



bu bir MMO  
yayıdır

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

## **Enerji Geri Kazanım Sistemleri**

**ALİ GÜNGÖR**

EÜ. GÜNEŞ ENERJİSİ ENS.  
BORNOVA - İZMİR

# ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ

Ali GÜNGÖR

## ÖZET

Bu bildiride özellikle iklimlendirme, havalandırma ve egzoz sistemlerinde kullanılan ısı değiştiriciler, problemleri, üstünlükleri, kontrol sistemleri, verimlilikleri ve karşılaştırılmaları verilmiştir. Üzerinde durulan ısı değiştiriciler hava-hava tip olanlar olup, ayrıca bunların bakım, konstrüksiyon ve yerleşimleriyle ilgili bilgilerde verilecektir. Ayrıca iklimlendirme uygulamalarında enerji geri kazanım yöntemleri üzerinde de durulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerjinin verimli kullanılması her uygulamada dikkatle üzerinde durulan bir konudur. Endüstriyel uygulamalarda aynı işi daha az enerji ile gerçekleştiren uygulamaların geliştirilmesi, rekabet ortamında kuruluşların ana amaçlarından biridir. Yani "enerji fakir" proseslerle amaca ulaşmak. Bu doğrultuda gerek konutlarda gerek endüstride enerji kullanım zincirinde atık enerjinin alınabilecek tüm enerjisinin geri kazanılabildiği uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu yazıda bu uygulamalardan hava-hava düşük sıcaklık ısı geri kazanım sistemleri ve ısı değiştirici tipleri üzerinde durulacaktır.

## 2. Hava-hava Enerji Geri Kazanım Sistemleri

Hava-hava enerji geri kazanımı sistemleri uygulama alanlarına göre sınıflandırılabilir, örneğin işlem-işlem, işlem-konfor, konfor-konfor uygulama alanları gibi. Tipik hava-hava enerji geri kazanımı uygulamaları Tablo -1'de listelenmiştir.

### 2.1. Uygulamalar

#### 2.1.1. İşlem-işlem

Bu tür uygulamalarda ısı işlem egzoz akımından alınarak, sağlanan yeni (taze) hava akımına transfer edilir. 870 °C mertebelerindeki egzoz akımından bile enerji alabilecek gereçler geliştirilmiştir. İşlem-işlem ısı geri kazanımı cihazları genellikle yalnızca duyulur ısıyı geri kazanır, gizli ısı (nemlilik) genellikle transfer edilmez. Nem transferi genellikle uygulanan işlemi bozucu etkiye sahiptir. İşlem-işlem uygulamalarında genellikle maksimum miktarda enerji geri kazanılır. Mevcut yoğuşabilir gazların bulunması durumunda ise daha az enerji geri kazanımı ile yetinilerek yoğuşma önlenir. Çünkü yoğuşma sonucu oluşabilecek asit etkisiyle bu korozyon oluşabilir. Örneğin baca gazlarında 160°C'in altındaki sıcaklıklara düşülmesinin istenmemesinin nedeni budur. Yoğuşma olan bacalarda delinmelere ve bozulmalara sıklıkla rastlanır.

**Tablo 1. Hava-Hava Enerji Geri Kazanımı İçin Uygulama Alanları**

| Yöntem                                     | Tipik Uygulama   |
|--|--|
| <b>İşlem-işlem<br/>ve<br/>İşlem-Konfor</b> | Kurutucular<br>Fırınlr<br>Ocaklar<br>Yakıcılar<br>Bacalar<br>Çöp fırınları<br>Boya egzozları   |
| <b>Konfor-Konfor</b>                       | Yüzme havuzları<br>Sigara dumanı egzozları<br>Çalışma odaları<br>Bakıcı evleri<br>Hayvan ahır havalandırması<br>Bitki havalandırması<br>Genel egzoz<br>Kaynak atölyeleri<br>Soyunma odaları<br>Büro ve işyerleri |

### 2.1.2. İşlem-Konfor

Bu tür uygulamalarda atık ısı bir işlem egzozundan alınarak bir bina veya hacim ısıtılmasında kullanılan havayı kış aylarında ısıtmada kullanılır. Tipik uygulamalar dökümhane, levha kaplama fabrikaları, konserve fabrikaları, kaplama operasyonları, kağıt ve kağıt hamuru fabrikaları v.b. yerlerde gerçekleştirilebilir. İşlem-işlem uygulamalarında amaç tam kapasiteyle ısının geri kazanımı olduğu halde, işlem -konfor ısı geri kazanımında ılık günlerde taze dış hava ve/veya ısıtılan hacim havasının aşırı ısınmasını önlemek için ayarlama (kontrol) gereklidir. Ayrıca yaz aylarında da ısı geri kazanımı gerekmemektedir. Bu nedenle yıl periyodunda işlem-işlem uygulamalarına göre, işlem-konfor uygulamalarında daha az enerji korunumu gerçekleştirilir.

İşlem-konfor ısı geri kazanım cihazları genellikle duyulur ısıyı geri kazanır, hava akımları arasında nem transfer edilmez.

### 2.1.3. Konfor-Konfor

Bu tür uygulamalarda, ısı geri kazanım cihazı ılık günlerde binanın taze havasının entalpisini azaltırken, soğuk günlerde artırır, bu ise taze hava ile egzoz havası arasında bu cihazla gerçekleştirilen enerji transferi ile sağlanır. Yani hem yaz ve hem de kış uygulamalarında kullanılır.

Ticari ve endüstriyel enerji geri kazanım ünitelerine ilaveten, küçük kapasiteli paket tip ticari ısı geri kazanan vantilatörlerde (HRV) geliştirilmiştir.

Konfor-konfor uygulamalarında kullanılan ısı geri kazanım cihazlarında yalnızca duyulur ısı transfer edilebileceği gibi hem duyulur hem de gizli ısı da transfer edebilir tipleri de mevcuttur.

## 2.2. Ekonomik Analizlerde Dikkat Edilecek Özellikler

Bir enerji geri kazanım cihazı uygulaması ekonomik analizinde onun amortisman süresi (yaşam süresi) dikkate alınmalıdır. En verimli cihaz veya en ucuz cihaz en ekonomik çözüm olmayabilir. Cihazların ekonomik analizleri bilinen belirli yöntemlerle maliyet/fayda analizleriyle belirlenebilir. Bu analizlerde aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmelidir.

### 2.2.1. Enerji Maliyetleri

Enerjinin mutlak maliyeti ve değişik enerji biçimlerinin rölatif maliyetleri ana ekonomik faktörlerdendir. Yüksek enerji maliyetleri enerji geri kazanımını yüksek seviyelerde yapılmasını destekler. Elektrik fiyatlarının yakıt fiyatlarından daha yüksek olduğu bölgelerde düşük basınç düşümlü (işletme maliyetleri düşük) cihazlar tercih edilebilir.

### 2.2.2. Diğer Enerji Korunumu Düşünceleri

Enerji geri kazanımı diğer maliyet düşürücü düşüncelere karşı yeniden gözden geçirilmelidir. Örneğin işlem geliştirimi ile atık enerjinin daha aza indirildiği ileri teknoloji işlemlere geçiş düşünceleri de dikkate alınmalıdır.

### 2.2.3. Kullanılabilir Atık Enerjinin Miktarı

25 L/S ve daha yukarı debilerde hava-hava enerji geri kazanım üniteleri imalat sınırları içinde mevcuttur. Yüksek etkinlik cihaz kullanımı durumunda, cihaz maliyeti ve yer gereksinimi artan eğilimlerde dir.

### 2.2.4. Atık Enerjinin Kalitesi (Derecesi)

Yüksek kaliteli (örneğin yüksek sıcaklık) atık enerjinin geri kazanımı düşük kaliteli atık enerjiye göre daha ekonomiktir. Atık enerji ile ısıtılacak akışkan arasında büyük bir sıcaklık farkının bulunması en ekonomik durumu oluşturur.

### 2.2.5. Atık Isının Sağlanma Süresi ve Bu Isıdan Yararlanma Süresinin Zaman Olarak Çakışma Durumu

Enerji geri kazanımı, atık ısının sağlanma ve yararlanmanın çakışması durumunda ve de yıl boyunca sürekliliği varsa en ekonomik olabilir. Sağlananla, kullanımın zamanlarının çakışmaması durumunda ısı depolama ve sistemi gerekir ki bu da sisteme komplekslik ve artı maliyet getirir.

### 2.2.6. Sağlanan Atık Isı Ve Kullanılacak Isının Yakınlığı

Büyük bir merkezi enerji kaynağı ve yakınında atık enerji kullanımı uygulamaları, bir çok dağıtık enerji kaynağı ile uygulamalara göre daha tercih olunabilir.

### 2.2.7. Çalışma Ortamı

Yüksek çalışma sıcaklıkları veya korozyonların varlığı, yoğuşabilirler ve partiküllerin hava akımı içinde bulunması sonucunda yüksek cihaz ve bakım maliyetleri oluşur. Cihaz maliyetlerinin yükselmesi korozyon veya yüksek sıcaklığa dirençli malzeme kullanılması nedeniyle. Bakım maliyetleri ise cihazların bakım sıklığı, temizliği ve ilave hava filtrasyon gereksinimleri nedeniyle artar.

### 2.2.8. Kirletici Kontrol Sistemlerinin Etkisi

Proses ısının geri kazanımı, kirletici kontrol sistemlerinin maliyetini azaltabilir. Örneğin daha az pahalı filtreler kullanımı; elektronik çökeltici (ayırıcı) lerin verimlerinin geliştirilmesi veya kirletici buharların yoğuşması yoluyla akıntı yönünde kirletici kontrol sistemleri yükü azalmaktadır. Bazı uygulamalarda geri kazanılan yoğuşan maddeler yeniden kullanım için işleme geri beslenebilirler.

### 2.2.9. Isıtma Ve Soğutma Cihazları Üzerine Etkiler

Isı geri kazanımı ünitelerinin kullanımı, temel kullanılan cihazların (örneğin, kazan, çiller ve yakıcılar gibi) boyutlarında azalma ve ayrıca boru çaplarında değişimler ve cihazlara elektriksel dağıtımda da kazanımlar sağlar. Enerji geri kazanım ünitelerinin kullanımı artan statik basıncın yenilmesini sağlamak için daha güçlü fan ve fan motoru kullanılmasını gerektirir. Donma (buz oluşumu) kontrolü için ayrıca yardımcı ısıtıcılar gerekli olabilir.

### 2.2.10. Nemlendirme veya Nem Alıcı Cihazlar Üzerine Etkiler

Toplam enerji geri kazanımı cihazının seçimi sonucunda yüksek nemlilikli hava akımından, daha az nem oranlı hava akımına nem transferi sağlanır. Bir çok uygulamada bu istenir, böylelikle soğuk havada nemlendirme maliyetleri azalmışken, ılık havada nem alma yükleri azaltılmıştır.

## 3. TEKNİK İNCELEMELER

### 3.1. Verim Değerlendirmesi

Hava-hava ısı değiştiricilerinin verimlilikleri genelde aşağıda belirtilen terimlerle ölçümlenir:

- . Duyulur ısı transferi (kuru termometre sıcaklığı)
  - . Gizli ısı transferi (nemlilik oranı)
  - . Toplam enerji transferi (entalpi)
- ilgili stardartlarda (ASHRAE 84-91 Nolu'lu standart) verimlilik:

$$E = \frac{\text{Gerçekleşen transfer (Enerji veya nem)}}{\text{Hava akımları arasında olabilecek en çok (maksimum) transfer}}$$

biçiminde tanımlanır.

Şekil 1'e göre:

$$E = \frac{W_s (X_1 - X_2)}{W_{\min} (X_1 - X_3)} = \frac{W_e (X_4 - X_3)}{W_{\min} (X_1 - X_3)} \quad (1)$$

yazılabilir. Burada,

E: duyulur, gizli veya toplam verimlilik

X: Kuru termometre sıcaklığı, nemlilik oranı veya entalpi (Şekil 1'de gösterilen yerlerdeki özellikler)

Wmin: Ws ve We değerlerinin en küçüğüdür.

Gizli ısı ve toplam verimlilik için:

Ws= Taze hava kütleli debisi

We= Egzoz havası kütleli debisi

Duyurulur verimlilik için:

Ws= Özgül ısı x taze hava kütleli debisi = Cp.Ms

We= Özgül ısı x egzoz havası kütleli debisi = Cp.Me alınır.

Isı Geri Kazanım Ünitesinden Çıkan Hava Akımı Koşulu:

$$X_2 = X_1 - E (W_{\min} / W_s) (X_1 - X_3) \quad (2)$$

ve çıkan egzoz havası akımı koşulu ise,

$$X_4 = X_3 + E (W_{\min} / W_e) (X_1 - X_3) \quad (3)$$

(1), (2) ve (3) eşitlikleri ısı değiştirici ve çevresi arasında ısı transferi olmaması ve fanlardan, don önleme cihazlarından veya hava akımları arası karışmadan ısı kazancı olmaması durumu varsayılarak yazılmıştır. Bu varsayım bir çok ticari büyük uygulamalar için geçerlidir. Ancak ısı geri kazanan vantilatörler (HRV) için bu varsayımlar geçerli değildir. Bu tip cihazlar için dış ısı kazançlarını da içeren, taze havanın sıcaklık yükselmesinin bir ölçüsü olan, mevcut duyulur verimlilik, enerji kazanım verimi olarak alınır.

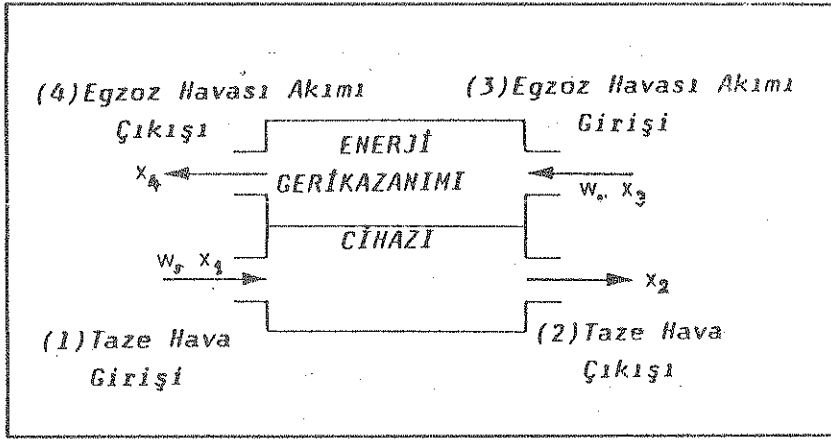
Verimliliği etkileyen bir çok değişken vardır. bunlar, ılık hava akımının nemliliği, ısı transfer alanı, ısı değiştiriciden akış hızları, hava akış biçim ve düzeni, taze ve egzoz havası kütleli debileri ve buzlanma kontrol yöntemidir. Bu etkilerin bazıları Şekil 2,3 ve 4'de gösterilmiştir.

Hava- hava enerji geri kazanım cihazları duyulur ve toplam ısı geri kazanım cihazları olarak üretilmektedir.

Duyulur ısı gerikazanım cihazlarında nem transferi olmamakta ve taze ile egzoz havaları arasında gizli ısı değişimi de olmamaktadır. Ancak egzoz hava akımının çığ noktası altındaki sıcaklıklara soğutulması durumunda gizli ısı değişimi yoğunlaşmanın oluşması nedeniyle gerçekleşebilir.

Toplam ısı gerikazanım cihazlarında duyulur ısı ve gizli ısı (nemlilik) her ikisinde taze hava ve egzoz havası akımları arasında transfer olur. İşlem-işlem, işlem-konfor uygulamalarından istenmeyen gizli ısı transferi konfor-konfor uygulamalarında sıklıkla istenmektedir.

Tipik bir duyulur ısı geri kazanım işlemi taze ve egzoz hava akımları arasında şekil 2'de gösterilmiştir. Soğuk hava 1'den 2'ye ısıtılırken, sıcak hava 3'den 4'e soğumaktadır (sabit özgül nem de). Bu örnekte, soğuk hava sıcaklığı sıcak havanın çığ noktası sıcaklığının üzerinde olup, yoğunlaşma oluşmamaktadır.)



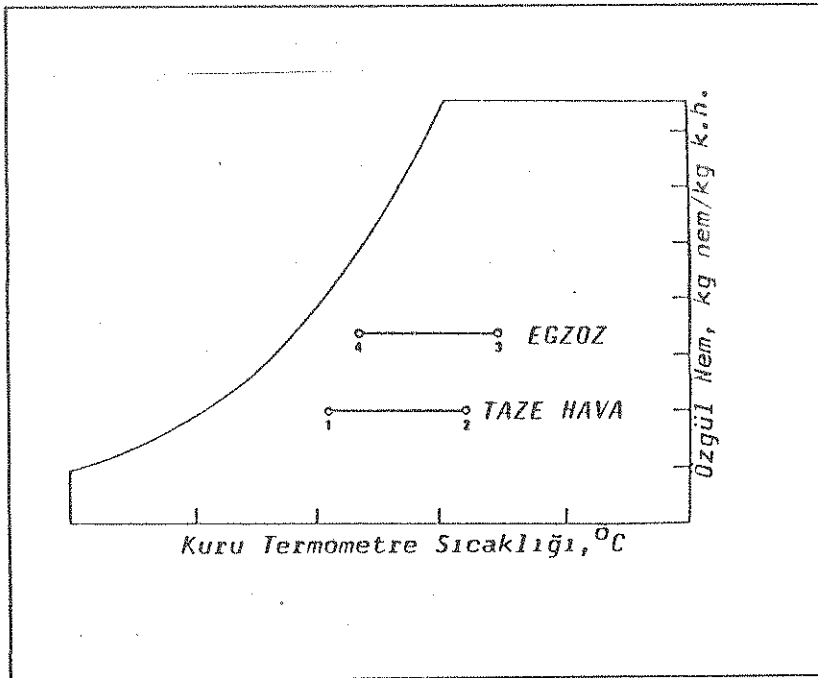
Şekil 1. Enerji Geri Kazanım Cihazında Hava Akımları Ve Özellikleri

Şekil 3, sıcak hava akımında yoğunlaşma olması durumunda duyulur ısı geri kazanımı işlemini göstermektedir. Soğuk tarafta da buharlaşma gerçekleşmektedir. Burada gizli ısı transferi toplam verimliliği artırır.

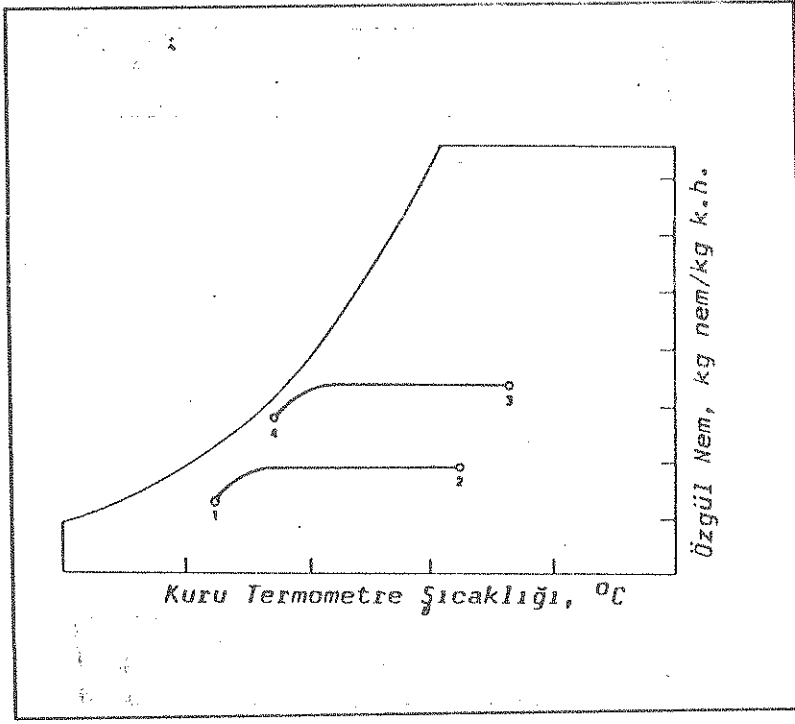
Şekil 4, Gizli ve toplam ısı verimliliklerinin eşit ve kütesel debilerin eşit olduğu zaman gerçekleşen bir toplam ısı geri kazanımı uygulamasını göstermektedir. Bu durumda 2 ve 4 çıkış durumları soğuk hava giriş noktası, 1, ve sıcak hava giriş noktası, 3 durum noktalarını birleştiren doğrultu üzerinde bulunur.

Şekil 5, %70 verimlilikli duyulur ısı kullanan bir konfor-konfor uygulaması cihazı uygulamasındaki değerleri göstermektedir.

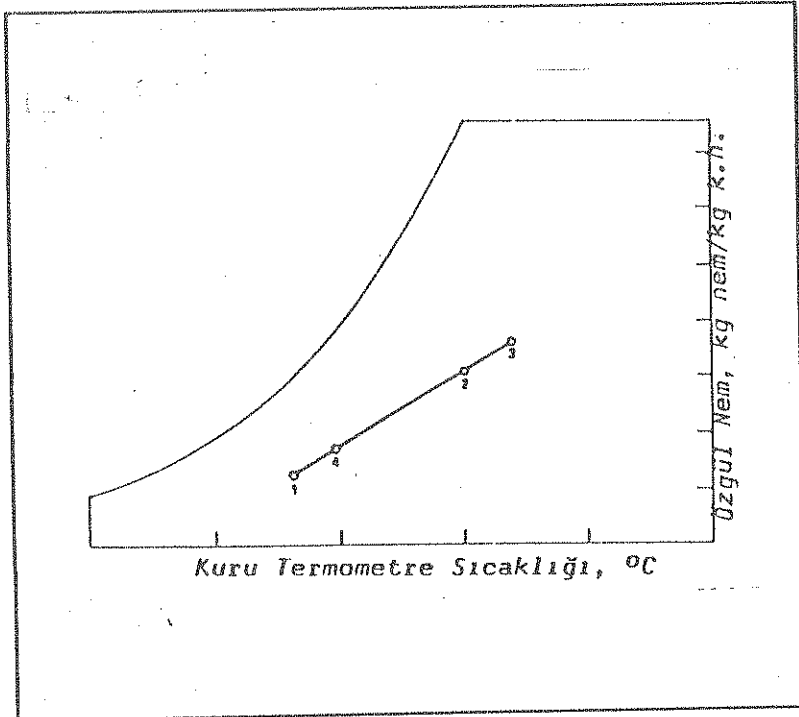
Şekil 6'da aynı koşullarda çalışan %70 verimlilikli duyulur ve gizli ısı kullanan bir cihaz uygulamasındaki değerleri göstermektedir. Tipik yaz tasarım koşullarında toplam ısı cihazı, duyulur ısı cihazının üç katı düzeyinde ısı transfer etmektedir. Tipik kış tasarım koşullarında toplam ısı cihazı, duyulur ısı cihazından %25 daha fazla ısı geri kazanır. Şekil 7, bu prosesleri yaz ve kış işletmeleri durumunda psikrometrik diyagramda karşılaştırmalı olarak vermektedir.



Şekil 2. Duyulur Isı Geri Kazanımı

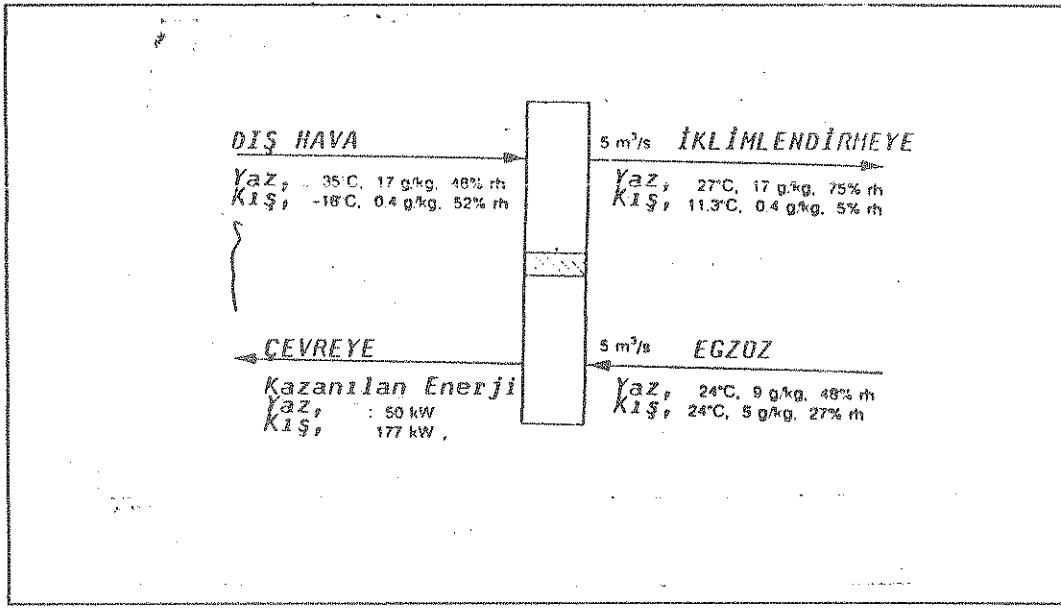


Şekil 3. Duyulur Döner Isı Değiştirici (Isı Tekerı) Gizli Isı Geri Kazanımı



Şekil 4. Toplam Isı Geri Kazanımı





Şekil 5. Konfor-Konfor Duyulur Isı Cihazı

### 3.2. Kirlenme (Fouling)

Kirlenme (Fouling) terimi ısı değiştirici yüzeylerinde toz veya yoğuşanların birikimini içermektedir. Bu birikim sonucunda hava akışına direnç oluşmakta ve ısı transfer katsayılarında azalmayla, kirlenme ısı değiştirici verimini azaltır. Ayrıca artan direnç, fan güç gereksinimini artırır ve hava akışını azaltabilir.

Basınç düşümü, kirliliğin bir göstergesi olarak değerlendirilir ve temizleme işlemlerine geçilebilir. Sistem verimliliğinin maksimize edilmesi için ısı değiştirici yüzeyler temiz tutulmalıdır.

### 3.3. Korozyon

İşlem (proses) egzozları genellikle içerdikleri maddelerle korozyon dirençli imalat malzemeleri gerektirirler. Eğer bir uygulama için en uygun korozyon-dirençli malzemeler bilinmiyorsa kullanıcı ve /veya tasarımcı yerinde deneme, ilgili litaretürleri gözden geçirme ve cihaz imalatçısıyla temasa geçme yoluyla malzeme seçimini gerçekleştirir. İnşa maliyetlerinin yüksek ve atmosferin korozif olması durumunda, önerilen çalışma atmosferinde ısı değiştirici konstrüksiyon malzemelerinin korozyon çalışması yapılmalıdır.

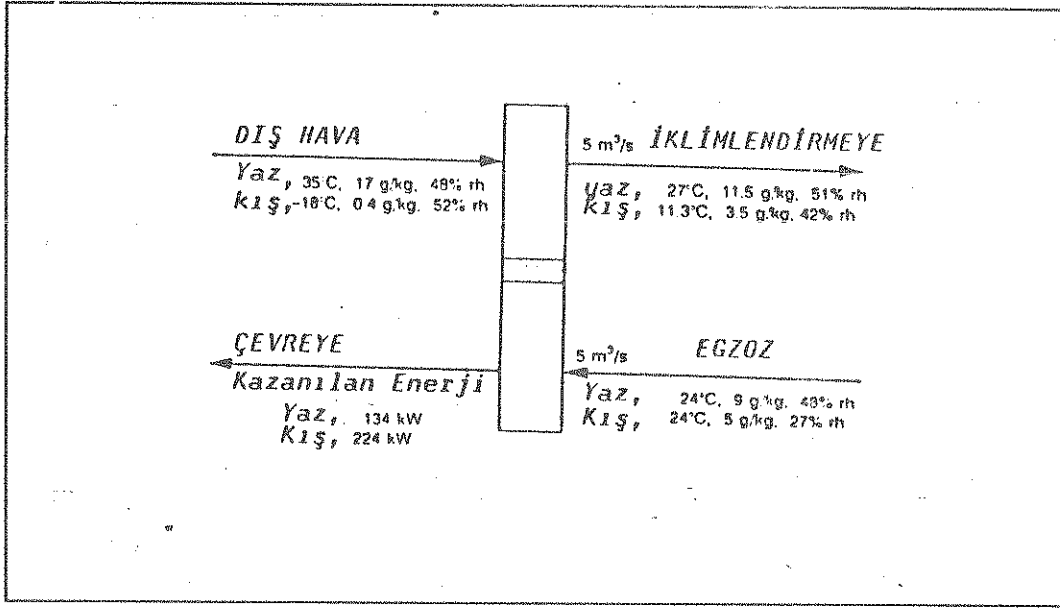
Zamanla cihazlarda orta bir korozyon oluşur, metal yüzeylerinde pürüzlülükler ve ısı transfer katsayılarında artmalar oluşur. Aşırı korozyon durumunda ise toplam ısı transferi azalır ve sonuç olarak hava akımlarının oluşacak delikler veya mekanik bozukluklardan karışması artar.

### 3.4. Akımların Karışması

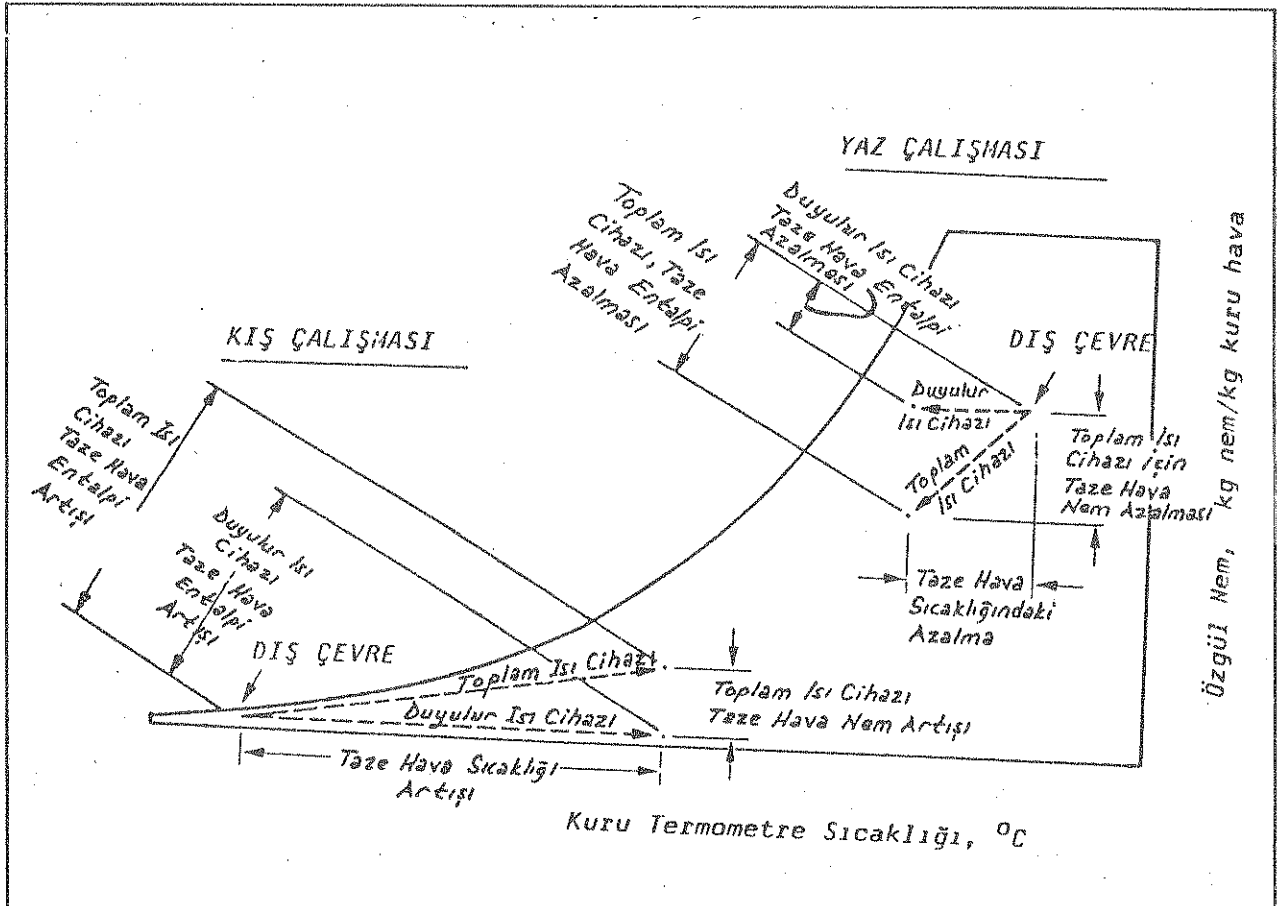
Egzoz ve taze hava akımlarının birbirine sızıntısı, birbirini kirlenmesi ve karışması hava-hava ısı değiştiricilerde oluşabilir. bu karışım olayı, eğer egzoz gazları toksik veya kokulu ise önemli bir problemdir. Akım sızıntısı ısı değiştirici tipi, tasarımı, hava akımları statik basınç farklılıkları ve ısı değiştiricinin fiziksel durumu ile değişkenlik gösterir.

### 3.5. Yoğuşma ve Donma

Yoğuşma, buz oluşumu ve/veya donma ısı değiştirici yüzeylerinde oluşabilmektedir. Giriş ve çıkış etkilerini ihmal edilirse, ılık hava akımının giriş koşullarından çıkış koşullarına soğutulması esnasında dört ayrı hava/nem bölgesi oluşabilir. Birinci bölge yoğuşmanın



Şekil 6. Konfor-Konfor Toplam Isı Cihazı



Şekil 7. Konfor-Konfor Duyulu Isı ve toplam Isı Cihazları Kış ve Yaz Çalışmalarının Psikrometrik Diyagramda Gösterilişi

olmadığı kuru bölgedir. Ilık hava akımı çığlenme noktasının altındaki sıcaklıklara soğutulduğunda, ısı değiştirici yüzeylerinin ıslanması sonucunu oluşturan, bir yoğuşma bölgesi varlığını gösterir. Eğer ısı değiştirici yüzeyi donma noktasının altındaysa, yoğuşan su donacaktır. Sonuç olarak, eğer ılık hava akımı sıcaklığı 0°C'in altına indiğinde, sublimasyon kırağı (buz) oluşum nedenidir. Bu bölgelerin ve yoğuşma ve buz oluşumunun hızları, donma koşullarında kalma süresi, hava akımı hızları, giriş havası sıcaklık ve nemliliği, ısı değiştirici gövde sıcaklıkları, ısı değiştirici verimliliği, geometri, yerleşim ve ısı transfer katsayılarına bağlıdır.

Duyulur ısı değiştiricileri, genellikle ısı transferinin istendiği, nem transferlerinin istenmediği durumlar için ideal uygun (yüzme havuzları, mutfaklar, kurutma fırınları gibi) gereçler olup yoğuşma oluştuğunda egzoz gazlarından gizli ısı çekilerek kazanılır. Bir kilogram nem yoğuşması oda sıcaklığında gelen havaya yaklaşık 2440 kJ enerji kazandırır.

Yoğuşma ısı transfer hızını ve dolayısıyla duyulur verimliliği artırır. Yoğuşma ayrıca hava akış kanallarında daralma oluşturduğundan basınç düşümü ayrıca artabilir. Isı değiştirici yüzeylerinde buz birikimi başlangıçta enerji transferlerini geliştirirken daha sonraları egzoz hava akımını sınırlar, neticede enerji transfer hızı indirgenir. Ekstrem durumda, egzoz hava akımı (ısı tekeri durumunda taze hava da) bloke duruma gelebilir.

Kırağı ve buz entalpi ısı değiştiricilerde, duyulur ısı değiştiricilerden daha düşük sıcaklıklarda oluşur. Dönen tip entalpi ısı değiştiricileri kimyasal absorplayıcılar kullanmakta olup, yoğuşma absorplayıcının sıvı haline gelmesine ve ısı değiştiricinin sürekli zarar görmesine neden olabilir.

Isı değiştiricide basınç düşümünün artışı don ve buzlanmanın bir göstergesidir. Don veya buz oluşumu taze havanın ön ısıtılması veya ısı değiştirici verimliliğinin azaltılması (örneğin, ısı tekeri hızının azaltılması, ısı borularının eğiminin değiştirilmesi veya taze hava akışının bir kısmının ısı değiştirici etrafından geçirilmesi, by-pass, yoluyla) yoluyla önlenebilir. Alternatif olarak ısı değiştirici periyodik defrostlanabilir. Geliştirilen birçok efektif defrost sistemi de ticari konut kullanımı uygulamalarında görülebilir.

Duyulur ısı değiştiricilerde sistem tasarımı ılık hava akımından yoğuşan sıvı sızıntısının toplanma ve atılmasını da kapsamalıdır. Konfor-konfor uygulamalarında yoğuşma yaz aylarında taze hava tarafında, kış aylarında ise egzoz havası tarafında oluşur.

### 3.6. Basınç Düşümü

Isı değiştiricide her bir hava akımının basınç düşümü, tasarım, gaz kütleli debileri, sıcaklık, nem ve giriş ile çıkış havası bağlantıları gibi bir çok faktöre bağlıdır.

Uygulama gereksinimleri, verimlilik ve basınç düşümü arasında ekonomik bir denge kurulması gereklidir. Verilen bir ısı değiştiricide diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile, basınç düşümü aşağıdaki koşullarda artar:

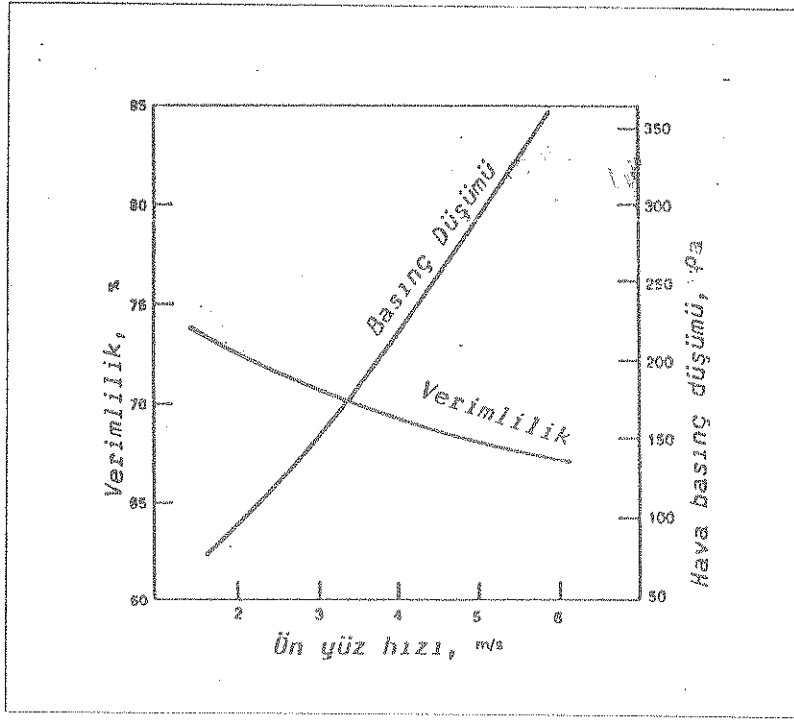
- . Gaz sıcaklığı ile eksponansiyel artar.
- . Isı değiştirici yüzeylerinde nem yoğuşursa
- . Kirlilik artarsa
- . Hava akımları arasındaki basınç farklılığı, hava geçiş kanallarında bozulmalara neden olursa
- . Barometrik basınç artarsa
- . Hava hızları ile eksponansiyel artar.

### 3.7. Ön Yüz Hızı

Isı değiştiricide ön yüz hızı tasarım değeri, geri kazanım verimliliğinden daha çok izin verilen basınç düşümü esas alınarak belirlenmelidir. Geri kazanım verimliliği artan hızla azalır, fakat azalma basınç düşümü artışıdaki gibi hızlı değildir. Şekil 8.. Düşük önyüz hızları düşük basınç düşümü, yüksek verimlilik ve düşük işletme maliyeti oluşturmakla birlikte daha büyük ısı değiştirici üniteleri, yüksek maliyet ve daha büyük yerleşim yeri gerektirir.

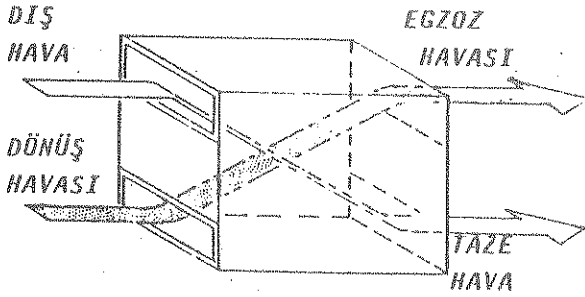
### 3.8. Hava Akıtılış Biçimleri

Hava akıtılış biçimleri taze ve egzost havasının akış yönlerine göre değişir. Ters yönlü

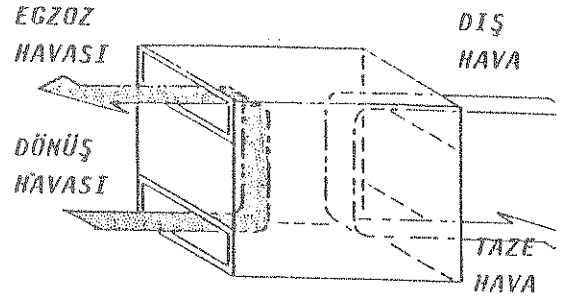


Şekil 8. Ön yüz hızı, verimlilik ve hava basınç düşümü arasındaki tipik ilgi

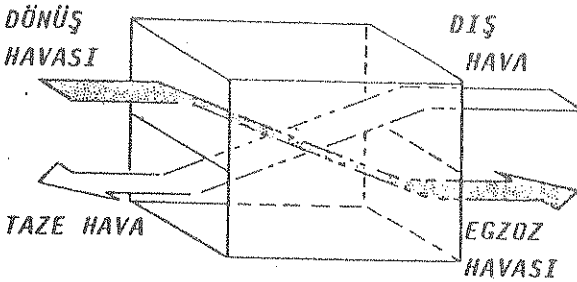
akıtılış biçimi en yüksek teorik verimliliğe sahiptir fakat diğer akıtılış biçimleri de pratik tasarım ve kondirüksiyon yönünden ele alındığında bilinen ve uygulanan yöntemlerdir. Şekil 9'da yangın hava akıtılış biçimleri gösterilmektedir.



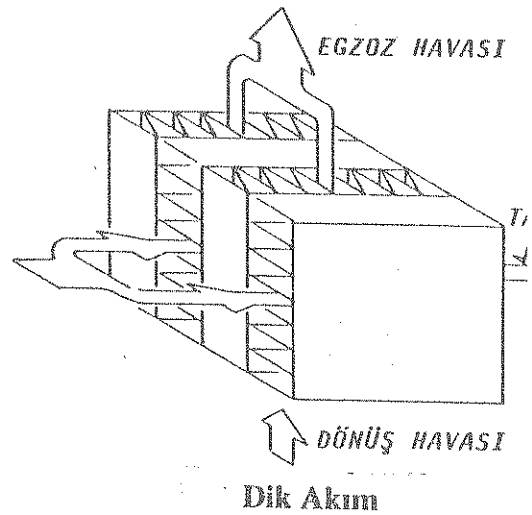
Aynı Yönlü paralel Akım



Ters Yönlü Paralel Akım



Ters Yönlü Paralel Akım



Dik Akım

Şekil 9. Isı Değiştirici Hava Akıtılış Biçimleri

### 3.9. Bakım

Isı değiştirici yzeylerinin temizlenmesinde kullanılan yntemler giderilecek malzemenin yapısı ve ısı değiştirici iinde kullanılan mekanizma veya transfer ortamına bağlıdır. rneğin mutfak egzozlarında yzeylerde yaę birikimi olur ve bunun giderilmesi kontrollu sulu yıkama sistemlerince gerçekleştirilir. Dięer çeşit birikintiler vakumla, kanallara basınçlı hava pškürtülmesiyle, buharlı temizlemeyle, elle pškürtmeli temizlemeyle, ımitenin sabunlu su veya özütülerle yıkanmasıyla veya kurum üfleyicilerle temizlenebilir. Temizleme yntemi tasarım aşamasında özömlenerek ısı değiştiricinin uygun seğimi yapılmalıdır.

Temizleme sıklığı, egzoz hava akımının ozelliklerine bağlıdır. Isıtıma havalandırma ve iklimlendirme sistemleri genellikle sık olmayan temizlik gerektirirken, endüstriyel sistemler daha fazla temizlik gerektirir.

### 3.10. Filtre sistemleri

Filtreler taze hava ve egzoz hava akımlarının her ikisinde de kirliliği ve temizleme sıklığını azaltmak için bulundurulmalıdır. Egzoz filtreleri genellikle daha önemlidir, çünkü iinde yapışkan veya yağlı yapıda maddeler ierir ve bunlar hava akış kanallarında tıkanma etkisi oluştururlar. Taze hava filtreleri de böcekler, yapraklar ve diğer yabancı maddelerin girişini önler ve ısı değiştiriciyi korur. Kar ve buz hava akışını bloke eder ve değişik problemlere neden olur. Sürekli taze hava akımını sağlamak önlemleri tasarımda dikkate alınmalıdır.

### 3.11. Kontroller

Isı değiştiricilerde kontroller buzlanma oluşumu kontrolü veya belirli çalışma koşullarında tasarlanmış sistemin enerji transfer miktarını ayarlama amaıdır.

rneğin dış hava koşullarının değişimi gibi nedenlerle taze havanın aşırı ısınmasının veya aşırı nemlenmesinin kontrolü gerekebilir. Bu kontrol mekanizmaları ısı değiştiriciye göre farklılıklar gösterebilir, rneğin ısı borulu ısı değiştiricide bu eğim değiştirilerek sağlanırken, ısı tekerlerinin dönme hızının değişimi veya durdurulmasıyla veya hava akımının bir kısmının by-pass yapılarak ısı değiştiriciden geçen kütle sel debiyi azaltarak (veya başka bir değişle taze hava ve egzoz havası kütle sel debilerini değiştirerek) sağlanabilir.

### 3.12. Dolaylı Buharlaştırılmalı ( İndirekt evaporatif ) Hava soğutma

Su arasından veya üzerinden geçen hava doymuş hale gelinceye değin su absorplar (oda sıcaklığında suyun buharlaştırılması için havadan çekilen bu enerji 2440 kJ/kg su dur). Hava akımından alınan bu duyulur enerji hava akımında gizli enerji olarak kalır. Bu işlem psikrometrik diyağramda sabit yaş termometre doğrultusu boyunca gerçekleşir. Böylelikle hava akımının enerji seviyesi yaklaşıklıkla sabit kalır, nem artar ve kuru termometre sıcaklığı azalır.

Bu belirtilen soğuma etkisi dolaylı ve dolaysız buharlaştırılmalı hava soğutma olarak uygulanabilmektedir. Dolaylı buharlaştırılmalı soğutma uygulamalarında hava-hava ısı değiştiriciler kullanılır.

Dolaylı buharlaştırılmalı soğutmada ısı borulu, iki fazlı termosifon devreli ve düz-levha tipi ısı değiştiriciler yaz soğutması amaçlı kullanılmıştır. Bu uygulamalarda egzoz veya atık hava akımı bir pškürtölen su akımından, bir ıslak filtreden veya başka ıslatılmış bir ortamdan geçirilir, sonuç olarak taze hava akımı ile bu akım arasında büyük bir sıcaklık farkı olur ve böylece ısı transfer edilerek taze havanın soğutulması sağlanır. ıslatılmış egzoz tarafı ısı transfer yzeyleri nedeni ile ısı transfer katsayıları yüksek değerlere çıkarılmıştır.

Ayrıca taze hava akımına nem transferi yoktur ve fan ve su pompalama gücü dışında enerji kullanımı yoktur. Enerji verimlilik oranı dolaylı buharlaştırılmalı soğutma sistemlerinde yüksek e olup, tipik olarak yaş termometre değişimi ile bağlantılı 30 ile 70 değerleri arasındadır.

Böylelikle daha az son soğutmaya gereksinim duyulur, enerji gereksimi ve ani (pik) yük her ikisi de azalmaktadır. Bu ise daha az enerji tüketimi anlamına gelmektedir.

Mekanik soğutma sistem gereksinimleri azalmakta, daha küçük soğutma sistemi seçilebilir ve gereksinime karşılanabilir. Bazı durumlarda, mekanik sistem olmadan da özöme gidilebilir.

#### 4. Hava-Hava Isı Geri kazanımı Isı Değiştirici Cihazlar

Tablo 2'de yaygın kullanılan hava-hava ısı geri kazanım cihazlarının karşılaştırmalı verilerini göstermektedir (1). Tablo 3'de ve Tablo 4'de değişik ısı değiştiricilerin karşılaştırılmaları verilmiştir (2).

##### 4.1.Sabit Levhali Tip Isı Değiştirici

Sabit yüzeyli levha tip ısı değiştiricinin hareketli bir parçası yoktur. Levha tabakaları ile egzoz ve taze hava geçiş kanalları ayrılmış ve sızdırmaz hale getirilmiştir. Levhalar arası uzaklıklar 2.5 ila 12.5 mm arasında tasarım ve uygulamaya göre değişiklik gösterir. Isı direkt olarak ılık egzoz hava akımı ile soğuk taze hava akımı arasında transfer edilir.

Pratik tasarım ve konstrüksiyon kısıtlamaları dik akımlı ısı transferi nedeniyle, ancak ters yönlü (karşıt) paralel akımlı uygulamalarda ilave ısı transfer yüzeylerinin oluşturulmasıyla ısı transfer verimliliği artırılabilir.

Normal olarak yoğunlaşma ile oluşan gizli ısı (ılık egzoz hava akımının çığ noktası sıcaklığının altına düşmesi sonucu yoğunlaşması) ve duyulur ısı her ikisi soğuk (taze hava) akıma ayrılmış levhalar arasından iletilir. Böylece enerji transferi gerçekleşir, fakat nem transferi olmaz. Atık egzoz ısısının %80'ine kadar kısmını geri kazanan üniteler gerçekleştirilebilir.

##### 4.1.1. Tasarımda Gözönünde Tutulacak Noktalar

Levhali tip ısı değiştiriciler bir çok şekil, malzeme, boyut ve akış biçiminde bulunabilir. Bir çoğu modüler yapıda olup, bu modüller değişik hava hızları, verimlilik ve basınç oluşumu gereksinimlerinde sağlanabilir. Levhalar kendileriyle bütünleşik kalıpta biçimlendirilmiş değişik şekilli çıkıntularla aralarındaki mesafeler korunur veya ayrı dış ayırıcılar (destekler, oluklar) sağlanabilir. Hava akımı ayırımları sızdırmazlığı kıvrıma, çoklu kıvrıma, yapıştırma, kaynak veya herhangi bir yöntemle (uygulama veya imalatçıya bağlı) sağlanır. Isı transfer yüzeylerin temizleme, ulaşma kolaylığı imalat biçimiyle bağlantılıdır.

Levhalar arasındaki ısı transfer direnci, levhaların iki tarafındaki hava akımı sınır tabaka dirençleriyle karşılaştırıldığında küçüktür. Isı transfer verimliliği levhaların ısı transfer katsayısından esasen etkilenmez. Alüminyum en yaygın kullanılan Levha malzemesidir, bu korozyon direnci, imalat kolaylığı ısı transfer özelliği, yanmama, dayanıklılık ve maliyet nedeniyle. Sıcaklığın 200°C'ı geçmesi durumunda ve maliyetin bir anahtar faktör olmaması durumunda çelik alaşımları kullanılabilir. Plastik malzemeler ve hatta cam korozyon direnci gereksinimi durumunda düşük maliyetli uygun çözümler olarak kullanılabilir. Levhali ısı değiştiriciler genellikle yalnızca duyulur ısı transfer eder ancak su geçirgen malzemeler, örneğin özel işlenmiş kağıt gibi, kullanıldığında gizli ısı (nem) transferi de gerçekleştirilebilir. Böylece toplam (entalpi) ısı değişimi sağlanır.

İmalatçıların çoğu bu tip ısı değiştiricileri modüler imal eder ve modül kapasiteleri 0.01-4.7 m<sup>3</sup>/s arasında olup 50m<sup>3</sup>/s yi aşan birleşimler düzenlenebilir. Bu çoklu boyut ve birleşimlerle aşağı yukarı bütün hacimsel yerleşim ve verim gereksinimleri karşılanabilir.

Şekil 10'da Sabit Levhali bir ısı değiştiricide hava akımları gösterilmektedir.

##### 4.1.2. Verimlilik Durumu

Bu ısı değiştirici ekonomik olarak yüksek duyulur ısı geri kazanımı değerlerine ulaşabilir. Çünkü hava akımları arasında yalnızca levhadan oluşan bir ısı transfer yüzeyi mevcuttur. Diğer ısı değiştirici tiplerindeki gibi ikincil dirençler (örneğin sıvı pompalanması, gazların yoğunlaşma veya buharlaşması veya ısı transfer ortamının taşınması gibi)

bulunmamaktadır. Basitlik ve bunun yanında hareketli parçanın olmaması, uzun ömürlülük, düşük yardımcı enerji gereksinimi emniyetli kullanıma katkıda bulunan özelliklerdir.

**Tablo 2 Hava-Hava Enerji Geri Kazanım Cihazlarının Karşılaştırılması  
(İklimlendirme ve Düşük Sıcaklık Uygulamaları İçin)**

|   | Sabit Levhali tip<br>Tipik Verimlilik  | Döner Teker<br>(İsti tekeri)   | Isı Borulu   | Serpantinli Devreli   | Termosifon Tip  | İkiz Kule tipi  |
|---|--|--|--|---|---|---|
| Hava Akıtılış<br>Bijimleri                                  | Aynı Yönlü Paralel<br>Ters Yönlü<br>Dik Akım   | Aynı Yönlü Paralel<br>Ters Yönlü Paralel   | Aynı Yönlü Paralel<br>Ters Yönlü Paralel   | Aynı Yönlü Paralel<br>Ters Yönlü Paralel  | Aynı Yönlü Paralel<br>Ters Yönlü Paralel  |   |
| Cihaz Boyutu Kapasitesi<br>(Hava Akımı)<br>Tipik Verimlilik | 25 L/S ve Yukarısı<br>Duyulur (%50-%80)  | 25 - 35000 L/S<br>Duyulur (%50-%80)<br>Gizli (%45-%55)   | 50 L/S ve Yukarısı<br>Duyulur (%55-%65)  | 50 L/S ve Yukarısı<br>Duyulur (%45-%65)   | 50 L/S ve Yukarısı<br>Duyulur (%40-%60)   | Duyulur<br>(%40-%60)<br>Gizli<br>(%45-%55)  |
| On Yüz Hızı (m/s)<br>(En Yaygın Tasarım Hızı)               | 0.5 - 5<br>(1 - 5)   | 2.5 - 5  | 2 - 4<br>(2.2 - 2.7)   | 1.5 - 3   | 2 - 4<br>(2.2 - 2.7)  | 1.5 - 2.2   |
| Basınç Düşümü, Pa<br>(En Olabilecek Basınç<br>Düşümü)       | 5 - 450<br>(25 - 370)  | (100 - 170)  | (100 - 500)  | (100 - 500)   | (100 - 500)   | 170 - 300   |
| Sıcaklık Bölgesi  |  | (-60) - (800 °C)   | (-40) - (35 °C)  |   | (-40) - (+40 °C)  | (-40) - (+46) °C  |
| Temin Etme<br>Biçimi  | Yalnız Isı Değiştirici<br>Isı Değiştirici + Taşıyıcı<br>Isı Değiştirici + Fan<br>Komple Sistem   | Yalnız Isı Değiştirici<br>Isı Değiştirici + Taşıyıcı<br>Isı Değiştirici + Fan<br>Komple Sistem | Yalnız Isı Değiştirici<br>Isı Değiştirici + Taşıyıcı<br>Komple Sistem  | Yalnız Isı Değiştirici<br>Isı Değiştirici + Taşıyıcı                            | Yalnız Isı Değiştirici<br>Isı Değiştirici + Taşıyıcı  |   |
| Üstünlükleri  | Hareketli Parça yoktur<br>Sızıntı yoktur<br>Değişik Boyutlarda<br>Değişik Malzemelerle<br>Düşük Basınç Düşümü<br>Yüksek Verimlilik<br>kolay Temizlik | Gizli İsti Transferi<br>Kompakt Büyük Boyutlar<br>Düşük Basınç Düşümü<br>Yüksek Verimlilik     | Hareketli Parça Yoktur.<br>Sızıntı Yoktur<br>Değişik Boyutlarda<br>İzin Verilen Basınç<br>Farkı 60 in ss<br>Fan Yeri Tehlikeli<br>Değil. | Egzoz Hava Akımı,<br>Taze Hava Akımından<br>Uzakta (Aynı)<br>Aktulabilir.       | Hareketli parça yoktur.<br>Sızıntı yoktur. Ekzoz<br>hava akımı, taze hava<br>akımından uzakta (aynı)<br>aktulabilir.<br>Fan yeri tehlikeli değil.<br>Mikrobiyolojik temizleme | Uzak Hava Akımından<br>Gizli İsti Transferi.<br>Tek Bir sistemde çoklu<br>Birimler.<br>Taze ve egzoz Hava<br>Akımlarında Etkili<br>Mikrobiyolojik temizleme |
| Sınırlandırmalar  | Gizli Isılı Olanlar<br>Yalnızca Özel Üniteler  | Soğuk İklimlerde Ser-<br>vis Hizmeti Fazladır.<br>Karşı Hava Kirlenmişliği<br>Olasıdır.        | Verimlilik Basınç<br>Düşümü ve Fiyatla<br>Sınırlıdır.<br>Üretici Sınırlıdır.   | Verimlilik Basınç<br>Düşümü ile Sınırlanmış<br>Olabilir.<br>Üretici Sınırlıdır. | Verimlilik Basınç<br>Düşümü Maliyetle<br>Sınırlanmış<br>Olabilir.   | Üretici Sınırlıdır.   |
| Karşı Akıma Sızıntı   | % 0 - % 5  | % 1 - %10  | % 0  | % 0   | % 0   | % 0.025   |

Tablo 3. Değişik Tipte Isı Değiştiricilerin Birbirleriyle Karşılaştırılması

| Isı Transferi Cihazı                             | Rejeneratör | Gövde - Boru Isı değiştirici | Plakalı Isı Değiştirici | İkinci Akışkanlı Isı Değiştirici | Isı Borusu     |
|--|-------------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------|
| Karşılaştırma Özellikleri                        |             |                              |                         |                                  |                |
| Basınç Kaybı<br>N                                | Orta<br>3   | Yüksek<br>2                  | Düşük<br>4              | Düşük<br>4                       | Düşük<br>4     |
| Isı Transfer Film kat.<br>N                      | Yüksek<br>4 | Yüksek<br>4                  | Orta<br>3               | Düşük<br>2                       | Yüksek<br>4    |
| Bakım Güçlüğü<br>N                               | Yüksek<br>2 | Orta<br>3                    | Orta<br>3               | Yüksek<br>2                      | Çok Düşük<br>5 |
| Maliyet<br>N                                     | Yüksek<br>2 | Orta<br>3                    | Yüksek<br>2             | Yüksek<br>2                      | Orta<br>3      |
| Yardımcı Güç gereksinimi                         | Evet        | Hayır                        | Hayır                   | Evet                             | Hayır          |
| Akışkanların Karışarak Birbirini kirletmesi<br>N | Evet<br>0   | Hayır<br>5                   | Hayır<br>5              | Hayır<br>5                       | Hayır<br>5     |
| Birim hacim için transfer alanı<br>N             | Yüksek<br>4 | Düşük<br>2                   | Çok yüksek<br>5         | Orta<br>3                        | Yüksek<br>4    |

N : Karşılaştırma numaraları 0 ile 5 arasında verilmiştir. 5 en uygun niteliği, 0 ise uygun olmayan niteliği göstermektedir.



Tablo 4. Isı Değiştiricilerin Bazı Özellikleri

| Özellikler                        |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------|--|--------------------------|---------------------------|--|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---|--|
| Isı Transfer Cihazı               | Düşük sıcaklık Mutlak sıfır-120°C | Orta sıcaklık 120°C-650°C | Yüksek sıcaklık 650°C-1100°C | Nem kazanımı | İzin verilebilir en çok sıcaklık farkı | Paket tip bulunabilirlik | Sökülüp takılma kolaylığı | Aışkanlıkların birbirleriyle karışması | Boyutsal uygunluk | Gaz-gaz ısı değiştirici | Gaz-sıvı ısı değiştirici | Sıvı-sıvı ısı değiştirici | Özel tasarım ile aşındırıcı gazlara dayanım |  |
| Işınım Reküperatörü               |                                   |                           |                              |              |  | 1                        |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Taşınım Reküperatörü              |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Metalik Isı Tekeri                |                                   |                           |                              | 2            |  |                          |                           | 3                                      |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Nem Tutucu Isı Tek.               |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           | 3                                      |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Seramik Isı Tekeri                |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Pasif Rejeneratör                 |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Kanatçıklı Borulu Isı Değiştirici |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           | 4   |  |
| Gövde-Boru Tipi Isı Değiştirici   |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |
| Atık Isı kazanı                   |                                   |                           |                              |              |  |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           | 4   |  |
| Isı Borusu                        |                                   |                           |                              |              | 5                                      |                          |                           |  |                   |                         |                          |                           |   |  |

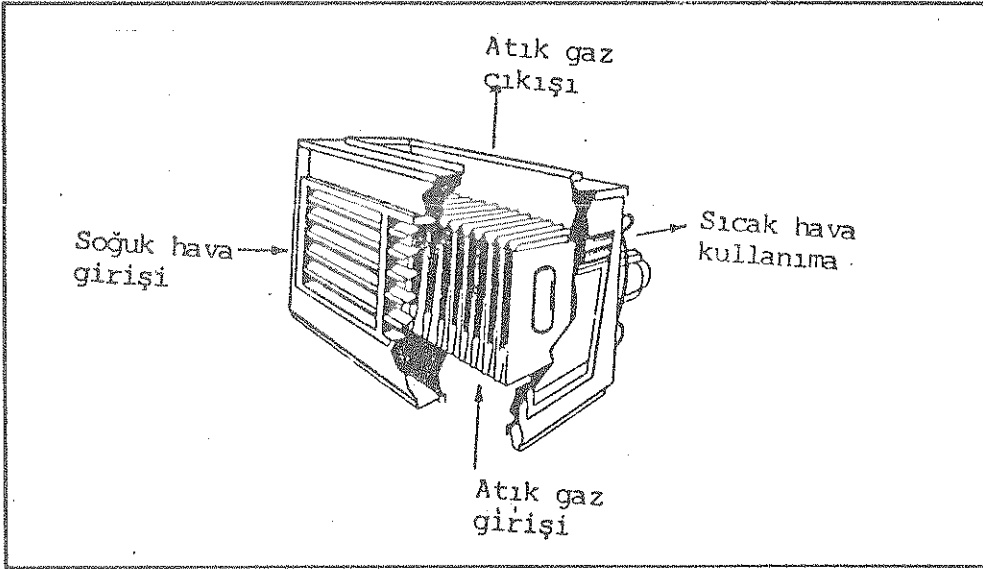
1. Sadece küçük kapasitelerde,

2. Tartışmalı konu, bazı uzmanlar nem geri kazanımını iddia etmektedir, ona bağlı olarak önerilmez.

3. temizleme bölümünün eklenmesi ile karşılıklı karışma ile kirlenme kütlece yüzde 1'den az olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

4. Aşınmaya dirençli malzemeden imal edilebilir, cihaza zarar verebilecek sızıntılara dikkat edilmelidir.

5. İzin verilecek sıcaklık ve sıcaklık farkı içindeki akışkanın faz dengesi özelliklerine bağlıdır.



Şekil 10. Sabit Levha Isı Değiştiricide Hava Akımları

#### 4.1.3. Diferansiyel (Fark) Basınç / Akım Sızıntısı

Levhalı tip ısı değiştiricilerin avantajlarından birisi hava akımları arasında sızıntı olmamasıdır.

Hızın artması durumunda iki hava akımı arasındaki basınç farklılığı üstel olarak artar. Yüksek fark basıncı ise ayırma levhalarını deforme eder ve ısı değiştiriciyi çok yönlü etkiler. Örneğin verimlilik tasarım değerlerinin altına düşer ve aşırı hava sızıntıları oluşur. Bu belirtilen konu normalde bir problem değildir, çünkü bir çok uygulamada diferansiyel basınç farkı 1 kPa dan daha azdır. yüksek hava hızları, yüksek statik basınçları veya her ikisinin geçtiği uygulamalar için, bu koşullar için tasarlanmış ısı değiştiriciler seçilmelidir.

#### 4.1.4. Egzost Hava Akımlarında Yoğuşma

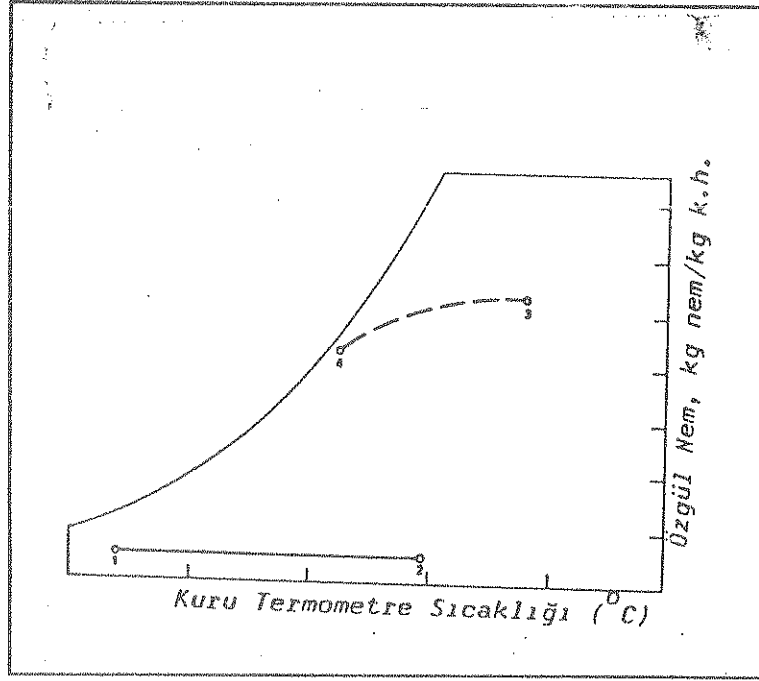
Levhalı ısı değiştiricilerin çoğu yoğuşan sıvıyı akıtacak sistemler ile donatılmıştır. Bu sistemler yoğuşan sıvıyı akıttığı gibi sulu yıkama sistemi kullanıldığında bu atık suyu da uzaklaştırır. Yüksek nemlilikteki egzost hava akımından ısı gerikazanımında, eğer nem transferi istenmiyorsa, binaya veya işleme duyulur ısı dönüşü, entalpi ısı dönüşünden daha iyidir. Şekil 11, psikrometrik diyagramda duyulur ısı değiştiricide yoğuşma işleminin termodinamiğini göstermektedir.

Tablo 4'te donma sınırı (eşiği) sıcaklıklarına nem miktarının etkisi gösterilmektedir. Donma gelen taze havanın ön ısıtılmasıyla kontrol edilebildiği gibi taze havanın bir kısmının by-pass'ı ile de sağlanabilir. By-pass tablo 4'te ki (K) ile gösterilen taze ve egzost hava akımları oranını da düşürdüğünden genellikle ön ısıtma yönteminden daha ekonomiktir.

**Tablo 4 Değişik Egzost Havası koşulları İçin Donma Sınır (eşik) Sıcaklıkları**

| Giren<br>Egzoz Havası |       | Donma Sınır (eşik) sıcaklığı (t <sub>1</sub> ), °C |     |     |     |
|-----------------------|-------|--|-----|-----|-----|
|                       |       | Taze ve Egzoz Hava Akımları Oranı, (K)             |     |     |     |
| t <sub>1</sub> , °C   | RN, % | 0.5  | 0.7 | 1.0 | 2.0 |
| 16                    | 30    | -16  | -9  | -5  | 0   |
| 16                    | 40    | -16  | -9  | -5  | 0   |
| 16                    | 50    | -20  | -13 | -7  | 0   |
| 16                    | 60    | -22  | -15 | -10 | -5  |
| 21                    | 30    | -25  | -15 | -8  | -2  |
| 21                    | 40    | -29  | -19 | -12 | -6  |
| 21                    | 50    | -33  | -22 | -16 | -9  |
| 21                    | 60    | -35  | -25 | -18 | -12 |
| 24                    | 30    | -31  | -20 | -12 | -5  |
| 24                    | 40    | -36  | -24 | -17 | -9  |
| 24                    | 50    | -40  | -29 | -21 | -14 |
| 24                    | 60    | -44  | -32 | -24 | -17 |
| 27                    | 30    | -37  | -24 | -15 | -8  |
| 27                    | 40    | -42  | -29 | -20 | -12 |
| 27                    | 50    | -47  | -34 | -25 | -17 |
| 27                    | 60    | -52  | -39 | -30 | -22 |
| 32                    | 30    | -50  | -34 | -24 | -15 |
| 32                    | 40    |  |     | -31 | -22 |
| 32                    | 50    |  |     |     | -29 |

Tablo 4'te donma sınırı (eşiği) sıcaklıklarına nem miktarının etkisi gösterilmektedir. Donma gelen taze havanın ön ısıtılmasıyla kontrol edilebildiği gibi taze havanın bir kısmının by-pass'ı ile de sağlanabilir. By-pass tablo 4'te ki (K) ile gösterilen taze ve egzoz hava akımları oranını da düşürdüğünden genellikle ön ısıtma yönteminden daha ekonomiktir.



Şekil 11. Duyulur ısı değiştiricide birinci akımda yoğuşma (3-4) ve ikinci akımda ısınma (1-2) işlemlerinin psikrometrik diyagramda gösterilişi.

#### 4.2. Döner Tip Hava-Hava Isı Değiştiriciler (Isı Tekerleri)

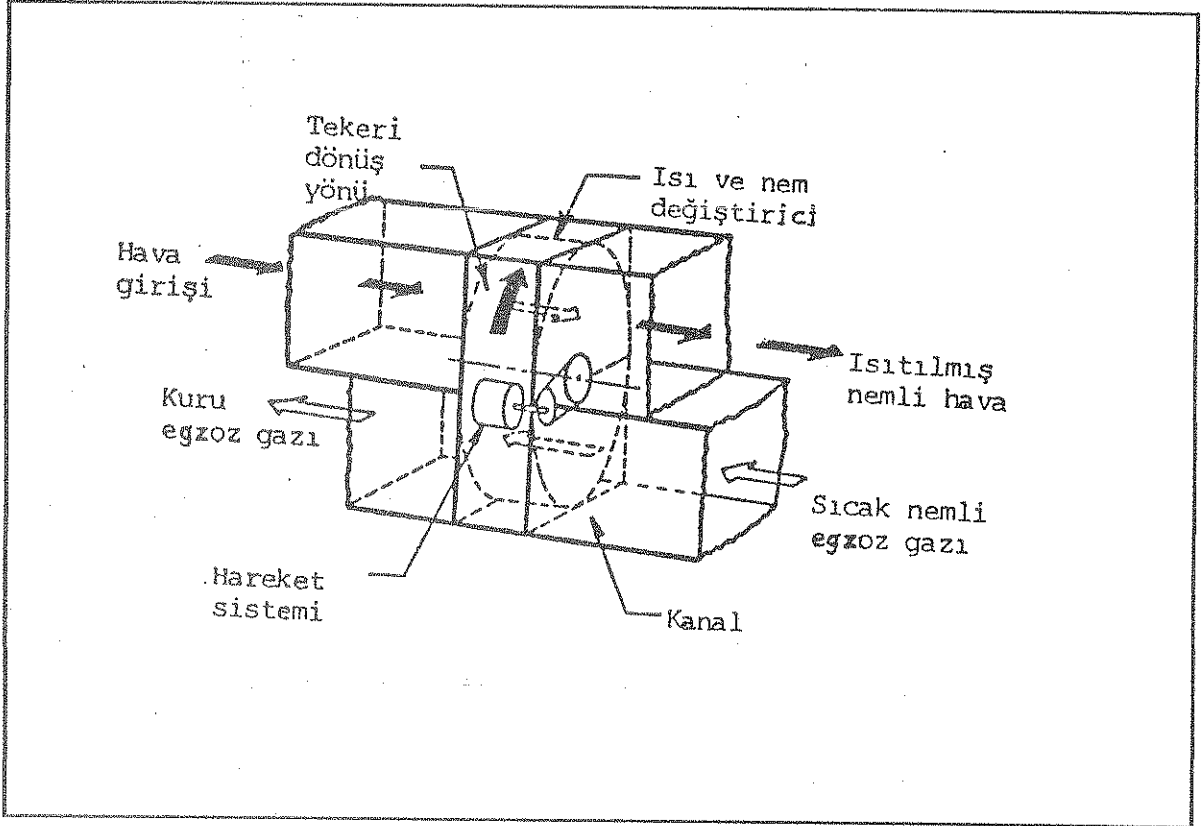
Döner tip hava-hava ısı değiştiriciler, veya ısı tekerleri (veya dönen rejeneratörler), çok geniş iç yüzey alanlı hava geçirgen bir ortamla doldurulmuş döner bir silindire sahiptir. Isı tekerinde taze ve egzoz hava akımları ısı değiştiricinin yarım kesitinden karşıt yönlü paralel akım biçiminde akar, Şekil 12, Şekil 13. Sıcak hava akımı ısı tekerinin bir yarısını ısıtırken, soğuk hava akımı diğer yarısından ısı eker. Isı tekerinin iç yapısına doldurulan malzemeler duyulur ısı veya toplam ısı (duyulur artı gizli ısı) transfer edecek biçimde seçilebilir.

Duyulur ısı transferinde ısı tekeri yapısı tarafından ısı sıcak hava akımından alınır, depolanır ve dönen bu kısım soğuk hava akımına ıyıyı geri verir ve bu işlem sürekli olarak tekrarlanır. Toplam ısı transferi yapan ısı tekerlerinde ise yüksek nemlilikli hava akımından nem yoğuşması ile (Nem yoğuşması ısı tekeri ortam sıcaklığının çiğlenme noktası sıcaklığının altında olmasıyla, sıvı nem alıcı maddelerle absorpsiyonla veya katı nem alıcı maddelerle adsorpsiyonla sağlanır) hemen ısı çekilir; ve bu alınan nem buharlaşma ile düşük nemlilikli hava akımına gelen ısı tekeri bölümünde geri verilir (nem alıcı maddeler kullanılıyorsa bunların jenerasyonu da böylelikle sağlanmış olur). Böylelikle nemli hava kuru hale gelirken, kuru hava nemlendirilmiş olur. Toplam ısı transferi cihazında duyulur ve gizli ısı transferleri aynı anda gerçekleşir.

##### 4.2.1. Isı Tekerı Konstrüksiyonu

Hava bileşenleri, çiğlenme noktası, egzoz hava sıcaklığı ve taze hava özellikleri kasa, rotor yapı ve enerji aliş-veriş malzemelerinin seçiminde etkilidir. Alüminyum ve elik normal konfor havalandırma sistemlerinde kasa, yapı ve rotor malzemesi olarak kullanılır. Değiştirme ortamı ise metal, mineral veya seramik vb. malzemeden ve gelişigüzel akım veya yapı içinde yönlendirilmiş akım oluşturacak biçimde imal edilirler.

Gelişigüzel akım sağlayan yapıda, oluklu örülmüş elek gözü (mesh) yapısı mevcut olup, istenen düzende tabakalar halinde kullanılabilir. Alüminyum elek yapısı, konfor havalandırma sistemlerinde yaygın kullanılmakta olup, tabakalar halinde paketlenmiş yapıda kullanılır. Paslanmaz elik ve monel elekler ise korozif ortam ve yüksek sıcaklık uygulamaları için kul-



**Şekil 12. Isı Tekerli Tipi Rejenaratör Kullanımı İle Isı ve Nem Geri Kazanımı**

lanılır. Korozyona dayanım için polimer kaplanmış yüzeylerde kullanılabilir (11). Bu tip yapılar temiz ve filitrelenmiş hava akımları için uygundur, çünkü kolaylıkla elek gözleri tıkanabilir.

Yönlendirilmiş akım sağlayan yapıda ise küçük (1.6 mm) üçgen kesitli hava akımı yönüne paralel hava geçiş kanalları mevcuttur. Üçgen şekli, alın yüzeyinin birim alanı için en geniş hava temas yüzeyi oluşturur. Ayrıca dayanım ve imalat tekniği yönünden de avantajlıdır. Alüminyum folye, inorganik levhalar, işlem görmüş organik levha ve sentetik malzemeler düşük ve orta sıcaklık uygulamaları için kullanılır. Paslanmaz çelik ve seramikler ise yüksek sıcaklık ve korozif atmosferler durumunda kullanılır.

Hava akımıyla temas eden ortam yüzey alanları 300 ile 3300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> değerleri arasında, fiziksel konum ve ortamın tipine göre değişir. Ortam ayrıca duyulur ısı veya toplam ısı alma yeteneğine göre de sınıflandırılır. Duyulur ısı geri kazanım ortamı alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve monel'den yapılmıştır. Toplam ısı geri kazanım ortamı ise bu malzemelerden biri tarafından yapılmış ve ayrıca tipik olarak lityum klorid veya alumina gibi nem geri kazanma karakteristikleri olan maddelerle işlenmiş (doldurulmuş) bir yapıdadır.

#### 4.2.2. Karşı Kirlenme

Karşı kirlenme, veya karışım; taze hava ve egzoz hava akımları arasında bütün ısı tekerlerinde, taşıma ve sızıntı yoluyla gerçekleşir. Taşıma ile karışmanın gerçekleşmesi, ısı tekeri ortamına giren egzoz havasının bu hacminde kalan miktarının dönme sonucu taze hava akımı ile süpürülmesi yoluyla olur. Sızıntı ile karışım ise iki hava akımı arasındaki statik basınç farklılığı nedeniyle ve sızıntı yüksek basınçlı kısımdan düşük basınçlı kısma doğru gerçekleşir. Sızıntı fanlar aracılığı ile taze havadan egzoz havasına doğru olması sağlanarak önlenir. Taşımanın istenmediği durumlar için geliştirilen temizleme bölümlü ısı tekeri, Şekil 13, ile karşı kirlenme önlenir.

Uygulamaların bir çoğunda bir kısım egzoz havasının yeniden dolaşımı önemli sakınca taşımaz. bununla birlikte bazı kritik uygulamalarda (örneğin hastane operasyon odaları, la-

boratuvanlar ve temiz odalar gibi) taşıma ile kirleticiliğin sıkı kontrolü gerekir. Temizleme bölümlü ısı tekerlerinde taşıma ile kirleticilik egzoz hava akımının %0.1'inin altına indirilebilir.

Temizleme bölümsüz ısı tekerinin teorik taşıma kirleticiliği, tekerin hızı ve transfer ortamının boşluk kesri ile doğru orantılıdır. Boşluk kesri tip ve yerleşime göre %75 - % 95 arasında değişir. Örneğin 3m çapında, 200 mm derinlikteki ısı tekeri, %90 boşluk kesri ile 14 devir/dak (rpm) hızla dönüyorsa, taşıma ile kirleticilik hacimsel debisi,

$$(3/4) (0.2) (0.9) (14/60) = 0.3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ dir.}$$

Eğer ısı tekeri 9 m<sup>3</sup>/s debide taze hava geçiriyorsa kirleticilik oranı, (0.3/9) (100) = % 3.33 dür.

Egzoz fanı, genellikle ısı değiştiricinin çıkışına yerleştirilir ve sızıntı, temizleme bölümü ve taşıma kirleticiliği hava akımları dikkate alınarak boyutlandırılmış olacaktır.

#### 4.2.3. Kontrol Yöntemleri

Isı tekerleri ile enerji gerikazanımını kontrol için yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Birincisi, taze hava by-pass kontrolüdür. Bu kontrolde istenen taze hava sıcaklığına ulaşmak için ısı tekerinden geçen taze hava miktarı değiştirilir, bir kısmı by-pass edilir. Bir by-pass damperi, ısı tekeri taze hava çıkış sıcaklık duyar elemanı (sensör) tarafından kontrol edilerek by-pass hava miktarı ayarlanır.

İkinci yöntem ise enerji geri kazanım hızını, ısı tekeri dönme hızını değiştirerek ayarlamaktır. Hız arttıkça, enerji geri kazanımının, teorik maksimum geri kazanım oranı yüzdesi artmakta ve belli bir hızdan sonra ise fazla etkilenmemektedir. En yaygın kullanılan hız değiştirici üniteleri, değişken hızlı DC motor ile silikon kontrollü düzeltici (SCR), histerizis kavramalı sabit hızlı AC motor, AC indüksiyon motor ile frekans inverteri.

Bir ölü bant kontrolü (değiştiriciyi durdurmak veya sınırlamak için) hiç geri kazanım istenmediği durumda gerekli olabilir (örneğin dış hava sıcaklığı gereken taze hava sıcaklığından yüksek fakat egzoz hava sıcaklığını altında ise). Dış hava sıcaklığı egzoz hava sıcaklığının üzerinde olduğu zaman, cihaz gelen taze havanın soğutulması için tam kapasitede çalışır.

#### 4.2.4. Isı Tekerlerinin Bakımı

Enerji değiştirici tekerler çok az bakım gerektirirler. Aşağıda belirtilen bakım işlem sırası en iyi verimliliği sağlar:

- Isı değiştirici ortamı toz veya diğer yabancı maddelerin birikmesi durumunda, imalatçının kullanım talimatları doğrultusunda temizlenmelidir. Toplam ısı geri kazanımı için sıvı nem alıcı ile imal edilmiş ısı ve nem değiştirici ortam bu temizlik aşamasında ıslatılmamalıdır.

- Tahrik motoru bakım ve alıştırması imalatçının talimatlarına göre yapılmalıdır. Hız kontrol motorlarında bulunan komütatör ve fırçalar, indüksiyon motorlarından daha çok sık bakım ve kontrol gerektirir. Fırçalar gerektiğinde değiştirilecek ve komütatör periyodik olarak döndürülüp alttan kesilecektir.

- Teker düzenli olarak uygun kayış veya zincir gerilimi yönünden kontrol edilmelidir.

- Yedek ve değiştirilen parçalar imalatçı talimatlarına uygun olmalıdır.

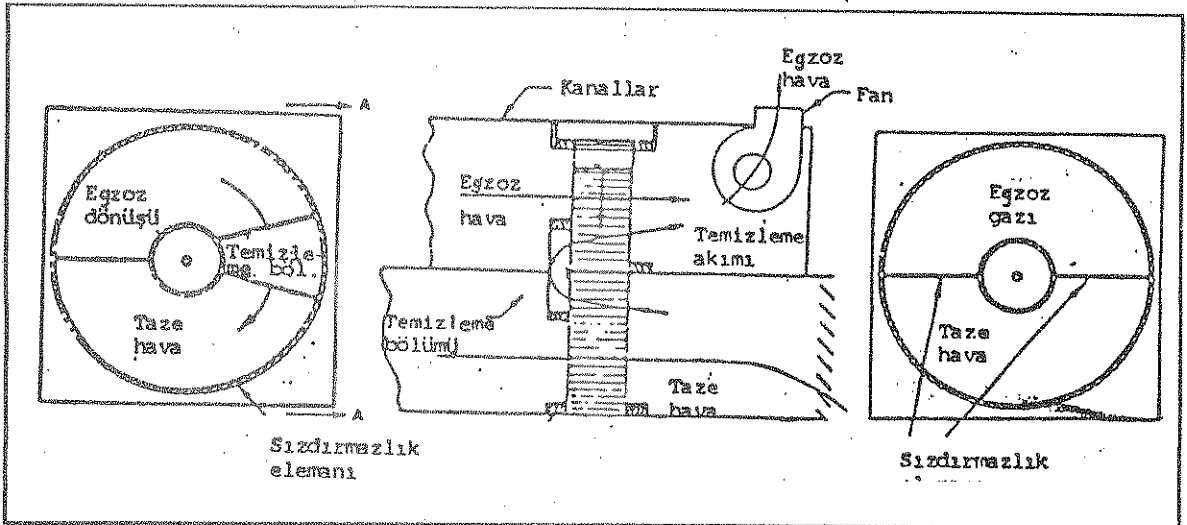
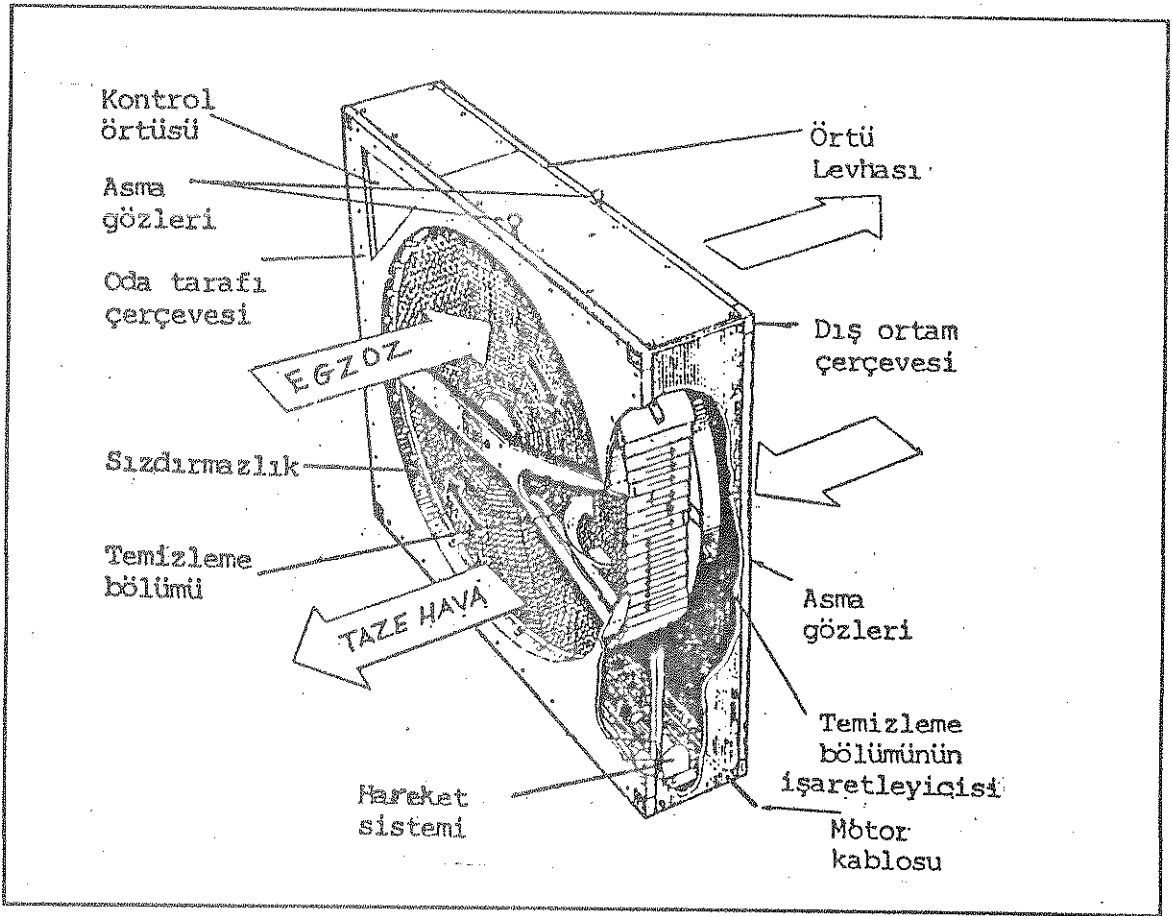
#### 4.3. Serpantin Devreli (Dolaşım) Isı Geri Kazanım Cihazları

Tipik bir serpantin devreli ısı geri kazanım sistemi Şekil 14 de gösterilmektedir. Serpantin devrelerinin taze hava ve egzoz havası kısımları kanatlı boru olarak gerçekleştirilmiştir. Serpantin devresinde bir ara ısı taşıyıcı akışkan (tipik olarak su veya donması geciktirilmiş çözelti) pompalanarak devreder.

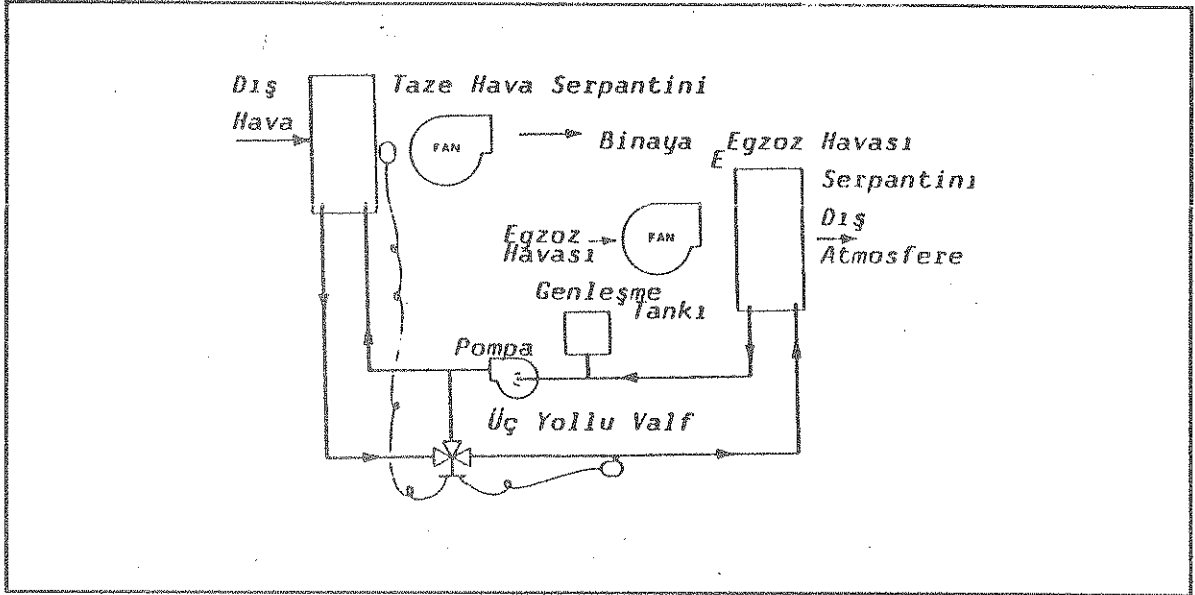
Bu sistem yalnızca duyulur ısı kazanımı için kullanılır. konfor-konfor uygulamalarında enerji transferleri mevsimsel olarak değişken olup dış hava egzoz havasından soğuk ise ön ısıtılır, dış hava egzoz havasından ılık ise ön soğutulur.

##### 4.3.1. Donmaya Karşı Korunma

Nem egzoz serpantini hava geçiş kanallarında donmamalıdır.Çift amaçlı üç yollu sıcaklık kontrol vanası egzoz serpantininin donmasına engel olur. Bu vana egzoz serpantinine giren



Şekil 13 Temizleme Bölümlü Isı Tekerı, Değişik Şematik Kesitler



Şekil 14 Serpantin Devreleri Isı Geri Kazanım Cihazı

çözelti sıcaklığını  $-1^{\circ}\text{C}$ 'dan daha az olmayacak düzeyde tutar. Bu koşul taze hava serpantininden daha ılık biraz çözeltinin by-pass'ı yoluyla sağlanır. Bu vana ayrıca taze hava serpantininden hava çıkış sıcaklığının belli istenen bir değeri aşmamasını da sağlar.

#### 4.3.2 Sistem Özellikleri

Serpantin devreli enerji geri kazanım sistemleri esnek yapıda olup yeni ve endüstriyel uygulamalar için uyumludur. Sistem birbirinden uzak taze ve egzoz kanallarına yerleştirilir ve aynı anda bir çok kaynak ve kullanım yeri arasında enerji transferi sağlanır. Çalışma akışkanının genleşme ve daralmasını sağlamak için sisteme bir genleşme tankı ilave edilmelidir. Kapalı bir genleşme tankı etilen glikol kullanılıyorsa oksidasyonu en aza indirir. Sistemi oluşturmak için standart kanatlı borulu su serpantinleri kullanılmış olabilir. Bu durumda serpantin, alın yüzeyi hızı ve basınç düşümü seçiminde imalatçı tasarım eğrileri ve verim dataları kullanılacaktır.

#### 4.3.3 Verimlilik

Serpantin devreli ısı geri kazanımı çevrimi bir akımdan diğerine nem transferi yapamaz. En ekonomik verimli çalışma için, eşit hava akım hızları ve yoğuşmasız durumda, tipik verimlilik değerleri % 60-% 65 arasında değişir. En çok net ekonomik kazanım için en yüksek verimlilik gerekli değildir.

Tipik olarak serpantin devreli ısı geri kazanım devresinin duyulur ısı verimliliği dış hava sıcaklığından bağımsızdır. Bununla birlikte kapasite kontrolü yapılan bir sistemde ise duyulur ısı verimliliği dış hava sıcaklığı arttıkça azalır.

#### 4.3.4. Konstrüksiyon Malzemeleri

Çalışma koşullarında ilgili serpantin kısımları uygun malzemelerden imal edilmelidir. konfor-konfor uygulamalarında standart serpantin yeterlidir. İşlem-işlem ve işlem-konfor uygulamalarında yüksek sıcaklığın etkisi, yoğun maddeler, korozyif maddeler ve serpantin üzerinde birikebilen maddeler serpantin konstrüksiyonunda dikkate alınmalıdır.

#### 4.3.5. Karşı Kirleticilik

Hava akımlarının tamamıyla ayrılmış olması taze hava ve egzoz hava akımlarının birbirlerine karşı kirlenmelerini ortadan kaldırmıştır.



#### 4.3.6. Bakım

Serpantin devreli ısı gerikazanım çevrimi sistemi çok az bakım gerektirir. Hareket eden parçalar olarak yalnızca sirkülasyon pompası ve üç yollu kontrol vanası bulunur. Bununla beraber aşağıda belirtilen çalışma koşulları optimum çalışma sağlar. Bunlar hava akımlarının filtre edilmesi, serpantin yüzeylerinin temizlenmesi, pompa ve vananın periyodik bakımı ve transfer akışkanının özellikleridir.

#### 4.3.7. Isı Transfer Akışkanları

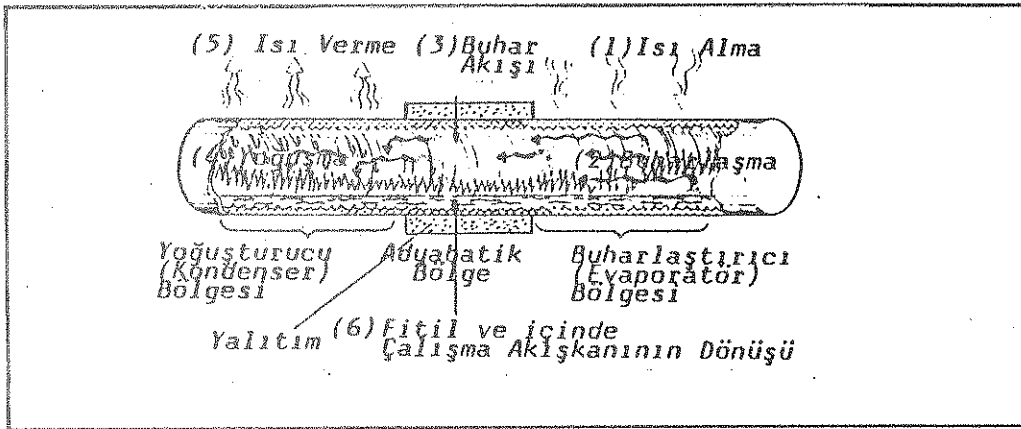
Kapalı devre uygulamasında kullanılan ısı transfer akışkanı iki hava akımının sıcaklıklarına ve uygulamaya bağlıdır. Katkılı etilen glikol-su çözeltisi, donma önleminin gerek duyulduğu uygulamalarda yaygın kullanılmaktadır. Bu çözelti sıcaklığın 135 °C değerini aşması durumunda asidik çamur çözeltisine dönüşür, bu durumda susuz sentetik ısı transfer akışkanları kullanılabilir.

#### 4.4. Isı Borulu Isı Değiştiriciler

Isı borulu ısı değiştiriciler gaz-gaz ısı gerikazanımda kullanılan cihazlar olup, konvansiyonel hava soğutmalı ısı değiştiriciler gibi ısı borularının kanatlı paket üniteler olarak imalatı ile gerçekleştirilirler.

Isı borusu sızdırmaz kapalı bir hacim içinde şekil 15 de ki gibi iç yüzeyinde kapılar basınç ve sıvı dolaşımını sağlayan fitil bulunan bir yapıdadır.

Isı borusu fitili, çalışma akışkanını sıvı olarak içinde bulundurur. Isı borusunun bir ucuna



Şekil 15. Isı Borusunun Çalışma Prensibi

ısı uygulandığında, bu uca fitil içinde bulunan çalışma akışkanı buharlaşır. Bu buhar ısı borusunun soğuk ucuna doğru hareket eder ve burada yoğunlaşarak buharlaşma ısısını (gizli ısı) geri verir ve fitile sıvı olarak geri döner. bu yoğunlaşan çalışma akışkanı kapılar basınç etkisiyle buharlaştırıcı bölgesine pompalanır.

Sıvının buharlaştırıcı bölgesine dönüşünü kapılar hareket sağladığından, ısı borusunun verimliliği yataydan eğimine, fitil gözenek boyutuna (mesh sayısı), çalışma akışkanının yüzey gerilim katsayısına kuvvetli bağlı bir fonksiyondur. Transfer edilen ısı miktarı çalışma akışkanının gizli ısısı ile bağlantılı olup, yüksek gizli ısılı çalışma akışkanı tercih olunabilir.

Gaz-gaz ısı değiştiricide Şekil 16 da gösterildiği gibi ısı borularının buharlaştırıcı bölgesi sıcak gaz akımı tarafında, yoğuşurucu bölgesi ise soğuk gaz akımı tarafındadır. Isı değiştirici arasında gaz akımının, maksimum verimlilik için ters yönlü paralel akım biçiminde olması istenir. Normal olarak ısı boruları yatay durumda monte edilir ve ısı borulu ısı değiştiricinin bulunduğu yerde sıcak ve soğuk gaz kanalları komşu (bitişik) olmak zorundadır. Bazı imalatlarda ısı borusunun eğimin değiştirilmesiyle ısı transferinin kontrol edilebildiği sistemler geliştirilmiştir. Bütün ünitenin eğiminin yavaş yavaş değiştirilmesiyle buharlaştırıcı, yoğuşurucunun üzerinde olması sağlanarak ısı transferin sıfır değerine kadar azaltılarak kont-

rol sağlanabilmektedir. Bu özellikle ısıtılmak istenen ortam sıcaklığı dış etkenlerin durumuna göre kontrol edilebilmektedir. 4.4.5. bölümde bu kontrol sistemi daha kapsamlı açıklanmıştır.

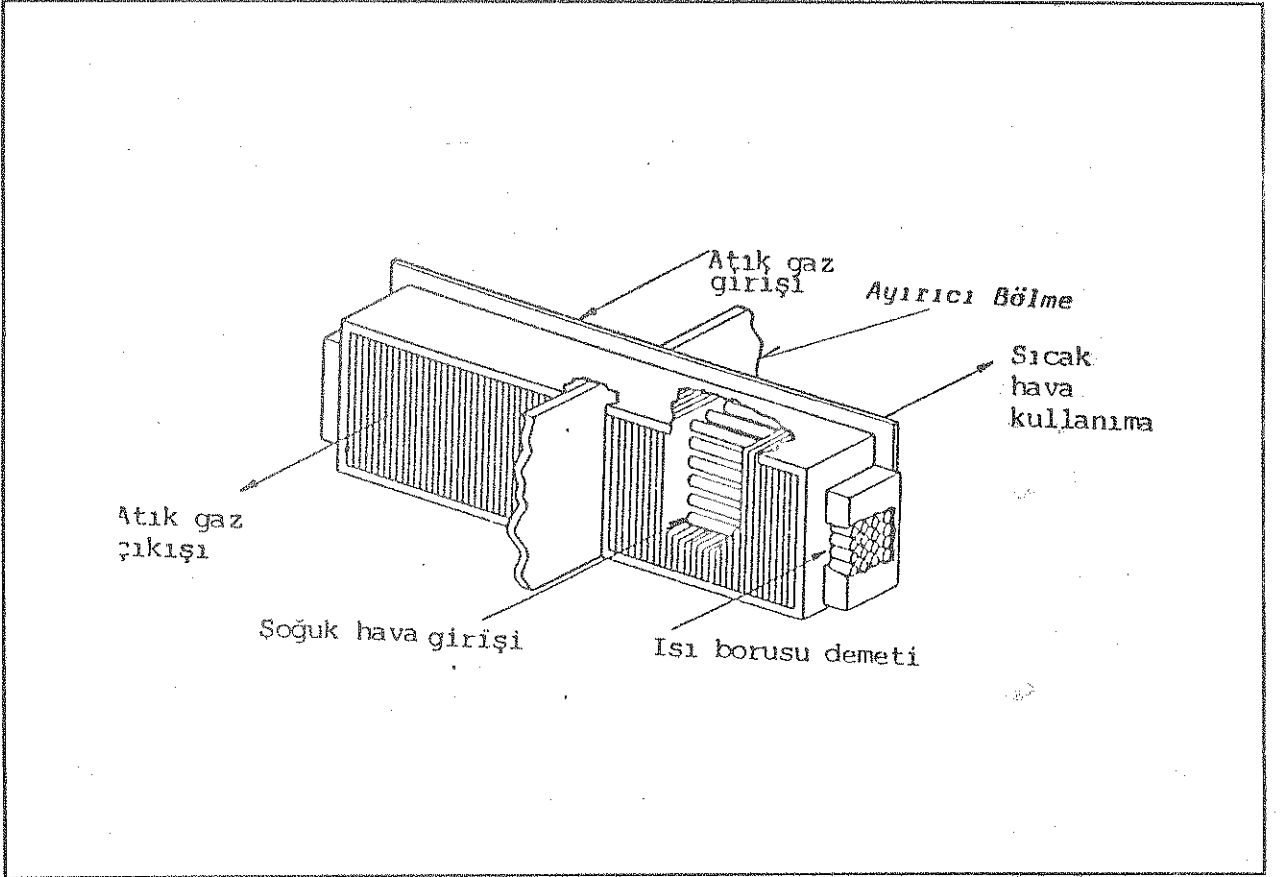
Isı borusu tüpleri özel fitil yerleştirilmiş durumda, vakumlanarak uygun çalışma akışkanları ile doldurulur ve sızdırmaz hale getirilir. Isı borularında kullanılan uygun çalışma akışkanları düşük sıcaklık uygulamaları için Tablo 5 de verilmiştir (12,13).

Isı borulu ısı değiştiricilerde kullanılan kanatlı boru yapısındaki kanatlar oluklu levha, düz levha veya spiral tipte olabilir. Kanat tasarımı ve borular arası mesafe belirli bir alın yüzeyi hızı için basınç düşümünde farklılıklara neden olur.

Isı borusundaki, ısı aktarma mekanizmasıyla, örneğin bakırın iletmediği ısı transfer hızından 1000 kez daha fazla ısı transfer hızlarına ulaşılabilir (1).

Isı boruları küçük sıcaklık düşümleri ile enerjiyi transfer eder, buna göre, ısı aktarma işlemi izotermal gibi ele alınabilir. Bununla birlikte ısı borusu tüp et kalınlığında, fitilde ve akışkan ortamında küçük sıcaklık düşüşleri vardır. Isı boruları fitil tasarımı, tüp çapı, çalışma akışkanı özellikleri ve ısı borusunun yataya göre konumu gibi özellikleriyle bağlantılı sonlu bir ısı transfer kapasitesine sahiptir. Bu ısı transfer limitleri ile ilgili tasarım bilgileri ilgili kaynaklarda bulunabilir (14,15).

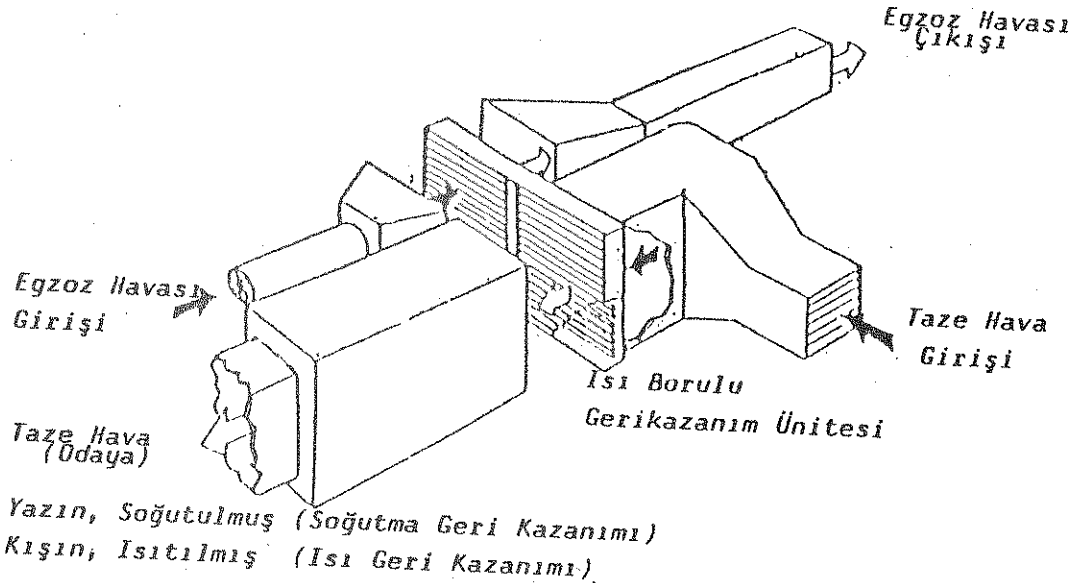
Şekil 17 de ısı borulu ısı değiştiricinin yaz ve kış çalışma koşullarında iklimlendirme sistemlerinde kullanılmasını göstermektedir.



Şekil 16. Isı Borulu Isı Değiştirici

Tablo 5. Düşük Sıcaklık Uygulamaları İçin Bazı Isı Borusu Çalışma Akışkanları

| Çalışma Akışkanı | Kaynama Noktası<br>(Atm.Basınçta)<br>(°C) | Donma Noktası<br>(°C) | Kritik Özellikler   |                    | Kullanım Bölgesi<br>(°C) |
|------------------|---|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
|                  |   |                       | Sıcaklık<br>Tc (°C) | Basınç<br>Pc (bar) |                          |
| Su               | 100                                       | 0                     | 374.15              | 221                | 30-200                   |
| Methanol         | 65  | -97.8                 | 240.1               | 79.77              | 10-130                   |
| Ethanol          | 78.6                                      | -117.3                | 243.2               | 63.94              | 0-130                    |
| Pentan           | 28  | -130                  | 193.85              | 29.3               | (-20)-120                |
| Heptan           | 98  | -90                   | 264.55              | 26.2               | 0-150                    |
| Amonyak          | -33                                       | -78                   | 133.65              | 116                | (-60)-100                |
| Aseton           | 57  | -95                   | 235                 | 47.57              | 0-120                    |
| Freon-11         | 23.82                                     | -111                  | 198                 | 44.06              | (-40)-120                |
| Freon-12         | -29.79                                    | -158                  | 112                 | 41.13              | (-40)-100                |
| Freon-21         | 8.92                                      | -135                  | 178.5               | 51.68              | (-40)-120                |
| Freon-113        | 47.57                                     | -35                   | 214.1               | 34.37              | (-10)-100                |
| Freon-114        | 3.77                                      | -94                   | 145.7               | 32.59              | (-40)-120                |
| Flurec PP2       | 76  | -50                   | -                   | -                  | 10-160                   |
| Flurec PP9       | 160                                       | -70                   | -                   | -                  | 0-225                    |



Şekil 17. İklimlendirme sistemlerinde Isı borulu Isı Değiştiricinin Yazın Taze Havanın Ön Soğutulmasında Kışın taze Havanın Ön Isıtılmasında Kullanılması

#### 4.4.1. Konstriksiyon Malzemesi

Bakır ısı borusu tüpleriyle alüminyum kanatlar normal olarak iklimlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır. Tüpler ve kanatlar genellikle malzemelerin aynı ısıl genleşmeleri problemlerinden sakınmak için aynı malzemeden imal edilir. Egzoz sıcaklığının 220°C'ın altında olması durumunda ısı borulu ısı değiştiriciler sıklıkla alüminyum boru ve kanatlardan imal edilir. Yakın verimlilikte bakır ısı boruları, alüminyum olanlardan daha pahalıdır. Bakır üniteler genellikle yalnızca, alüminyum üniteler için korozyon ve temizleme problemlerinin bulunduğu durumlarda kullanılır. Korozyonlu atmosferler için kanatlı borular koruyucu kaplamalar ile, ısıl verime en az etki yapacak biçimde kaplanabilir.

Isı borulu ısı değiştiriciler 220°C'ın üzerinde genellikle çelik boru ve kanatlardan imal edilirler. Kanatlar genellikle paslanmayı önlemek için özel olarak kaplanır (alüminize). Özel uygulamalar için ayrı malzeme ve/veya ayrı çalışma akışkanları kullanılan özel tasarımlar yapılabilir.

#### 4.4.2. Çalışma Sıcaklığı Bölgesi

Çalışma akışkanının seçimi onun uzun süreli çalışabilmesi bakımından da önemlidir. Çalışma akışkanı, yüksek buharlaşma gizli ısısı, yüksek yüzey gerilimi ve çalışma bölgesinde düşük sıvı viskozitesi yanında ayrıca bu sıcaklık bölgesinde ısıl kararlı olmalıdır. Çalışma akışkanının yoğunlaşmayan gaz oluşturabilme gibi özelliği olması durumunda ise verimin azalması sözkonusu olur, böyle bir özellikte bu nedenle istenmez. Değişik çalışma akışkanlarının çalışma sıcaklığı bölgeleri Tablo 5'te belirtilmiştir.

#### 4.4.3. Karşı Kirleticilik

Isı borulu ısı değiştiricilerde hava akımları arasındaki basınç farklılıklarının 12 kPa değerine kadar sıfır karşı kirleticilik vardır. Karşı kirleticiliği önlemek için ek bir korunma iki hava akımı arasında havalandırmalı çift katlı ara duvar kullanılabilir. Bu ara hacme bitişik egzoz kanalından herhangi bir sızıntı buradan çekilir ve egzoz edilir.

#### 4.4.4. Verimlilik

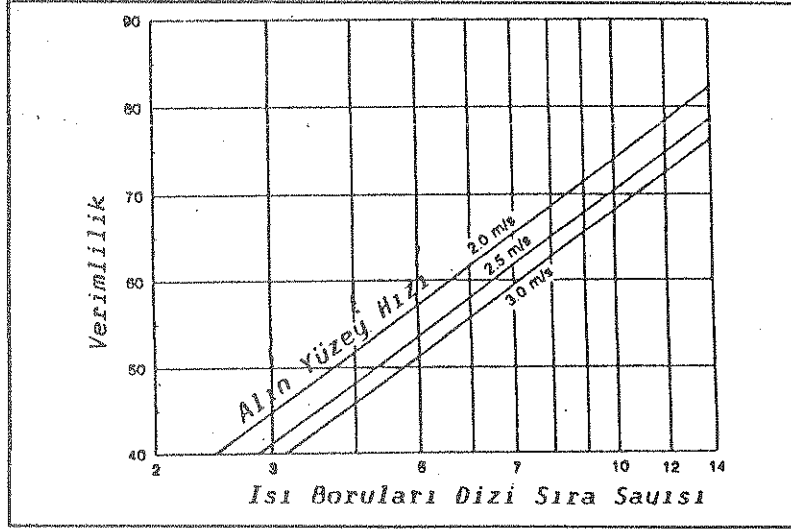
Isı borusunun ısı transfer kapasitesi tasarım ve konumuna bağlıdır. Şekil 18 değişik alın yüzeyi hızları ve tüp sıra sayısı değişiminin verimliliğide etkisini göstermektedir. Dizi sıra sayısının artması durumunda, hız azalmasında verimlilik artmaktadır. Örneğin tüp sıra sayısının iki katına çıkarılması durumunda % 60'larda olan efektif ısı değiştirici verimi %75 değerlerine artmaktadır. Isı borusu ısı değişimi toplam dizi sıra sayısına bağlıdır. Böylece seri bağlı iki ünitenin, aynı dizi sıra sayısında tek ünitenin verimi ile eş değer olduğu belirtilebilir. Seri üniteler sıklıkla taşıma, temizleme ve bakım nedenleri ile sıklıkla kullanılır.

Isı borusunun ısı transfer kapasitesi, kabaca borunun iç çapının karesi ile orantılı artar. Örneğin belirli eğimde 25 mm iç çaplı ısı borusu, 16 mm iç çaplı ısı borusundan kabaca 2.5 kez daha fazla enerji transfer eder. Ayrıca büyük çaplı ısı boruları, büyük hava akımları için kullanılır ve yaz ve kış çalışmalarını ayarlamak için seviye düzeni gereklidir.

Isı transferi kapasite limiti gerçekte ısı borusu uzunluğundan, çok kısa ısı boruları hariç, bağımsızdır. Örneğin 1,2 m uzunluğundaki ısı borusu 2,4 m uzunluğundaki ısı borusu ile aynı kapasiteye sahiptir. Ancak 2,4 m uzunluğundaki ısı borusu, 1,2 m olandan 2 kat daha fazla dış ısı transfer yüzeyine sahip olduğundan kapasite limitine daha çabuk ulaşacaktır. Böylece belirli bir uygulama için, daha uzun olan ısı boruları gibi kapasite gereksinmesini karşılamak daha güçtür. Böyle bir gereksinim daha yüksek bir alın yüzeyi ve kısa fakat daha çok ısı borusu ve aynı hava akım yüzey alanı ile sistemin verimliliği geliştirilerek sağlanır.

Kanat tasarımı ve aralıklarının seçimi iki hava akımının kirliliğine ve gerekli temizleme bakımına bağlıdır. İklimlendirme uygulamaları için 1,8 mm kanat aralığı yaygındır. Daha çok kullanılan 2,3-3,2 mm kanat aralıkları ise endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Kirli egzoz tarafında daha geniş kanat aralıkları kirlenmeyi azaltmak, basınç düşümünü azaltmak ve verimde değişiklik (azalma) oluşturmamak amaçlı kullanılır.

Eğriler, 1. Eş Değer kütle Debileri  
2. 1.8 mm Kanat Aralığı İçindir



Şekil 18 Işı Borulu Işı Değişirici Verimliliğine Dizi Sıra Sayısı Ve Hızlarının Etkisi

#### 4.4.5. Işı Borulu Işı Değişiricilerde Uygulanan Kontrol Sistemleri

Işı borusunun eğiminin değişmesi, onun transfer ettiği ısı miktarının kontrol edilmesini sağlar. Işı borusunun sıcak tarafı yatayın altında olması durumun yoğunlaşan akışkanın buharlaştırıcı (sıcak) bölgesine geri akışını kolaylaştırır. Ters durumda buharlaştırıcı yatayın üzerinde ise bu akış zorlaşır. bu özellik ısı borulu ısı değiştiricinin verimliliğini ayarlama da kullanılabilir.

Pratikte gerçekleştirilen uygulamalarda, eğim kontrolü değiştirici kasasının ortasında bulunan bir dönme eksenini boyunca sağlanır ve ısı değiştiricinin bir ucunda bulunan sıcaklık duyar elemandan alınan uyarı ile tahrik edilir. Kullanılan fileksi yapı sayesinde küçük eğim değişiklikleri gerçekleştirilebilir. (maksimum 6 derece).

Eğim kontrolünden istenen aşağıda belirtilen 3 fonksiyonun karşılamasıdır:

a. Taze havanın ısıtılmasından, taze havanın soğutulmasına (ısı akışının ters yöne dönmesi), mevsimsel değişimler olduğunda geçişi, sağlamalıdır.

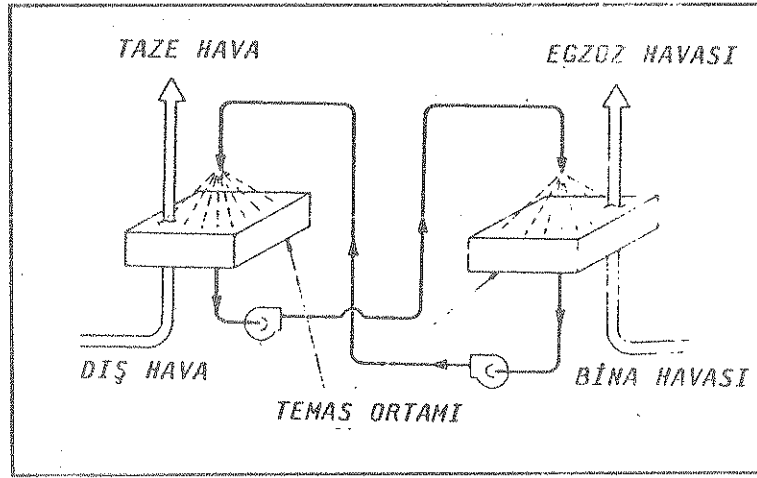
b. İstenen taze hava sıcaklığını sağlamak için verimliliği ayarlamak. Bu çeşit bir ayarlama özellikle iç zonlarda geniş binalarda aşırı ısınmadan korunmak için gereklidir.

c. Düşük dış hava sıcaklıklarında buz oluşumunu engellemek için verimliliği azaltmak. Verimliliğin azaltılması ile, egzoz havası üniteyi daha ılık sıcaklıkta terk edecek ve buz oluşum koşullarının üzerinde kalacaktır.

Diğer kontrol yöntemleri de alın veya by-pass damperleri ve ön ısıtıcıların kullanılması, özel fonksiyonlu uygulamalarda kullanılabilir.

#### 4.5. İkiz Kule Tipi Entalpi Geri Kazanım Devreleri

Bu hava-sıvı ve sıvı-hava entalpi geri kazanım sisteminde bir sorbent (emici) sıvı sürekli olarak taze ve egzoz hava akımları arasında sürekli dolaşır ve bu dolaşım esnasında her iki hava akımı ile direkt temas kulelerinde temas halindedir. Bu sıvı su buharı ve ısıyı transfer eder. Sorbent çözelti genellikle lityum klorid-su gibi holojen tuz çözeltisidir. Pompalar taze



Şekil 19. İkiz Kule Tipi Entalpi Geri Kazanım Devresi

hava ve egzoz temas kuleleri arasında çözeltinin dolaşımını sağlar, Şekil 19.

Dikey ve yatay hava akımlı temas kuleleri imalatı gerçekleştirilebilir. Temas kuleleri hava akış kapasiteleri 50 m<sup>3</sup>/s debiye kadar temin edilmektedir.

Dikey kulelerde, taze ve egzoz havaları, temas yüzeylerine ters akımlı ve dikey doğrultuda geçerken sorbent sıvısı yüksek temas verimliliklerine ulaşır. Yatay kulelerde ise hava akımları temas yüzelerine dik akarken sorbent sıvısı ile temas verimi önemli derecede daha küçüktür. Temas yüzeyleri genellikle metalik olmayan malzemelerden yapılmaktadır. Temas yüzeyini geçen hava bir nem alan yastıktan geçirilerek sürüklenen sorbent çözeltisi varsa giderilmesi sağlanır.

#### 4.5.1. Tasarımda Dikkat Edilecek Hususlar

##### 4.5.1.1. Çalışma Sıcaklığı Limitleri

İkiz kule tipi entalpi geri kazanım sistemleri öncelikle konfor iklimlendirme bölgesinde çalışır ve yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir. Yaz aylarında bu sistem bina taze hava sıcaklığının 46°C gibi değerlerinde çalışır. Kış taze hava sıcaklıkları da -40°C gibi düşük sıcaklıklarda, donma problemi olmaksızın bulunabilir, çünkü sorbent çözeltisi her konsantrasyonda efektif bir antifiriz fonksiyonunu görür.

##### 4.5.1.2. Statik Basınç Etkileri

Taze ve egzoz havası temas kuleleri yalnızca, sorbent iletim boruları ile bağlantılı olduğundan taze ve egzoz havası fanları neresi istenirse oraya yerleştirilebilir. Temas kuleleri genellikle hava giriş statik basıncı -1.5 ile 1.5 kPa arasında çalışabilir. Egzoz temas kulesi, taze hava temas kulesi iç statik basıncından daha yüksek basınçta, herhangi bir kirlenme ve sızıntı olmaksızın, çalıştırılabilir.

##### 4.5.1.3. Karşı Kirlenme

Partikül kirlenmesi, ıslanmış partiküller sorbent çözeltisi içinde kaldığından ve daha sonra filtrelendiğinden, meydana gelmez. Sınırlı miktarda gaz karşı kirlenmesi oluşabilir, bu ise gazın sorbent çözeltisi içinde çözünürlüğüne bağlıdır. Sülfür heksafluorid kullanımı ile yapılan gaz kirlenmesi testinde, ikiz kule tipi sistemi karşı kirlenme oranının % 0,025 mertebelerinde olduğu belirlenmiştir.

Sorbent çözeltileri ( özellikle klorlu tuz çözeltileri) bakteri yok edicidir. İkiz kule sistemlerinde kullanılan lityumklorit ise bazı virüslere karşı yok edicidir. Mikro organizma testlerinde bu durum saptanmıştır. Kullanılan temas kulelerinde belirlenen sonuçlara göre de taze veya egzoz havası içinde bulunan bakterilerin % 94'ünün efektif olarak giderildiği gözlenmiştir.

#### 4.5.1.4. Bina veya İşlem Atık Madde Kirleticilerinin Etkisi

Eğer binada veya işlem egzozunda iplik, tiftik, hayvan kılı veya diğer katılar gibi büyük miktarda kirleticiler mevcutsa egzoz hava akımı, temas kulesi öncesi, filtre donanımından geçirilmelidir.

Eğer binada veya işlem egzozunda kimyasal gazlar ve hidrokarbonlar gibi gaz kirleticiler mevcutsa, karşı kirliticilik olasılığı ve sorbent çözeltisi üzerine etkileri dikkate alınmalı ve incelenmelidir.

#### 4.5.1.4. Kış Çalışması

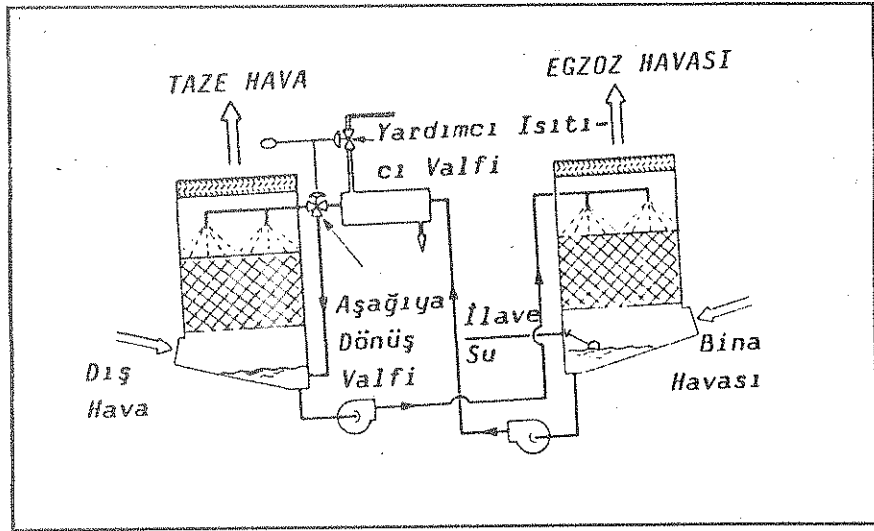
Soğuk iklimlerde nemlilik kontrol uygulamalarında ikiz kule sistemi kullanıldığında, doyma etkileri (diğer cihazlarda yoğunlaşma, kar ve buz oluşumuna neden olabilir) ile ikiz kule sisteminde sorbent çözeltisi aşırı sulanabilir. Sorbent çözeltisinin taze hava temas kulesi öncesi bir yardımcı ısıtıcı ile ısıtılması sulanmaya engel olabilir, Şekil 20. Bu ısıtma taze hava temas kulesini terkeden havanın çıkış sıcaklık ve nemliliğini yükseltir, böylece sistemin nemliliği ve aşırı sulanması önlenip dengelenmiş olur.

Bir termostat duyar elemanı taze hava temas kulesinin hava çıkışından aldığı uyarı ile çözelti ısıtıcıyı kontrol etmekte kullanılmaktadır, böylelikle dış sıcaklıktan bağımsız, sabit hava sıcaklığı sağlanır. Sorbent çözeltisine otomatik olarak şamandıralı kontrol sistemiyle su ilave edilmesi, sorbent çözeltisini sabit konsantrasyonda tutar ve ikiz kule sistemi soğuk havalarda sabit nemlilikte taze hava sağlar, Şekil 20. Böylece sistem sabit hava sıcaklığı ve nemlilik değerlerinde havayı, ön ısıtma, tekrar ısıtma serpantinleri veya nemlendiriciler olmaksızın sağlar.

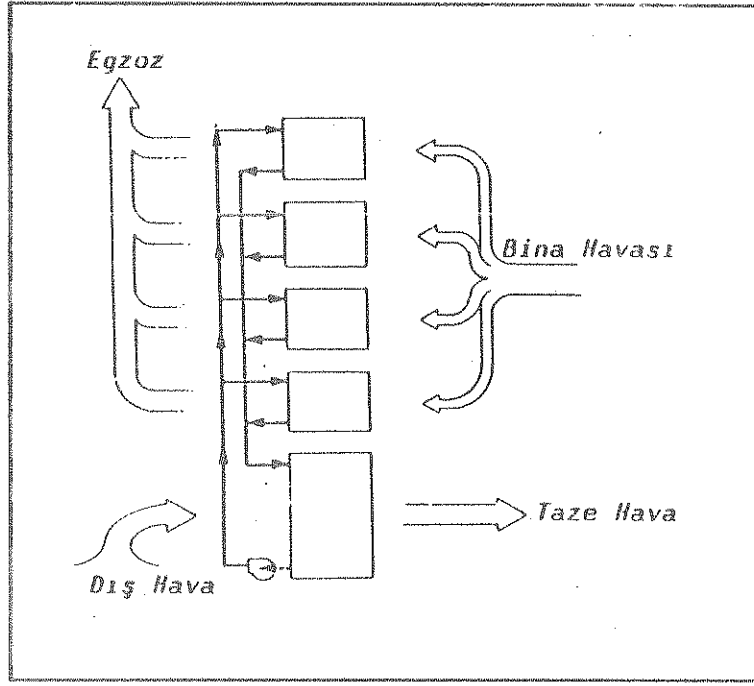
#### 4.5.1.5. Çok Sayıda Kulenin Kullanılması

Herhangi sayıda taze hava kulesi, herhangi sayıda egzoz kulesi ile birlikte kullanılabilir, Şekil 21.

Eğer taze ve egzoz havası temas kulelerinde yeterli yükseklik farkı varsa, yer çekimi sorbent çözeltisinin üst kule veya kulelerden geri dönüşünde kullanılabilir, Şekil 21.



Şekil 20. İkiz Kule Tipi Entalpi Geri Kazanımı Devresi, Kış Çalışması ve Kontrolü



Şekil 21. İkiz Kule Tipi Entalpi Geri Kazanım Devresinde, Çok Sayıda Kulenin Kullanılması

#### 4.5.1.6. Bakım

İkiz kule tipi ısı geri kazanım sistemleri yalnızca düzenli zamanlı bakım gerektirir. Komple bakım işlemleri, yedek parça listeleri her uygulama ile ilgili işletme talimatnamelerinde bulunabilir. Periyodik olarak sirkülasyon pompaları püskürtme nozulları, sıvı transfer kontrolleri ve damlacık alıcı yastıklar kontrol, ayarlama veya bakıma gereksinim duyabilir.

İnhibitörlü halid (klorlu) tuz çözeltileri ikiz kule sistemlerinde enerji transfer ortamı olarak kullanılır. İmalatçıların teknik destek (çözelti izleme ve konsantrasyon değişimi raporlama, inhibitör miktarı ve pH gibi konularda) vermesi ve böylece maksimum verimliliğin sürekliliğinin sağlanması gereklidir.

#### 4.6. Termosifon Isı Değiştiriciler

İki fazlı termosifon ısı değiştiriciler sızdırmaz sistemler olup bir buharlaştırıcı, bir yoğuşturucu, bağlantı borusu ve arada çalışma akışkanından (sıvı ve buhar fazında mevcut) oluşur. İki ayrı tipte termosifon kullanılmaktadır a. Sızdırmaz boru devresi, b. Serpantin devresi. Birinci tipte buharlaştırıcı ve yoğuşturucu genellikle düz, aynı termosifon borularının iki karşı ucundadır ve egzoz ve taze hava kanalları birbirine yakındır (ısı borulu sistemdeki düzenleme ve yerleştirilişe benzer). İkinci tipte buharlaştırıcı ve yoğuşturucu serpantinleri ayrı ayrı kanallara yerleştirilmiş ve çalışma akışkanı boruları ile bağlantılıdır (düzenleme serpantinli enerji geri kazanımı devresi ile hemen hemen aynıdır).

Termosifon sistemlerde, sıcaklık farklılığı ve yer çekimi kuvveti çalışma akışkanının buharlaştırıcı ve yoğuşturucu arasında dolaşımını sağlar. Buharlaştırıcı da, buharlaşan çalışma akışkanı, yoğuşturucu da yoğuşup tekrar buharlaştırıcıya geri döner ve çevrim tekrarlanır. Sonuç olarak termosifonun yerleştiriliş biçimine göre ısı tek yönlü veya çok yönlü olarak transfer edilebilir.

Isı borularının çalışma ve biçimine benzer olmakla birlikte termosifon boruları iki farklı duruma sahiptir: 1. İç yüzeylerinde fitile sahip değildir ve yoğuşan sıvının buharlaştırıcıya dönüşünde yalnızca yer çekimi etkisi kullanılır, oysa ısı borularında kapilar kuvvet etkisinden yararlanır.

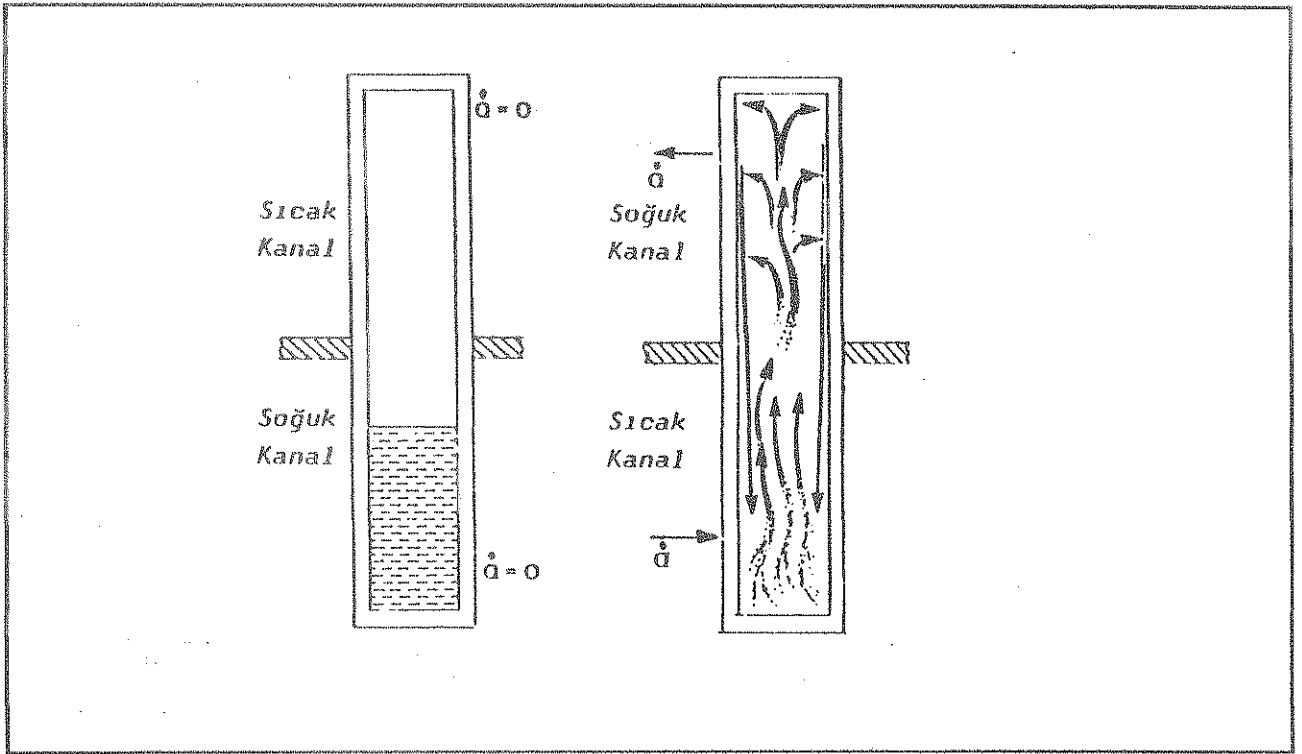


2. Termosifon boruları, en azından başlangıçta çekirdekli buharlaşmaya bağlıdır, oysa ısı boruları sıvı buhar ara fazında geniş bir yüzeyden sıvıyı buharlaştırır.

Termosifon devreleri diğer serpantinli enerji geri kazanımlı sistemlerden pompa gerektirmemesi, dış güç gereksinimi olmaması ve serpantinlerin buharlaştırma ve yoğuşmaya uygun olmasıyla ayrılır.

#### 4.6.1. Çalışma Prensibi

Bir termosifon sızdırmaz bir sistem olup iki fazlı çalışma akışkanı bulundurur. Sistemin buhar ve sıvı içeren parçaları nedeniyle termosifon içindeki basınç sıvı-buhar ara fazındaki sıvı sıcaklığına bağlıdır. Termosifonun bulunduğu ortamlar iki bölgesi arasında sıcaklık farklılığına neden olduğunda, sıvı-buhar ara fazında, buhar-basınç farklılığı ılık bölgeden soğuk bölgeye buhar akışını sağlar. Akış soğuk bölgede yoğuşma ve ılık bölgede buharlaşma ile beslenir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcının yerleşim durumuna göre yoğuşan akışkan buharlaştırıcı bölgesine yerçekimi etkisiyle geri döner ve bu işlemler ısı çekimi ve verilmesi süresince çevrimsel olarak tekrarlanır, Şekil 22. (1,16).



Şekil 22. Tek yönlü ısı transfer eden sızdırmaz boru tipi termosifon

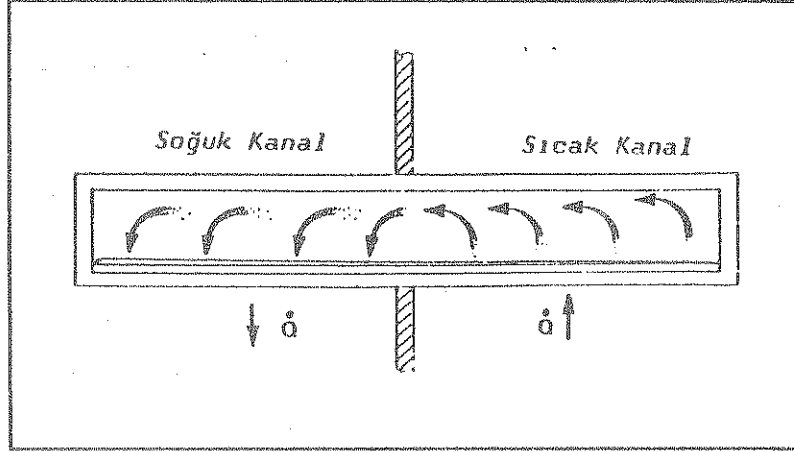
#### 4.6.2. İki Fazlı Termosifonun Özellikleri

Termosifonun geometrik yerleştirilişi, iki kanat arasında sıcaklık farklılığı, boru çapları ve uzunlukları, çalışma akışkanının miktarı ve tipi bu ünitelerin çalışma karakteristiklerini etkiler. Eğer yerleşim kanallarının iki tarafında sıvı seviyesi yüksek olacak gibi ise, şekil 23 ve şekil 24, termosifon sistemi her iki tarafa, iki yönlü ısı transfer edebilir. Eğer yerleşim sıvının yerçekimi ile geri dönebileceği düzeyde ise, ısı transferi tek yönlü olarak sıvının birikmediği tarafa doğru gerçekleşir, diğer yöne ısı transferi olmaz, termal diyot etkisi söz konusudur, şekil 22, Şekil 25.

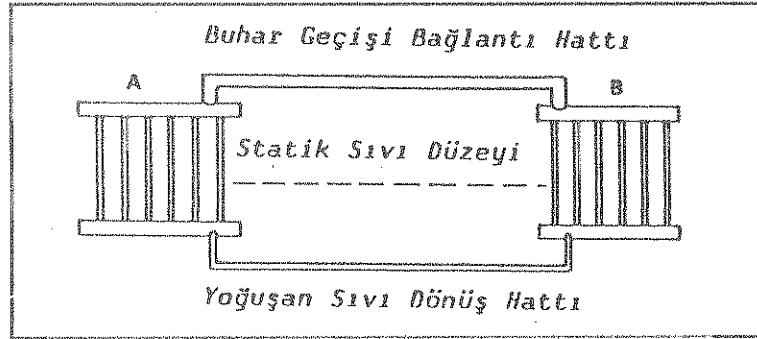
Bu özellik bazı uygulamalarda avantajlı olabilir, örneğin buharlaştırıcı bölgesi güneş enerjisi toplayıcısının absorberi olan bir uygulamada, güneş mevcutken ısı yoğuşturucu bölgesine (ısıtılan akışkana) aktarılırken, toplayıcı (buharlaştırıcı) sıcaklığı, yoğuşturucu sıcaklığının

altına düşerse ısı aktarma durur, bu herhangi bir yardımcı kontrol ünitesi olmaksızın sağlanır.

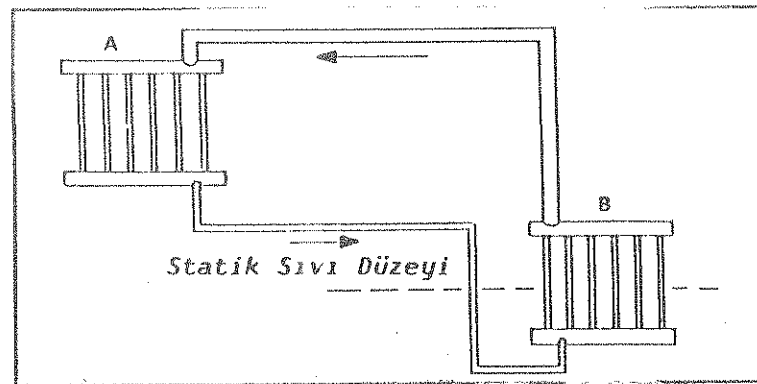
Termosifon sistemleri  $0^{\circ}\text{C}$  ve çekirdekli kaynamaya başlama sıcaklığı arasında değişen sıcaklık farklılıklarında çalıştığı zaman histerizis davranışı gösterebilir ve başlangıç buharlaşması için yüksek sıcaklık farklılıkları gerekebilir. Histerizis etkilerini en aza indirmek için çalışma sıcaklıklarında yüksekçe basınçlı çalışma akışkanı kullanılmış olmalıdır, bu termosifonun düşük sıcaklık farklılıklarında çalışması gerektiği durumlarda gereklidir.



Şekil 23. İki Yönlü Isı Transfer Eden Sızdırmaz Borulu Termosifon



Şekil 24. İki Yönlü Isı Transfer Eden Serpantinli Termosifon Devresi  
( Isı A dan B ye ve B den A ya iki yönlü transfer edilebilir)



Şeki 25. Tek yönlü Isı Transfer Eden Serpantinli Termosifon Devresi  
( Isı B den A ya Tek Yönlü transfer edilir.)

#### 4.6.2. Sızdırmaz Boru Tipi Termosifon

Sızdırmaz boru tipi termosifonlar egzoz ve temiz hava kanalları komşu olduğunda kullanılmaktadır. Bu tip termosifonun çalışma karakteristikleri, uygulamaları ve sınırlandırmaları ısı borulu ısı değiştiricilere benzerdir. İki yönde ısı transfer eden sistemlerde borular yatay olarak monte edilir ve termosifon verimliliği, borunun aynı doğrultuda olmadan sapma durumunda ısı borusu verimliliğinden daha hasas olarak etkilenir. Çünkü termosifon da sıvının geri dönüşü yalnızca yerçekimi etkisiyle gerçekleşirken, ısı borusunda kapılar kuvvetlerin etkisi de vardır. Bütün sıvı borunun bir ucunda birikirse, ısı transferi durur.

#### 4.6.3. Serpantin Devreli Termosifon

Serpantin devreli termosifon taze ve egzoz kanallarının komşu olmadığı durumlarda kullanılır. Şekil 24 ve 25 de gösterildiği gibi termosifon iki serpantinden oluşmuştur ve bu serpantinler buhar ve yoğuşan sıvı hatlarıyla bağlantılıdır. Devre doymuş durumda çalışma akışkanı ile doldurulur ve bu durumda bir kısmı sıvı ve bir kısmında buharla doludur. Sızdırmaz devredeki basınç sıvı - buhar arasındaki akışkan sıcaklığına ve kullanılan çalışma akışkanına bağlıdır. Devrenin maksimum basıncı ünitenin maksimum çalışma sıcaklığındaki doyma basıncıdır. benzer şekilde en düşük basınçta, en düşük çalışma sıcaklığındaki doyma basıncıdır. Her çalışma akışkanı ayrı

Optimum çalışma bölgelerine sahiptir, bu nedenle uygulama çalışma bölgesine uygun çalışma akışkanı seçilmelidir.

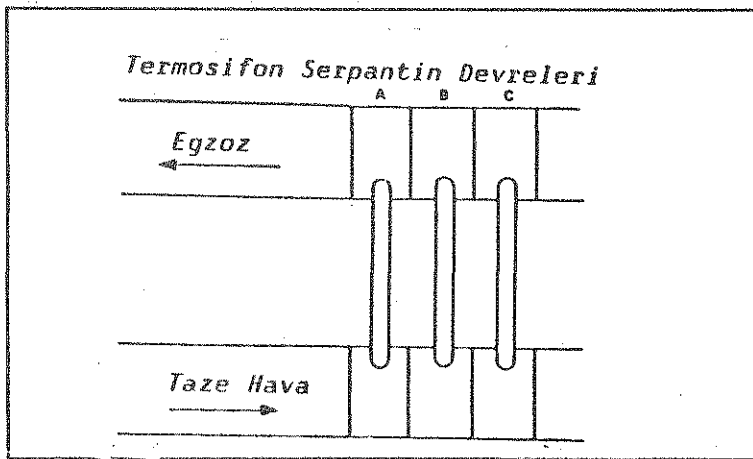
Yoğuşma ve buharlaşma boru çapları, uzunluğun, serpantinlerin yerleştirilişi ve her bir serpantine doldurulan sıvı miktarından etkilenir. Sonuç olarak iki yönlü sistemler herhangi bir dış kontrol olmaksızın her iki yönde enerji akışı için uygun verimlilikte tasarlanabilir.

Tek yönlü serpantin devreli termosifon, aynı koşullarda çalışan iki yönlü serpantin devreli termosifondan daha verimlidir. Bir çok serpantin devreli termosifon seri olarak taze ve egzoz kanallarına yerleştirilebilir, şekil 26. Böylelikle tek bir devrenin sahip olduğu verimlilikten daha yüksek verimlilik değerlerine ulaşılabilir.

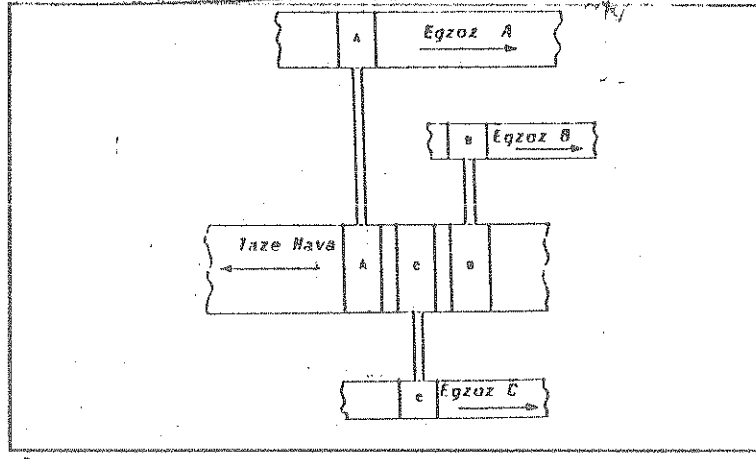
En ekonomik serpantin boyutu ve devre sayısı tasarım kriterine, sistem ömrüne ve ekonomik kriterlere bağlıdır.

Isı borularındaki gibi her bir devre bağımsız olup, her bir devrede ayrı çalışma akışkanlarının kullanılması avantajı da vardır. Buna ilaveten termosifon serpantin devrelerini çok sayıda taze hava veya egzoz kanalına uygulamak olasıdır, böyle bir uygulama şekil 27 de verilmektedir.

Şekil 27 de üç ayrı egzoz kanalından ısıtılan Taze Hava kanalında Serpantin Devreli Termosifon Isı Geri Kazanım Sistemini göstermektedir.



Şekil 26. Çoklu Serpantin Devreli Termosifonun Seri Bağlı Olarak Kullanılması



**Şekil 27. Çok Sayıda Egzoz Kanalı Ve Tek Taze Hava Kanalı Bağlantılı Serpantin Devreli Termosifon Sistemi Uygulaması**

## 5. Sonuç Ve Öneriler

Böylesi çeşitli hava-hava ısı geri kazanım cihazları mevcutken, uygulamalarda enerjinin verimli kullanılması ve atık ısılardan geri kazanılması sistem tasarımcıları olan tesisat mühendislerinin projelendirmede dikkat etmeleri gereken en önemli konu olmalıdır. Bu her yönüyle ülke ekonomisi için kazanımları ve kullanıcı açısından da ekonomik kazanımları birlikte getirecektir.

Bu yazıda belirtilmeyen genel ısı transferi kaynaklarında bulunabilecek kompakt, kanatlı yüzeylerde ısı transferi gibi konularda tasarım bu kaynakların kullanımıyla kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Üretici firmaların belirtilen sistemler üzerinde çalışmalar yaptığının gözlenmesi sevindirici olup bu imalatlar için bazı firmalarımızda yeterli bilgi ve deneyim birikimi vardır. Her tür ürünün imalatının yerel olanaklarda gerçekleştirilmesi doğrultusunda çalışmalar hızlandırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. "Air To Air Energy Recovery", 1992 Systems and Equipment Handbook(SI). ASHRAE Publication.
2. Güngör A., Özbaltı N., Değişik Isı Değiştirgeçleri ile Geri Kazanım sistemleri, 6. Enerji Tasarrufu kongresi, Seminer Tebliğleri, 11-13 Ocak 1988, İstanbul, TÜYAP.
3. Atık Isı Geri Kazanımı, Sanayide Enerji Tasarrufu Serisi No:4, EİE Yayını, 1985 Ankara.
4. Isı Pompası, EİE Yayını, 1987 Ankara.
5. Arısoy A., Isı Geri Kazanma Sistemleri, Termas A.Ş. Teknik yayınları 3.
6. Reay D.A., Industrial Energy Conservation, Pergamon Press, 1979.
7. Lawrence K., McRae A., Alley S., Energy Conservation Sourcebook, Aspen System Corporation, Rockville, Maryland, 1980.
8. Diamant R., Industrial Energy Efficiency, Part 4: Plate-and Spiral Flow heat Exchangers, The Heating and Air Conditioning Journal, November 1982.

9. Diamant R., Industrial energy efficiency, part 6: Termal wheels, The Heating and air conditioning journal, January 1983.
10. Enerji Bilgi Dosyası, Atık Enerji, Koç Arge Yayını.
11. Isı Tekerı, Munters, Teknik Katoloğu.
12. Güngör A. Düzlemsel Güneş Enerjisi Toplayıcılarında Isı borusu Uygulamaları ve Prototip bir toplayıcının Geliştirilmesi Üzerine Deneysel Çalışmalar, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 10, sayı 4, Aralık 1987 S. 15-21.
13. Güngör A., Enerjinin Verimli Kullanımında ve Enerji Tasarrufunda Isı Boruları, 6. Enerji tasarrufu Semineri Tebliğleri, 11-13 Ocak 1988, İstanbul, TÜYAP.
14. Chi. SW., "Heat Pipe Theory and Practice", A Source book, Hemisphere Publishing Corp., 1976.
15. Dunn, P.D., Reay, D.A., "Heat Pipes", Third Edition, Pergoman Press, 1982.
16. Teba Teknik Yayınları, Sirküler-5, Isı borusu (termosifon) Değiştirgeçler.

## ÖZGEÇMİŞ

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı üniversitelerinin Güneş Enerjisi Enstitüsünden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve madde Transferleri bilim dalında Doçent oldu. 1978'den beri üniversite de ve halen Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.