

ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİLERİ VE BİR ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

Bener KURT
İlhami HORUZ

ÖZET

Absorbsiyonlu Isı Yükseltici (AIY) sistemleri, kendilerine has eşsiz özellikleriyle atık ısı kaynaklarının düşük veya orta sıcaklık seviyelerini, faydalı daha yüksek sıcaklık seviyelerine yükseltebilen cihazlardır. Bu çalışma suyun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı, lityum bromür-su eriyiği kullanan AIY sistemlerinin analizini ve bir sanayi kuruluşuna uygulanmasını kapsamaktadır. Öncelikle temel Absorbsiyonlu Isı Pompası (AIP) ve AIY sistemleri izah edilmiş ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. AIY sistemlerinin termodinamik analizi sunulduktan sonra bir endüstriyel kuruluşa uygulaması teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, bir bilgisayar programı hazırlanmış ve sistem performansına etki eden değişik parametreler incelenmiş ve sonuçlar grafik halinde sunulmuştur. Ayrıca, araştırmalar derinleştirilerek bu şekilde bir sanayi uygulamasında AIY sisteminin ısıtma tesir katsayısını arttırmak yani dolayısıyla elde edilen proses suyu veya buharının debisini arttırmak için sistem üzerinde nasıl değişiklikler yapılabileceği ve bu değişikliklerin etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sonuçlar tablo halinde sunulmuştur. Araştırmalar bir AIY sisteminin ısı geri kazanımı gayesiyle bir sanayi kuruluşuna uygulanması durumunda sistem üzerinde yapılan değişikliklerle AIY sisteminin ısıtma tesir katsayısı temel AIY sistemine göre %14.1 ve absorberdeki ısı transferi %158.5 ve üretilen proses suyu %3.59 oranında artırılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı geri kazanımı; Absorbsiyon; Lityum bromür-su eriyiği; Absorbsiyonlu ısı yükselticisi.

ABSTRACT

Absorption Heat Transformer (AHT) systems are devices with the unique capability of raising the temperature of low or moderately warm waste heat sources to more useful levels. The study includes an investigation and an industrial application of the AHT systems using water-lithium bromide solutions with water as the refrigerant. First, a basic AHT system was described, the operating sequence was explained and thermodynamic system analysis was presented. Next, an application of the AHT system to an industrial company was analyzed. A computer code was prepared to determine the effect of different parameters on the AHT system performance and the results were presented in graphical form. Additionally, it was shown that how the basic AHT system could be modified to increase the COP and the heat transfer at the absorber, in other words, the hot process water produced. The system performance data were presented in a tabular form for different system modifications from the base system for comparison. It was proven that, by applying different modifications, the COP could be increased by 14.1%, the heat transfer at the absorber by 158.5% and the hot process water produced by 3.59% compared to the basic AHT system.

Key Words: Waste heat recovery, Absorption; Water-Lithium bromide solution; Absorption heat transformer

1. GİRİŞ

İşletmelerde atık baca gazları, atık sıcak sular, soğutma suları, eksik yanma ürünleri gibi yollarla, harcanan enerjinin bir bölümü çevreye salınmaktadır. Bu kayıplar çok karışık olmayan sistemler ile geri kazanılabilmektedir.

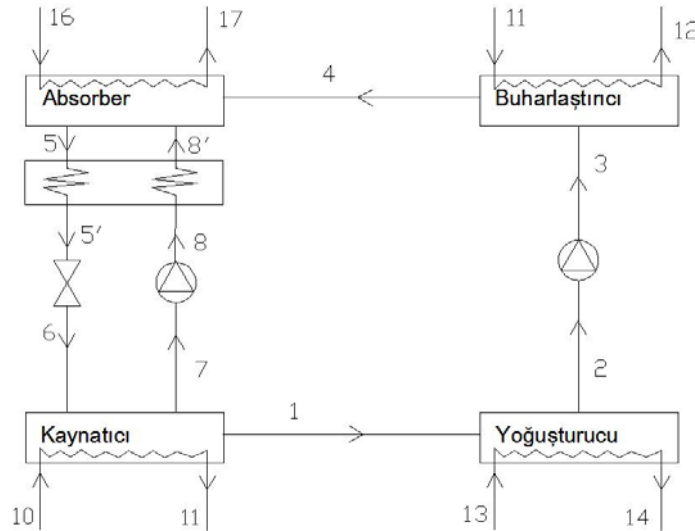
Atık ısıdan geri kazanım yöntemleri genellikle; baca gazı ısı geri kazanım sistemleri, atık su ısı geri kazanım sistemleri, proses soğutma sularındaki enerjinin değerlendirilmesi gibi uygulamalardır. Bu sistemler, ısı değiştiricileri ve kontrol mekanizmaları kullanılan ve sıcak akışkan ile soğuk akışkanın ısıtılması prensibine dayanan ve bundan sonra direkt geri kazanım sistemleri olarak adlandırılacak olan sistemlerdir. Direkt sistemlerin verimleri %90-95'lere varabilmektedir. Direkt geri kazanım sistemlerinde ısıtılan akışkanın sıcaklığı hiçbir zaman enerji kaynağı akışkanın sıcaklığının üzerine çıkamaz. Dolayısıyla bu uygulamalar her proses için uygun değildir.

Atık ısıların sıcaklıkları yükseltilebilirse proses için faydalanılabilir enerji üretilmiş olur. Bu gayeyle düşük sıcaklıklı bir enerji kaynağını, harici bir ısı kullanmaksızın, sıcaklığını yükseltmek faydalanılabilirliğini arttırmak amacıyla Absorbsiyonlu Isı Yükselticileri (AIY) kullanılabilir [1-6].

Endüstride düşük sıcaklıklı atık ısının bulunduğu bir çok proses bulunmaktadır. Genellikle bu atık ısılardan faydalanılmadan çevreye atılmaktadır. Bu çalışmada Absorbsiyonlu Isı Yükselticiler kullanılarak farklı endüstriyel proseslerdeki atık enerjiden, faydalanılabilir enerji üretimi ve kullanımı incelenmiştir.

2. ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİSİ

Absorpsiyonlu ısı yükselticisi, Şekil 1'de görüleceği üzere, temel olarak buharlaştırıcı, yoğuşturucu, kaynatıcı ve absorberden meydana gelmektedir. Bu gruba enerji tasarrufu sağlanabilmesi için kaynatıcı ve absorber arasında eriyik eşanjörü konulabilmektedir. Sanayiye yönelik uygulamalar için eriyik eşanjörünün avantaj veya dezavantaj teşkil ettiği durumlar ilerleyen bölümlerde irdelenecektir.

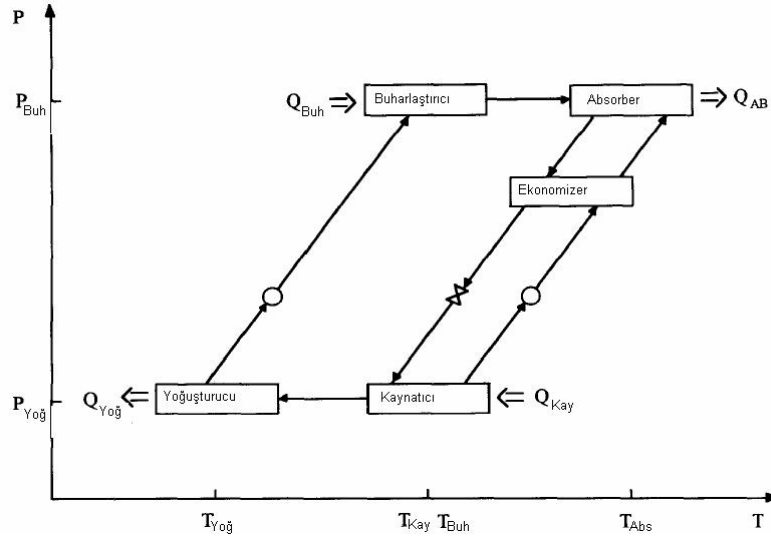


Şekil 1. Absorbsiyonlu Isı Yükselticisi (Eriyik Eşanjörlü) Şematik Gösterimi

Tek kademeli AIY çalışma prensibi absorpsiyonlu soğutma sistemine oldukça benzer. Fakat, Şekil 1'den de görüleceği üzere absorpsiyonlu soğutma sisteminde alt basınçta çalışan absorber ve buharlaştırıcı AIY sistemde üst basınçta çalışmaktadır. Atık ısı kaynatıcıyı tahrik etmekte ve proses suyu veya buharı da absorberden elde edilmektedir. Absorber üst basınç seviyesinde çalıştığından

sıcaklık seviyesi yüksektir ve dolayısıyla bu elemanı soğutmak için kullandığımız soğutma suyu çıkış sıcaklığı da çok yüksek sıcaklık seviyelerinde olmaktadır. Bu şekilde kaynatıcıyı tahrik eden atık ısı sıcaklık seviyelerinin çok çok üstünde proses suyu/buharı elde etmek mümkün olmaktadır [7-13]. Sistemin çalışma prensibi kısaca şöyledir; (6) noktasında düşük basınçta olan lityum bromür-su eriyiği kaynatıcıya girer, burada düşük sıcaklıklı atık ısı enerjisi kaynatıcıda eriyiğe aktarılır. Suyun buharlaşarak yoğuşturucuya ayrılmasından dolayı lityum bromür açısından zenginleşen eriyik (zengin eriyik), (7) noktasında bir pompa yardımıyla basıncı buharlaştırıcı basıncına yükselecek şekilde artırılır ve buharlaştırıcıdan gelen su buharını absorbe etmek üzere absorbere gönderilir. Kaynatıcıda (1) noktasında buhar fazına geçip eriyikten ayrılan su, yoğuşturucu basıncında kaynatıcıdan yoğuşturucuya gider. (2) noktasında yoğuşturucuda yoğuşan akışkanın basıncı (3) noktasında bir pompa yardımıyla buharlaştırıcı basıncına yükseltilir. Buradan çıkan yüksek basınçtaki akışkan buharlaştırıcıya girer. Akışkanın buharlaşması için buharlaştırıcıya ısı verilir. Yüksek basınçta soğutucu akışkan (4) noktasında absorbere girer ve burada kaynatıcıdan gelen eriyik tarafından absorbe edilir. Bu olay esnasında gerçekleşen fiziko-kimyasal reaksiyon neticesinde yüksek sıcaklıklı ısı açığa çıkar. Döngünün sağlanabilmesi için absorbere oluşan bu ısının alınması gerekir. Absorbere gönderilen soğutma suyu bu ısıyı absorberden uzaklaştırırken kızgın su/buhar fazına geçer ki böylelikle AIY sistemi yardımıyla kaynatıcıyı tahrik eden düşük sıcaklıklı atık ısı yardımıyla yüksek sıcaklık seviyelerinde proses suyu veya buharı elde edilmiş olur. Absorbere buharlaştırıcıdan gelen suyu absorbe ederek lityum bromür konsantrasyonu düşen eriyik (fakir eriyik) bir kısılma vanasından geçirilerek kaynatıcıya geri gönderilir ve böylece çevrim tamamlanır.

Şekil 2'de aynı çevrimin basınç - sıcaklık diyagramı sunulmuştur. Şekil 2'den de görüldüğü gibi iki farklı basınç seviyesi bulunmaktadır. Eğer buharlaştırıcı ve kaynatıcı aynı atık ısı kaynağından besleniyorsa 3 farklı sıcaklık seviyesinden bahsedilebilir. Ayrıca en yüksek sıcaklığın absorbere meydana geldiği de açıkça görülmektedir.



Şekil 2. AIY Sisteminin Basınç-Sıcaklık Diyagramı

Absorbsiyonlu ısı yükselticisi sisteminin termodinamik analizine temel oluşturacak birtakım kabuller yapılması gerekir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [14–19];

1. Her elemanın sıcaklığı uniform ve sabit değerdedir.
2. Kaynatıcı ve yoğuşturucu basıncı, yoğuşturucu sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncıdır.
3. Buharlaştırıcı ve absorber basıncı, buharlaştırıcı sıcaklığına karşılık gelen soğutucu akışkan doyma basıncıdır.
4. Kaynatıcıdan ayrılan soğutucu akışkanın sıcaklığı ve basıncı kaynatıcı sıcaklığı ve basıncındadır.
5. Yoğuşturucudan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş sıvı fazındadır.
6. Buharlaştırıcıdan ayrılan soğutucu akışkan, doymuş buhar fazındadır.

7. Absorberden ayrılan eriyik, absorber basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
8. Kaynaticıdan ayrılan eriyik, kaynaticı basınç ve sıcaklığında denge halindedir.
9. Aynı sıcaklık ve konsantrasyon için, denge halindeki eriyik entalpisi ile dengesiz haldeki entalpi eşittir.
10. Absorber, kaynaticı, buharlaştırıcı, yoğuşturucu içerisinde ve boru donanımında basınç kaybı meydana gelmemektedir.
11. Sisteme iş girişi ihmal edilebilir (Pompa işi çok küçük).

Kütleli debi dengesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 + \dot{m}_1 \quad (1)$$

$$\dot{m}_6 \cdot x_6 = \dot{m}_7 \cdot x_7 \quad (2)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (3)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (4)$$

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (5)$$

Şekil 1’de ana bileşenleri gösterilmiş olan AIY sisteminin ısı ve kütle dengesinden yola çıkarak dolaşım oranı, eşanjör verimi, ana bileşenlerin ısı kapasiteleri ve Isıtma Tesir Katsayısı değerleri hesaplanabilir. Dolaşım oranı Şekil 1 için Denklem 6’da sunulmuştur,

$$f = \frac{\dot{m}_{\text{zengin}}}{\dot{m}_{\text{soğ}}} = \frac{\dot{m}_7}{\dot{m}_1} = \frac{x_6}{x_7 - x_6} \quad (6)$$

Buradaki \dot{m}_{zengin} ve $\dot{m}_{\text{soğ}}$, sırasıyla zengin eriyik ve soğutucu akışkan kütleli debileri ve X lityum bromür konsantrasyonudur.

Ana elemanların ısı kapasiteleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir;

$$q_{\text{Kay}} = \frac{Q_{\text{Kay}}}{\dot{m}_1} = h_1 + f \cdot h_7 - (f + 1) \cdot h_6 \quad (7)$$

$$q_{\text{Yoğ}} = \frac{Q_{\text{Yoğ}}}{\dot{m}_1} = h_2 - h_1 \quad (8)$$

$$q_{\text{Buh}} = \frac{Q_{\text{Buh}}}{\dot{m}_1} = h_4 - h_3 \quad (9)$$

$$q_{\text{Abs}} = \frac{Q_{\text{Abs}}}{\dot{m}_1} = (f + 1) \cdot h_5 - f \cdot h_8 - h_4 \quad (10)$$

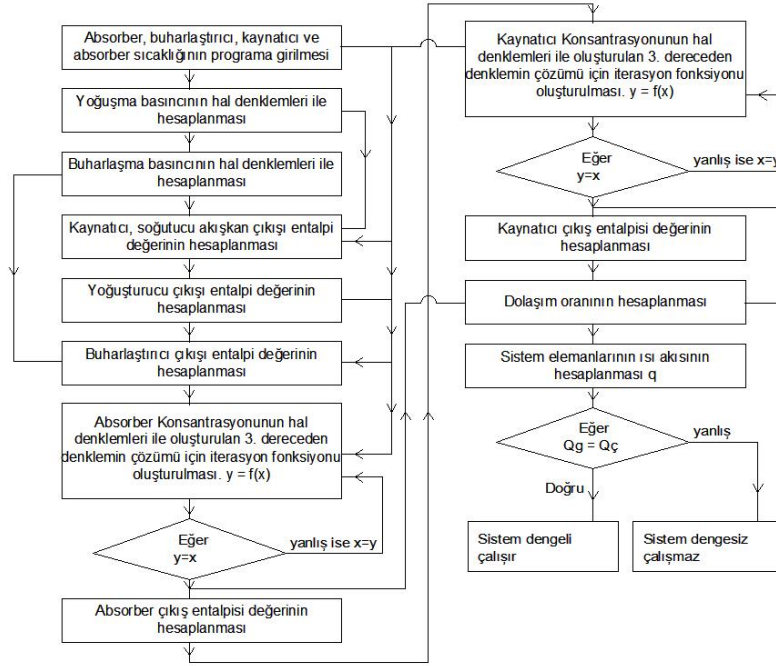
Isıtma Tesir Katsayısı (COP), bir sistemin çeşitli sıcaklık seviyelerindeki ısı transferi kabiliyetinin bir göstergesidir. Birim iş başına yapılan ısıtma olarak tarif edilen COP değeri bir AIY sistemi için Denklem 11’de ki gibi ifade edilebilir.

$$COP_{\text{AIY}} = \frac{Q_{\text{Abs}}}{Q_{\text{Kay}} + Q_{\text{Buh}}} \quad (11)$$

Aynı sıcaklıklar arasında çalışan Carnot çevriminin COP değeri sadece ana elemanların sıcaklıklarına bağlı olarak aşağıda verilmiştir;

$$COP_{\text{Carnot}} = \frac{(T_{\text{Kay}} - T_{\text{Yoğ}})}{T_{\text{Kay}}} \frac{T_{\text{Abs}}}{(T_{\text{Abs}} - T_{\text{Yoğ}})} \quad (12)$$

AIY sistemini analiz etmek için yukarıda izah edilen analize dayanan ve akış şeması Şekil 3'de sunulan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Yapılan analiz sonuçları literatürde yayınlanan diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve çok güzel bir uyum olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3. Akış Diyagramı

3. ABSORBSİYONLU ISI YÜKSELTİCİSİNİN BİR ENDÜSTRİYEL TESİSE UYGULANMASI

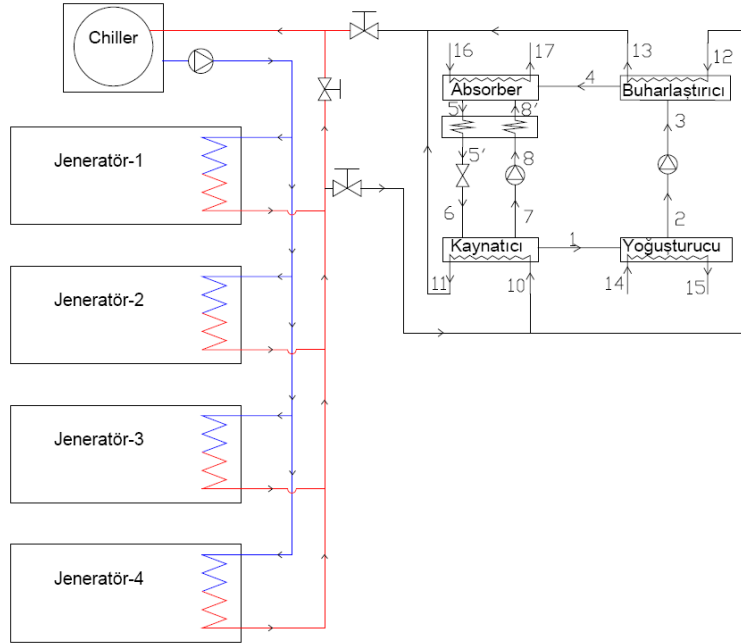
Bu bölümde amaç bir AIY sistemin bir endüstriyel tesise uygulanması ve tesisteki atık ısılardan yararlanarak tesis için ihtiyaç duyulan kızgın su ve buhar üretimini sağlamaktır. Örnek proses olarak bir tekstil fabrikasındaki kojenerasyon ünitesinin gömlek suyunun ısısından faydalanılarak enerji tasarrufu yapılması incelenmiştir. Kojenerasyon tesisi 4 üniteden oluşmaktadır. Bunların her birinden 15 ton/h debisinde $90 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcak gömlek suyu bulunmaktadır. Toplam 60 ton/h debisinde 90°C mertebelerindeki sıcak su yeterince etkin kullanılamamaktadır. Maksimum fayda sağlanabilmesi için aynı enerjiden farklı yollarla faydalanma yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmanın amacı bir AIY sistemi ile atık ısıyı değerlendirerek absorberde 130°C sıcaklığa ulaşmak ve absorberden uzaklaştırılan ısı ile basınçlı boya makinelerinin ihtiyacı olan 120°C sıcaklıktaki suyun teminini sağlamaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için çeşitli uygulamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

SONUÇ

Tesisteki atık ısıdan faydalanabilmek için farklı AIY sistemleri tasarlanmıştır ve Şekil 3'de akış diyagramı verilen bilgisayar programı bu amaçla yeniden düzenlenmiştir. Böylelikle farklı sistemlerin kapasitelerinin ve sıcaklık değişimlerinin etkilerinin hesaplanması sağlanmıştır.

Öncelikle Şekil 4'de gösterildiği gibi tesisteki atık ısının faydalı enerjiye dönüştürülmesi için standart bir AIY sistemi kullanılmıştır (Sistem 1). Şekil 4'den görüldüğü üzere kaynatıcı (10) ve buharlaştırıcı (12) aynı sıcaklıktaki (90°C) atık ısıyla ile beslenmektedir.



Şekil 4. Sistem 1 Şematik Gösterimi

Kabuller ve hesaplanan değerler Sistem 1 için Tablo-1'de verilmiştir. Ana elemanların ısı kapasiteleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$q_{Yoğ} = \frac{Q_{Yoğ}}{\dot{m}_1} = -2542,93 \text{ kJ / kg} \quad (12)$$

$$q_{Buh} = \frac{Q_{Buh}}{\dot{m}_1} = 2490,80 \text{ kJ / kg} \quad (13)$$

$$q_{Kay} = \frac{Q_{Kay}}{\dot{m}_1} = 2413,67 \text{ kJ / kg} \quad (14)$$

$$q_{Abs} = \frac{Q_{Abs}}{\dot{m}_1} = -2361,55 \text{ kJ / kg} \quad (15)$$

Sistemden çıkan enerji $q_{yoğ} + q_{Abs} = -4.904,48 \text{ kJ/kg}$

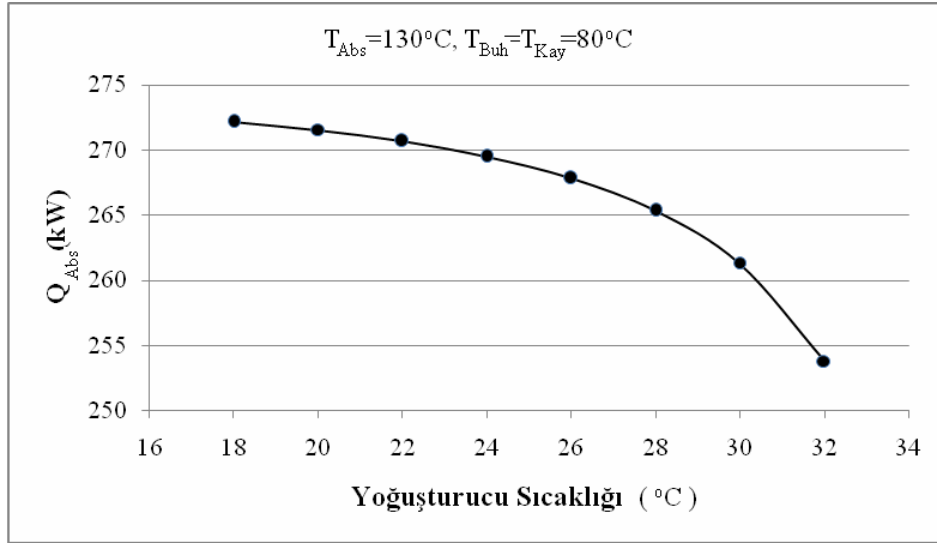
Sisteme giren enerji $q_{Buh} + q_{Kay} = 4.904,48 \text{ kJ/kg}$

Isı denklığı kurulduktan sonra sistemin performansı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$COP_{AIY} = \frac{Q_{Abs}}{Q_{Kay} + Q_{Buh}} = \frac{2.351,55}{2.413,67 + 2.490,80} = 0,482$$

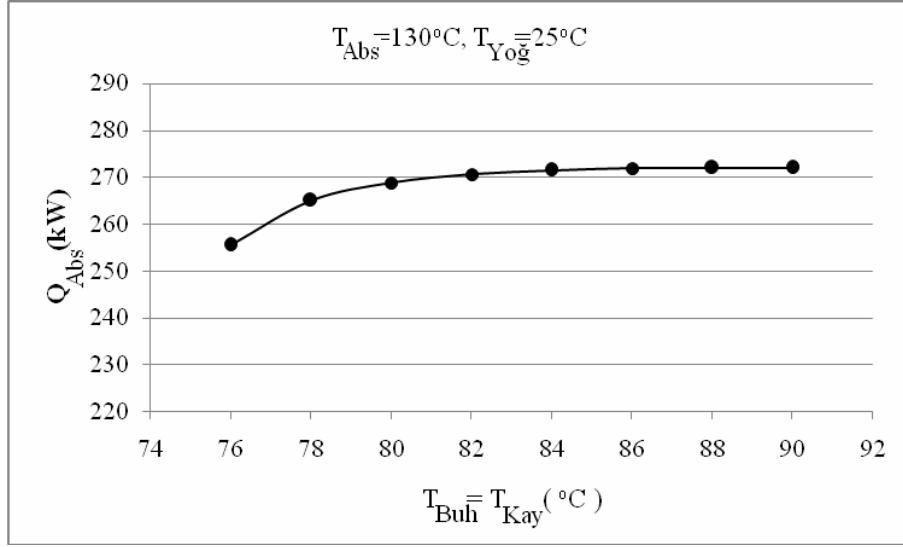
Sistem 1 deki ana elemanların sıcaklık değerlerinin sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve sonuçlar Şekiller 5 - 8'de sunulmuştur.

Yoğuşturucu sıcaklığının artması ile absorber ısı kapasitesi ve COP_{AIY} değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir (Bakınız Şekil 5). Bunu ana sebebi kondenser sıcaklığının artışıyla sistemin alt basıncının artması ve dolayısıyla zengin eriyik konsantrasyonunun azalmasıdır. Bu durum dolaşım oranında bir artış meydana getirmekte ve sonuç kendini düşük absorber ısı kapasitesi ve COP_{AIY} değerleriyle göstermektedir.

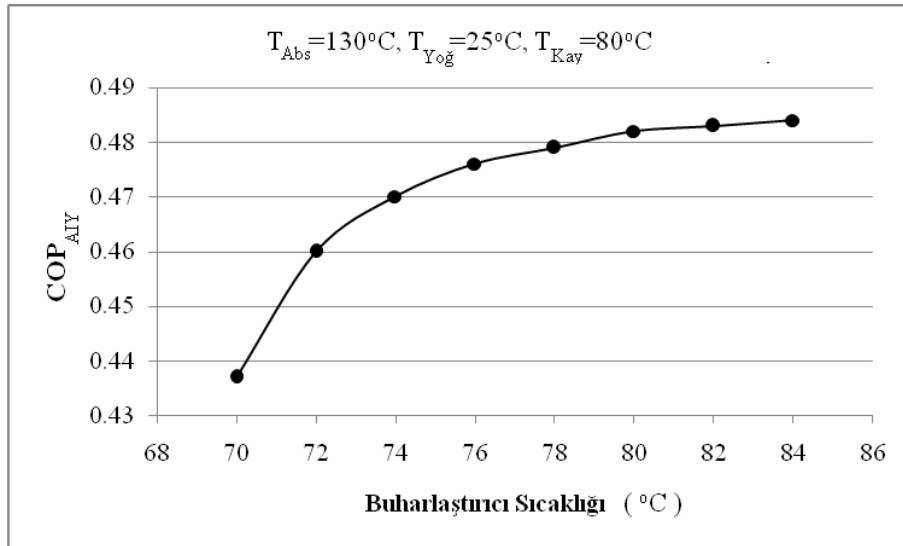


Şekil 5. Absorber Isıl Kapasitesinin Yoğuşturucu Sıcaklığına Göre Değişimi ($T_{abs}=130^{\circ}C$, $T_{kay}=80^{\circ}C$ ve $T_{buh}=80^{\circ}C$).

Şekil 6 absorber ısı kapasitesinin buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimini göstermektedir. Şekil 6'dan da görüleceği üzere buharlaştırıcı sıcaklığı (aynı kaynak tarafından beslendiği için bu değer kaynatıcı sıcaklığına eşittir) arttıkça absorber ısı kapasitesi ve COP_{AIY} değerleri artmaktadır. Buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça sistemin üst basınç seviyesi artmakta ve fakir eriyik konsantrasyonu azalmakta ve dolayısıyla dolaşım oranı düşmektedir. Düşen dolaşım oranı artan absorber ısı kapasitesi ve COP_{AIY} değerleriyle kendini göstermektedir.



Şekil 6. COP_{AIY} 'nin Buharlaştırıcı Sıcaklığına Göre Değişimi ($T_{Abs}=130^{\circ}C$ ve $T_{Yoğ}=25^{\circ}C$)

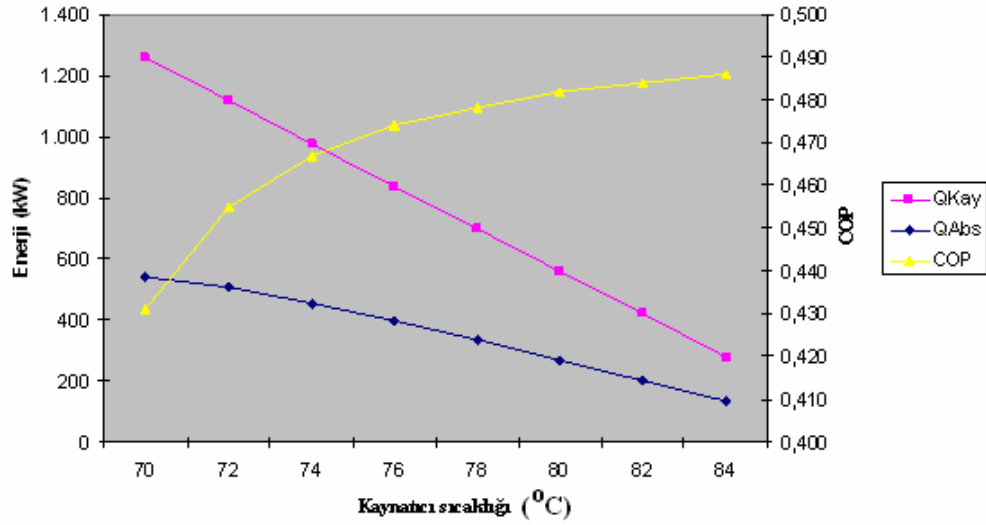


Şekil 7. COP_{AIY} 'nin Buharlaştırıcı Sıcaklığına Göre Değişimi ($T_{Abs}=130^{\circ}C$, $T_{Kay}=80^{\circ}C$ ve $T_{Yoğ}=25^{\circ}C$)

Şekil 7 COP_{AIY} değerinin buharlaştırıcı sıcaklığına göre değişimini göstermektedir. Şekil 6'da aynı kaynak tarafından beslendiği için buharlaştırıcı sıcaklığı, kaynatıcı sıcaklığıyla aynı iken, Şekil 7'de buharlaştırıcı sıcaklığının kaynatıcı sıcaklığından farklı olması durumu incelenmiştir. Sonuç olarak buharlaştırıcı sıcaklığının kaynatıcı sıcaklığından büyük olması durumunda sistem performansında artış olacağı gözlenmiştir. Kaynatıcı sıcaklığı sabit tutulup buharlaştırıcı sıcaklığı azaltılırsa, sistem üst basıncı azalır ve zengin eriyik konsantrasyonu artar. Yüksek zengin eriyik konsantrasyonu, yüksek dolaşım oranı ve düşük COP_{AIY} değeri demektir.

COP_{AIY} doğrudan sistemin iç verimliliğini ifade ettiği için, bu değerdeki düşüş absorberde geri kazanılan enerji miktarına aynı oranda yansıtacaktır. Dolaşım oranının artması demek birim soğutucu akışkan debisine karşılık, absorber ve kaynatıcı arasında dolaşacak olan eriyik miktarının artması anlamına gelir. Bu durum sistem açısından belirli bir noktadan sonra limit değerlere ulaşacağından verimi daha dik bir şekilde düşer. Fakir eriyik konsantrasyonunun düşmesi ile dolaşım oranı

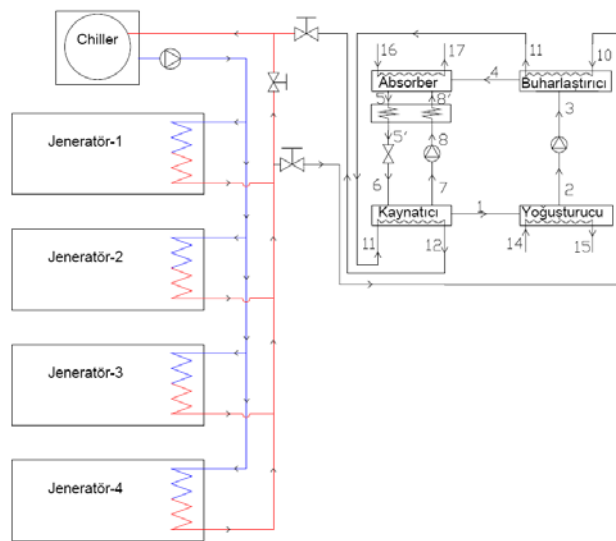
düşecektir. Dolaşım oranındaki düşüş soğutucu akışkan debisinin artmasına neden olmakta ve bu durumda COP_{AIY} değeri ve absorberde geri kazanılan enerji miktarını arttırmaktadır.



Şekil 8. Kaynaticı Sıcaklığının COP_{AIY} , $Q_{Kay}+Q_{Buh}$, Q_{Abs} Üzerindeki Etkisi ($T_{Abs}=130^{\circ}C$, $T_{Buh}=80^{\circ}C$ ve $T_{Yog}=25^{\circ}C$)

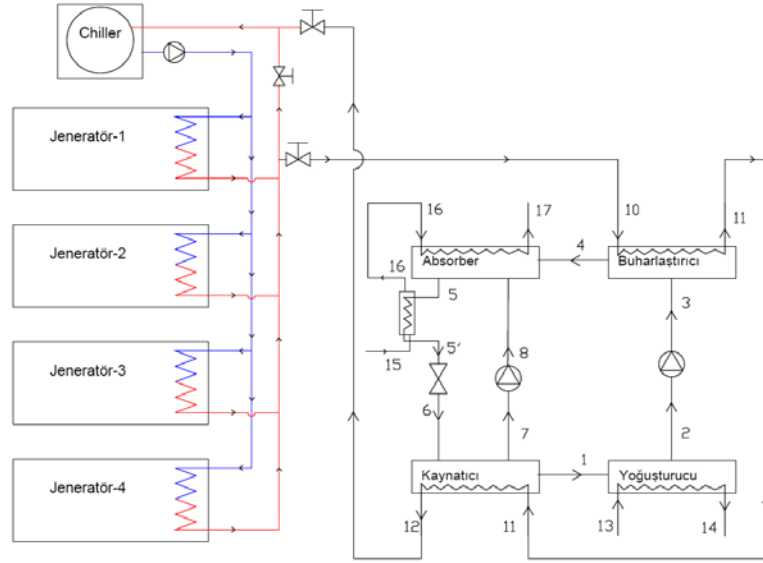
Şekil 8'de görüleceği üzere kaynaticı sıcaklığındaki artış COP_{AIY} değerinin artmasına neden olmaktadır. Ancak COP_{AIY} değerinin yüksek olması özellikle enerji tasarrufu amaçlı AIY sistemlerinde, çok enerji kazanımı yapıldığını göstermez. Aynı grafik içinde kaynaticıya aktarılabilen enerji miktarı (Q_{Kay}) ve absorberden geri kazanılan enerji (Q_{Abs}) miktarları görülebilmektedir. Kaynaticı sıcaklığının artırılması demek kaynaticıdan çıkan atık ısının sıcaklığının yüksek olması anlamına gelir. Bu durumda geri kazanılan enerji miktarı azalacaktır. Görüldüğü gibi COP değeri 0,431'den 0,486'ya yani yaklaşık %13 mertebesinde yükselmesine rağmen kaynaticıya aktarılabilen enerji %78 düşmektedir, absorberden geri kazanılan enerji ise %75 oranında azalmaktadır.

Sistem 1'de atık ısı kaynağını bölüp kaynaticı ve buharlaştırıcıya $90^{\circ}C$ sıcaklıkta verilmişti. Sistem 2'de aynı miktar atık ısı ihtiva eden gömlek soğutma suyunu öncelikle buharlaştırıcıya ardından kaynaticıya verilmesi durumu incelenmiştir. Şekil 9'da Sistem 2 şematik olarak gösterilmiştir.



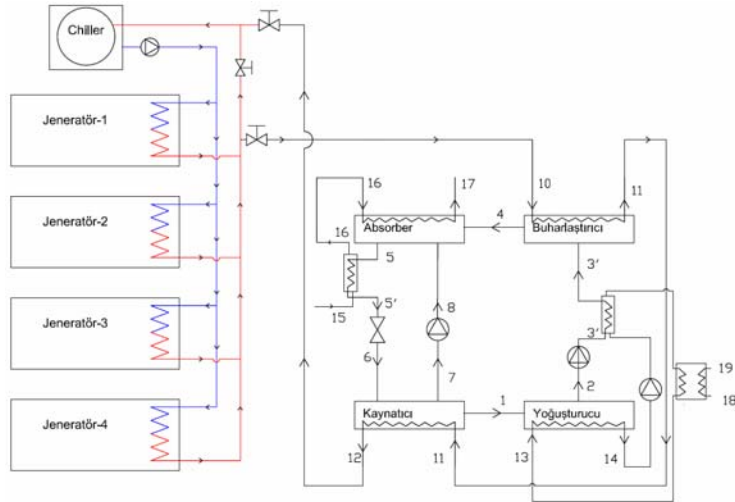
Şekil 9. Sistem 2 Şematik Gösterimi

Sistem 3 olarak incelenen sistemde Sistem 2'den farklı olarak eriyik eşanjörü yerine absorberden kaynatıcıya dönen fakir eriyiğin bulunduğu hat üstüne absorber eşanjörü kullanılarak absorber dönüş sıcaklığı düşürülmüştür. Şekil 10'da Sistem 3 şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 10. Sistem 3 Şematik Gösterimi

Sistem 4'de, Sistem 3'e ilave olarak, buharlaştırıcı öncesi yoğusturucudan dışarıya atılan ısının, buharlaştırıcı öncesi kullanılacak bir eşanjör ile soğutucu akışkanın ön ısıtılması durumu incelenmiş ve bu ilave ısı transfer miktarı $COP_{AİY}$ denkleminde pay kısmında yerini almıştır. Şekil 11'de Sistem 4 şeması gösterilmektedir.



Şekil 11. Sistem 4

Bütün sistemler için sonuçlar hesaplanmış ve karşılaştırma açısından bütün sonuçlar Tablo-1'de sunulmuştur. Unutulmamalıdır ki ana gaye absorberdeki ısı transfer miktarının, diğer bir deyişle üretilen sıcak su/buhar miktarının mümkün olduğunca artırılmasıdır.

Tablo 1. Sistemlerin Karşılaştırılması

	Birim	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3	Sistem 4
Absorber Sıcaklığı	°C	130	130	130	130
Yoğuşturucu Sıcaklığı	°C	25	25	25	25
Kaynatici Sıcaklığı	°C	80	73	73	73
Buharlaştırıcı Sıcaklığı	°C	80	80	80	80
Eriyik Eşanjörü Çıkış Sıcaklığı	°C	120	120	-	-
Absorber Eşanjörü Çıkış Sıcaklığı	°C	-	-	68	68
Buh. Ön Isıtma Eşanjörü Çıkış Sıcaklığı	°C	-	-	-	68
f (Dolaşım Oranı)		9,51	18,63	18,63	18,63
COP _{AIY}		0,482	0,462	0,532	0,55
Soğutucu akışkan debisi	kg/h	410	807	807	870
Q _{Abs} (Absorberden yayılan ısı)	kW	268,75	486,91	149,80	161,49
Q _{Buh} (Buharlaştırıcıya aktarılan ısı)	kW	283,46	558,13	558,13	558,13
Q _{Yoğ} (Yoğuşturucudan yayılan ısı)	kW	289,39	566,80	566,80	611,01
Q _{kay} (Kaynaticıya aktarılan ısı)	kW	274,68	495,58	653,33	704,29
Q _{esanjör} (Eriyik eşanjörü ısı transferi)	kW	70,31	337,11	-	-
Q _{Abs Eş} (Absorber eşanjörü ısı transferi)	kW	-	-	494,86	533,45
Q _{Buh Eş}	kW	-	-	-	43,53
M kızgın su	kg/h	3.830	6.939	9.188	9.904
M soğutma suyu	kg/h	4.978	9.749	9.749	10.947
Göm. Suyu. Buh. Çıkışı	°C	82	82	82	82
Fakir Eriyik Konsantrasyonu		0,5926	0,5926	0,5926	0,5926
Zengin Eriyik Konsantrasyonu		0,6549	0,6244	0,6244	0,6244
Göm. Suyu. Kayn. Çıkışı	°C	82	75	73	72

Tablo 1'den de görüleceği üzere Sistem 2'nin COP_{AIY} değer değişimini Sistem 1'den küçük olmasına rağmen (%4) Sistem 2 ısı geri kazanım miktarındaki artış %81,1'dir. Bu artış akış mantığında yapılan değişiklik ile sağlanmıştır. Sistem 4'de Sistem 3'e ilave olarak buharlaştırıcı öncesinde yoğuşturucudan atılan ısı ile soğutucu akışkanın ön ısıtması sağlanmıştır. Sistem 4'ün COP_{AIY} değer değişimini Sistem 1'e göre sırasıyla kıyaslayacak olursak %14,1 artış sağlanmıştır, bu artışa nazaran gerçekleşen enerji geri kazanımı %158,5 artmıştır. Bu artış yoğuşturucuda atılan ısının küçük bir kısmının sisteme geri kazandırılması ile sağlanmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı AIY kullanarak düşük sıcaklıklı ısı kaynağından yüksek sıcaklıklı faydalanılabilir enerji üretmektir. Bu nedenle bir sanayi kuruluşunda bulunan 90±2 °C sıcaklıktaki atık ısı kaynağından yararlanarak 120°C sıcaklıkta kızgın su üretilmesi amaçlanmıştır. Analizler AIY kullanarak atık ısının kullanılabilir enerjiye dönüşmesinin sağlanabileceğini ve duyulan enerji ihtiyacının karşılanabileceğini ispatlamıştır. Bu yüzden AIY düşük sıcaklıklı ve orta sıcaklıklı atık ısıların sisteme geri kazandırılmasına imkan sağlayabilmektedir.

AIY için aşağıdakiler ispatlanmıştır;

- Yoğuşturucu sıcaklığı artar ise COP_{AIY} ve absorber sıcaklığı düşer,
- Buharlaştırıcı ve kaynatici sıcaklığı artar ise COP_{AIY} ve absorber ısı kapasitesinde artar.
- Eğer buharlaştırıcı sıcaklığı, kaynatici sıcaklığından büyük olursa AIY performansı artar, COP_{AIY} ve absorber ısı kapasitesi artar.
- Yüksek dolaşım oranı COP_{AIY} ve absorber ısı kapasitesini düşürür.

Direk sıcak sudan faydalanılmış olsaydı AIY'den %50 daha fazla ısı geri kazanımı sağlanabilirdi. Dolayısıyla bu tip sistemlerin atık ısının direk bir ısı geri kazanım sistemi ile kullanılmadığı yüksek sıcaklık ihtiyacı olup, düşük sıcaklıklı atık ısı kaynağı bulunan yerlerde kullanılmalıdır.

AIY sisteminin uygulanmasında gerçekleştirilebilecek değişiklikler ile COP değerinde %14,1 artış ve absorber ısı kapasitesinde %158,5 ısı transferi artışı sağlanabildiği ve toplamda üretilen kızgın su miktarında %3,59'luk artışın klasik AIY'ye göre sağlanabileceği gösterilmiştir.

SEMBOLLER

COP	Isıtma Tesir Katsayısı
f	dolaşım oranı
h	entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	kütleli debi (kg/s)
P	basınç (kPa)
q	özgül ısı (kJ/kg)
\dot{Q}	ısı transferi (kW)
X	lityum bromür konsantrasyonu
T	sıcaklık (°C)

ALT İNDİSLER

Abs	absorber
AIY	Absorpsiyonlu Isı Yükselticisi
Buh	buharlaştırıcı
Carnot	Carnot
Kay	kaynatıcı
soğ	soğutucu akışkan
Yoğ	yoğuşturucu
zengin	zengin eriyik
1, 2 ...	noktalar

KAYNAKLAR

- [1] BEST, R. 1997. Modelling of single-stage and advanced absorption heat transformers operating with the water/Carrol mixture, Applied thermal engineering, 17(11):1111–1122
- [2] BOUROUIS, M. 2000. Industrial heat recovery by absorption/compression heat pump using TFE-H₂O-TEGDME working mixture, Applied thermal engineering 20: 355–369
- [3] BOUROUIS, M. 2004. Purification of seawater using absorption heat transformers with water-(LiBr+LiI+LiNO₃+LiCl) and low temperature heat sources, Desalination, 166:209–214.
- [4] GENSSIE, A. ve S. KARL. 2000. Analysis of the process characteristics of an Absorption heat transformer with compact heat exchangers and the mixture TFE–E181, Int. J. Therm. Sci, 39: 30–38.
- [5] HORUZ, İ. ve E. KUREM. 2001. A comparison between ammonia-water and water-lithium bromide solutions in absorption heat transformers. Int. Comm. Heat and Mass Transfer, 28(3): 427–438.
- [6] MA, X. Application of absorption heat transformer to recover waste heat from a synthetic rubber plant, Applied Thermal Engineering, 23 797–806

- [7] MINEA, V. ve F. CHIRIAC. 2006. Hybrid absorption heat pump with ammonia/water mixture - Some design guidelines and district heating application, International Journal of Refrigeration 29: 1080–1091
- [8] MOSTOFIZADEH, CH. ve C. KULICK. 1998. Use of a New Type of Heat Transformer in Process Industry, Applied Thermal Engineering, 18: 857–874
- [9] RIVERA, W. 2000. Experimental Evaluation Of A Single-Stage Heat Transformer Used To Increase Solar Pond's Temperature, Solar Energy, 69 (5): 369–376
- [10] RIVERA, W. ve R.J. ROMERO. 2000. Evaluation of a heat transformer powered by a solar pond, Solar Energy Materials & Solar Cells, 64: 413–422.
- [11] RIVERA, W. 2000. Single stage and double absorption heat transformers used to recover energy in a distillation column of butane and pentane, International journal of energy research, 27: 1279–1292
- [12] SHI, J.Y.L. 2000. Performance analysis of an absorption heat transformer with different working fluid combinations, Applied Energy, 67: 281–292.
- [13] SMOLEN, S. ve M. BUDNIK-RODZ. 2006. Low rate energy use for heating and in industrial energy supply systems—Some technical and economical aspects, Energy, 31: 2588–2603
- [14] SCOTT, M. 1999. Experimental and theoretical study of an open multi-compartment absorption heat transformer for different steam temperatures. Part III: application to process industry, Applied thermal engineering 19: 431–448
- [15] SÖZEN, A. VE H. S. YÜCESU. 2007. Performance improvement of absorption heat transformer, Renewable Energy 32: 267–284
- [16] ŞENCAN, A. 2007. Different methods for modeling absorption heat transformer powered by solar pond, Energy conversion and management, 48: 724–735
- [17] TUFANA, V. 1997. Heat recovery in distillation by means of absorption heat pumps and heat transformers, Applied Thermal Engineering, 17(2):171–178
- [18] ZONGCHANG, Z. 2003. Thermodynamic performance of a new type of double absorption heat transformer, Applied Thermal Engineering, 23: 2407–2414
- [19] ZONGCHANG, Z. 2005. Thermodynamic performance of a double-effect absorption heat-transformer using TFE/E181 as the working fluid

ÖZGEÇMİŞ

Bener KURT

1981 yılı Adana doğumludur. 2003 yılında UÜ. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2003 yılından sonra özel sektörde enerji verimliliği üzerine mühendis olarak çalışmıştır. 2009 yılında ortakları ile birlikte SAI Enerji Ltd. Şti.'ni kurarak sanayiye enerji verimliliği projeleri üretip, ürettiği projelerin uygulamasını yapmaktadır. Tekstil, gıda ve çelik sektörlerinde çok sayıda uygulanmış geri kazanım ve enerji tasarrufu projeleri bulunmaktadır.

İlhami HORUZ

1967 yılı Erzincan doğumludur. 1984 yılında başladığı U. Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 1988 yılında üçüncü derece ile bitirdikten hemen sonra yine aynı bölümde hem Yüksek Lisans eğitimine hem de asistan olarak akademik hayata başladı. 1991–1994 yıllarında İngiltere'de doktorasını yaptıktan sonra akademik hayatına U. Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne devam eden İlhami Horuz, 2007 yılında Prof. Dr. Ünvanını kazanmıştır. Amerikada üç değişik üniversitede misafir Profesör olarak çalışan İlhami Horuz halen Uludağ Üniversitesi'ndeki görevine devam etmektedir.