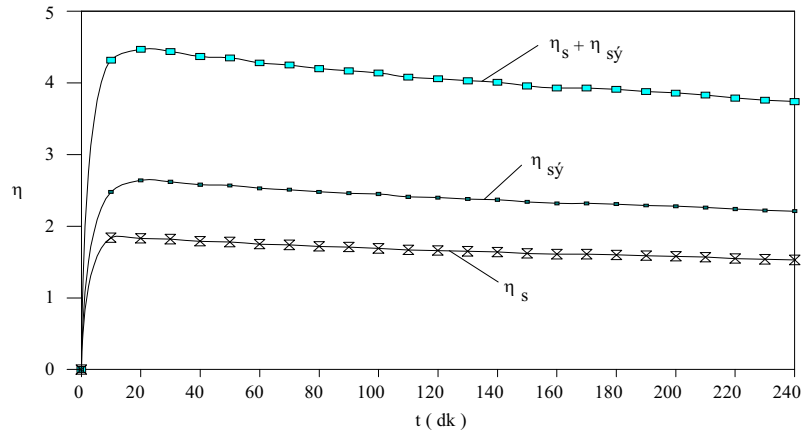
Şekil 3. Su ısıtma amaçlı su-hava ısı pompasındaki sıcaklıkların zamanla değışimi.



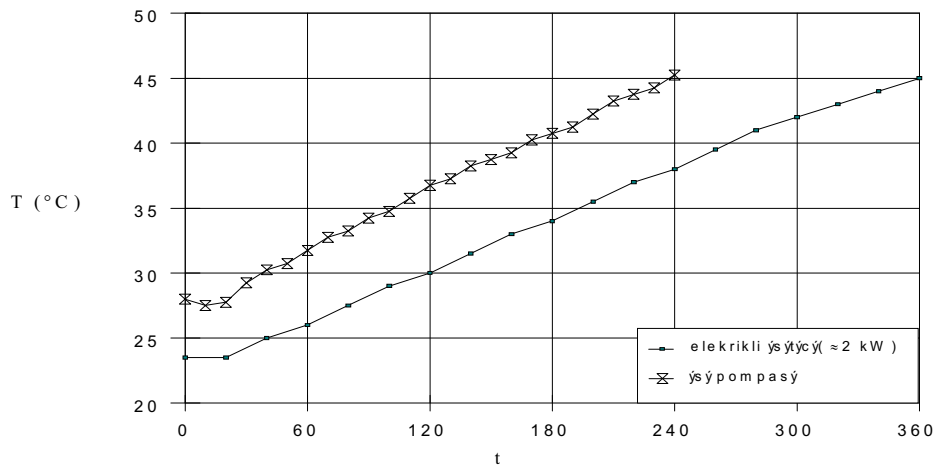
Şekil 4. Su ısıtma amaçlı su-hava ısı pompasında kompresör emme ve basma basınçlarının zamanla değışimi.



Şekil 5. Su ısıtma amaçlı su-hava ısı pompasında soğutma, su ısıtma ve toplam kapasitelerinin zamanla değişimi.



Şekil 6. Su ısıtma amaçlı su-hava ısı pompasında soğutma, su ısıtma ve toplam etkinliklerinin zamanla değişimi.



Şekil 7. Elektrikli ısıtıcı ve ısı pompası ile su ısıtma işlemi süresince su deposundaki sıcaklığın zamanla değişimi.