

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK ISI ENERJİSİNDEN YARARLANMA
YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh.Reşat SELBAŞ

7580/1-1

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18.06.1992
Tezin Savunulduğu Tarih : 03.07.1992

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Ali Kemal YAKUT
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ing.Z.Kazım TELLİ
Yrd.Doç.Dr.Mehmet KUNDUZ

Haziran 1992

ÖNSÖZ

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır[1]. Atılan sıcak gaz ve sıvıların enerjisinin geri alınabilecek kısmını maximum yapan cihazlardan en uygun olanını seçmek önem taşımaktadır.

Bu çalışmada atık ısı geri kazanım cihazları tanıtılmış seçimindeki bazı kriterler belirtilmiştir. Ayrıca ülkemizde uygulama sahasına pek alınmamış ısı tekerlekleri incelenerek bir uygulama yapılmıştır.

Günümüzde enerji fiyatları hızla artarken atık ısı geri kazanım cihazları kendini kısa sürelerde geri öder hale getirmiştir. Bu çalışmamın bu konuya ışık tutmasını ümit eder, çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Ali Kemal YAKUT'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
TABLoların LİSTESİ.....	vi
ÖZET	vii
SUMMARY.....	viii
1.0. GİRİŞ	1
1.1. Isı geri kazanım sisteminin geliştirilmesi.....	1
1.2. Prosesin tanınması	2
1.3. Tesis araştırmaları ve testleri.....	3
1.4 Isı geri kazanım ekipmanının seçimi.....	3
2.0. GAZ-GAZ ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ.....	5
2.1. Reküperatörler.....	5
2.2. Rejeneratörler.....	13
2.2.1. Isı tekerlekleri.....	13
2.2.2. Hava ön ısıtıcıları.....	18
2.2.3. Isı borulu değiştirgeçler.....	19
3.0. GAZ-SIVI ve SIVI-SIVI ISI GERİ KAZANIM SİSTEMLERİ....	22
3.1. Kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri....	22
3.2. Gövde-Boru tip ısı değiştirgeçleri.....	23
3.3. Atık ısı kazanları.....	24
3.4. Plakalı ısı değiştirgeçleri.....	25
3.5. Dolayan serpantin ısı değiştiricileri....	28
3.6. Isı pompaları.....	30

4.0. ISI BORULARI.....	33
4.1. Baca gazı ısısının geri kazanılması.....	33
4.2. Termal geri kazanma üniteleri.....	34
4.3. Isı borulu ısı geri kazanma üniteleri ile genel uygulamalar.....	35
4.3.1. Endüstriyel fabrikalarda kullanım.....	35
4.3.2. Büyük binalarda kullanım.....	35
4.3.3. Kapalı yüzme havuzlarında kullanım.....	36
4.4. Isı geri kazanma sistemlerinde ısı borusu uygulamaları.....	36
4.4.1. Isı borulu rejeneratörler.....	37
4.4.2. Isıl ekenominin hesaplanması.....	38
4.4.3. Geri kazanım sisteminin optimum boyutları.....	40
4.4.4. Akış hızı ile geri kazanım oranının değişimi.....	40
5.0. ISI TEKERLEĞİ UYGULAMASI.....	43
6.0. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Metalik ışınlama ile ısı transferli reküperatör.....	6
Şekil 2.2. Taşınım reküperatörü.....	7
Şekil 2.3. Seramik reküperatör.....	9
Şekil 2.4. Dikey çift borulu reküperatör.....	10
Şekil 2.5. Işınım ve taşınım reküperatörü.....	11
Şekil 2.6. Radyant borulu yakıcı ve ışınlama reküperatörlü ısı geri kazanım sistemi.....	12
Şekil 2.7. Isı tekerleği tipi rejeneratör kullanımı ile ısı ve nem geri kazanımı.....	14
Şekil 2.8. Temizleme bölümlü ısı tekerleğinin görünüşü....	17
Şekil 2.9. Pasif gaz-gaz ısı rejeneratörü.....	18
Şekil 2.10. Isı borulu gaz-gaz ısı değiştirgeci.....	19
Şekil 2.11. Isı borusunun çalışma prensibi.....	20
Şekil 3.1. Kanatçıklı borulu gaz-sıvı rejeneratörü.....	23
Şekil 3.2. Gaz türbinlerinden ısı kazanımı için atık ısı kazanımının şematik görünüşü.....	25
Şekil 3.3. Plakalı ısı değiştirgeci.....	26
Şekil 3.4. Dolan serpanlin sistemi.....	29
Şekil 3.5. Isı pompası.....	30
Şekil 3.6. Kapalı devre kurutucu.....	32
Şekil 5.1. Isı tekerleği uygulaması.....	43
Şekil 5.2. Rototherm ET 12 yük diyagramı.....	45
Şekil 5.3. Psikrometrik diyagram.....	47

TABLULARIN LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Isı borusu biriminden geçen hava akış hızı ile geri kazanım oranının değişimi.....	41
Tablo 5.1. Diyağramdan okunan değerler(1234).....	48
Tablo 5.2. Diyağramdan okunan değerler(1'2'3').....	49
Tablo 6.1. Isı değıştirgeçlerinin bazı özellikleri.....	54
Tablo 6.2. Değişik tipte ısı değıştirgeçlerinin birbiriyle karşılaştırılması	55

ÖZET

ATIK ISI ENERJISINDEN YARARLANMA YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI

Resat SELBAŞ

Anahtar Kelimeler: Reküperatör, Rejenaratör, Isı Tekerli.

Bu çalışmada atık ısı geri kazanım yöntemleri incelenmiş, cihazların özellikleri ve şekilleri gösterilmiştir. Ayrıca geri kazanım ekipmanlarının birbiriyle karşılaştırılması ve kullanılacakları aralıklar tablolar halinde verilmiştir.

Atık ısı geri kazanımında düşük sıcaklık uygulamalarında ısı tekerlekleri önemli bir yer tutmaktadır. Isı tekerleği yüksek ısı kapasitesine sahip gözenekli bir diskten ibarettir. Sıcak veya soğuk egzoz gazının ısını sıcak veya soğuk giriş havasına aktararak enerji tasarrufu sağlar.

Bu çalışmada bir klima santralına ısı tekerleği eklenmiştir. Ve bunun sonucunda geri kazanılan termal enerji hesap edilmiş, sistemin maliyeti ve geri ödeme süresi belirlenmiştir. Neticede ısı geri kazanımın önemi ve ısı tekerleği uygulaması hakkında bir değerlendirme yapılmıştır.

SUMMARY

RECOVERY METHODS OF WASTE HEAT ENERGY AND THEIR APPLICATIONS

Reşat SELBAŞ

Keywords: Reküperatör, Rejeneratör, Thermal Wheel.

In this study waste heat recovery methods have been examined and properties of equipments and figures have also been shown. Additionally heat recovery equipments have been compared with each other and their utility ranges have been given in charts.

Thermal wheel is very important in low temperature application of waste heat recovery. Thermal wheel is composed of a porous disc having high thermal capacity. It saves energy by carrying the heat of cold or hot exhaust gases into cold or hot inlet air.

In this study, a thermal wheel is added into air conditioning equipment. Thermal energy which is recovered was calculated. Cost of system and payback time were determined. So, a research was made about importance of heat recovery application of thermal wheel in general.

BÖLÜM 1

1.0. GİRİŞ

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık % 26 'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp, atık ısı geri kazanımı temel tekniklerinin uygulanmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış ısı geri kazanım ekipmanları için yapılan yatırımları karlı ve çoğunlukla birkaç ayla birkaç yıl arasında değişen kısa sürelerde kendini geri öder hale getirmiştir. Bu imkanın iyi değerlendirilebilmesi için uygun ve etkili bir ısı geri kazanımı sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

1.1. Isı geri kazanım sisteminin geliştirilmesi

Isı geri kazanım ekipmanlarının yapılan yatırım masraflarını geri ödeyebilmesi için belirli bir sürenin geçmesi gereklidir. Bu sürenin kısa olması, ekipmanın ısı geri kazanım veriminin yüksek olması ve düzenli bir şekilde işletilmesi ile sağlanabilir. Bu şartların yerine getirilebilmesi için ekipman seçiminde öncelikle şu noktalara dikkat edilmelidir.

- Isı geri kazanımı uygulanacak prosesin tüm ayrıntılarıyla incelenmesi ve anlaşılması.
- İşletmeye alış, normal işletme, devreden çıkarma ve işletme sorunları (fazla ısınma, tozlanma, kirlenme gibi) hakkında yeterli seviyede veri toplama.

Ekipman seçimine ancak bu bilgiler tamamlandıktan sonra geçilmelidir.

1.2. Prosesin Tanınması

Prosesin tanınması işinde en iyi başlangıç noktası proses akış şemasıdır. Proses akış şeması temin edilmeli, yoksa hazırlanmalıdır. Bu şemada bütün olarak sistemdeki ve prosesdeki enerji taşıyan maddelerin akışları görülmelidir. Her akımın üzerine, miktar, sıcaklık, nem ve kirlilik derecesi gibi özellikleri kaydedilmelidir. Bu bilgilerle, mevcut sisteme bir ısı geri kazanımı cihazı eklendiğinde, ortaya çıkabilecek problemlerin tahmin edilebilmesi mümkün olacaktır. Bu aşamada cevap verilmesi gerekli sorular şunlardır:

- Tesiste yapılacak değişiklikler (örneğin yanma havasının ön ısıtılması), bazı noktalarda aşırı sıcaklıkların oluşmasına yol açabilir mi?
- Egzos gazlarının fazla soğuyarak asit oluşumuna ve dolayısıyla korozyon problemlerine yol açması ihtimali varmı? (Örneğin buhar kazanı bacaları ve direkt yakmalı kurutucu egzozları için)
- Bir ısı geri kazanımı cihazının kurulması, işletmeyi veya bütün olarak sistem performansını olumsuz etkileyecek herhangi bir problemin oluşmasına neden olabilir mi?

Bu tip problemlerin önceden farkedilmesi, ısı geri kazanımı sisteminin kurulmasından ve devreye alınmasından sonra ortaya çıkabilecek işletme zorluklarını ortadan kaldıracaktır.

Bazı durumlarda prosesler, atık ısının direkt olarak geri kazanılmasını sağlayacak şekilde tadil edilebilir. Bir kurutucudan çıkan sıcak gazların yeniden sirkülasyonu bu duruma iyi bir örnektir. Böyle durumlarda yatırım miktarı oldukça düşük, geri ödeme süreleri ise kısadır. Çoğu zaman da atılmakta olan sıcak havanın, filtreden geçirilerek veya temizlenerek, bina ısıtmasında kullanılması mümkündür.

Atık maddelerin kolay veya ekonomik bir yolla temizlenememesi durumunda atık ısı geri kazanımı sistemlerinin kurulması gerekli hale gelir.

1.3. Tesis Araştırmaları ve Testleri

Mevcut bir tesise bir ısı geri kazanımı sisteminin ilave edilmesinin ekonomik olabilmesi için geri kazanılabilecek atık ısı miktarının yeterli bir seviyede olması ve bu atık ısının faydalı olarak kullanılabilmesi gereklidir. Geri kazanılabilecek atık ısı miktarı, akış hızı, sıcaklık, nem ve basınç gibi tesis parametrelerinin ölçümlerine dayanılarak hesaplanır.

Atık ısı için, yanma havasının, kazan besleme suyunun ön ısıtılması veya diğer proses sıvılarının ısıtılması gibi pekçok kullanım alanları mevcuttur.

1.4. Isı Geri Kazanım Ekipmanının Seçimi

Atık ısı kaynağı belirlendikten ve bu ısının kullanım alanı tesbit edildikten sonra sıra geri kazanılacak ısı miktarının tahmin edilmesine gelir. Bu kararda öncelikle ekonomik faktörler göz önüne alınır. Geri kazanılan atık ısı oranının artmasıyla, sistemin boyutları ve maliyeti de hızla artar. Bu nedenle, optimum boyut ancak değişik ünite boyutlarındaki maliyetlerin karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Ekonomik kararların alınmasında ve ekipman özelliklerinin

belirlenmesinde tecrübeli uzmanların ve yetkili satıcıların tavsiyelerine uyulmalıdır.

Isı geri kazanımı ekipmanlarının seçimini etkileyen bazı faktörler şunlardır:

- Isıtılan akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu
- Atık ısı taşıyan akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu
- Isıtılan akışkanın ısıtabileceği maksimum sıcaklık

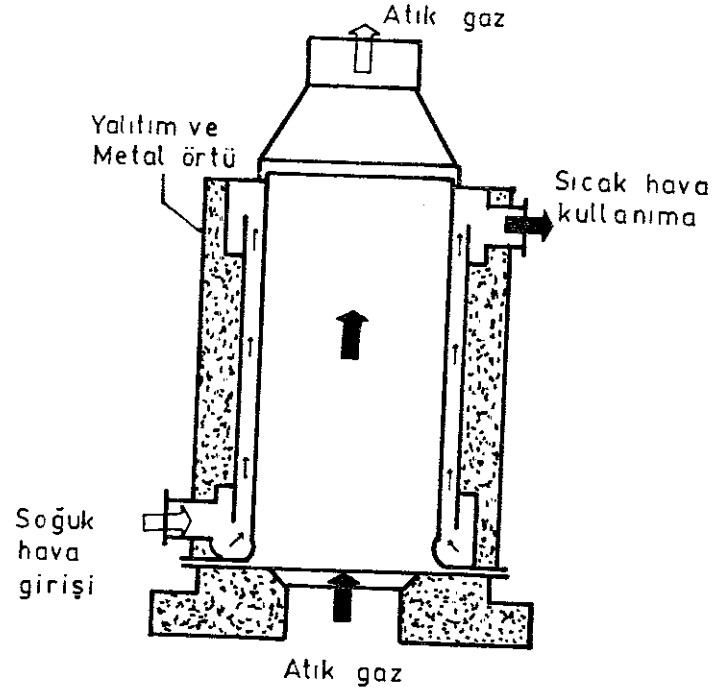
Tezin bundan sonraki bölümlerinde ısı geri kazanım ekipmanlarının tipleri üzerinde bilgi verilmektedir. İşletme prensipleri açıklanmakta ve tipik uygulama örnekleri anlatılmaktadır. Atık ısı iki ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar Gaz-Gaz ısı geri kazanım sistemleri ve Gaz-Sıvı, Sıvı-Sıvı ısı geri kazanım sistemleridir.

BÖLÜM 2

2.0. GAZ-GAZ ISI KAZANIM SİSTEMLERİ

2.1. Reküperatörler

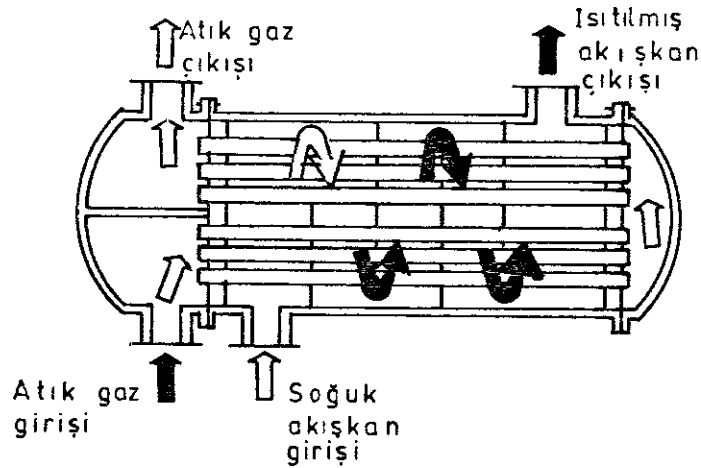
Bu tip ısı değiştirgeçlerinin en basit biçimi Şekil 2.1'de gösterildiği gibi metalik ışınlama ısı transferli reküperatördür (Işınım reküperatörü). Bu ısı değiştirgeci iç içe aynı merkezli ve aynı uzunlukta metal silindirlerden veya borulardan oluşmuştur. İçteki boru sıcak egsoz gazlarını taşıırken, dıştaki borudan çevreden alınan yakma havası almakta ve ısıtılarak yakıcıya gönderilmektedir. Burada sıcak gazlar gelen taze hava ile soğutulurken yanma hacmine ilave enerji taşınmış olmaktadır. Bu enerji ek yakıtla sağlanmamış olup, böylelikle bu ısı geri kazanımıyla belirli bir fırın yükü için daha az yakıt yakılmaktadır. Yakıttaki tasarrufun anlamı, aynı zamanda yakma havasının azalması ve bu nedenle baca kayıpları, yalnızca baca gazı sıcaklığının düşmesinden değil aynı zamanda daha az egsoz gazı atıldığından azalacaktır. Bu özel tip reküperatör isminde ışınlama ısı transferli olarak belirtilmesine karşılık, sıcak gazlardan oluşan ısı transferinin belirli bir kısmını bu biçimde gelen taze soğuk havaya aktarır. Bu iki boru arasından akan hava, infrared ışınlama geçirgen niteliği ile, ısıyı daha çok taşınım almaktadır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi iki gaz akışı genelde paraleldir ve akışların karşıt biçimde gerçekleştirilmesi ısı geçişini daha verimli duruma getirir. Reküperatörlerde paralel akımın kullanımı, egsoz gazları kanallarının soğutulması ve bu yolla ömürlerinin arttırılması gibi ikinci bir işlevi de görmektedir.



Şekil 2.1: Metalik ışınlıma ısı transferli reküperatör[7].

İçteki boru genelde yüksek oranda nikel içeren paslanmaz çelik gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler ile yapılmış fabrika ürünüdür. Girişteki büyük sıcaklık farklılığı, farklı genleşmelere neden olur, çünkü dıştaki boru genelde farklı ve daha az pahalı malzemedendir. Mekanik tasarım bu etkiyi dikkate almalıdır. Daha özenli tasarlanmış ışınlı reküperatörleri iki bölümün birleşimidir ve bunlarda alt kısım paralel akışlı çalışırken, üst bölüm daha verimli biçimde karşıt akımlı çalışmaktadır. Karşılaşılan aksel genleşmenin büyüklüğü yüzünden ve reküperatörün altındaki gerilim koşullarından, ünite üstten serbest destekleme çerçeveleri ile bağlanır ve fırın ile reküperatör arasında genleşmeli bağlantı bulunur.

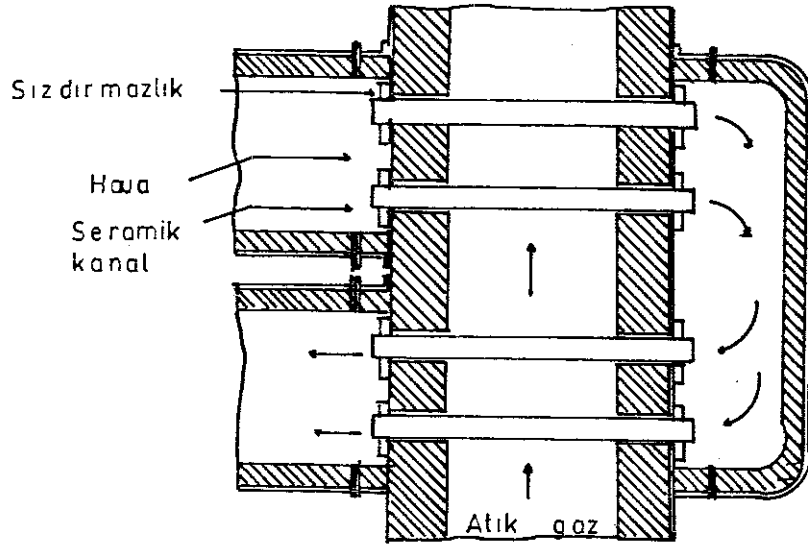
Rekuperatörler için ikinci en genel yapı boru tipi (gövde-boru) veya taşınım rekuperatörüdür. Şematik olarak Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi, sıcak gazlar paralel küçük çaplı boru demetinin içinden geçerken, gelen taze hava dış gövde içinden ve boruların dış yüzeylerinden geçer ve ara bölmelerle akışın boru demetine dik olması sağlanır. Şekildeki gibi boru tarafındaki ayna ikiye bölündüğünde ısı değiştirgeci "iki geçişli" olarak adlandırılır. Bölüm sayısı arttırılarak geçiş sayısında arttırılabilir. Her ne kadar ara bölmelerin (şaşırtıcı) kullanımı yakma havası kısmında basınç düşümü ve ısı değiştirgeci maliyetini artırırsa da, ısı değişim verimliliği artar. Gövde-boru tip rekuperatörler genelde boyutsal olarak daha küçük (Kompakt) ve ışınlımla ısı transferli rekuperatörlerden daha yüksek verime sahiptir, çünkü daha çok ısı transfer alanına (Isıtma yüzeyine) sahiptir ve akışkanların çok sayıda geçişi sağlanabilmektedir[7].



Şekil 2.2: Taşınım rekuperatörü[7].

Metal reküperatörlerle ısı geri kazanımında temel sınırlamayı sıcaklık oluşturur. Giriş sıcaklığının 1100 °C 'yi geçmesi durumunda reküperatörün ömrü azalmaktadır[7]. Bu sıcaklıkta egsoz gazları ve soğutan akışkanın paralel akımlı tipinin daha az verimli biçimleri kullanılabilir ve bu yolla iç gövde yüzeyinde yeterli soğutma sağlanabilir. Buna ek olarak fırının yakma havası gereksinimi azalan yük nedeni ile düşecek olursa, sıcak atık gazlardan ısı transferi hızı, yakma havası için fazla gelir ve bunun sonucu hızlı yüzey bozulması oluşur. Bu yüzden, genellikle egsoz gazlarının soğutulması için ara dış havası (by-pass) ile soğutulması gereklidir.

Metal reküperatörlerin sıcaklık sınırlandırmalarını yenmek için, seramik borulu reküperatörler geliştirilmiştir. bunların malzemeleri gaz tarafında 1540 °C sıcaklığa ve ön ısıtma havası için 1200 °C sıcaklığa kadar deneysel olarak dayanıklı bulunmuştur ve uygulamada ise 815 °C düzeyindeki sıcaklıklarda kullanılmaktadır[7]. Önceki tasarımlarda seramik reküperatörler ateş tuğlasından, çamotla örülerek yapılandırdı. Hala uygulanabilen bu tip reküperatörlerde ısısal çalışmalar sonucu eklenti yerlerinden oluşan çatlaklar ve borularda bu nedenle çabuk bozulmalar oluşabilmektedir. Daha sonraki gelişmeler sonucu reküperatörlerde kısa silikon karpit borular kullanılmıştır. Bu borular aynalara esnek sızdırmazlık elemanları ile bağlanabilmektedir. Bu yolla bakımları ve değiştirilmeleri de kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu tip bir tasarım Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu uygulamada çok düşük mertebede sızdırma olabilmektedir.

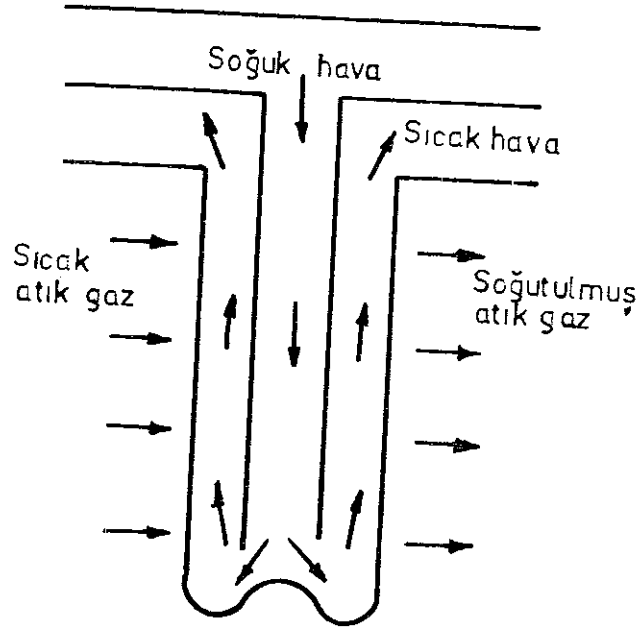


Şekil 2.3: Seramik reküperatör[7].

Önceki tasarımlarda yüzde 8 ile 60 mertebesinde sızırmalar deneysel olarak gözlenmiştir. Yeni tasarımlarda, hava ön ısıtma sıcaklığı $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve daha yüksek değerlerde ve daha az sızdırma gözlenmiştir[7].

Taşınım reküperatörü için değişik bir tasarım Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Burada soğuk yakma havası, paralel dikey boru demeti içinden aşağı ve sonra yukarı doğru akarak, dıştan akan egsoz gazlarıyla ısıtılmaktadır. Bu tasarımın üstünlüğü boruların değişiminin, fırın tam kapasitede çalışırken bile kolayca yapılabilmesidir. Bu, reküperatör arızası nedeniyle sistemin devre dışı olması yüzünden olabilecek fırın zararlarını, uygunsuzluk ve maliyetleri en aza indirir.

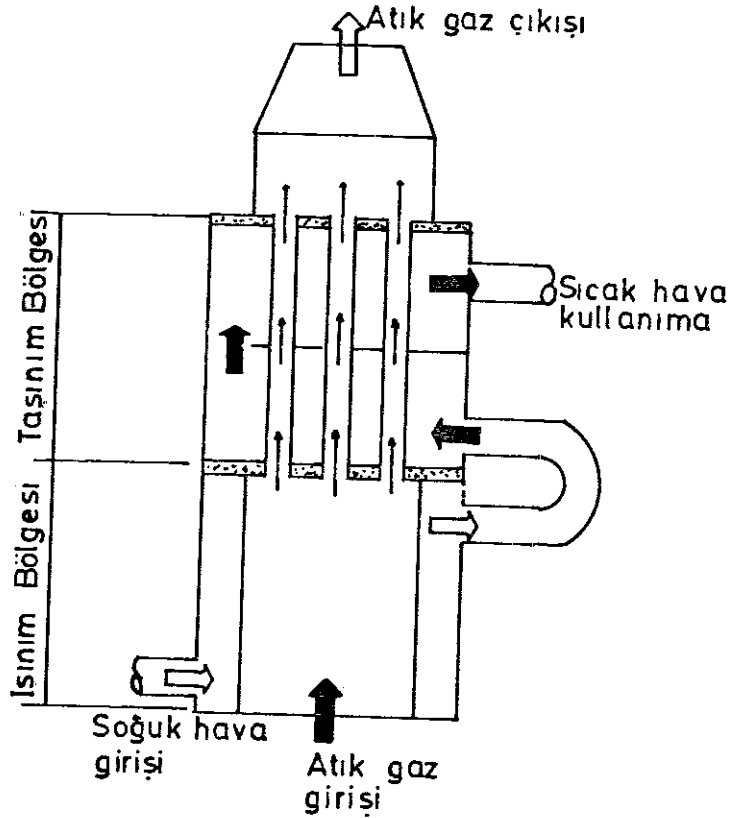
Isı transferi verimliliğini arttırmak için ışınlım ve taşınım tip reküperatörlerin birleşimi kullanılmıştır. Bunlarda taşınım bölümü her zaman yüksek sıcaklıklı ışınlım bölümünden sonra olacak biçimde tasarlanmıştır. Bu tip bir tasarım Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilmektedir.



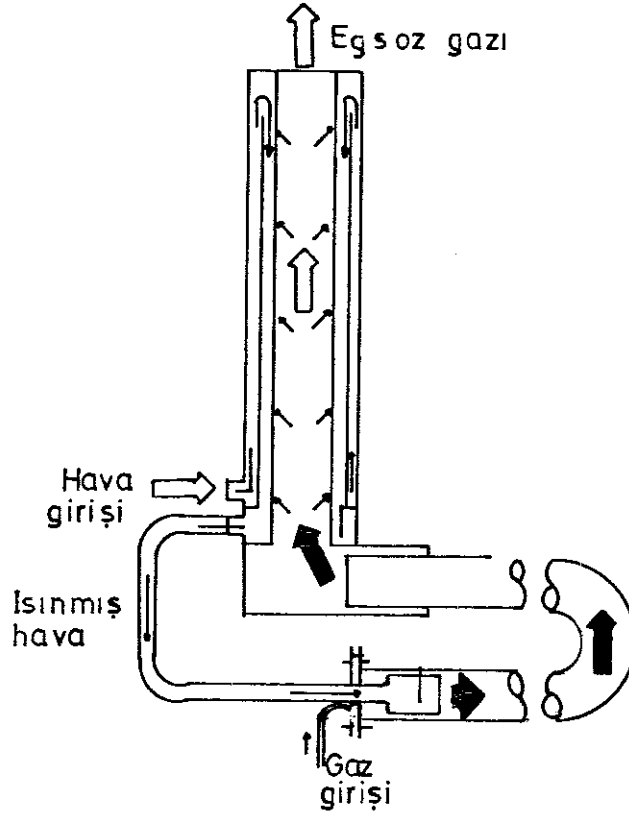
Şekil 2.4: Dikey çift borulu reküperatör[7].

Reküperatörlerin kullanımı endüstriyel fırınlarda yakıt tasarrufu oluşturmasına rağmen ve maliyetleri çok yüksek olmasına rağmen, bu üniten satın alınması daha geniş maliyet oluşumlarını, birlikte kullanılacağı yardımcı ekipmanlar nedeniyle, birlikte getirir. Bir reküperatörün kullanımı ile gelen yakma havasının sıcaklığı yükselir ve bu yüksek sıcaklıklı yakıcıların satın alınmasını gerektirebilir. Kullanılan geniş hava kanalı hatları için, genişlemeye izin verecek esnek bağlantılar gerekir. Yakıcıların soğutulması için soğuk hava hattı, değişken reküperatör ısıtması durumunda gerekli hava/yakıt oranını oluşturabilmede yanma kontrolünün yeniden düzenlenmesi, fanların bozulması durumunda veya güç

kesintilerinde reküperatörü korumak için kontroller, baca damperleri kullanımı, ilave basınç düşümlerinin yenilmesi için daha büyük fanlar reküperatör ve sistem için gereklidir. Reküperatörün aşırı sıcaklık yüzünden zarar görmesini engellemek birinci dereceden önem taşımaktadır, çünkü zarar görmüş bir reküperatörün onarım maliyeti başlangıç maliyetinin yüzde 90'ı düzeyine ulaşabilmektedir. Ayrıca reküperatörün devre dışı olduğu bu anda yakıt maliyetleri de yüzde 10-15 düzeyine, verimin düşmesi nedeniyle, artacaktır[7].



Şekil 2.5: Işınım ve taşınım reküperatörü[7].



Şekil 2.6: Radyant borulu yakıcı ve ısıtım reküperatörlü ısı geri kazanım sistemi[7].

Şekil 2.6 bir radyant borulu yakıcı ve ısıtım reküperatörlü ısı geri kazanımlı sistemi göstermektedir. Böyle kısa bir baca ile, iç içe boruların aralarından akan taze yakma havasının ısıtılması için yeterli ısı transfer verimleri elde edilir.

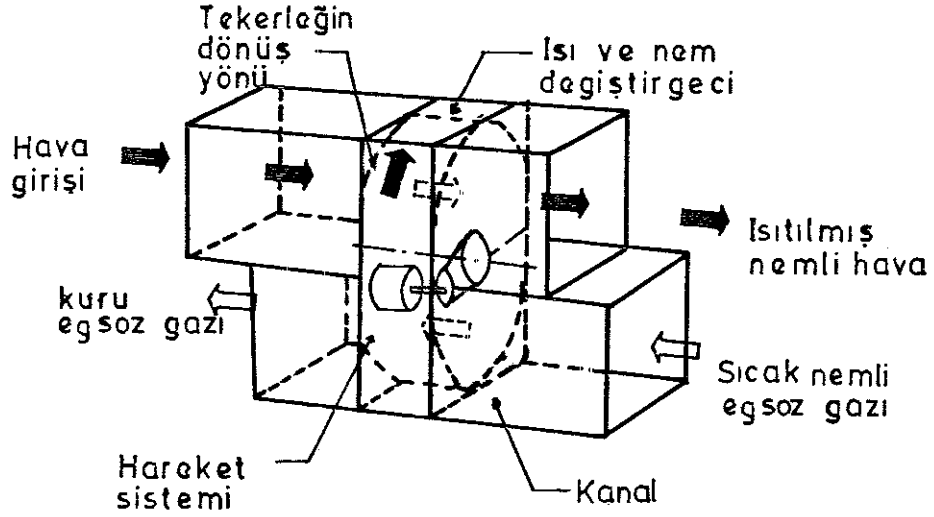
Reküperatörler orta ve yüksek sıcaklık bölgesinde egzoz gazlarından geri kazanımla diğer gazların (genelde yakma havası) ısıtılmasını sağlamada kullanılmaktadır. Bazı tipik uygulama alanları, ergitme fırınları, ısıtım borulu yakıcılar, tekrar ısıtma fırınları, tavlama fırınları v.b. dir.

2.2. Rejenaratörler

Rejenaratörler metal veya reflaktörlerin kullanıldığı bir ısı transfer ortamına sahip döngüsel ısı değiştiricilerdir. Bu ısı değiştiricilerinde sıcak ve soğuk akışkanlar aynı kanallardan ardışık olarak geçmektedir. Ortam belli bir zaman süresince (kısa bir depo ediliş süresi içinde) sıcak atık gazlarla ısıtılır. Isı enerjisi kanal duvarına aktarılmakta ve depolanmaktadır. Ön ısıtılacak soğuk hava daha sonraki belirli zaman boyunca ortamdaki geçerek bu ortamın ısını alır. Depolanma ve boşaltma biçiminde oluşan bu aktarım periyodik olarak devam etmektedir. Ortam değişken olarak atık sıcak gazlarla ısıtılmış ve yanma havası ile soğutulmuş olur.

2.2.1. Isı tekerlekleri

Dönen rejenaratörler (ısı tekerleği veya hava ısıtıcıları olarak da isimlendirilebilir) orta sıcaklık seviyelerindeki atık ısı kazanım uygulamalarında gittikçe artan öneme sahip olmaktadır. Şekil 2.7'de ısı tekerleğinin genel uygulama Şeması görölmektedir. Biri sıcak gaz, diğeri soğuk gaz için olan yanyana yerleştirilmiş iki kanal arasında yüksek ısı kapasitesine sahip malzemedeki yapılmış gözenekli bir disk bulunmaktadır. Disk eksenini birbiriyle bitişik iki kanalın oluşturduğu hacmi ortalayacak Şekilde yerleştirilmiştir. Disk yavaş olarak döndüğünde duyulur ısı (ve bazı durumlarda nemin içerdiği gizli ısı) sıcak gaz tarafından diske transfer edilir. Disk dönüşü ile de bu ısı diskten soğuk havaya aktarılır. Bu tür rejenaratörlerde duyulur ısı transfer verimi yüzde 85 gibi yüksek bir değerdir. Isı tekerlekleri 20 m çap ve 1000 m³/dak. gibi kapasitede imal edilebilirler[3]. Bu tür düzenleme ile gereksinim duyulan kapasitenin karşılanması sağlanabilir.



Şekil 2.7: Isı tekerleği tipi rejenaratör kullanımı ile ısı ve nem geri kazanımı[1].

Isı tekerleğinin düzensiz genişlemesi sonucu ortaya çıkan mekanik zorluklar cihazın çalıştırılacağı sıcaklık aralığını sınırlar. Sıcaklık farkları, önerilen sınırın dışına çıktığında tekerlekte deformasyon ve kanal ile tekerlek arasındaki hava sızdırmazlığının sağlanmasında güçlüklerle karşılaşılır.

Isı tekerleği dört ayrı tipte üretilmektedir. Birinci tip mutfak bulaşık teline benzer yapıda paslanmaz çelik veya alüminyum telden imal edilmiş ağ biçimindeki çekirdek ile metal çerçeveden oluşmuştur. Levha tekerlek olarak adlandırılan ikinci tip ise oluklu metalden üretilmiştir. Bu tipte akış için birçok paralel geçişler vardır. Üçüncü tipte

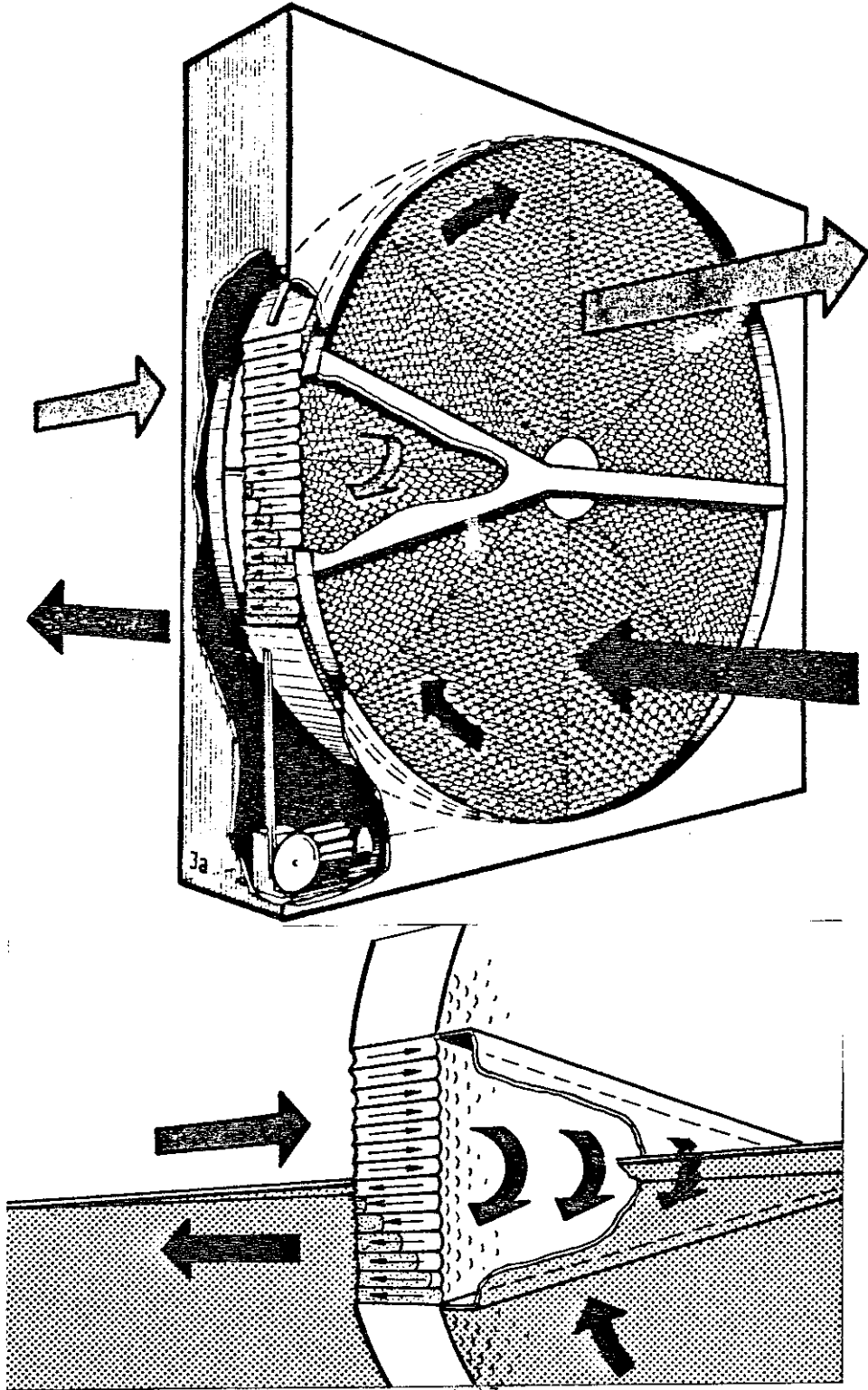
levha tekerlek olarak adlandırılmakla beraber balpeteği şeklinde seramik matriksten imal edilmiştir. Bu model yüksek sıcaklık uygulamaları için uygundur. Dördüncü tipte levha yapısında olmakla beraber akış kanalları gizli ısıyı kazanmak için nem tutucu malzeme ile kaplanmıştır.

Endüstriyel baca gazları genellikle, hidrokarbonlu yakıtların yanma ürünlerinde su buharı bulunması, sanayide birçok proseste su kullanılması ve proses suyunun sıcak gaz akımları ile teması sonucu bir kısmının buharlaşması nedeniyle su buharı içerirler. Bir kilogram suyun atmosferik basınçta buharlaşması için gereken yaklaşık 2300 kJ değerindeki ısı baca gazlarında su buharı bulunması durumunda dışarı atılır. Bu gizli ısı, baca gazındaki duyulur ısının önemli bir kısmını oluşturur. Lityum klorür (LiCl) gibi nem tutucu malzemeler su buharını kolaylıkla absorblar. Lityum klorür, suyu hidrat oluşturarak absorbe eder. Oluşan hidratta birer molekül su ve lityum klorür bulunur. Suyun, lityum klorüre ağırlık oranı 3/7 dir. Nem tutucu ısı tekerleğinde, sıcak gaz akımı taşıdığı buharın bir kısmını nem tutucuya terkeder, ısıtılmak üzere ısı tekerleğine gönderilen soğuk gazlar giriş kanalındaki gazdan daha kurudurlar ve absorbe edilen suyun bir kısmı bu gaza transfer olur. Suyun buharlaşma gizli ısısı doğrudan kazanılan atık ısı toplamına eklenebilir. Su buharının geri kazanım verimi yüzde 50 oranında olabilir.

Isı tekerleğinin gözenekleri az miktarda da olsa egsozdan giriş kanalına gaz taşıdığından, çapraz geçişte gazların birbirleriyle karışarak kirlenmesi olasıdır. Karışarak kirlenme istenmiyor ise egsoz gazının geçişi temizleme bölümü kullanarak önlenabilir. Bu bölümde az miktarda temiz hava tekerlekten geçirilir ve ardından atmosfere atılır. Böylece egsoz gazından bu kanal temizlenmiş olur. Şekil 2.8'de temizleme bölümü bulunan cihaz şematik olarak görülmektedir. Temizleme kanallarını ayırmak için ek sızdırmazlık kullanımı

gereklidir. Pratik olarak temizleme için altı kez temiz hava değişimi kanalların temizlenmesi için yeterli olmaktadır. Bu da levha tekerleklerde tanecik kirlenmesini yüzde 0,2'den az, gaz kirlenmesini de yüzde 0,04 gibi küçük değerlerde sınırlar[3]. Birinci tip ısı tekerleğinde ise çapraz karışma sonucu kirlenme yüzde 1'den azdır. Giriş gazı sabit tutulursa, ısıtma yüküne ve egsoz gazının sıcaklığına bakılmaksızın, ısı tekerleği değişik hızlarda hareket ettirilebilir. Bu da kontrol elementi olarak giriş havası sıcaklığı için sıcaklık sezicisi kullanan bir hız kontrol sistemi ve değişken hızlı hareket mekanizması gerektirir. İlave üniteler sistem maliyetini arttırır. Düşük sıcaklıkta ve nem oranı yüksek atmosferik hava ile çalışılması durumunda donma oluşumunu önlemek için ısı tekerleğine ön ısıtma sistemi eklenmelidir. Suda çözünebilir içeriği bulunan gazlarla çalışılması durumunda hava filtresi kullanılmalıdır.

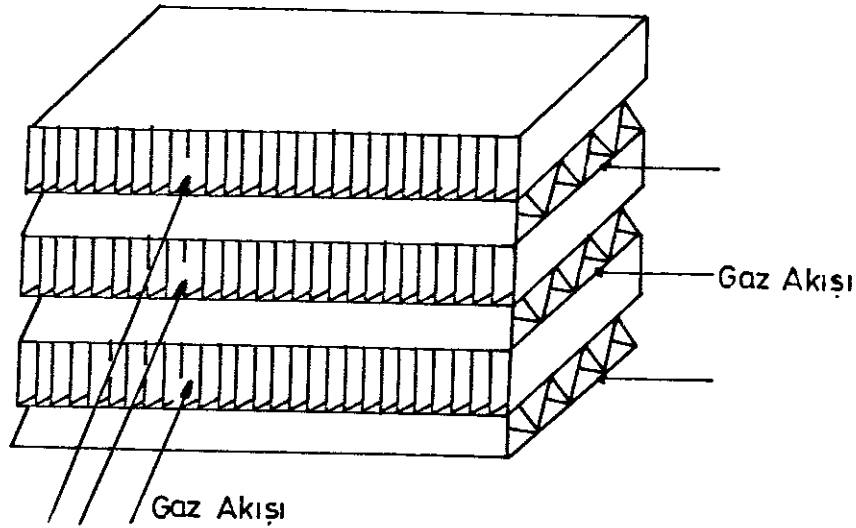
Isı tekerleğinin diğer bir uygulaması da, sağlık veya emniyet gibi nedenlerle çok büyük miktarda hava değişiminin gerekli olduğu hacimlerin ısıtılmasıdır. Bazı durumlarda patlayıcı karışımların birikmesini önlemek veya zehirleyici gazların atılması için saatte 20-30 gibi büyük sayıda hava değişimi gereklidir. Yaz aylarında ısı tekerleği soğuk egsoz havasından gelen soğuk havayı soğutmak için kullanılır. Bu yöntem ile hava koşullandırma yükü yüzde 50 kadar düşürülebilir. Büyük oranda havalandırmaya gerek duyulan durumlarda, en iyi çözüm ısı tekerleği yerine yerel havalandırma sistemlerini kullanmaktır. Isı tekerlekleri orta ve düşük sıcaklıklarda proses ısı kazanımı için gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Tipik uygulamaları kurutma fırınları, değişik boyutlarda endüstriyel kazanlarda hava ön ısıtmasıdır.



Şekil 2.8: Temizleme bölümlü ısı tekerleğinin görünüşü[1].

2.2.2. Hava ön ısıtıcıları

Hava ön ısıtıcıları olarak da isimlendirilen pasif gaz-gaz rejeneratörleri akışkanların birbiri ile karışarak kirlenmelerini önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistem sıcak ve soğuk gazların yeterli ısı transferi yüzeyine sahip olması için ardışık kanallardan oluşmuştur. Kanal ısıl iletkenliği yüksek ince malzemeden imal edilmiştir. Aynı verimi elde etmek için daha büyük ısı transferi yüzeyi gerektiğinden hava ön ısıtıcıları, ısı tekerleğine göre daha pahalıdır ve daha büyük yer işgal ederler. Hareket mekanizması gerekli olmadığından mekanik karmaşıklık daha önemsizdir. Bununla beraber pasif rejeneratör ile sıcaklık kontrolünü başarmak daha zordur. Eğer sıcaklık kontrolü gerekli ise sistemin basitlikten gelen avantajları azalır.



Şekil 2.9: Pasif gaz-gaz rejeneratörü[1].

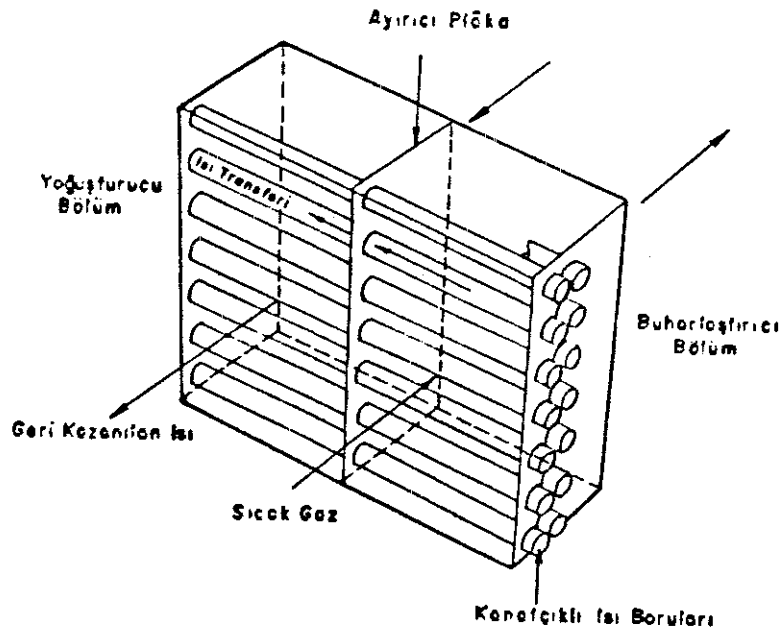
Gaz-gaz rejeneratörleri orta ve düşük sıcaklık uygulamalarında egsoz gazlarındaki atık ısının diğer gazlara iletilmesi için uygun cihazlardır.

Tipik uygulamaları şu şekilde sıralanabilir.

- Bina ısıtma ve havalandırma sistemlerinden ısı ve nem kazanımı.
- Nemli hacimler ve yüzme havuzlarından ısı ve nem kazanımı.
- Bina hava koşullandırma sistemlerinin yüklerinde indirgeme
- Endüstriyel proseslerden ısı ve su kazanımı.
- Buhar kazanları atık gazlarından ısı kazanımı.
- Pişirme fırınları ve kurutuculardan ısı kazanımı.
- Gaz türbinleri egsoz gazlarından ısı kazanımı.

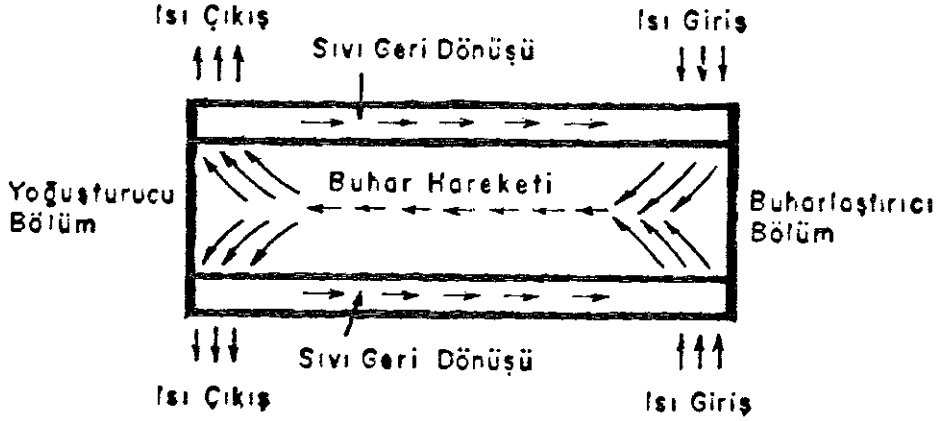
2.2.3. Isı borulu değiştirgeçler

Isı boruları, yüksek verimleri nedeniyle atık ısı kazanım sistemleri olarak son yıllarda büyük önem kazanan ısı transfer cihazlarından biridir. Kullanımda pasif gaz-gaz kanatlı borulu rejeneratörler olarak çalışır. Şekil 2.10 'da görüldüğü gibi ısı borusu demetleri kanalın giriş ve egsoz bölümlerinden geçmekte olup kanatçıklı ısı değiştirgeci yapısındadır.



Şekil 2.10: Isı borulu gaz-gaz ısı değiştirgeci[4].

Her boru içine tüm uzunluğu boyunca halka şeklinde fi-til yerleştirilmiştir. Boru içinde uygun ısı transfer akışkanı yüklenir.



Şekil 2.11: Isı borusunun çalışma prensibi[1].

Şekil 2.11'de sıcak egsoz gazlarından ısının boru içindeki akışkana transferi ve oluşan buharın merkezde toplanması görülmektedir. Oluşan buhar ısı borusunun soğuk bölümüne taşınır. Bu uç soğuk gazın geçtiği kanal içine yerleştirilmiştir. Burada buhar yoğunlaşarak gizli ısısını soğuk gaza terkeder. Yoğuşan sıvı kapiler hareket veya yerçekimi ile sıcak bölüme geri döner ve tekrar buharlaşarak döngüyü başlatır. Kanatçıklı boru yığınları hem sıcak hem de soğuk gaz kanalında konvektif ısı transferinin artmasına neden olacak bir yapı oluşturur. Ayrıca yoğunlaşma-buharlaşma döngüsü ısı borusu içinde ısının transferi için verimi yüksek bir yöntemdir. Bu sistemin önemli uygulamaları ise şunlardır.

- Kurutma pişirme fırınları.
- Atık buharın kalitesinin arttırılması.
- Buhar kazanlarında hava ön ısıtması.
- Hava kurutucuları.
- Tuğla pişirme fırınları.
- Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri.
- Motor egzozlarından ısı geri kazanımı.

Isı borularının endüstriyel uygulamalardaki sıcaklık limitleri ($-140\text{ }^{\circ}\text{C}$)-($+600\text{ }^{\circ}\text{C}$) dir[1]. Isı boruları hiçbir hareketli parçası olmayan kapalı sistemler oldukları için, bu sıcaklık limitleri arasında sonsuz bir süre çalışabilirler. Şekil 2.10 'da görüldüğü gibi gazların birbirine karışma tehlikesi yoktur. Bununla beraber, ısı tekerleğinde olduğu gibi ısı kaynağının ve ısının aktarılacağı ortamın yanyana olması gereklidir. Aksi taktirde, giriş ve çıkış gaz kanallarının modifiye edilmesi ilave masraflara yol açabilir.

BÖLÜM 3

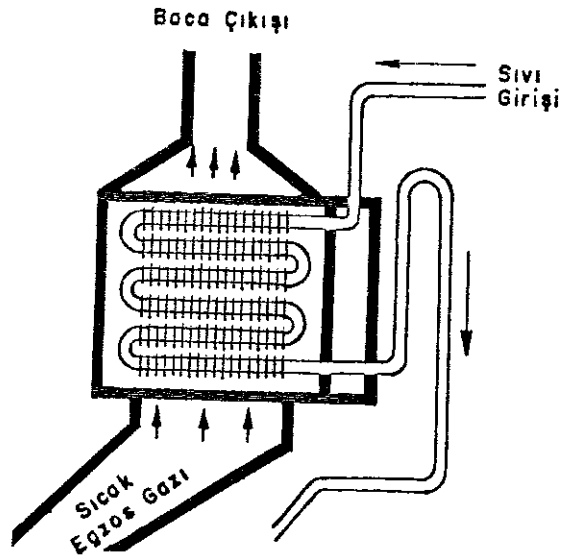
3.0. GAZ-SIVI ve SIVI-SIVI ISI KAZANIM SİSTEMLERİ

Bazı ısı kazanım sistemlerinde atık ısı sıvının ısıtılmasında kullanılır. Bu sistemlerde gaz-sıvı ve sıvı-sıvı ısı değiştirgeci tipleri kullanılır.

3.1. Kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri

Buhar kazanlarının besleme suyunun ön ısıtılması, proseslerde gerekli sıvıların ısıtılması, hacim ısıtılmasında gerekli sıcak su, günlük tüketimde gereken sıcak suyun hazırlanmasında egsoz gazlarındaki atık ısıdan yararlanmak mümkündür ve bu amaçla genellikle kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri kullanılır. Bu sistemde ısıtılan sıvı dairesel kesitli borulardan geçirilir. Isı transfer yüzeyini arttırmak için borulara kanatçıklar ilave edilmiştir.

Şekil 3.1 'de egsoz gazlarındaki atık ısıdan yararlanmak amacıyla tasarlanan kanatçıklı borulu ısı değiştirgeci görülmektedir. Uygulanan bu özel model ekenomayzer olarak da isimlendirilmektedir. Borular genellikle seri olarak bağlanırlar, ancak sıvı tarafındaki basınç kayıplarını kontrol etmek amacıyla seri-paralel bağlantı da kullanılabilir. Hava tarafındaki basınç kayıpları ise boru dizilerinin sayısı ve borular arası mesafeler ayarlanarak düzenlenir. Kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri modüler boyutlarda hazır olarak bulunabileceği gibi standart elemanlardan kolaylıkla imal edilebilir. Isıtılan sıvının sıcaklık kontrolü kanala gaz tarafı için by-pass düzenlemesi eklenerek sağlanır. Bu düzenleme ile ısı değiştirgeci üzerinden geçen sıcak gazların akış hızı değiştirilebilir. Kanatçık ve boru malzemesi sıcak



Şekil 3.1: Kanatçıklı borulu gaz-sıvı rejeneratörü
(Ekenomayzer)[1].

egsoz gazları ile sıvının aşındırıcı etkilerine dayanıklı olmalıdır. Kanatçıklı borulu ısı değiştirgeçleri orta ve düşük sıcaklıklarda egsoz gazlarındaki atık ısıdan yararlanmaya uygun cihazlardır.

3.2. Gövde-boru tipi ısı değiştirgeçleri

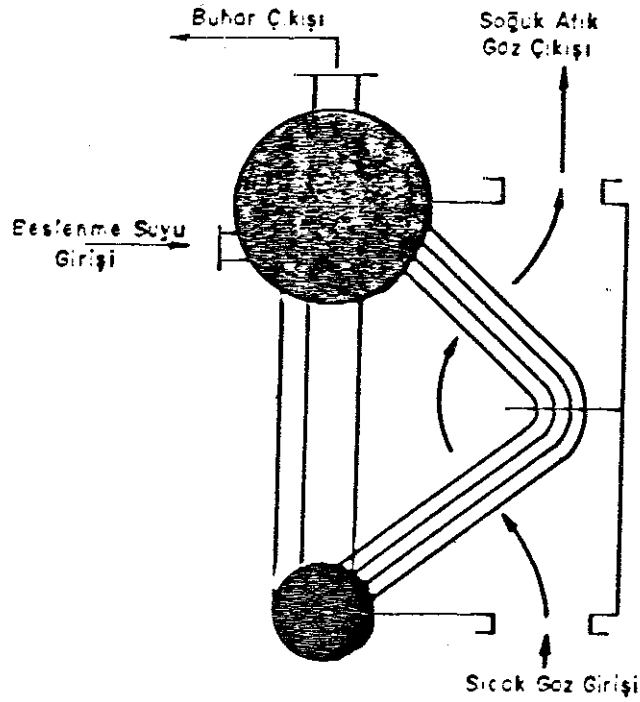
Sıvı veya buhar ortamın taşıdığı atık ısıyı diğer bir sıvıya aktarmak için genellikle gövde borulu ısı değiştirgeçleri kullanılır. Bu tip ısı değiştirgeçlerinde gövde içinde boru demetleri yer alır. Kabuk tarafındaki akışkan geçiş alanını küçültmek ve akışkanı borulara paralel akmasından çok borulara dik akmasını sağlamak amacıyla engeller yerleştirilir. Gövde tarafı borulara göre daha zayıf olduğundan yüksek basınçlı akışkan borular içinden geçirilirken, daha düşük basınçtaki akışkan ise gövde tarafından geçirilir. Atık ısıyı taşıyan ortam buhar ise yoğuşturularak taşı-

dığı ısı sıvıya aktarılır. Bu uygulamada buhar gövde tarafından geçirilir. Eğer bu uygulamanın tersine buharın yoğunlaşması küçük çaplı borular içinde gerçekleştirilirse akımda kararsızlıklara neden olunur. Gövde-boru ısı değiştirgeçler standart malzemeler kullanılarak ihtiyaca göre değişik kapasitelerde (farklı geçiş sayılarında) tasarlanabilir.

Destilasyon proseslerinin kondensatı, çeşitli cihazların soğutkanlarının, proses buharının, hava iklimlendirme ve soğutma sistemleri kondensatlarının taşıdığı ısı ile sıvıların ısıtılması gövde-boru tipi ısı değiştirgeçlerinin tipik uygulamalarıdır.

3.3. Atık ısı kazanları

Atık ısı kazanlarında mevcut borular içinde su bulunmakta ve gaz türbinlerinden gelen sıcak egsoz gazları bu borular etrafından geçerken taşıdığı ısının bir kısmını borulardaki akışkana aktarmaktadır. Borulardaki su buharlaşarak buhar domunda toplanır. Buradan ısıtma veya proses buharı olarak çekilir. Şekil 3.2 'de bu amaçla tasarlanmış bir sistemin şeması görülmektedir. Sıcak egsoz gazları içi su dolu borular etrafından geçer ve dışarı atılır. Egsoz gazları genellikle orta sıcaklık derecelerinde olduğundan ve sistemin daha az yer kaplaması gibi nedenlerle gaz tarafında borulara kanatçıklar eklenir. Bu yapı ile gaz tarafındaki etkin ısı transfer alanı ve ısı transfer hızı arttırılmış olur. Şekil 3.2 'de görülen sistemde sıcak gazlar borular üzerinden çift geçiş yapmakta ve üretilen buhar, domda toplanmaktadır. Buharın üretildiği basınç ve buhar üretim hızı, kazana giren sıcak gazların sıcaklığına, sıcak gazların akış hızına, kazanın verimine bağlıdır. Sıvının saf buhar basıncı, buharlaşmanın meydana geldiği sıcaklığın fonksiyonudur.



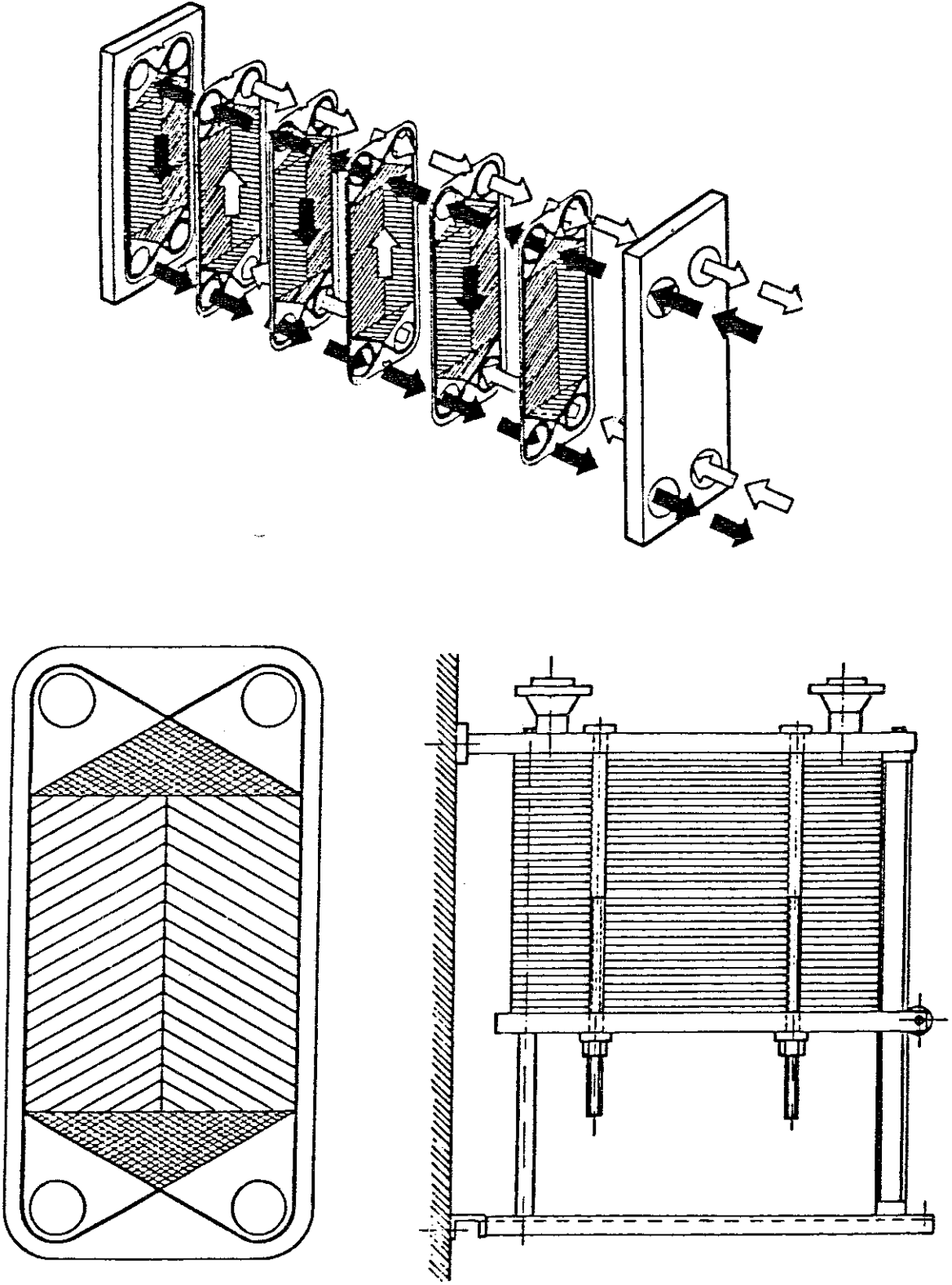
Şekil 3.2: Gaz türbinlerinden ısı kazanımı için atık ısı kazanının şematik görünüşü[1].

Egzoz kazanındaki atık ısı, istenilen miktarda proses buharının üretimi için yetersiz kalırsa sisteme ek bir enerji ünitesi eklenmelidir.

Fırınlar, gaz türbinleri gibi cihazların egzoz gazlarından enerji kazanımı atık ısı kazanlarının tipik uygulamalarıdır.

3.4. Plakalı ısı değiştirgeçleri

Plakalı ısı değiştirgeçleri, ısı transfer yüzeylerini kirletme eğilimi olan akışkanların kullanılması durumunda tercih edilirler. Plakalı ısı değiştirgeçlerinin sokulüp tekrar montajı kolay olduğundan diğer borulu sistemlere göre temizlenmesi daha az zaman alıcı bir işlemdir.



Şekil 3.3: Plakalı ısı değiştirgeci[8].

Plakalı ısı değiştirgeçleri birbirlerine civata veya benzeri bir sıkıştırma aracı ile birleştirilmiş plakalardan yapılmıştır. Plakalar arasında akışkanın geçmesi için bir boşluk vardır. Plaka yüzeyinde oluklar veya çukurlar oluşturularak plakalar arasındaki mesafeler eşit tutulur.

Akışkanlardan biri plakanın bir ucundaki delikten boşluğa girer ve plaka yüzeyi ile temas ederek diğer uçtaki deliğe doğru akar. İkinci akışkanda plakadaki diğer iki delikten plakanın arka yüzündeki boşluğa akar. Bu şekilde ısı plaka yüzeyi boyunca sıcak akışkandan soğuk akışkana aktarılır.

Plakalar çalışma sırasında oluşacak basınçlara dayanacak mukavemette imal edilmelidir. Plaka yüzeyleri ısı transfer hızını arttırmak için oluklu veya çukur olarak imal edilir. Oluklu plakalar arasına türbülansı arttırmak amacıyla delikli levhalar yerleştirilebilir. Plaka malzemesi paslanmaz çelik, titanyum, hastelloy B ve C alaşımlarıdır. Titan- yum deniz suyunun uygulandığı sistemler için uygun iken sülfirik asit içeren akışkanların kullanıldığı sistemlerde ise hastelloy alaşımları kullanılmalıdır[7]. Plakalar arasında sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kullanılan contalar nitril etil propan, viton, silisyum gibi malzemelerden imal edilir. Nitril contalar su ve sulu çözeltiler için uygun olup 140 °C sıcaklığa kadar dayanırlar. 140 °C ' ın üzerindeki sıcaklıklarda buhar ve sulu çözeltiler kullanılması durumunda etil propan contalar tercih edilir[7]. Plakalı ısı değiştirgeçlerinin diğer klasik borulu ısı değiştirgeçlerine göre avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

AVANTAJLARI:

- Temizleme ve kontrol için kolaylıkla sökülebilir.
- Isı kayıpları azdır.
- Kapladıkları hacim küçüktür.
- Isı transfer katsayıları daha büyüktür.
- Isı transferi uniform olarak gerçekleşir.
- Mevcut sistemde ısı transfer yüzeyleri ihtiyaca göre plakaları yeniden düzenleyerek arttırılır veya azaltılabilir.

DEZEVANTAJLARI

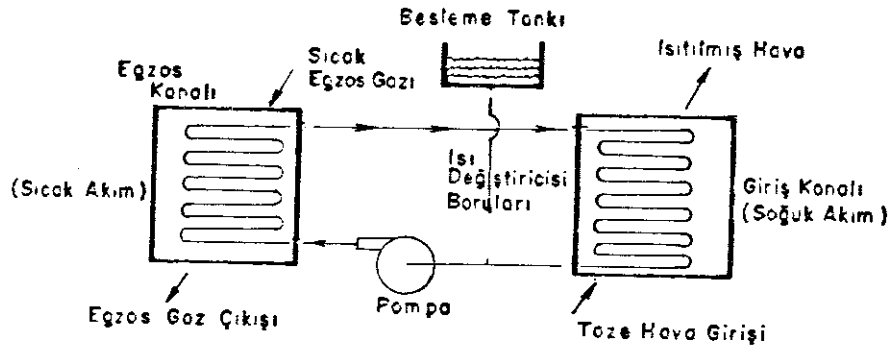
- Bağlantılarda sızdırmazlık olarak kullanılan contalar nedeniyle 20 bar basınca kadar dayanıklıdır.
- 170 °C üzerindeki sıcaklıklarda sistemin kullanımı önerilmez.
- Maliyet diğer sistemlere göre daha yüksektir. Sistemin etkin hizmet süresi conta kullanılması nedeniyle diğer geleneksel ısı değiştirmegeçlerine göre daha kısadır.

3.5. Dolayan serpantin ısı değiştiricileri

Dolayan serpantin sisteminin temel elemanları sıcak gaz akımı içine konan bir ısı değiştiricisi, soğuk gaz akımı içine konan ikinci bir ısı değiştiricisi, bir ısı transfer akışkanı ve sirkülasyon pompasıdır.

Isı sıcak atık gazdan, ısı taşıyıcı sıvıya aktarılır. Daha sonra, ısınan sıvı soğuk gaz akımı içindeki ısı değiştiricisine pompalanır ve ısınıncı gaza vererek tekrar sıcak gaz tarafındaki ısı değiştiricisine döner. Gazlar için ısı transfer katsayıları genellikle sıvılarınkinden düşük olduğundan, mümkün olan yerlerde genişletilmiş yüzeyli ısı değiştiricileri kullanılır. Isı değiştiricisi boruları normalde yaklaşık bir inch çapındadır ve gazla temas eden yüzey alanını arttırmak için boruların dış tarafına kanatçıklar

eklenmiştir. Dolayan serpantin sistemleri genellikle alüminyum kanatçıklı bakır borulardan imal edilmekte ve ısı transfer akışkanı olarak su/glikol karışımı kullanılmaktadır. Sadece alüminyumdan yapılanlar da oldukça yaygındır.



Şekil 3.4: Dolayan serpantin sistemi[1].

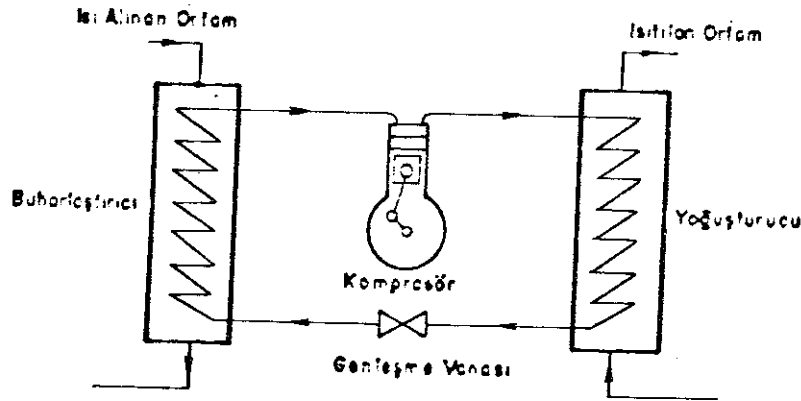
Dolayan serpantin sistemleri ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve düşük sıcaklık proses ısı geri kazanımı amaçlarıyla geniş çapta kullanılmaktadır. Dolayan serpantin sistemleri özellikle gaz kanalları kurmanın çok zor veya aşırı pahalı olduğu durumlar için uygundur.

Isı transferini sağlayan ortamın sıvı olması nedeniyle, sıcak ve soğuk gazlar içindeki serpantinler birbirlerinden uzak yerlerde olabilirler. Bağlantı boruları az yer kaplar, ayrıca kurulması hava kanallarına oranla daha ucuzdur. Diğer avantajları ise gazların birbirine karışmasının mümkün olması ve mevcut tesislerde hiçbir değişiklik gerektirmeden kullanılabilmesidir.

3.6. Isı pompaları

Isı doğal olarak yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akar. Isı pompaları ise bunun tersi bir prensiple çalışan yani ısıyı düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa nakleden cihazlardır. Bunu yapabilmek için, belli bir miktar enerjinin iş olarak harcanması gerekir. Bir ısı pompasının verimliliği transfer edilen ısının pompaya verilen işe oranı şeklinde ifade edilir. Bu oran ısı pompaları için Performans Katsayısı (COP) olarak adlandırılır ve genellikle 2 - 4 arasında değişir. COP değerinin 2.5 ' dan az olduğu uygulamaların ekonomik olmama ihtimali yüksektir[2].

Buhar sıkıştırma prensipli bir ısı pompasının temel bileşenleri Şekil 3.5 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Isı pompası[2].

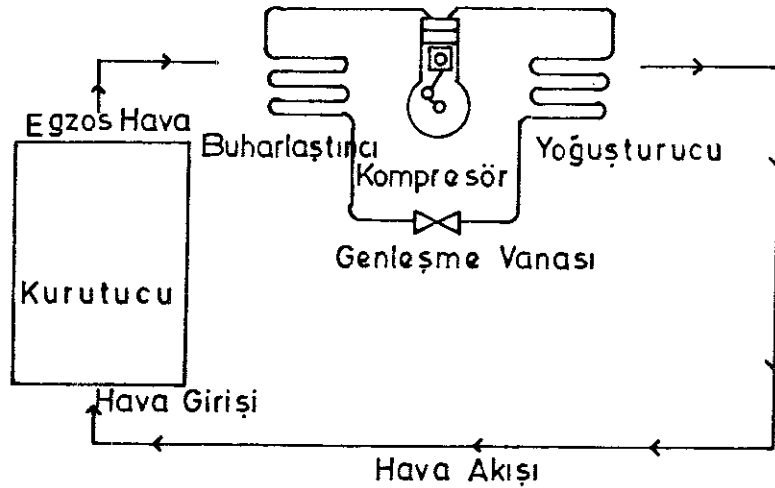
Sistem soğutma cihazlarıyla aynı prensipte çalışmakta ve bir kompresör, yoğusturucu, genleşme vanası, buharlaştırıcı ve bir iş akışkanından oluşmaktadır. Buharlaştırıcı bölümü düşük sıcaklıktaki ortama yerleştirilir. Bu ortam ısıyı geri kazanılmak istenen atık ısı kaynağıdır.

Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya ortam sıcaklığından daha düşük olan buharlaşma sıcaklığında girer. Ortamdan buharlaştırıcıya soğutucu akışkanın buharlaşma entalpisini sağlamak üzere bir ısı akımı olur. Buharlaşan akışkan daha sonra sıkıştırılır ve bu sıkıştırma sırasında sıcaklığı yükselir. Sıcak buhar geri kazanılan ısının verileceği ortama yerleştirilen bir ısı değiştiricisine girer. Burada ısı yüksek sıcaklıktaki soğutucu akışkandan ortama doğru akar. Akışkan soğudukça gizli ısısının da vererek yoğunlaşır. Daha sonra ise genleşme vanasından geçirilerek sıvının basıncı düşürülür ve yeniden buharlaştırıcıya verilir. Böylece devir tamamlanmış olur. Isı pompasının yoğusturucuda verdiği toplam ısı, ısı kaynağından alınan ısı ile kompresörde yapılan işin toplamına eşittir. Isı pompasının performans katsayısı COP ise yoğusturucuda ortama verilen ısının kompresöre sağlanan işe oranıdır. COP ve dolayısıyla geri kazanılan enerji miktarı, ısının alındığı ve verildiği ortamlar arasındaki sıcaklık farkının nispeten küçük olduğu uygulamalar için daha yüksektir.

Isı pompaları ticari ve endüstriyel ısıtma sistemlerinde, sıvılardaki, gazlardaki veya dış havadaki ısının değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir. Sıvı artıklardan ısı geri kazanımı, endüstriyel ısı pompaları için gelişmeye açık bir uygulama alanıdır, çünkü pek çok endüstride sıcaklık seviyesi 10 °C ile 60 °C arasında değişen sıvı atıklar mevcuttur[2].

Diğer ısı pompası uygulamaları arasında mamul maddelerin kurutulması, basınçlı hava kurutulması ve depo ve anbarlarda havadaki nem oranının azaltılması sayılabilir. ısı pompası kapalı devre bir kurutucuda aynı anda iki amaçlı olarak da kullanılabilir. Bunlar kurutucu çıkış havasından ısı geri kazanımı ve çıkış havasının kurutularak yeniden giriş havası olarak verilmesidir.

Şekil 3.6 'da kurutucudan çıkan nemli hava ısı pompasının buharlaştırıcısından geçirilerek soğutulur. Bu sırada havanın içinde bulunan nemin bir kısmı yoğunlaşır ve bu yoğunlaşan su sistemden uzaklaştırılır. Böylece nemi azalan hava daha sonra ısı pompasının yoğuşturucusuna verilir ve burada buharlaştırıcıda verdiği duyulur ve gizli ısıları geri alır. Isınan bu hava tekrar kurutucuya verilir.



Şekil 3.6: Kapalı devre kurutucu[1].

BÖLÜM 4

4.0. ISI BORULARI

Isı boruları değişik sıcaklık seviyelerinde ısı enerjisi transferi için aşırı verimli diyebileceğimiz ısı değiştirgeçleri olarak kullanılmışlardır ve kullanılabilirler.

Isı borularında çalışma sıcaklığı sıvı helyum durumunda 4.55 °K değerinde ve çalışma akışkanının sıvı gümüş olması durumunda, 2200 °C ve daha fazla değerlere kadar olmaktadır.

Isı borusunun bir ucundan diğer ucuna ısı transferinde oldukça yüksek ısı transferi ve gerçekte ısının çekildiği ve verildiği ortamlar arasında çok küçük sıcaklık farklılıklarının bulunması durumunda kolaylıkla çalışabilmesi nedeniyle ısı boruları normal ısı değiştirgeçlerinin kullanılamayacağı yerlerde kullanılabilirlerdir.

4.1. Baca gazı ısısının geri kazanılması

Her çeşit fırının baca gazlarından çevreye çok büyük miktarlarda duyulur ısı kaybedilmektedir. Atık ısı kazanları böyle egsoz gazlarının ısısından yararlanarak, kazan içindeki su boruları demeti arasından egsoz gazları geçirerek sıcak su üretiminde kullanılmaktadır. Böylesi ısı değiştirgeçlerinde sorun, ısı transfer alanının belirli değerlerle sınırlanmış olması ve yeterli ısı transferi için çalışma akışkanı olan suyun baca gazları sıcaklığının çok altında dolaştırılması gerekliliğidir. Atık ısıyla orantılı olarak atık

ısı kazanlarında düşük basınçlı buhar üretilmektedir. Isı borusu uygulamalarında eğer, çalışma akışkanı baca gazı sıcaklığının birkaç derece altında kaynama noktası olacak biçimde seçilebilirse, atık ısıdan enerji yaklaşık olarak sabit sıcaklıkta çekilerek uygulama yerine örneğin, taze havanın ön ısıtılmasına, aktarılabilecektir.

Isı borulu ısı değiştirgeçleri birçok durumda sıcak çıkış (atık, egsoz) gazları ile soğuk giriş gazları arasında kullanılmaktadır. Ayrıca rotatif (dönmeli) ısı değiştirgeçleri ile, temizleme koşulları iyi olsa bile, oluşabilen gazların karışımının istenmediği durumlar olduğunda bu sistem yerine kullanılmaktadır. Uygulamadaki normal ısı değiştirgeçlerinde giriş ve çıkış gazları fiziksel olarak ayrılmıştır.

Isı boruları, ısı geri kazanımında ısı reküperatörleriyle yarışmaktadır. Isı borusu sisteminin geliştirilmiş ısı transfer karakterteristikleri nedeniyle daha az ısı yutma özelliğine (Isıtma yüzeyi) sahip olması, akışa karşı direnci azaltıcı etki oluşturur ve bu durum ısı borularına bir üstünlük kazandırır. Genel olarak ısı borulu ısı değiştirgeci sistemleri boru demetleri arasında hayli düşük basınç düşümlerini korumak için, ısıtma yüzeylerinden geçecek 2-4 m/s arasında hava akışı ile tasarlanır[5].

4.2. Termal geri kazanma üniteleri

Bunlar ters yönlü akışlı hava-hava ısı değiştirgeçleri üniteleridir, dış kısımlarının yapısı soğuk su üretimindeki veya buhar serpantinlerindeki normal kanatlı borular biçimindedir. Böyle bir ünitenin normal ısı değiştirgecinden farkı her bir borunun her iki tarafla (Isı alınan ve verilen ortamla) bağlantılı olması ve gerçekte bir ısı borusu olmasıdır.

Sıcak gaz ısı değiştirgecinin bir tarafından geçerken, soğuk hava diğer taraftan ters yönde geçmektedir. Yalıtılmış bir kısım bu iki akımı herhangi bir kirletme oluşturmaması için ayırmaktadır. İki akım arasında yüzde 60-80 lere varan duyulur ısı geri kazanımı olasıdır. Aynı sistem iklimlendirme sistemlerinde, soğutma yükünü dolayısıyla soğutma giderlerini düşürmede uygulanabilmektedir. İddia edilmektedir ki böyle bir uygulama yatırımın en iyi geri ödeme durumudur ve ısı borulu ısı değiştirgeci sisteminin maliyeti, soğutma cihazındaki soğutma tasarrufunun oluşturduğu küçülme nedeniyle karşılanmış olabilir.

4.3. Isı borulu ısı geri kazanma üniteleri ile genel uygulamalar

Isı borulu termal geri kazanma üniteleri birçok alanda kullanılmıştır. Aşağıda bazı uygulama durumları gösterilmiştir.

4.3.1. Endüstriyel fabrikalarda kullanım

Endüstride hernerede ısıtılmış gazların dışarıya egsoz edildiği bir durum varsa, giriş havasının ön ısıtılmasında bu duyulur ıyı kullanmak olasıdır. İki akımın mutlak ayrı akışları nedeniyle, taze hava tamamiyle temiz ve kirlenmemiş durumdadır.

4.3.2. Büyük binalarda kullanım

Isı geri kazanma birimlerinin konferans salonu, süpermarketler, oteller, bürolar, hastaneler, okullar, bankalar ve benzer binaların her çeşidinde kullanılması önerilmektedir. Egsoz havası uygulamalarda sigara dumanı, yiyecek kokuları, mikrop ve virüslerle yüklenmiş olup ısı geri kazanma

biriminin buharlaştırıcı bölgesinden geçmektedir. Burada ısı borusu çalışma akışkanının buharlaştırılmasında bu egsoz havasının duyulur ısı kullanılmaktadır. Taze hava tamamiyle ayrı bir kanaldan üflenmekte olup bu buharlaşan çalışma akışkanının yoğunlaştırıcı bölgesinde verdiği ısıyla ısıtılmaktadır. Binalarda iklimlendirme sistemi uygulanmış ise, yaz koşullarında atılan soğuk egsoz havasında bulunan soğu aynı yöntemle daha sıcak olan dış havanın ön soğutulmasında kullanılarak geri kazanılabilir. Bu uygulama ile ısıtma (veya soğutma) cihazının işletme giderlerinde ve cihaz seçim ve yerleştirilme (kurma) giderlerinde hayli önemli tasarruflar yapılabilir.

4.3.3. Kapalı yüzme havuzlarında kullanım

Kapalı yüzme havuzlarında havanın nem miktarının azaltılması için bir hayli çok havalandırma gerekmektedir. Normal olarak bu hayli önemli ısı kaybına neden olabilecektir. Isı borulu ısı geri kazanma sistemleri böylesi ısı kayıplarına engel olur.

4.4. Isı geri kazanma sistemlerinde ısı borusu uygulamaları

Isıl geri kazanma sistemlerinde ısı borusu kullanımıyla enerji geçişinin sağlanmış olması, sisteme bazı üstünlükler getirebilmektedir. Örneğin,

- 1- Akışkanların karışması olayı oluşmamaktadır. Örneğin, ısı tekerlekleri ve rejeneratif cihazlarda egsoz gazlarının ve taze temiz gazların aynı kanaldan pompalanması sonucu, bu tip cihazlarda bu karışım ve taze gazın kirlenmesi olayı oluşabilir. Bu nedenle ısı borulu sistemle taze akışkan temiz olarak kullanım yerine ısıtılmış (veya soğutulmuş) olarak verilebilir.

- 2- Isı borularının mükemmel ısı iletkenliği nedeniyle ısı borulu sistemler benzer verim için termal reküperatör cihazlarından (örneğin, levhalı ısı değiştirgeçleri) daha sıkı, daha az yer kaplar niteliktedir.
- 3- Hareketli parçası yoktur ve bakım giderleri en az düzeydedir
- 4- Uygun çalışma çiftlerinin seçilmiş olması durumunda, korozyon ve malzeme birikimi, kısır v.b. engellenmiştir. Bu yönüyle de sistemin işletme ömrü artmıştır.

4.4.1. Isı Borulu Rejeneratörler (Q-Borusu)

Bu tip ısı değiştirgeçlerinde standart birimler ısı borusu demetlerinden oluşmuştur. Normal olarak borular nominal dış çapı 25,4 mm olan alüminyum alaşımı (3003-H14) veya bakırdandır. Borular arası uzaklıklar, saptırmalı yerleştirilmiş biçimde 57 mm (aradan akış yönünde) , boru sıraları arası ise 54,5 mm (akış yönünde) dir. Boruların kalınlıkları 1,245 mm dir. Borular, boruyla aynı tip ince metal levhalarından kanatlı olup, kanatlar her desimetrede 50 kanat olacak biçimde yerleştirilmişlerdir. Isı değiştirgecinin iki bölümü arasında (buharlaştırıcı ve yoğuşturucu) dik olarak alaşımlı ısı borusu sistemi için alüminyumdan ve bakır tip için paslanmaz çelikten ara bölme bulunur. Kasa genellikle galvanizli çelik olup, korozif koşullarda (atmosferlerde) kullanım durumunda başka malzemelerde kullanılabilir.

Q-Boruları içinde kullanılan normal akışkan ANSC (Amerikan Ulusal Standart Kodları) 'na göre ısı borusunun birim metresi için 290 gr oranında R-12 (Freon-12) dir.

Isı borusu birimlerinin kontrolünde önemli bir faktör "eğim kontrolü" dür. Sistemin eğimi değiştirilebilir biçimde dönebilir olarak tasarlanmıştır. Eğer buharlaştırıcı veya sıcak taraf yoğunlaştırıcunun altında eğimde ise, gerektiğinde veya istendiğinde buharlaştırıcı üstte olacak biçimde eğimlendirilerek veya eğimi ters yönde arttırılarak ısı geçişi azaltılabilir veya "sıfır" yapılabilir. Böylelikle eğim kontrolü geçen ısrının ve istenen sıcaklığın oluşturulmasının kontrolünü hassaslıkla gerçekleştirmede kullanılmıştır.

Q-Borusu ünitelerinde hava-gaz akış hızlarının egsoz ve taze akışkan taraflarının herikisinde de 1,79 - 3,5 m/s aralığında olması önerilmektedir[5].

4.4.2. Isıl ekenominin hesaplanması

Isı borulu ısı değiştirgecinin seğimiyle ilgili önemli bir özellik aşağıdaki eşitlikle belirtilen "Geri Kazanma Faktörü" dür. Gaz akışları eşit olduğunda, geri kazanma faktörü,

$$R = \frac{T_{e1} - T_{ee}}{T_{ee} - T_{ee}} \quad [5]$$

olup, burada,

T_{e1} = Sağlanan dış havanın ısı değiştirgecinde çıkış sıcaklığı, °C

T_{ee} = Sağlanan dış havanın ısı değiştirgecine giriş sıcaklığı, °C

T_{ee} = Isı değiştirgecine giren eksoz havasının sıcaklığı, °C

Havanın sabit basınçtaki özgül ısısı 1,01 kJ/KgK olarak alınabilir. 50 m*30 m*20 m= 30 000 m³ boyutlarında bir bina ele alalım. 20° de havayla ısıtılan bu hacmin hava değişim gereksinimi saatte 1,5 olduğuna göre, her saatteki hava değişimi 45000 m³veya 12,5 m³/s dir, kütleli olarak ise 20°C da 15 kg'dır. Gelen taze havanın ortalama sıcaklığını 5°C ve yıllık çalışma periyodunu 3000 saat olarak varsayalım. Bu durumda gerekli enerji ,

$$Q = 15 \cdot 12,5 \cdot 1,01 \text{ kJ/s} = 227,25 \text{ kW}$$

$$= 227,5 \cdot 3000 = 681750 \text{ kWh}$$

olarak yıllık çalışma periyodu için bulunur. Bu yıllık çalışma periyodu için ısı borulu ısı geri kazanma ünitesinden gerçekleştirilen tasarruf, (1 kWh enerji C TL ise geri kazanma faktörü, R ise)

$$T = 681750 \cdot C \cdot R \text{ TL/yıl olacaktır.}$$

Sisteme bu ünitenin ilave edilmesi durumunda ısıtma ve/veya soğutma ünitesinde oluşacak küçülme nedeniyle ısı borulu ısı geri kazanma ünitesinin maliyeti olan M , gerçekte M' ile belirtilen bu enerji tasarrufunun oluşturduğu sistem küçülmesi kadar azalacaktır (veya M' , nü ısı borulu ısı değiştirgeçsiz sistem durumunda aynı ısı ve/veya soğu yükünü karşılayacak küçük bir ısı ve/veya soğu santralının maliyeti olarak düşünebiliriz.). Faiz, indirim ve bakım işlemlerinin hepsini içine alan ana para yatırımının geliri %p ise, ısı geri kazanma ünitesinin yıllık ederi,

$$M_y = \frac{(M - M') \cdot p}{100} \quad (\text{TL}) \quad [5]$$

olacaktır. Bu durumda, tasarruftan daha az yatırımla, ısı geri kazanım sisteminin yerleştirilmesi mümkündür.

4.4.3. Geri kazanım sisteminin optimum boyutları

Isı geri kazanım ünitesi, daha geniş ve ısı borularından geçen egsoz gazları ve taze havanın bu sabit hacimlerdeki hızı daha yavaş olacak biçimde uygulanmıştır. Bu, ısı boruları ile ısı geçişini geliştirir ve bu nedenle ısı geri kazanım oranı " R " yi daha iyileştirir.

Bununla beraber ısı geri kazanım oranındaki bu artış hiçbir anlamda doğrusal değildir ve eğer ısı boruları sonundan geçen gaz hızları 2 m/s nin hayli altına indirildiğinde gelişmeler kazançlı olur. Öte yandan sistemin ederi ünitenin boyutlarıyla hemen hemen direkt orantılı olarak çoğalır. Isı borularının gerçek boyutlarının seçiminde, sunulan cihazla değişik hava akışlarında garanti edilen ısı geri kazanım oranlarını dikkate alabilmek için, imalatçının ısı borusu davranış özellikleriyle ilgili bilgilere gereksinim vardır.

4.4.4. Akış hızı ile geri kazanım oranının değişimi

Isı borusu içindeki ısı transfer katsayısı, buharlaştırıcı bölgesinde havadan ısı borusuna veya yoğuşturucu bölgesinde ısı borusundan havaya olan ısı transfer katsayılarına göre çok büyüktür. Bu bölgeler ile havanın ısı temas süresi bu nedenle çok önemlidir. Bununla beraber daha düşük hızlarda dolaşan (akan) hava ile yüzeyler arasındaki ısı transfer katsayısı düşer.

Tablo 4.1'de desimetrekaresinde 60 kanat olan standart

bir ısı borulu ısı geri kazanım sisteminde, egsoz gazı ve taze hava debilerinin eşit olduğu durumda değişen akış hızları için ısı geri kazanım faktörleri (oranları) verilmiştir[5].

Tablo 4.1'den görüldüğü gibi çok düşük hızlarda hava akışının laminar olma eğilimi (çok düşük ısı transferi) nedeniyle, ısı geri kazanım oranında çok az gelişmeler elde edilmektedir. Eşit biçimde çok yüksek akış hızlarında, ısı geri kazanım oranı hayli çok şiddetli düşme gösterir. Doğaldır ki herhangi bir özel tip cihaz ile ısı geri kazanım oranları değişimi verilen tablodan farklı değerler gösterebilir.

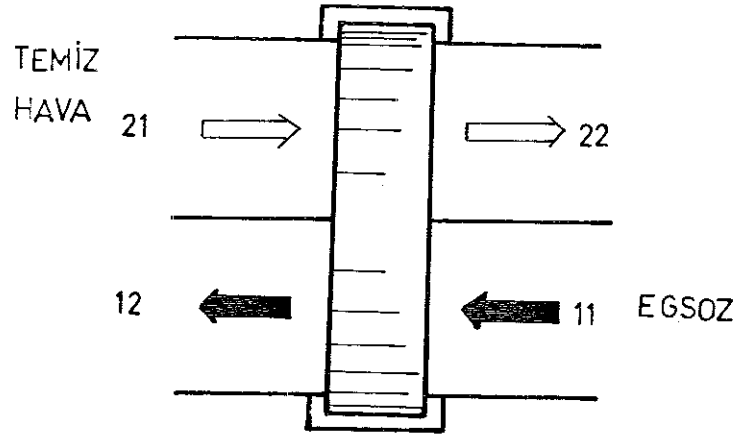
Tablo 4.1. Isı borusu biriminden geçen hava akış hızı ile ısı geri kazanım oranının değişimi[5].

Isı borularını geçen akışkanların akış hızı (m/s)	Isı geri kazanım oranı
1,0	0,740
1,5	0,745
2,0	0,718
2,5	0,678
3,0	0,652
3,5	0,627
4,0	0,607
4,5	0,570
5,0	0,545

Hava akış hızlarının uygulama sınırları içinde, hacimsel geçiş debiler sabit kaldığında, ısı geri kazanım oranı ısı değiştirgeci sisteminin alanı ile değişir. En uygun hava akış hızı ısı ve cihaz yatırımının bağlantılı, birarada, giderinin esas alınmasıyla seçilmelidir. Örneğin, yüksek yakıt giderleri ve düşük faiz oranları durumunda büyük kapasiteli (ve daha pahalı) bir ısı geri kazanma cihazı veya tersi durumda küçük kapasiteli olanı seçilecektir.

BÖLÜM 5

5.0. ISI TEKERLEĞİ UYGULAMASI



Şekil 5.1. Isı tekerleği uygulaması.

VDI 2071 EUROVENT 10/1'E göre,

Sıcaklık verimi

$$\Phi = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

Nem verimi

$$\psi = \frac{X_{22} - X_{21}}{X_{11} - X_{21}}$$

Donma davranışı

$$t_m = \frac{t_{11} + t_{21}}{2} \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- t - Sıcaklık $^\circ\text{C}$
 X - Mutlak nem miktarı (g/Kg)
 11 - Isıl tekerleğe giren atık hava
 12 - Isıl tekerleği terkeden atık hava
 21 - Isıl tekerleğe giren temiz hava
 22 - Isıl tekerleği terkeden temiz hava

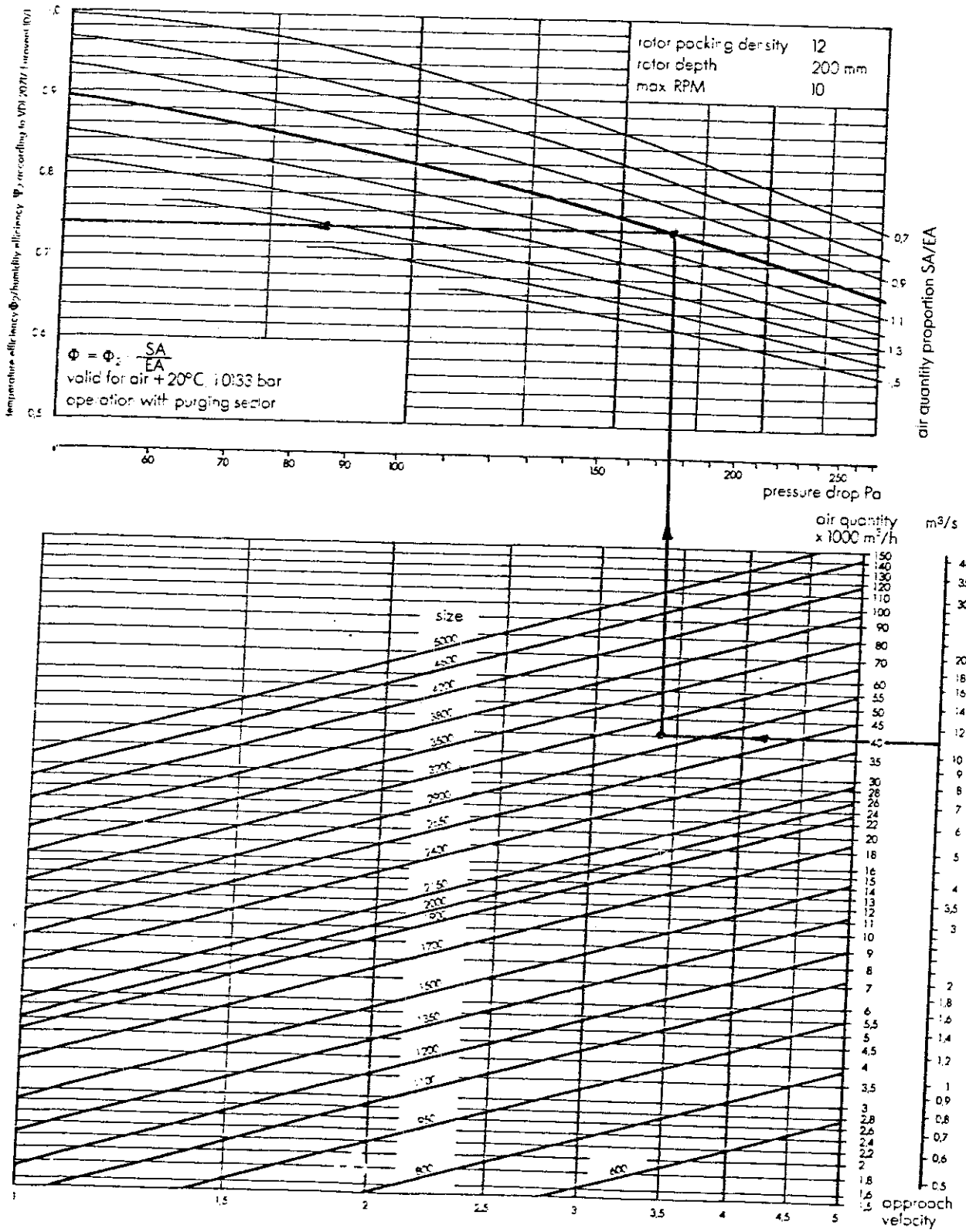
5.1. Tesis verileri (Kış işletmesi için)

Temiz hava şartları

$$\begin{aligned} t_{21} &= -15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ X_{21} &= 0,9 \text{ g/Kg} \\ h_{21} &= -13 \text{ kJ/Kg} \\ \dot{V}_{sa} &= 11 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Egzos şartları

$$\begin{aligned} t_{11} &= 24 \text{ } ^\circ\text{C} \\ X_{11} &= 7,3 \text{ g/Kg} \\ h_{11} &= 43 \text{ kJ/Kg} \\ \dot{V}_{sa} &= 11 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$



Şekil 5.2. Rototherm ET 12 yük diyagramı[3].

Tesise atılan hava kadar temiz hava alınıyor,

$$\frac{\dot{V}_{sa}}{\dot{V}_{sa}} = 1$$

Giren hava basınç düşümü $\Delta P_1=172 \text{ Pa}$
 Egzos hava basınç düşümü $\Delta P_2=172 \text{ Pa}$

Şartlarında çalıştırılması ve aliminyum alaşımlı sorbent kaplamalı rotor yoğunluğu 12 (VDI 2071) olan ısı tekerleği kullanılması durumunda, ROTOTHERM ET 12 yük diyagramından, ROTOTHERM ET 12 S 3200 tip ısı tekerleği seçilir.

3200 Rotor çapını (mm) olarak,
 S Rotor tipini belirtmektedir.

Bu ısı tekerleğini seçmemiz durumunda sıcaklık ve nem verimi $\Phi = 0,74$

$\psi = 0,74$ olmaktadır, Buna göre

$$t_{22} = t_{21} + (t_{11} - t_{21}) \cdot \Phi$$

$$t_{22} = -15 + (24 + 15) \cdot 0,74$$

$$t_{22} = 14 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ Isı tekerleğini terkeden temiz hava sıcaklığı.}$$

$$X_{22} = X_{21} + (X_{11} - X_{21}) \cdot \psi$$

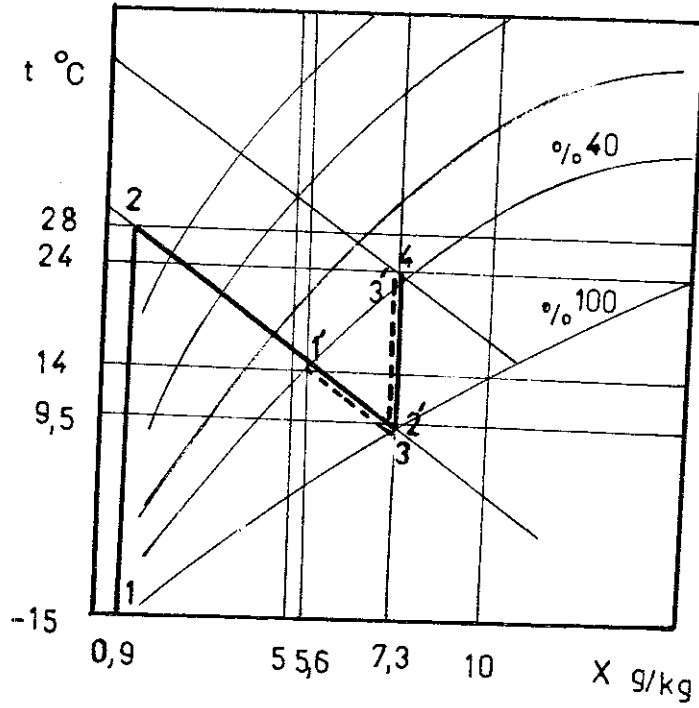
$$X_{22} = 0,9 + (7,3 - 0,9) \cdot 0,74$$

$$X_{22} = 5,6 \text{ g/Kg} \text{ Isı tekerleğini terkeden temiz havanın mutlak nemi}$$

$$t_m = \frac{t_{11} + t_{21}}{2} \geq 0$$

$$t_m = \frac{24 - 15}{2} = 4,5 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ Donma tehlikesi yoktur.}$$

Bu tesiste istediğimiz konfor koşullarını bir klima tesisi ile elde etseydik (1234),



Şekil 5.3. Psikrometrik diyagram.

Tablo 5.1. Diyağramdan okunan değerler (1234)

	t (°C)	X (g/Kg)	φ (%)	h (kJ/Kg)
1	-15	0,9	95	-13
2	28	0,9	4	28
3	9,5	7,3	100	28
4	24	7,3	40	43

$$Q_1 = h_2 - h_1$$

$$Q_1 = 28 + 13$$

$$Q_1 = 41 \text{ kJ/Kg}$$

$$Q_2 = h_4 - h_3$$

$$Q_2 = 43 - 28$$

$$Q_2 = 15 \text{ kJ/Kg}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 41 + 15$$

$$Q_T = 56 \text{ kJ/Kg} \quad \text{Klima tesisine ısı vermemiz gerekir.}$$

Bu tesiste istediğimiz konfor koşullarını ısı tekerlekli bir klima tesisleriyle elde etseydik (1'2'3')

Tablo 5.2. Diyağramdan okunan değerler (1'2'3')

	t (°C)	X (g/Kg)	Q (%)	h (kJ/Kg)
1'	14	5,6	55	28
2'	9,5	7,3	100	28
3'	24	7,3	40	43

$$Q_{T'} = h_{s'} - h_{z'}$$

$$Q_{T'} = 43 - 28$$

$Q_{T'} = 15 \text{ kJ/Kg}$ Isı tekerlekli klima tesisine ısı vermemiz gerekir.

Klasik bir klima tesisi yerine ısı tekerlekli bir klima tesisi kurulması durumunda yapılan tasarrufun parasal değerini bulmak istersek,

$$\begin{aligned} Q_{\text{tasarruf}} &= Q_T - Q_{T'} \\ &= 56 - 15 \\ &= 41 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

Kışlık çalışma periyodu

$$Z_a = 150 \text{ gün/yıl}$$

$$Z_d = 8 \text{ saat/gün}$$

Enerji tasarrufu

$$\begin{aligned} P_{\text{tasarruf}} &= Q_{\text{tasarruf}} \cdot \dot{V}_{\text{SA}} \cdot \rho \cdot Z_a \cdot Z_d \\ &= 41.11.1,2.150.8 \\ &= 649440 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

1kWh = 300 TL ise enerji tasarrufunun parasal değeri,

$$\begin{aligned} C_{\text{tasarruf}} &= P_{\text{tasarruf}} \cdot 300 \\ &= 649440 \cdot 300 \\ &= 194\ 832\ 000 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

Tamburu çeviren motorun çektiği güç,

$$\begin{aligned} A_1 &= n \cdot N \cdot Z_a \cdot Z_d & n &= 1 \text{ adet ısı tekeri} \\ &= 1 \cdot 0,6 \cdot 150 \cdot 8 & N &= 0,6 \text{ kW} \\ &= 720 \text{ kWh/yıl} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_1 &= 720 \cdot 300 \\ &= 216\ 000 \text{ TL/yıl} \end{aligned}$$

Fanların çektiği güç,

$$A_2 = \frac{\dot{V}_{\text{SA}} \cdot \Delta P_1 + \dot{V}_{\text{EA}} \cdot \Delta P_2}{1000 \cdot \underbrace{\eta}_{\text{fan}}} \cdot Z_d \cdot Z_a \quad \eta = 0,85 \text{ fan}$$

$$A_2 = \frac{11.172 + 11.172}{1000 \cdot 0,85} \cdot 150.8$$

$$= 5342 \text{ kWh/yıl}$$

$$B_2 = 5342 \cdot 300$$

$$= 1\ 602\ 600 \text{ TL/yıl}$$

Net enerji tasarrufunun parasal değeri,

$$C \text{ tasarruf} = C \text{ tasarruf} - B_1 - B_2$$

$$= 194\ 832\ 000 - 216\ 000 - 1\ 602\ 600$$

$$= 193\ 013\ 400 \text{ TL/yıl}$$

Böyle bir ısı tekerleği tesisi için yapılacak tüm masraflar (1992 yılı fiyatlarıyla)

225 000 000 TL olmaktadır.

$$\text{Geri ödeme süresi} = \frac{\text{ilk yatırım maliyeti}}{\text{yıllık enerji tasarrufu}}$$

$$= \frac{225\ 000\ 000}{193\ 013\ 400}$$

$$= 1,1 \text{ yıl}$$

BÖLÜM 6

6.0. SONUÇLAR

Bir tesiste atık ısıdan yararlanılması düşünülüyorsa giriş bölümündeki işlemler yapılmalıdır. Atık ısı geri kazanım sistemi kurulmasına karar verildikten sonra, ne tip bir cihaz kullanılacağı ve diğer cihazlara göre üstünlükleri belirlenmelidir.

Bu amaçla bu bölümde Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 düzenlenmiştir. Bu tablolardan en uygun ısı geri kazanım cihazı belirlenmeli geri kazanılabilecek ısı miktarı hesaplandıktan sonra cihazın maliyeti bulunmalı ve ekonomik analize ışık tutan geri ödeme süresi belirlenmelidir.

Tablo 6.1 'de kabul edilebilir sıcaklık aralıkları, nem kazanım yeteneği, izin verilebilir ençok sıcaklık farkı, paket üniteler olarak bulunma özelliği, uygun ısı transfer akışkanları, akışkanların birbirleriyle karışması, boyutsal uygunluk, sökölüp takılma kolaylıkları incelenmektedir.

Tablo 6.2 'de ise bazı hava-hava ısı kazanım sistemlerinin işletme karakteristikleri karşılaştırılmaktadır. Tabloda farklı cihazların işletme karakteristikleri liste edilerek karşılaştırma numaraları verilmiştir. Karşılaştırma numaraları 0 ile 5 arasında değişmekte olup, büyük numaralar istenilen nitelikleri göstermektedir.

Bölüm 4 'te anlatılan ısı boruları gelişmeye açık bir konudur. Isı boruları kullanılarak uçakların frenlerinin soğutulmasında, gaz türbini jeneratörlerinde, güneş enerjisi toplayıcılarında, motosiklet yağının soğutulmasında kullanılır.

Normal petrol motorlarında ısı borusu kullanımıyla egzoz ısısının, giriş manifolduna verilerek daha iyi çalışma koşullarının elde edilmesi, egzoz ısısı ile araçların ısıtılmasının sağlanması gibi çalışmalar yapılmaktadır.

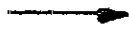

Isı boruları, getirdikleri üstünlük ve kolaylıklarla yakın gelecekte birçok yeni uygulama alanı bulacaktır. Ülkemizde ısı borulu sistemlerin uygulanmasıyla enerjinin daha verimli ve ekonomik kullanımı sağlanabilir.

Bölüm 2 'de anlatılan ısı tekerlekleri hakkında Bölüm 5 'de bir uygulama yapılmıştır. Neticede böyle bir tesisin kendini bir yıl gibi kısa bir sürede geri ödediği hesaplanmıştır.

Ülkemizde uygulamasına rastlanmayan bu uygulamanın dünyada uygulamaları yaygındır. Örneğin Batı Almanya/Emden VW otomobil fabrikasında 40 üniteyle 15 MW termal enerji geri kazanılmıştır, Yugoslavya/Sarajewo Olimpia Park 'da 40 ünite ile 10 MW termal enerji, 2,5 MW soğutma enerjisi geri kazanılmıştır[6].

Ülkemizdeki sanayi tesislerinde ve bilhassa tekstil endüstrisinde ısı tekerlekli klima tesislerinin kurulması ülkemiz enerjisinin verimli kullanılmasına katkıda bulunacaktır.

Tablo 6.1. Isı değiştirgeçlerinin bazı özellikleri[7].

 ÖZELLİKLER 	ISI TRANSFER		CIHAZI		Düşük sıcaklık Mutlak sıfır-120 °C	Orta sıcaklık 120°C - 650°C	Yüksek sıcaklık 650°C - 1100°C	Nem kazanımı	İzin verilebilen çok sıcaklık farkı	Paket tip bulunabilirlik	Sökülüp takılma kolaylığı	Akışkanların birbirleriyle karışması	Hoyutsal uygunluk	Gaz-gaz ısı değiştirgeci	Gaz-sıvı ısı değiştirgeci	Sıvı-sıvı ısı değiştirgeci	Özel tasarım ile aşın-gazlara daya-
Işınım Reküperatörü			*	*			*		*	1	*	*		*			*
Taşınım Reküperatörü		*	*	*			*		*	*	*	*		*			*
Metalik Isı Tekerleği	*	*		2					*	*	*	3	*	*			*
Nem Tutucu Isı Tekerle.	*			*			*		*	*	*	3	*	*			*
Seramik Isı Tekerleği		*	*				*		*	*	*		*	*			*
Pasif Rejeneratör	*	*					*		*	*	*	*		*			*
Kanatçıklı Borulu Isı Değ.	*	*					*		*	*	*	*	*		*		4
Gövde-Boru Tipi Isı Değiştirgeci	*	*					*		*	*	*	*	*	*	*	*	
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 kütlege yüzde 1'den az olacak şekilde sınırlanmıştır.
- 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.

Tablo 6.2. Değişik tipte ısı değiştirgeçlerinin birbiriyle karşılaştırılması[7].

Isı Transfer Cihazı	Rejeneratör	Gövde-Boru Isı değ	Plakalı Isı değ	İkinci akışkanlı Isı Değ.	Isı Borusu
Karşılaştırma Özellikleri					
Basınç Kaybı N	Orta 3	Yüksek 2	Düşük 4	Düşük 4	Düşük 4
Isı Transfer Film Kat. N	Yüksek 4	Yüksek 4	Orta 3	Düşük 2	Yüksek 4
Bakım Güçlüğü N	Yüksek 2	Orta 3	Orta 3	Yüksek 2	ÇokDüşük 5
Maliyet N	Yüksek 2	Orta 3	Yüksek 2	Yüksek 2	Orta 3
Yardımcı Güç Gereksinimi	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Akışkanların karışarak birbirini kirletmesi N	Evet 0	Hayır 5	Hayır 5	Hayır 5	Hayır 5
Birim Hacim için transfer alanı N	Yüksek 4	Düşük 2	Çok Yüksek 5	Orta 3	Yüksek 4

N: Karşılaştırma numaraları 0 ile 5 arasında verilmiştir.
5 En uygun niteliği,
0 Uygun olmayan niteliği göstermektedir.

KAYNAKLAR

- 1 ATIK ISI GERİ KAZANIMI.,1985, E.İ.E.Sanayide enerji tasarrufu serisi 4., Ankara.
- 2 AYANOGLU,K., 1985, "Isı pompası uygulamaları" E.İ.E.bülteni,Sayı 121, Sayfa 55-65.,Ankara.
- 3 DIAMANT,R., 1983, Industrial energy efficiency part 6: "Thermal Wheels" The Heating&Air Conditioning Journal.
- 4 GÜRSES,Ç., 1989, "Isı borusu ile iklimlendirme sistemlerinde enerji geri kazanımı" Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma raporları, İzmir.
- 5 GÜNGÖR,A, .1987, "Enerjinin verimli kullanılmasında ve enerji tasarrufunda ısı boruları" Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- 6 Isı Tekerleği üreten firma katalogları.
- 7 ÖZBALTA,N., 1987, "Atık ısı geri kazanımı" Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir.
- 8 VDI-Wärmeatlas 6.Auflage,1991.Sayfa Ob 18.

ÖZGEÇMİŞ

- 1963 Isparta merkezde doğum.
- 1970-1975 Isparta Gülcü ilkokulunda öğrenim.
- 1975-1978 Isparta Gülkent Ortaokulunda öğrenim.
- 1978-1981 Isparta Ş.A.I.K.Lisesinde öğrenim.
- 1982-1987 A.Ü.Isparta Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünde lisans öğrenimi.
- 1990-1992 A.Ü. Fen Bilimlerinde yüksek lisans öğrenimi.
- 10-5-1991 A.Ü.Isparta Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü Enerji Anabilim dalına araştırma görevlisi olarak atanma.