



bu bir MMO  
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## Endüstriyel Hava Şartlandırılmasında Isı Geri Kazanımının Uygulanması

**Fusun DOBA**  
Adana M.Y.O.

**R. Tuğrul OĞULATA**  
Çukurova Üni.

# ENDÜSTRİYEL HAVA ŞARTLANDIRILMASINDA ISI GERİ KAZANIMININ UYGULANMASI

Füsun DOBA  
R.Tuğrul OĞULATA

## ÖZET

Endüstriyel hava şartlandırmada amaç, mahal havasının istenen üretim ve çalışma şartlarına göre düzenlenmesidir. Endüstriyel tesislerde bazı termodinamik süreçler nedeniyle işletme içerisinde bulunan havanın özellikleri olumsuz yönde değişmektedir. Bu durumda sözkonusu ortamda, belirli sıcaklık ve nem durumuna sahip, toz ve kimyevi maddelerin olumsuz etkilerinden arındırılmış, yeterli temiz havanın bulundurulması gerekmektedir.

Genel olarak dış ortamdan alınacak temiz akışkanın, istenilen mahal şartlarına ulaşabilmesi için ek bir koşullandırma gerekmektedir. Bu ise sisteme ek bir enerji yükü getirmektedir. Bunun yerine bir ısı geri kazanım sistemi ile atık ısının yeniden kullanılarak büyük oranda enerji tasarrufunun sağlanması yoluna gidilmelidir.

Bu amaçla çalışmada düşük sıcaklık uygulamalarında; endüstriyel kullanımlarda verimli bir şekilde çalışacağı düşünülen levhali tip bir ısı değiştirgecinin, laboratuvar şartlarında tasarımı ve imalatı yapılmış ve sözkonusu ısı değiştirgecinde elde edilen deneysel sonuçlar sunularak gerekli yorumlar yapılmıştır.

## GİRİŞ

Bir mahalın sıcaklığının, neminin, temizlik ve hava hareketinin insan sağlık ve konforuna veya yapılan endüstriyel işleme en uygun seviyelerde tutulabilmesi için sözkonusu ortamdaki havanın iklimlendirilmesine "hava şartlandırma" denilmektedir. Endüstriyel hava şartlandırma ise ham maddeden mamül aşamasına kadar olan süreç içerisinde, konfor ve çalışma koşullarının işletme açısından iyileştirilmesine yönelik iklimlendirme uygulamalarıdır. Sıcaklık, nem, filtreleme ve hava hareketi gözönüne alındığında, endüstriyel hava şartlandırmada daha çok ekonomik faktörler ön plana çıkmaktadır. Ekonomik faktörlerin ön planda tutulması, özellikle üretime yönelik işletmelerde ilk yatırım ve işletme masraflarının minimum düzeyde tutulmasını zorunlu kılmaktadır. Bilindiği gibi işletmelerde maliyeti artıran en önemli unsur enerjidir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı sürekli ve hızlı bir şekilde artış göstermektedir. İleriye dönük enerji ihtiyacımız gözönünde bulundurulduğunda enerji açısından dışa bağımlılığın artması beklenen bir durumdur. Ülkemizde enerji talebinin yerli üretimle karşılanması 2000 yılı için %44, 2005 yılı için %42, 2010 yılı içinse %38 olarak tespit edilmiştir [1].

Toplam enerji tüketimimizin ise yaklaşık %40'ı endüstriyel tesislerde oluşmaktadır. Enerji kaynaklarının durumu gözönüne alındığında özellikle endüstriyel işletmelerde enerji tasarrufunun ne kadar önemli olduğu açıktır. Endüstriyel tesislerde büyük oranda kaybolan enerjinin kullanılabilir duruma getirilmesi ve sisteme yeniden kazandırılması, üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur. Bilindiği gibi bir

çok endüstriyel tesiste ısı enerjisi kaybı olmakta, herhangi bir işlem sonucu ortaya çıkan atık ısı genel olarak tekrar kullanılmadan dış ortama atılmaktadır. Dış ortamdan alınacak temiz akışkanın işletmede istenen şartlara ulaşabilmesi için ek bir şartlandırma gerekmekte, bu ise sisteme ek bir enerji yükü getirmektedir. Sistemden atılan ısının bir ısı geri kazanım sistemi vasıtasıyla yeniden kullanılarak enerji maliyetinin düşürülmesi, enerji tasarrufu açısından önemli bir olaydır. Isı geri kazanım sistemlerinin uygulamasının kolay ve geri ödeme sürelerinin az olması nedeniyle, ülkemiz tekstil endüstrisinde, ilaç, gıda, kimya endüstrilerinde, endüstriyel binaların iklimlendirilmesi vb. alanlarda kullanılmasıyla işletme masrafları azalacak ve enerji tasarrufu etkin bir şekilde başarıya ulaşacaktır.

## BİLDİRİDE YER ALAN ANA BAŞLIKLAR

- Konunun Önemi
- Kullanılan-Uygulanan Sistemler
- Projelendirme İçin Tasarım Parametreleri
- Endüstriyel Hava Şartlandırmada Bir Isı Geri Kazanım Sistemi Uygulaması
- Sistemin Avantajları
- Sonuç
- Kaynaklar

## KONUNUN ÖNEMİ

Bilindiği gibi ülkemizde, gelişmiş ülkelere göre birim katmadeğer başına yüksek miktarda enerji kullanılmakta ve enerjinin bu şekilde verimsiz ve yoğun kullanımı bu alanda büyük bir tasarruf potansiyelinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Enerji tasarrufu ile hem kısıtlı doğal kaynaklar korunabilmekte hem de çevreye ve doğaya verilecek zarar minimuma indirilebilmektedir. Enerji tasarrufu ile sanayide birim ürün başına enerji girdisi azalırken üretim maliyeti düşecek ve ulusal sanayinin dış pazardaki rekabet gücü yükselecektir. İthal enerji girdilerine olan talep ve buna paralel olarak ithalat için gerekli olan döviz ihtiyacı da azalacaktır [2].

Günümüzde bir çok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde kaybolmaktadır. Tüketilen toplam enerjinin yarıya yakın bir bölümü 100 °C'nin altındaki düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıktaki ısı yüklerinin uygulanan prosesler sonucu atılan ısı ile karşılanması enerji ve işletme ekonomisi yönünden önemlidir. Endüstride atık akışkanların kolay ve ekonomik yoldan temizlenemediği durumlarda atık ısı geri kazanım sistemlerinin kurulması lüzumlu hale gelir. Bilindiği gibi ısıtma, soğutma, iklimlendirme vb. sıcaklık uygulamalarında proses sonucu sistemden dışarıya ortam sıcaklığında akışkan atılmakta ve bu durumda önemli miktarda enerji de kaybolmaktadır. Sözkonusu kayıp enerjinin ekonomik olarak geri kazanılabilmesi, devreye katılacak bir ısı geri kazanım sistemi ile mümkün olabilmektedir. Isı geri kazanım ekipmanları için yapılacak yatırımların, enerji fiyatlarının bugünkü durumu gözönünde tutulduğunda, geri ödeme süreleriyle tasarrufa yönelik uygulamaların en uygunu olacağı kabul edilebilir bir gerçektir.

Bugün; kurutucularda, fırınlarda (ergitme fırınları, tavlama fırınları vb.), buhar kazanlarında; gaz türbinlerinde, yüzme havuzlarında, tekstil endüstrisinde, tarımsal ürünlerin depolanmasında, endüstriyel tesislerin konfor ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi ve ham maddeden üretim aşamasına kadar olan süreçlerde ilk yatırım ve işletme giderlerinin azaltılmasına yönelik olarak bir çok alanda ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır.

## KULLANILAN-UYGULANAN SİSTEMLER

Isı geri kazanımı genel olarak kullanılan ve dış ortama atılmak zorunda olunan enerjinin bir bölümünün uygulanan çeşitli düzenlemelerle tekrar faydalanılabilir hale getirilmesidir. Atık ısının türüne göre ısı geri kazanımı iki grupta incelenebilir:

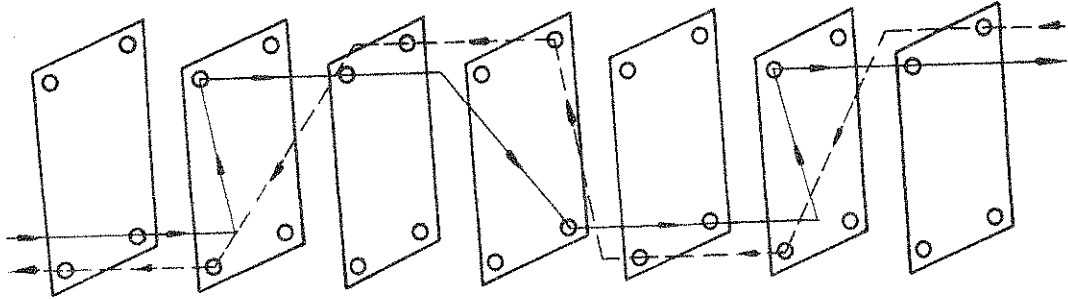
- Sıvılardan ısı geri kazanımı
- Gazlardan ısı geri kazanımı

### Sıvılardan Isı Geri Kazanımı

Endüstriyel tesislerde sıvılardan ısı transfer etmek amacıyla en yaygın kullanılan ekipmanlar ısı değiştirgeçleridir. Farklı sıcaklıklardaki iki akışkan arasında ısı transferini sağlayan ısı değiştirgeçlerinde, sıcak akışkan soğuk akışkana ısını transfer etmekte ve genel olarak karışmayı önlemek için iki akışkan birbirinden ayrı tutulmaktadır. Plakalı ve borulu ısı değiştirgeçleri, sıvılardan ısı geri kazanımı için en yaygın kullanılan ısı değiştirgeçleridir.

#### - Plaka Tipi Isı Değiştirgeçleri (Levhali Isı Değiştirgeçleri)

Plaka tipi ısı değiştirgeçleri, birbirine paralel olarak sıralanmış ve contalarla ayrılmış ince metal levhalardan oluşmaktadır. Plakalar arasındaki kanallardan ısıtıcı ve ısıtılan akışkanlar ters yönde hareket ederler. Sıcak akışkan alt kanallardan birinden girerek yukarıya doğru ilerlerken, soğuk akışkan üstteki bir kanaldan geçerek sıcak plakaların arasından aşağı doğru hareket etmektedir, şekil 1. Plaka tipi ısı değiştirgeçlerinin, buharlaştırıcı üniteler ve pastörizasyon üniteleri gibi atık ısı geri kazanımı amacıyla kullanıldığı endüstriyel uygulamalar mevcuttur [3].



Şekil 1. Plakalı Isı Değiştirgeci

#### - Borulu Isı Değiştirgeçleri

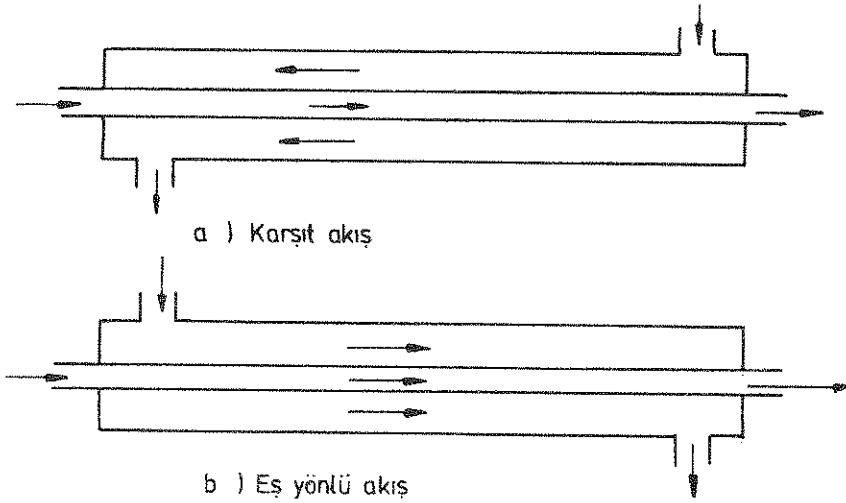
Borulu ısı değiştirgeçlerinde dikdörtgen, eliptik ve çoğunlukla daire kesitli borular kullanılmaktadır. Boru çaplarının, uzunluklarının ve diziliş şekillerinin değiştirilebilmesi nedeniyle projelendirmede esneklik mevcuttur. Çift borulu ve gövde borulu ısı değiştirgeçleri, borulu ısı değiştirgeçlerine örnek olarak verilebilir. Çift borulu ısı değiştirgeçlerinde borular genellikle aynı eksenli olup, akışkanlardan biri boru içinden akarken diğer akışkan boruların dışından akmaktadır. Gövde borulu ısı değiştirgeçleri ise silindirik bir gövde içine yerleştirilen boru demetinden oluşmakta, akışkanlardan biri boru içinden diğeri gövde içinden akmaktadır [4].

Şekil 2'de tek geçişli borulu ısı değiştirgeci görülmektedir. Bu tip ısı değiştirgeçlerinde akışkanların ısı değiştirgecinde kalış süreleri kısa olduğundan ısı transferi düşüktür. Akışkanların ısı değiştirgecinde bir kaç kez dolaşması sağlanarak ısı transferinin iyileştirilmesi temin edilebilmektedir.

Tablo 1'de plaka tipi ve borulu ısı değiştirgeçlerinin karakteristikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Isı Değiştirgeci Karakteristikleri [3]

Performans	Paslanmaz Çelik Plaka Tip Isı Değiştirgeci	Borulu Tip Isı Değiştirgeci
Geri Kazanım Verimi (%)	90	66
Birim Hacim Başına Isıtma Yüğü ( $W/m^3/°C$ )	90 000	36 000
Isı Transferi/ Basınç Düşmesi ( $W/N°C$ )	95	60

**Şekil 2.** Tek Geçişli Isı Değiştirgeci

### Gazlardan Isı Geri Kazanımı

Endüstride atık gazlardan ısı geri kazanımı amacıyla kullanılan ısı değiştirgeçlerinin enerji tasarrufuna önemli ölçüde katkısı bulunmaktadır. Gazlardan ısı geri kazanımı amacıyla kullanılan ısı değiştirgeçleri genel olarak,

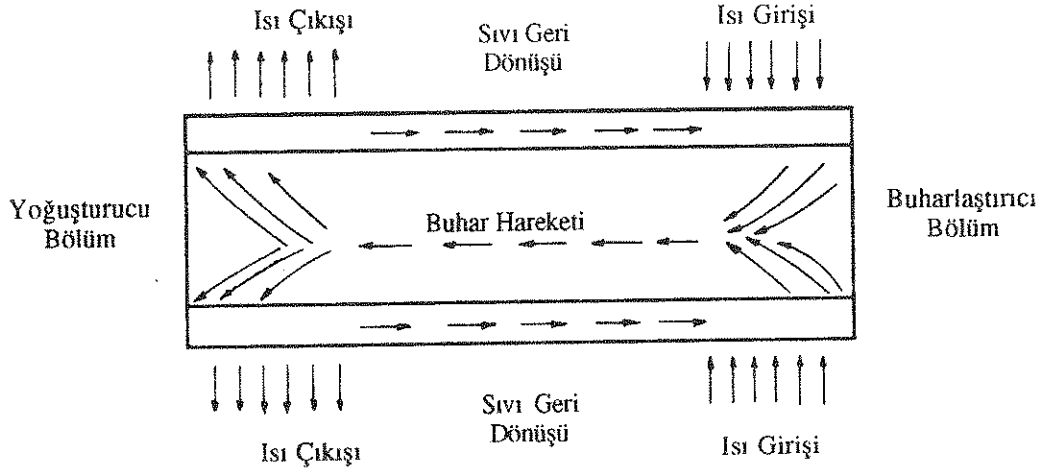
- Isı borulu ısı değiştirgeçleri
- Döner tip ısı değiştirgeçleri (Isı tekerleği)
- Isı pompaları
- Serpantinli ısı değiştirgeçleri
- Levhalı ısı değiştirgeçleri

şeklinde sınıflandırılabilir.

### - Isı Borulu Isı Değiştirgeçleri

Isı borulu ısı değiştirgeçleri pasif enerji geri kazanım ekipmanlarıdır. Isı borulu ısı değiştirgeçlerinin hareketli parçaları yoktur, bağımsız olarak çalışırlar ve ısının süper iletkeni olarak görev yaparlar. Bir ısı borusu, içi uygun bir akışkanla doldurulmuş, sızdırmazlığı sağlanmış kılcal yapıda bir fitil bulunan kapalı bir borudur. Borunun bir ucuna uygulanan ısıl enerji, çalışma akışkanını diğer uca buharlaştırmaktadır. Buharlaştıran akışkan borunun diğer tarafına (soğuk hava akımı tarafına) hareket ederek yoğunlaşmaktadır. Yoğuşan akışkan yeniden kullanılmak üzere tekrar buharlaştırıcı bölümüne dönmekte ve çevrim bu şekilde devam etmektedir. Basit olarak ısı borusu, boru uçları arasındaki sıcaklık farkının yarattığı itici güçle bir yoğunlaşma/buharlaştırma sistemi olarak çalışmaktadır [5]. Şekil 3'te şematik olarak bir ısı borusunun çalışma prensibi görülmektedir.

Isı borusu ile sıcak havadan duyulur enerji, ısı değiştirgecinin bir tarafından diğer tarafına transfer edilebilmektedir. Isı borulu ısı değiştirgeçlerinde maksimum verim, ters akış prensibiyle sağlanmakta olup %60 dolaylarında duyulur ısı etkinliğine ulaşılabilir. Genel olarak egsoz sıcaklığının 260 °C'nin altında olan uygulamaları için boru ve kanatçıkların imalinde alüminyum malzeme kullanılmakta, korozyon ve kirliliğin problem olduğu uygulamalarda ise maliyeti alüminyumdan fazla olmasına rağmen bakır üniteler tercih edilmektedir. Sıcaklığın 260 °C'yi aştığı uygulamalar için boru ve kanatçıklar, yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olması dolayısıyla çelikten imal edilmekte ve kanatçıkların paslanmasını önlemek amacıyla özel kaplama teknikleri kullanılmaktadır [5].



Şekil 3. Isı Borusu

Isı borulu ısı değiştirgeçlerinin kullanıldığı endüstriyel uygulamalar

- Proses atık ısısının geri kazanımı
- İklimlendirme sistemlerinden ısı geri kazanımı
- Yanma havası ön ısıtması

şeklinde sıralanabilmektedir.

#### - Döner Tip Isı Değiştirgeçleri (Isı Tekerleği)

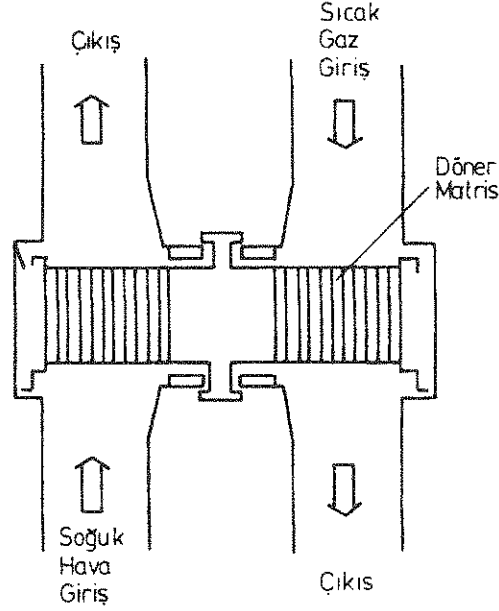
Döner tip ısı değiştirgeçleri, ısının depolanarak transfer edildiği ısı değiştirgeçleridir. Döner tip ısı değiştirgeci içindeki ısı, matris (ısı transfer kütlesi) adı verilen gözenekli elemanlarda depolanmakta ve bunun aracılığıyla transfer edilmektedir. Sıcak ve soğuk akışkanların aynı kanallardan ardışık olarak geçtiği döner ısı değiştirgeçlerinde, sıcak akışkan bir kanaldan geçerken ısıyı kanal duvarlarına transfer edilmekte ve böylece sıcak akışkanın enerjisi matriste depolanmaktadır. Daha sonra aynı kanaldan soğuk akışkan geçerek matriste depolanmış ısı enerjisi, soğuk akışkana transfer edilmektedir. Döner ısı değiştirgeçlerinde matris bir rotor içerisine paketlenmiş olup, ısı değiştirgecinin ısı transfer yüzeylerini ve akış kanallarını oluşturan bu yapı ısı tekerleği olarak ta bilinmektedir [6].

Döner ısı değiştirgeçlerinde hız birçok ısı geri kazanım uygulamalarında 2.5-4 m/s'dir. Hızın düşük olması, basınç düşümünün az, etkinliğin yüksek ve işletme maliyetinin daha az olmasını sağlamaktadır. Ancak bu durum gerek tesis masrafı gerekse kapladığı alan bakımından daha büyük boyutta ısı değiştirgecini zorunlu kılmaktadır. Duyulur ve toplam ısı transferi bakımından ısı değiştirgecinin etkinliği %70- %85 dolaylarındadır. Döner ısı değiştirgeçlerinde kasa, rotor ve yapı malzemesi olarak genellikle alüminyum ve çelik kullanılmaktadır [5].

Toplam ısı transferini sağlamak amacıyla higroskopik maddeli döner ısı değiştirgeçleri geliştirilmiştir. Bu tip ısı değiştirgeçleri, diğerlerine göre %30-40 civarında daha fazla ısı transfer edebilmektedir.

Higroskopik maddeli döner ısı değiştirgeçleri gizli ısı transferiyle özellikle nemlendirmeli veya soğutmalı iklimlendirme sistemlerinde tavsiye edilmekte ve ısı geri kazanımıyla kendini kısa sürede amorti edebilmektedir. Higroskopik maddeli ısı değiştirgeçlerinin maliyeti diğerlerine göre daha yüksektir. 150000 m<sup>3</sup>/h ve daha fazla hava ihtiyacı olan büyük tesislerde higroskopik ısı değiştirgeci, ilk yatırım maliyeti dahil ucuza mal olmaktadır [7].

şekil 4'te döner ısı değiştirgecinin çalışma prensibi görölmektedir.

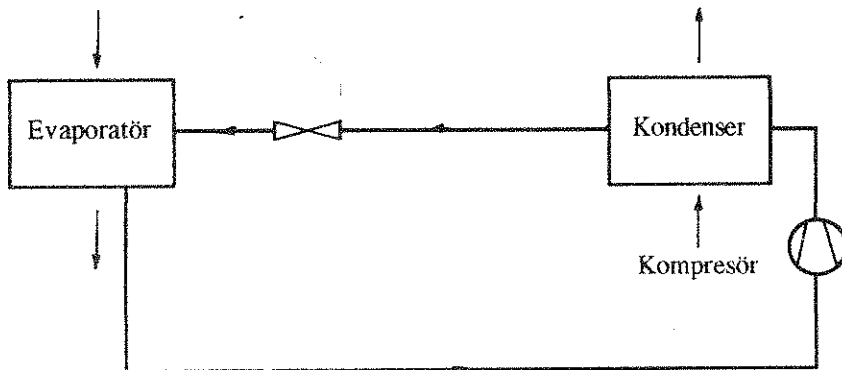


şekil 4. Döner Isı Değiştirgeci Çalışma Prensibi

#### - Isı Pompası

Isı pompası ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa transfer eden ekipmanlardır. Isı pompalı sistemlerin çalışma prensibi soğutma cihazlarıyla aynı olup sistem; kompresör, kondenser, evaporatör, genişleme vanası ve buharlaşma sıcaklığı düşük bir çalışma akışkanından oluşmaktadır. Buharlaştırıcı bölümü düşük sıcaklıktaki ısıyı geri kazanılmak istenen atık ısı kaynağına yerleştirilir. Söz konusu sistemlerde evaporatör sıvı dönüşümü yüzeysel kuvvetler yardımıyla olmakta ve evaporatörle kondenser arasında yükseklik farkı bulunma zorunluluğu bulunmamaktadır [8].

Isı pompaları ticari ısıtma sistemlerinde, endüstriyel ısıtma sistemlerinde mamul maddelerin kurutulmasında, basınçlı hava kurutulmasında büyük ölçüde kullanılmaktadır. şekil 5'te ısı pompalı sistem görölmektedir.

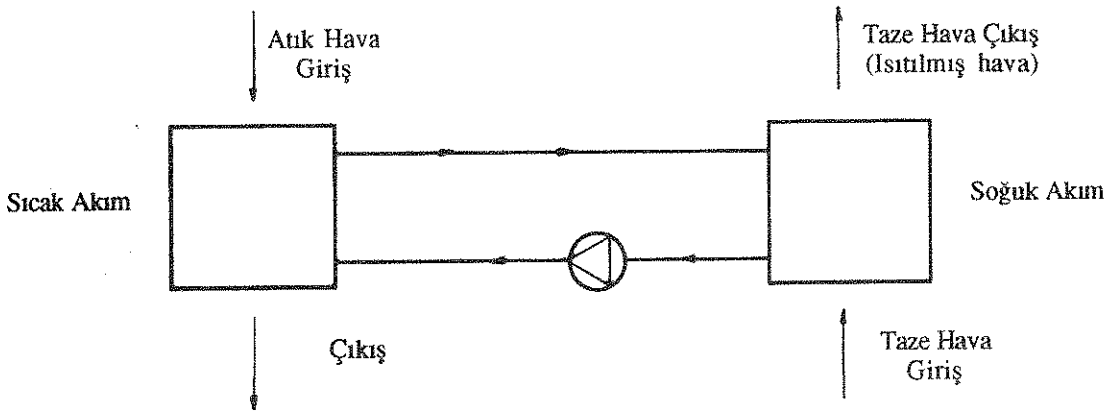


şekil 5. Isı Pompalı Isı Değiştirgeci

### - Serpantinli Isı Değiştirgeci

Taze ve atık havanın geçtiği iki serpantin arasında pompa ile bunlar içerisinde ısı taşımak amacıyla dolaşan akışkandan oluşan bir sistemdir. Serpantinli ısı geri kazanım sisteminde, sıcak atık havanın ısı taşıyıcı akışkana aktarılmakta ve ısı değiştirgecine pompalanmaktadır. Isı taşıyıcı akışkan ısını soğuk havaya vermekte ve sıcak akışkan tarafına dönmektedir. Serpantinli ısı değiştirgeçleri ile sadece duyulur enerji transferi gerçekleşmekte olup, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve düşük sıcaklık proses ısı geri kazanımı alanlarında kullanılmaktadır [3].

En önemli avantajı alınan ve atılan havanın birbirinden farklı noktalarda bulunmaları durumunda da kullanılabilmesidir. Bu sistemlerde ısı değiştirgeçlerinin yapımı kolay ve bağlantı boruları az yer kaplamakta, kurulması ise hava kanallarına oranla daha ucuz olmaktadır Ancak verimi %40 dolaylarındadır [9]. Şekil 6'da serpantinli sisteme örnek verilmiştir.



Şekil 6. Serpantinli Isı Geri Kazanım Sistemi

### - Levhalı Isı Değiştirgeçleri

Levhalı ısı değiştirgeçlerinde sistemden atılan ve sisteme alınan akışkan birbirine değmeyen bitişik yüzeylerden geçmekte ve bu esnada ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu tip ısı değiştirgeçlerinde, ısı direkt olarak soğuk hava akımı ile sıcak hava akımı arasında transfer edilmektedir. Levhalı ısı değiştirgeçleri genel olarak çapraz akış sağlayacak şekilde imal edilirler. Herhangi bir işlem sonucu üretilen sıcak atık akışkan ısı değiştirgecinin bir yöndeki kanallarından geçerken ısını kanal duvarlarına aktarmakta ve aktarılan ısı diğer yöndeki (çapraz) kanallardan geçen soğuk akışkana transfer edilerek atık havanın ısı yükünden yararlanmış olunmaktadır, şekil 7. Aynı prensiple soğuk atık havanın ısı değiştirgecinin kanallarından geçerken, soğutulmak istenen sıcak ve temiz havadan kanalları birbirinden ayıran yüzey yardımıyla ısı transfer edilmekte ve sıcaklığı yükselerek ısı değiştirgecini terk etmektedir [10].

Levhalı ısı değiştirgeçlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılan malzeme ; kağıt, cam, seramik ve metaller olmak üzere çok çeşitli olabilmektedir. Çok yüksek sıcaklıktaki atık gazlardan yararlanılmak istenildiğinde seramik malzemeler tercih edilmektedir. Yoğuşma ihtimalinin olabileceği yerlerde ince plastikler, kirli ve korozyon yapıcı atık gazların kullanıldığı yerlerde de cam malzemeler, düşük maliyetli uygun çözümler olarak kullanılabilir. Sıcaklığın 200 °C'yi geçmesi durumunda ise çelik alaşımlar kullanılmaktadır [11].

Levhalı ısı değiştirgeçlerinde levhalar çoğunlukla küp biçimli çerçeve içerisine yerleştirilirler. Levha aralıkları 2.5 -12.5 mm arasında tasarım ve uygulama yerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

Bu tip ısı değiştirgeçlerinin en önemli avantajları:

- Enerjinin taşındığı ek bir akışkan gerektirmemesi
- Temiz ve atık akışkanların birbirine karışmaması



- Mekanik hiç bir parçasının bulunmaması
- Bakımlarının kolay olmasıdır.

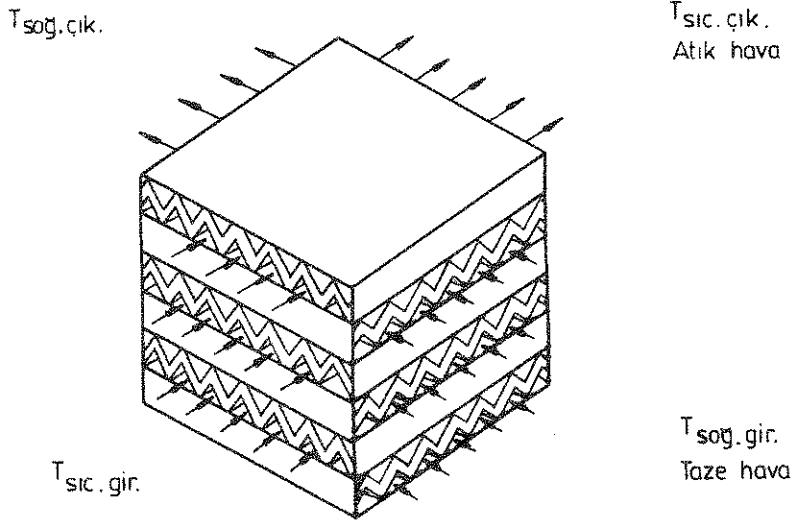
Bu sayede %60 dolaylarında ısı geri kazanımı sağlanabilmektedir [9].

Levhalı ısı değiştirgeçlerinin çok farklı şekilde ağırlık, boyut ve akış düzenlerine göre tasarımı yapılabilmektedir. Genellikle modüler yapıda olup modül kapasiteleri  $0.5-5 \text{ m}^3/\text{s}$  ve uygulama yerine göre  $50 \text{ m}^3/\text{s}'ye$  düzenlenebilmektedir. Levhalı ısı değiştirgeçleri uygulamada sadece levhadan oluşan ısı değiştirgeçleri ve kanatlı-levhalı ısı değiştirgeçleri olarak gruplandırılabilir. Sadece levhadan oluşan ısı değiştirgeçlerinde yüksek duyulur ısı geri kazanımı sağlanabilmekte ve duyulur ısı etkinliği %50-80 dolaylarında olmaktadır. Kanatlı-levhalı ısı değiştirgeçlerinde ise duyulur ısı etkinliğinde %40-60 değerlerine ulaşmaktadır [5].

Levhalı ısı değiştirgeçlerinin başlıca uygulama alanları:

- Isıtma ve havalandırma sistemlerinden ısı geri kazanımı
- Yüzme havuzlarının havalandırması
- Yakma havasının ön ısıtması
- Buhar kazanlarının baca gazlarından ısı geri kazanımı
- Gaz türbinlerinin baca gazlarından ısı geri kazanımı

şeklinde sıralanabilmektedir.



Şekil 7. Levhalı Isı Değiştirgeci

## PROJELENDİRME İÇİN TASARIM PARAMETRELERİ

Atık ısı geri kazanım sistemlerinin kurulmasında temel problemi ısı değiştirgeci tasarımı oluşturmaktadır. Isı değiştirgeci tasarımına ilk yatırım masrafı, işletme masrafı ve minimum hacim gibi kriterler doğrudan etki etmektedir. Isı değiştirgeçlerinin tasarımında Termodinamiğin 1. ve 2. Kanununa dayanan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birinci kanuna dayanan yöntemler; logaritmik ortalama sıcaklık farkı (LMTD) ve etkinlik-ısı transfer birimi ( $\epsilon-N_{tu}$ ) yöntemleridir. Logaritmik ortalama sıcaklık farkı yöntemi ile akışkanların kütle debileri, akışkanların giriş ve çıkış sıcaklıkları belirli olup LMTD'nin kullanılmasıyla ısı değiştirgecinin alanı hesaplanır. Etkinlik-ısı transfer birimi yönteminde ise akışkanların kütle debileri, giriş sıcaklıkları, ısı değiştirgecinin tipi belirli olup ısı transfer birimi kullanılarak akışkanların ısı değiştirgecinden çıkış sıcaklıkları ve sıcak akışkandan soğuk

akışkana geçen ısı miktarı hesaplanır [6]. Kays ve London [6] tarafından verilen diyagramlarla ısı değiştirgecinin türüne göre etkinlik tespit edilebilmektedir. Termodinamiğin II. Kanununa dayanan yöntem ise ısı değiştirgecinin tersinmezliğini gözönüne alarak uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemle ısı değiştirgecinin tersinmezliği belirlenerek tasarım yapılmaktadır. Minimum entropi üretimi olarak da bilinen bu metotla sadece ilk yatırım masrafları gözönüne alınmakta ve işletme masrafları dikkate alınmamaktadır. Bu metotla ilgili olarak yapılmış çalışmalar Bejan [12], Eğrican [13] ve Oğulata, Doba [14]'te mevcuttur.

Laboratuvar şartlarında tasarımı ve imalatı yapılan levhalı ısı değiştirgeci termodinamiğin 1. Kanununa göre tasarlanmış olup tablo 2'de tasarlanan levhalı ısı değiştirgecinin parametreleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Tasarımı Yapılan Levhalı Isı Değiştirgeci İle İlgili Değerler [10]

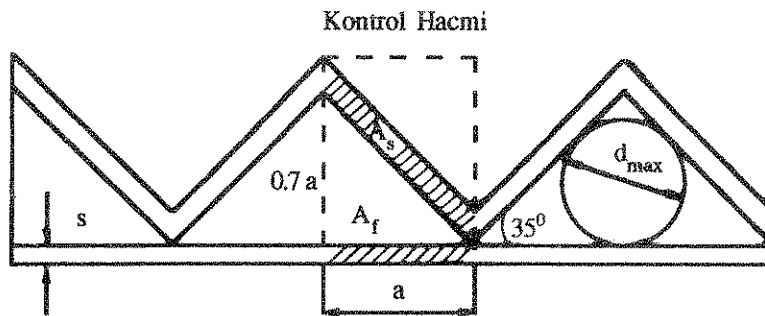
Temiz hava giriş sıcaklığı (°C)	Atık hava giriş sıcaklığı (°C)	Temiz hava çıkış sıcaklığı (°C)	Atık hava çıkış sıcaklığı (°C)	Üçgen profilin boyutu (mm)	Levha kalınlığı (mm)	Kenar uzunluğu (m)	Basınç kaybı (mmSS)
0	20	14.36	5.64	3.4	0.35	0.35	13.56

Tablo 2'de yer alan tasarım parametrelerine göre ısı değiştirgecinin verimi %70 dolaylarında tespit edilmiştir.

Levhalı ısı değiştirgeçleri çeşitli firmalar tarafından üretilmekte olup %80'lere varan etkinlikleriyle havalandırma sistemlerinde, yüzme havuzlarında, yakma havasının ön ısıtmasında geniş kullanım alanı bulmuştur. 20 000 m<sup>3</sup>/h hava debisi olan sistemlerde rahatlıkla kullanılabilir. Bu konuda çeşitli üretici firma kataloglarından detaylı bilgi temin edilebilir.

## ENDÜSTRİYEL HAVA ŞARTLANDIRMADA BİR ISI GERİ KAZANIM SİSTEMİ UYGULAMASI

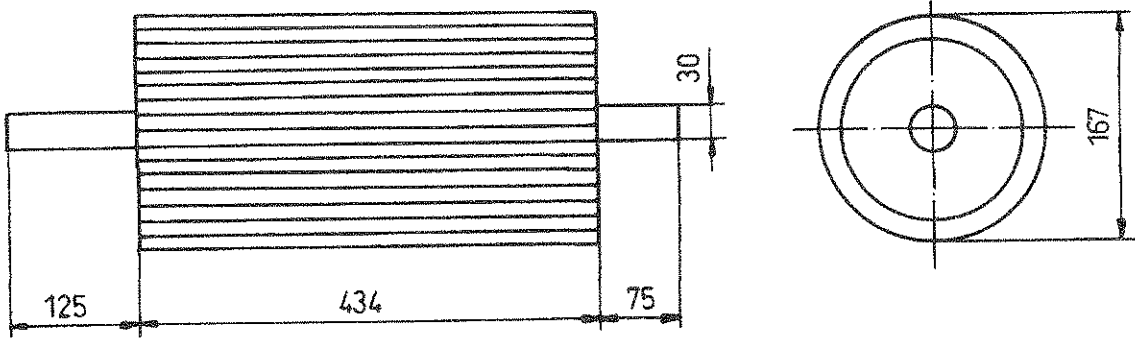
Endüstriyel hava şartlandırılmasında ısı geri kazanımının sağlanabilmesi amacıyla değişik tiplerde ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Uygulamada sık görülen ısı geri kazanım sistemlerinden biri laboratuvar şartlarında tasarımı ve imalatı yapılarak test edilmiştir. Söz konusu ısı değiştirgeci levhalı tip ısı değiştirgeci olup, ısı transfer elemanı (matris malzemesi) alüminyum olarak seçilmiştir. Korozyon direnci, imalat kolaylığı, ısı transferinin iyi olması, yanmama, dayanıklılık ve maliyet uygunluğu alüminyumun tercih edilme nedenlerinden bazılarıdır. Isı transfer kütlesi (matris), ısı transfer yüzeyini artırmak ve imalat kolaylığı nedeniyle ikizkenar üçgen profilili olarak düşünülmüştür, şekil 8. İkizkenar üçgenin taban uzunluğu 2a ve kenarları 1.22a olup a=1.7 mm olarak tasarlanmıştır [10].



**Şekil 8.** Kanal Geometrisi

İmalatı yapılan ısı değiştirgecinin ikizkenar üçgen profillerini elde edebilmek için bir dişli tertibatı düzenlenerek dişliler arasında alüminyum levhaların geçirilmesi suretiyle söz konusu profiller elde edilmiştir. Kullanılan dişli tertibatında bulunan dişlilerin boyutları şekil 9'da verilmiştir. Üçgen profilili levhalar alüminyumdan düz levhalarla birbirinden ayrılıp üst üste çapraz akış sağlayacak şekilde küp

biçimli çerçeve içerisine yerleştirilip üstten civatalarla sıkıştırılarak monte edilmiştir, şekil 7 [10].Küp çerçevenin altına sehpa yapılarak kanalların yerle temas etmesi önlenmiş ve deney düzeneğini oluşturan giriş ve çıkış hava kanalları ile çerçeve arasına lastik contalar yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanmıştır. Kanallar çerçeveye vida ile bağlanarak sökülebilir şekilde montaj sağlanmıştır [15].



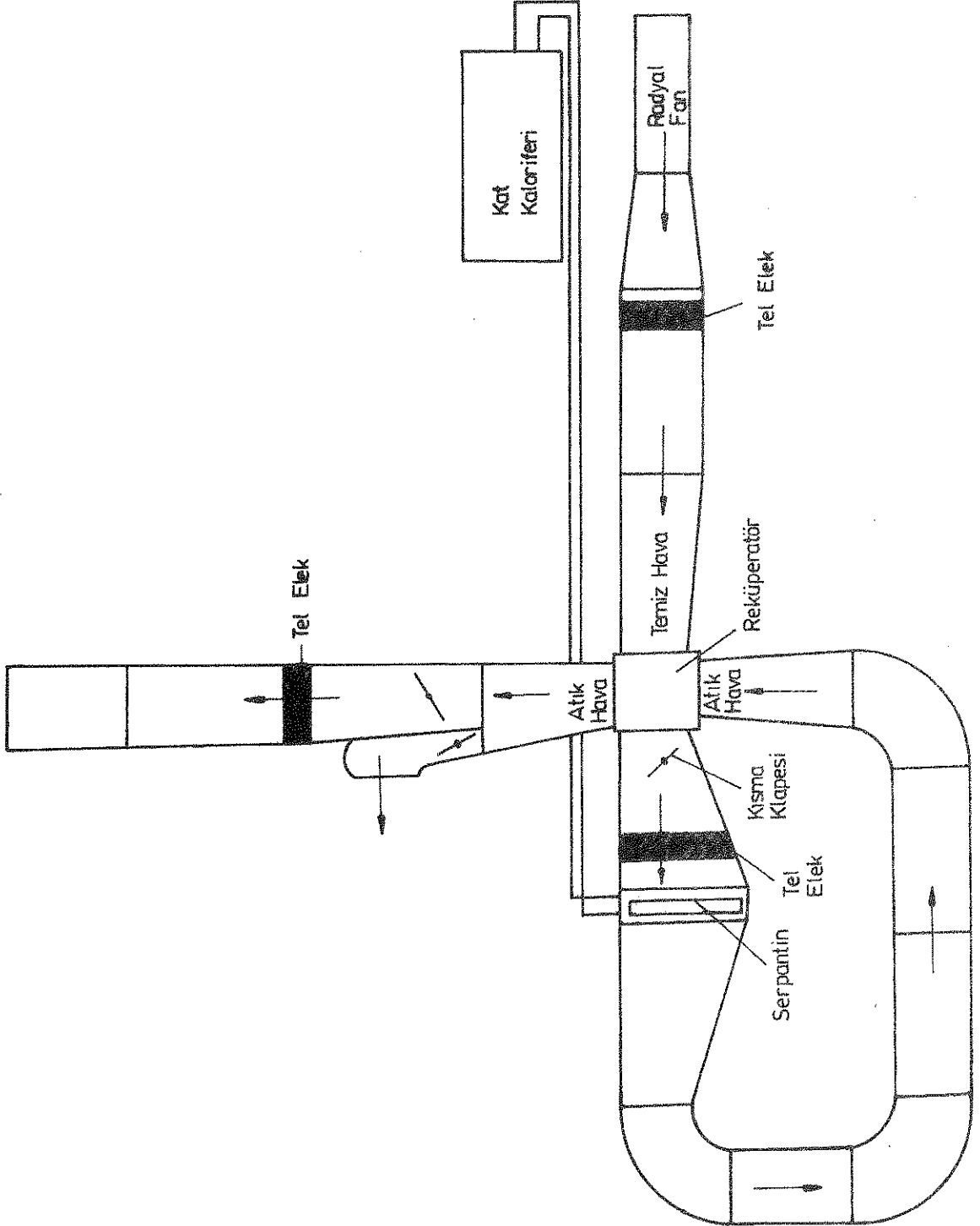
Şekil 9. Levhaya Üçgen Profili Veren Dişli Çark

İmalatı yapılan levhalı ısı değiştirgecinin etkinliğini tespit etmek amacıyla şekil 10'da görülen deney düzeneği kurulmuştur. Isı değiştirgeci bağlantılarında kullanılan giriş ve çıkış hava kanalları 0.7 mm kalınlıktaki galvanizli sactan imal edilmiş ve kanalların birleştirilmesinde kenet tekniği kullanılmıştır. Isı değiştirgecinin temiz hava tarafındaki ilk kanalın içerisine 10 000 kcal/h kapasiteli kat kaloriferinden gelen sıcak suyun dolacağı serpantin yerleştirilmiştir. Kanal içerisinde düzgün bir hız dağılımı elde edebilmek amacıyla fan çıkışından hemen sonra ve serpantin öncesi tel elekler yerleştirilmiştir. Deney düzeneğine yerleştirilen kısma klapesi yardımıyla farklı hızlarda ölçüm yapma imkanı sağlanmıştır [16]. Kat kaloriferi su sıcaklığının 60, 70 ve 80 °C değerleri için klape tam açık ve yarı açık konumdayken ısı değiştirgecine giren ve çıkan akışkanların sıcaklık ve hava hızları ölçülmüş ve ısı değiştirgecinin etkinliği tespit edilmiştir. Deney düzeneğinde uygulanan ölçüm yöntemi [17]'de detaylı olarak açıklanmıştır.

Isı değiştirgecinde üç farklı termostat ayarı için tespit edilen etkinlik değerleri ölçüm sonuçlarıyla beraber tablo 3'te görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi etkinlik %70'ler civarında tespit edilmiş olup, atık hava ısı yükünün %70'lik bir kısmının taze havaya transfer edilebileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 3. Tasarımı Yapılan Levhalı Isı Değiştirgeci İle İlgili Değerler [10]

Ölçümler	Klape Tam Açık			Klape Yarı Açık		
	60 (°C)	70 (°C)	80 (°C)	60 (°C)	70 (°C)	80 (°C)
$T_{1g}$ (°C)	50.5	58.3	59.5	50.3	56.7	49.0
$T_{2g}$ (°C)	33.6	32.2	28.8	34.6	33.2	30.9
$T_{1c}$ (°C)	37.6	37.7	35.2	38.3	39.6	35.0
$T_{2c}$ (°C)	42.9	46.5	45.6	42.7	45.4	40.8
$V_{2g}$ (m <sup>3</sup> /s)	0.19	0.2	0.2	0.18	0.19	0.19
$P_{1g}$ (Pa)	588.4	580.7	580.7	503.2	507.1	499.4
$P_{2g}$ (Pa)	1312.3	1308.4	1304.5	1308.4	1304.5	1300.6
$P_{1ç}$ (Pa)	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
$P_{2ç}$ (Pa)	592.3	588.4	576.8	681.3	677.4	673.6
Etkinlik (%)	69	68.9	68.8	72.9	71.3	70.2



Şekil 10. Atık ısı geri kazanım sistemi deney düzeneği

## SİSTEMİN AVANTAJLARI

Sabit parçalardan oluşan levhalı ısı değiştirgecinde, levha tabakaları ile taze ve atık hava kanalları birbirinden sızdırmaz bir şekilde ayrılmıştır. Isı transferi, doğrudan sıcak atık hava ile soğuk taze hava akımı arasında gerçekleşmektedir. Hava akımları arasında yalnızca levhadan oluşan bir ısı transfer yüzeyi mevcuttur ve diğer ısı değiştirgeçlerindeki gibi ikincil dirençler (sıvı pompalanması, gazların yoğunlaşması veya buharlaşması vb..) bulunmamaktadır [18]. Bu tip ısı değiştirgeçleri; temiz ve atık hava kanallarının birbirinden tamamen ayrı olması nedeniyle, özellikle kirli ve zararlı atık havanın kullarıldığı yerlerde oldukça önem kazanmaktadır. Hastane ve temiz oda uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir. Her sisteme adapte edilecek boyutlara sahiptir [11]. Çok ince alüminyum levhalardan oluşan bu sistemde, levhalar arasındaki uygun mesafe, yüksek statik basınç kayıplarına neden olmaz.

Bu tip bir ısı değiştirgeci tekstil endüstrisinde özellikle kurutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi tekstil işletmelerinde tekstil mamülleri herhangi bir yaş işleme tabi tutulduktan sonra sıcak hava ile kurutulmaktadır. Kurutucudan çıkan sıcak hava çok nemli olduğu için ısı içeriği fazla olmasına rağmen tekrar kullanılamamaktadır. Nemli çıkış havasındaki ısı levhalı ısı değiştirgeciyle kurutma havasının ön ısıtılmasında kullanılması önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir. Yapılan yakıt tasarrufu ile ısı değiştirgecinin masrafları bir yıldan daha az sürede geri ödenebilmektedir.

Levhalı ısı değiştirgeçlerinde, sıcak ve soğuk akışkanlar sürekli aynı yönde ve farklı kanallardan aktığından özellikle atık havanın bulunduğu kanallarda hava içindeki yabancı maddelerin birikmesine neden olmaktadır. Kanal kalınlığının ısı iletim katsayısı düşük birikintilerle artması, ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir. Atık havanın bir filtre ile temizlenerek ısı değiştirgecine gönderilmesi ve sık sık temizliğinin yapılması, bu tip sistemlerde üzerinde dikkatle durulması gereken bir konudur.

## SONUÇ

Düşük sıcaklık uygulamalarında; endüstriyel uygulamalarda verimli bir şekilde çalışacağı düşünülen levhalı tip bir ısı değiştirgeci laboratuvar şartlarında tasarlanıp imalatı yapılmış ve uygun bir deney düzeneği ile verim tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Uygulanmasının kolay ve geri ödeme süresinin az olması nedeniyle, endüstriyel tesislerin iklimlendirilmesinde, tekstil endüstrisinde, tarımsal ürünlerin kurutulmasında ve depolanmasında, vb.. endüstriyel uygulamalarda bu tip ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılmasıyla her türlü işletme masrafları azalacak ve sistem verimi yükselecektir. Bu durumda sözkonusu ısı geri kazanım sistemlerinin sanayide daha etkin kullanılmaları teşvik edilmeli ve geliştirilmesine çalışılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] 1994 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara 1995.
- [2] Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış: Arz, Talep ve Politikalar, TÜSIAD, Yayın No: TÜSIAD-T/94 11-1681, Kasım 1994.
- [3] Atık Isı Geri Kazanımı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 1985.
- [4] KAYANSAYAN, N. Isı Eşanjörleri (Teori ve Dizaynı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yayın No: 35, İzmir, 1983.
- [5] ASHRAE Handbook, New York, 1981.
- [6] KAYS, W.M. and LONDON, A.L. Compact Heat Exchangers, Mc-Graw Hill, New York, 1964.
- [7] YILMAZ, T. ve CİHAN, E. "Enerji Geri Kazanımında Etkin Bir Araç: Döner Tip Rejeneratörler", Tesi sat Mühendisliği Dergisi, (29-33), Aralık 1993.

- [8] YILMAZ, T. "Yapılarda Isıtma Soğutma Uygulamasında Enerji Geri Kazanım Sistemleri ve Enerji Ekonomisi", II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (597-603), İzmir, 1995.
- [9] KORUN, T. "Binalarda Atılan ve Alınan Havadan Isı ve Nem Geri Kazanım Sistemleri", Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu, (125-135), Adana, 1990.
- [10] DOBA, F. Reküperatif Tip Eşanjörlerin Optimizasyonu ve II. Kanuna Göre Değerlendirilmesi, Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, Şubat 1996.
- [11] OĞULATA, R.T., DOBA, F. ve KÜÇÜK, A. "Levhali Tip Atık Isı Geri Kazanım Sistemi", Termodinamik, Sayı 33, (67-69), Mayıs 1995.
- [12] BEJAN, A. Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [13] EĞRİCAN, N. "Isı Değiştiricisi Tasarımında Termodinamiğin II. Kanununa Dayanan Bir Yöntem", Mühendis ve Makina, Sayı 354, Cilt 30, (10-16), 1989.
- [14] OĞULATA, R.T. and DOBA, F. "Experiments and Entropy Generation Minimization Analysis of a Cross-flow Heat Exchanger", Int. J. Heat & Mass Transfer, 1997 (basımda).
- [15] KÜÇÜK, A. Reküperatif ve Rejeneratif Eşanjörlerde Verim Ölçümü, Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, Şubat 1996.
- [16] OĞULATA, R.T. ve DOBA, F. "Levhali Tip Çapraz Akışlı Isı Değiştirgeçlerinin İncelenmesi", Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1997 (basımda).
- [17] OĞULATA, R.T. ve DOBA, F. "Çapraz Akımlı Bir Isı Değiştirgecinin Teorik ve Deneysel Analizi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, Denizli, 1996.
- [18] GÜNGÖR, A. "Enerji Geri Kazanım Sistemleri", Tesisat Mühendisliği Dergisi, (7-20), 1993.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fusun DOBA

1972'de K. Maraş'ta doğdu. 1992'de Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 1993 yılında Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Bir süre Adana Meslek Yüksekokulu İklimlendirme-Soğutma Programı'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. 1996 yılında Yüksek Lisansını tamamladı. Halen aynı Üniversitenin Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

### R. Tuğrul OĞULATA

1963 yılında Tarsus'ta doğdu. 1985 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1990 yılında Doktor, 1994 yılında da Termodinamik Anabilim Dalı'nda Doçent ünvanını aldı. Halen Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.