

Havalandırmada Enerji Geri Kazanımı: Araştırma ve Geliştirme

Utku ŞENTÜRK
Sinan AKTAKKA
Macit TOKSOY

ÖZET

Son 30 yılda yoğunluğu giderek artan araştırmalar sonucunda, yeterli havalandırma yapılmayan hacimlerdeki uygun olmayan iç hava kalitesinin insan sağlığını etkilediği ve iç hava kalitesinin kötü olduğu sınıflarda öğrencilerin okul performansını etkileyecek sağlık sorunlarının arttığı bulunmuştur. Bu durum, hemen hemen tüm yaşam hacimlerinde mekanik havalandırmanın uygulanması gerektiğini ve bunun önemini ortaya koymaktadır. Bina kabuklarının yalıtımı arttıkça da enerji kayıplarının ana bileşenlerinden biri, havalandırmadaki enerji kayıpları olmaktadır. Bu nedenle ısı geri kazanımlı havalandırma teknolojisi günümüzün güncel alanlarından biridir. Bu gelişmelere paralel olarak, ısı geri kazanımlı havalandırma endüstrisi de gün geçtikçe gelişen önemli bir üretim alanıdır. Bu üretim alanının hitap ettiği pazarın iki rakamlı büyüme içinde olacağı da öngörülmektedir. Avrupa Komisyonu, binalarda enerji tüketiminin önemli bir parçası haline gelen havalandırmada enerji tüketimini azaltmak üzere ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında Ecodesign¹ kurallarını ve Etiketleme (Labeling) uygulamasını getirmeyi planlamaktadır. Bu planlar içinde ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının enerji verimlerinin 2017'de minimum %71 değerinde olması öngörülmektedir.

Bu bildiri, bina iklimlendirme sistemlerindeki ısı geri kazanımlı havalandırma uygulamasında kullanılan günümüz teknolojisi, standartları ve bu alanda yapılan araştırmalar gözden geçirilecek, özellikle levhali eşanjörlü ve ısı tekerlekli ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının performansını etkileyen parametreler değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik Havalandırma, Isı Geri Kazanımı, Hız Dağılımı, Hava Kaçakları.

1. GİRİŞ

Uygun (iç veya dış) hava kalitesi, önemi insanların çocukluk çağlarında daha fazla olan, ancak sağlıkları ve üretkenlikleri açısından tüm hayatları boyunca önemini hiç kaybetmeyen çevre kalitesi bileşenlerinden biridir. Kapalı (iç) ortamlar, genellikle kirletici yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle havalandırılması kaçınılmaz olan yaşam birimleridir.

Ecodesign Direktifi, enerji ile ilintili (enerji kullanan veya kullanımını etkileyen) ürünlerin çevresel performanslarının geliştirilmesi için tasarım aşamasında göz önüne alınması gereken kuralları getiren Avrupa Topuluğu yönetmeliğidir.

Abstract:

Research in the past 30 years shows that the unacceptable indoor air quality in insufficiently ventilated domains affect human health. Health problems that adversely affect the student's performance increase in the classrooms with poor indoor air quality. This situation proves the requirement and the importance of the mechanical ventilation in almost all living spaces. As the building insulation thickness increases, energy losses in ventilation become a major component. For this reason, heat recovery ventilation technology has become an important field of work. Correspondingly, heat recovery ventilation industry has become an important field of production. The growth in the market is predicted to have two figures in the near future. European Commission plans to set Ecodesign rules and labelling applications to reduce the energy consumption in ventilation which has become a major component in the total energy consumption in buildings. Within this plan, the minimum energy efficiency of the heat recovery ventilation devices is predicted to be 71% in 2017.

In this study, recent technology, standards and research in the field of heat recovery ventilation in building air conditioning systems will be reviewed with an emphasis on the parameters that influence the performance of the plate heat exchangers and rotary heat exchangers.

Key Words:

Mechanical Ventilation, Heat Recovery, Velocity Distribution, Air Infiltration.

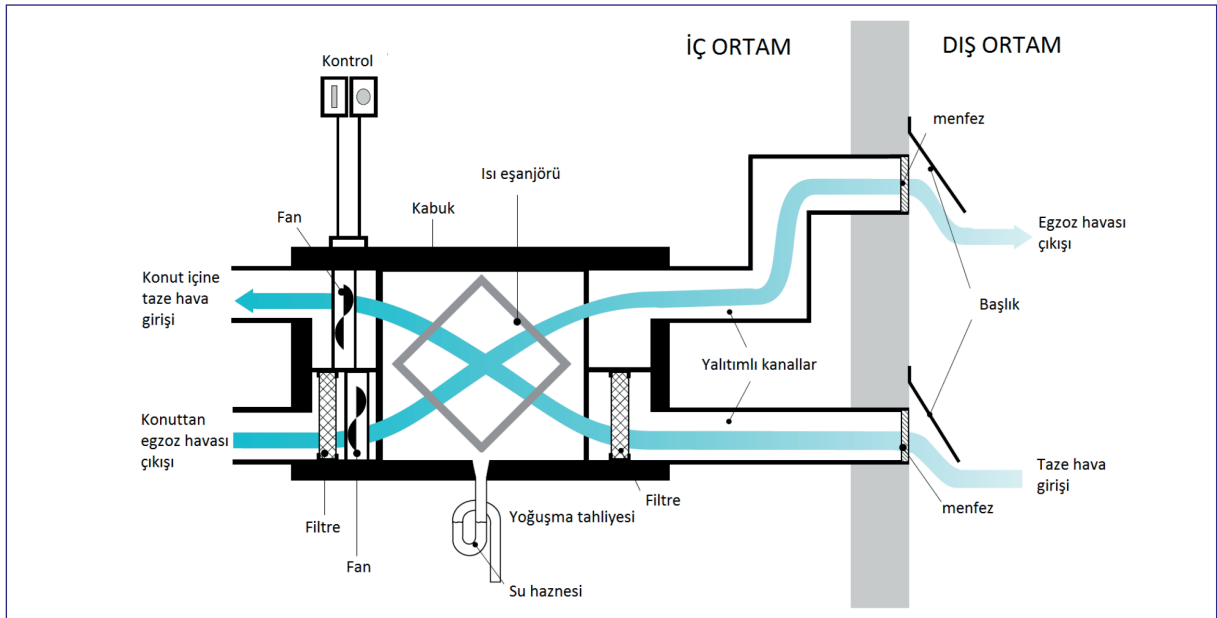
Bina kabuğunda uygulanan ısı izolasyonları, kabuğun sızdırmazlığının yükseltilmesi ve ısı veren - ısı alan cihazların verimlerinin giderek teknolojiye üst sınır değerlere yaklaşması, binalardaki diğer enerji kayıplarını önemli hale getirmiştir. Bunlardan biri, havalandırmadaki enerji kayıplarıdır. İç ortamların basit havalandırılması (iç ortam havasının dışarıya atılması, dış havanın - kontrollü veya kontrolsüz - içeri alınması) binalarda enerji kayıplarının önemli bir parçasıdır. Basit havalandırmadaki bu enerji kaybını önlemeden binalarda enerji kullanımını önümüzdeki yıllarda beklenen seviyelere indirmek mümkün değildir. Örnek vermek gerekirse, yaklaşık sıfır enerjili bina (near zero energy building) tasarımlarında ısı geri kazanımlı havalandırma bir zorunluluktur [1].

Binalarda ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme süreçlerinde enerji tasarrufu ile (insanların en az %80'i için tanımlanmış olan) uygun iç çevre kalitesinden vazgeçmeden enerji tasarrufu yapmak kastedilmektedir. Bu bağlamda enerji tasarrufu yapmak için havalandırmadan tümüyle ya da kısmen vazgeçmek söz konusu değildir. Böyle bir tercih insan sağlığı için risk oluşturur. Üstelik hava kirleticilerin pek çoğu kolay fark edilmeyen, etkisi uzun zaman dilimi sonunda ortaya çıkan gazlar ve parçacıklardır. Havalandırmanın gerektiği gibi olmasını sağlamak, sağlık risklerini önlemenin çözümüdür.

Havalandırma vazgeçilmez olduğuna göre, havalandırmada da enerji tasarrufu kaçınılmaz olmaktadır. Günümüzde havalandırmada enerji tasarrufu denilince, ısı geri kazanımlı havalandırma (IGKH) uygulamaları akla gelmektedir. Bu çalışmada, havalandırmada ısının geri kazanımı için yaygın olarak kullanılan ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının yapıları hakkında genel bir çerçeve çizildikten sonra, bu cihazların ısı geri kazanımında bir bütün olarak performansını belirleyen özellikleri üzerinde durulacak, bu alanda yapılan araştırmalar verilecektir. Bu araştırmalar, mevcut uygulama örneklerinde öne çıkan başlıklar ile sınırlı bir çerçevede kalacak olup, daha geniş kapsamlı değerlendirmeler için ısı geri kazanımı teknolojisi alanında çok yeni yapılmış iki derleme çalışması incelenebilir [2, 3].

2. ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA (IGKH)

Isı geri kazanımlı havalandırmanın günümüzdeki tanımı, yaşam hacimlerinden (iç ortamlardan) dışarıya atılan kirli hava ile dış ortamdan yaşam hacmine alınan taze-temiz hava arasında ısı transferini gerçekleştirerek taze havanın iç ortam şartlarına (kışın ısıtılarak ya da yazın soğutularak) getirilmesi için gerekli enerjiyi azaltan cihazlar ile yapılan havalandırma (Şekil 1).



Şekil 1. Isı Geri Kazanımlı Havalandırma [4]

Yaşam hacimlerinin havalandırılmasında enerjinin geri kazanılması için kullanılan IGKH cihazlarının TS EN 308 standardına göre en genel sınıflandırılması Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. IGKH Cihazlarının TS EN 308 Standardına Göre En Genel Sınıflandırılması

Kategori I	Rekuperatörler
Kategori II	Ara bir ısı transfer akışkanı kullananlar
	- Kategori II a: Faz değişimsiz cihazlar
	- Kategori II b: Faz değişimli cihazlar
Kategori III	Rejeneratörler (kütle birikimli)
	- Kategori III a: Higroskopik olmayanlar
	- Kategori III b: Higroskopik olanlar

Hangi kategoriye girerse girsin, herhangi bir ısı geri kazanım cihazının 5 temel bileşeni söz konusudur (Şekil 2):

- Isı transfer elemanı (eşanjörler),
- Hava transfer ekipmanları (fanlar),
- Dış kabuk ve kanallar,
- Hava temizleme elemanları (filtreler),
- Güç ve kontrol elemanı.

Bu 5 temel bileşene ek olarak, IGKH cihazlarına aşağıdaki ekipmanlar eklenebilir:

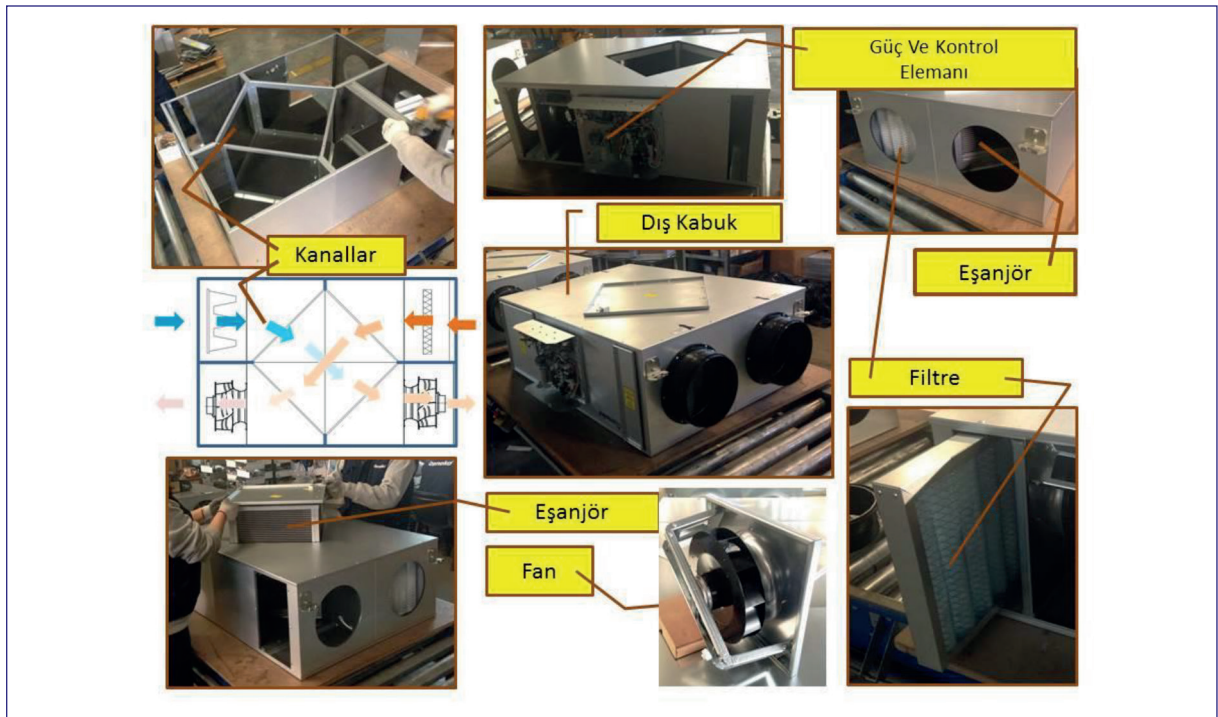
- Isıtma-soğutma serpantinleri
- By-Pass damperi
- Elektrikli ısıtıcılar
- Isı pompası
- Karışım damperi

2.1. Isı Transferi Elemanı

Isı transferi elemanı iç ortamdaki atılan (egzoz edilen) kirlili hava ile iç ortama verilen taze hava arasında enerji transferini sağlayan ısı eşanjörüdür veya ısı eşanjörü sistemidir. Isı geri kazanımlı havalandırma cihazını farklı kategorilerde sınıflandırılmasına neden olan unsurdur.

2.1.1. Rekuperatif Eşanjörler

Rekuperatif sistemlerde kullanılan ısı eşanjörleri ısı transferi terminolojisi içinde kompakt ısı eşanjörü tanımı içine giren, bir yüzünden bir akışkanın diğer yüzünden diğer akışkanın geçtiği, iki yüzeyi arasında madde (su) geçişine imkân vermeyen (metal, plastik) veya veren (kağıt) levhaların art arda birleştirilmesinden oluşan ekipmanlardır.



Şekil 2. Bir IGKH Cihazının Elemanları

Kâğıt (selüloz) esaslı eşanjörler, egzoz havası ile taze hava arasında nem transferine de olanak sağlar. Böylelikle kâğıt levhanın iki yüzü arasında duyulur ısının transferi yanında nem transferi yoluyla gizli ısının transferine de imkân verir. Geçirgen olmayan (metal, plastik) eşanjörler ise, iki yüzü arasında sadece duyulur ısı transferine müsaade eder.

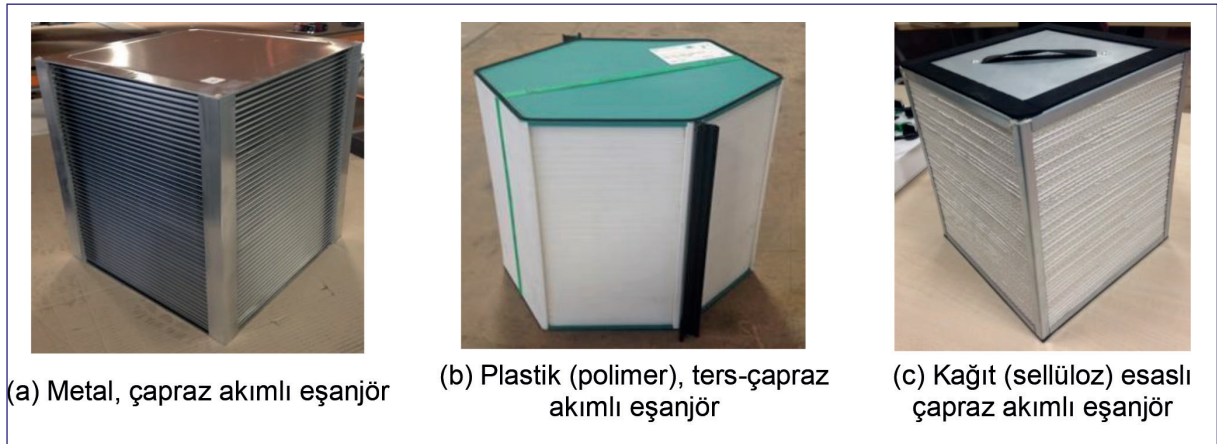
Eşanjörlerin seçimi, önce uygulama yerinin özelliğine (hijyenik gereklilikler, yıkanabilir olma özelliği) sonra da istenilen verime bağlıdır. Genel olarak ters-çapraz akımlı eşanjörlerin (Şekil 3b), çapraz akımlı eşanjörlerden (Şekil 3a ve 3c); metal ısı eşanjörlerinin de (Şekil 3a) plastik (Şekil 3b) ve kâğıt (Şekil 3c) esaslı eşanjörlerden verim anlamında daha yüksek performansa sahip olduğu söylenebilir.

Çapraz ve ters-çapraz akımlı (Şekil 4) eşanjörler birlikte kullanılarak oluşturulan “kombi” eşanjörler de uygulamada kullanılan yüksek verimli ısı transfer ekipmanlarıdır (Şekil 5).

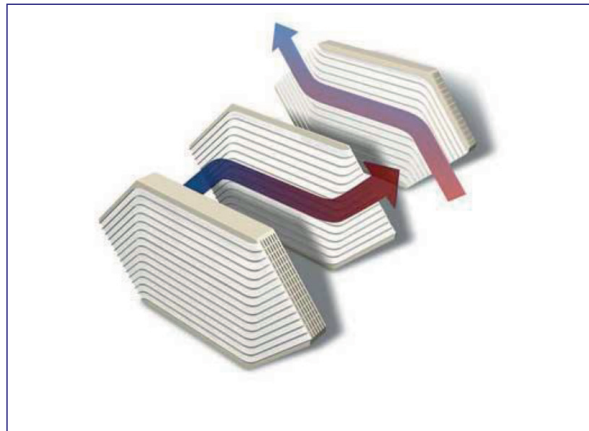
IGKH cihazlarında kullanılan farklı malzemelerden yapılmış reküperatif eşanjörlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları Tablo 2’de gösterilmiştir. Havalandırmanın söz konusu olduğu yere göre uygun malzeme seçilmelidir.

2.1.2. İkinci Akışkanlı Isı Transfer Ekipmanları

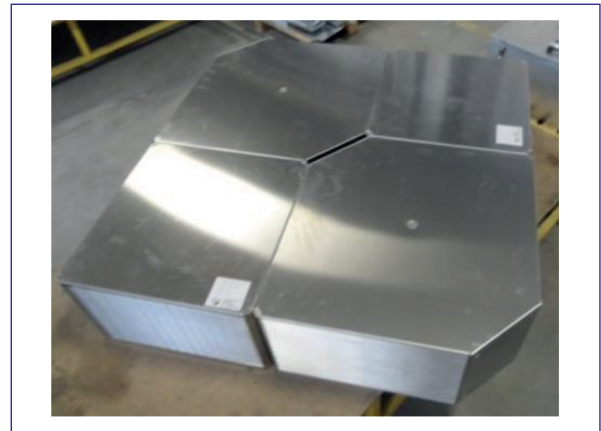
İkinci bir ısı transferi akışkanı kullanan ısı transfer ekipmanları, ısı boruları (Şekil 6a) ile iki kanatlı borulu eşanjörler ve bu eşanjörler arasında bir ısı transferi akışkanının dolaştırdığı boru ve pompa sistemidir (Şekil 6b).



Şekil 3. Reküperatif Eşanjörler



Şekil 4. Ters-Çapraz Akımlı Eşanjör

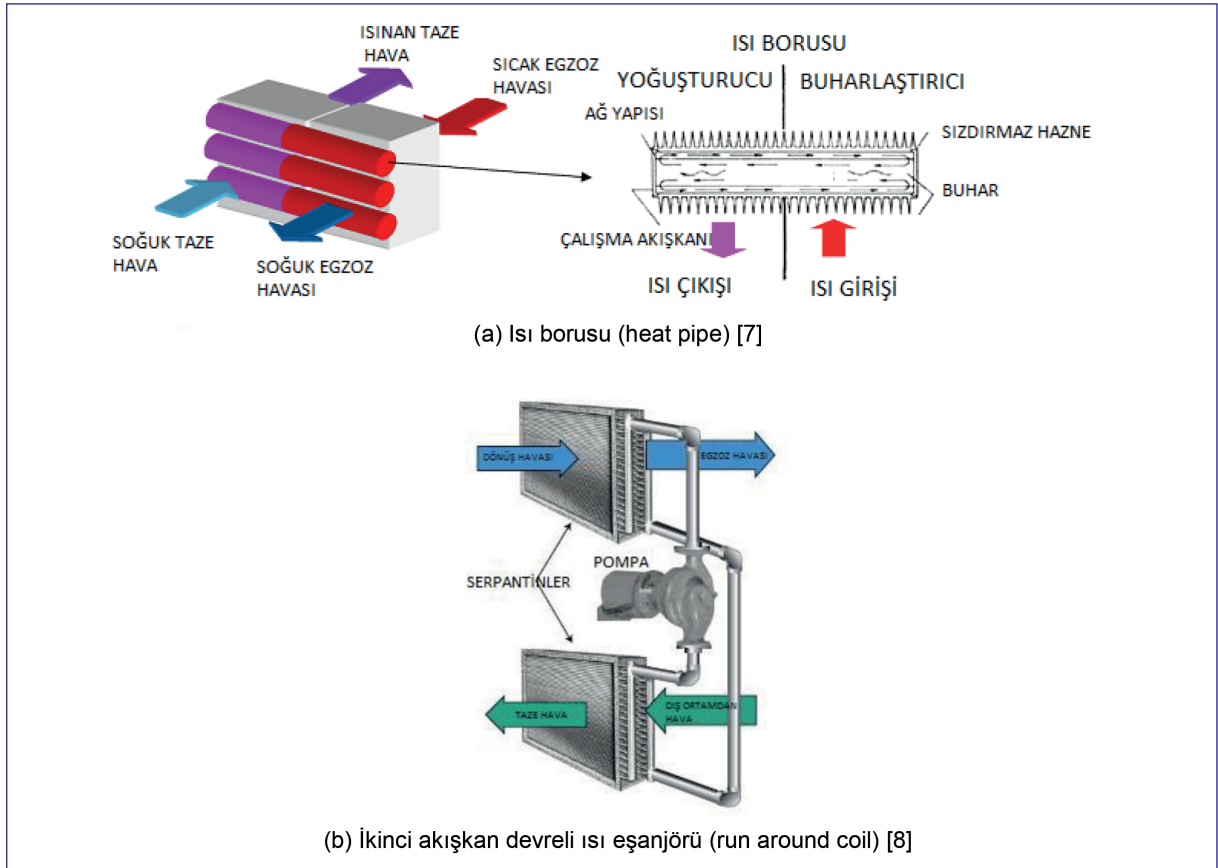


Şekil 5. Kombi Eşanjör

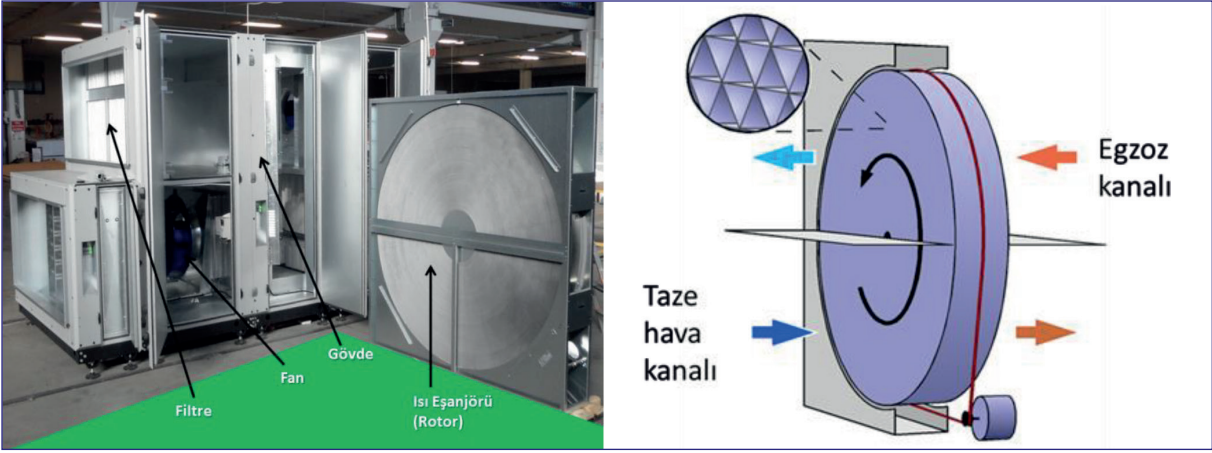
Tablo 2. Malzeme Cinslerine Göre Reküperatif Eşanjörlerin Üstünlükleri ve Zayıflıkları

Üstünlükler	Zayıflıklar
Alüminyum eşanjörler	
Yıkanebilir ve temizlenebilir.	Ağırdır.
İletim katsayısı ve sıcaklık verimi yüksektir.	
Mekanik olarak daha güçlüdür.	
Plastik (polimer) eşanjörler	
Hafiftir.	Hava akımı nedeniyle statik elektrik birikimi oluşur. Bu, hava içindeki parçacıkların eşanjör yüzeylerinde birikmesine neden olabilir. Sonuçta eşanjörde bakteri ve küf birikimine kadar giden sonuçlar doğabilir [5].
Yıkanebilir.	Isı iletim katsayısı(*) ve sıcaklık verimi düşüktür.
kimyasal yapısı kararlıdır ve korozyona dayanıklıdır.	Yüksek basınca karşı duyarlıdır.
Ucuzdur.	Ömrü kısadır.
Esnekler.	
Selüloz eşanjörler	
Nem transferi ile gizli ısı transfer edilir.	Yıkanebilir.
Nem kontrol daha kolaydır.	
Hafiftir.	

(*) Michigan Üniversitesi'nde yapılan araştırmalarla çağdaşlarından 10 kat daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip plastiklerin geliştirilebileceği gösterilmiştir [6]. Plastik eşanjörlerin bu yeni malzemelerle daha fazla uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir.



Şekil 6. İkinci Isı Transferi Akışkanı Kullanan Eşanjörler ve Sistemleri

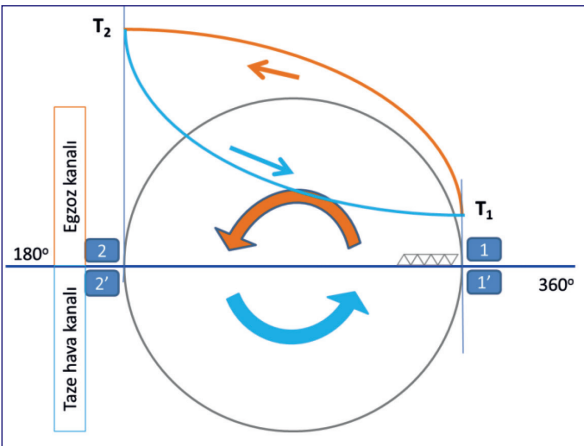


Şekil 7. Rejeneratif Eşanjörlü Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazı

2.1.3. Rejeneratif Eşanjörler

Rejeneratif IGKH cihazlarında levhali ısı değiştirgecinin yerini, havanın içindeki kanallarından geçtiği dönen kütsel bir teker (rotor) almıştır (Şekil 7).

Kış aylarında kanalları oluşturan alüminyum levhalar, egzoz kanalı içerisinde 180 derecelik dönme esnasında içlerinden geçen egzoz havası tarafından ısıtılırlar (Şekil 8, 1-2 konumları arası). Levhalar egzoz kanalı içindeki yolunu tamamlayıp taze hava kanalına geçtiklerinde (2' konumu) depoladıkları ısı enerjisini 360 derecelik yörüngelerini tamamlayınca-ya kadar yüzeylerini yalayan taze havaya aktarırlar (Şekil 8, 2'-1' konumları arası). Yaz aylarında fiziksel anlamada benzeri ama tersine bir enerji transferi söz konusudur. Burada tanımlanan ısı tekeri ile tanımlanan ısı transferi, duyulur ısı transferidir.



Şekil 8. Hava Kanallarını Oluşturan Metal Levhaların 360 Derecelik Yörünge Boyunca Sıcaklık Değişimi

Isı tekerindeki kanal yüzeylerinin higroskopik ve sorpsiyon (adsorbsiyon veya absorbsiyon) malzemeleri ile kaplanması sonucu, duyulur ısının yanında nemin de taşınması söz konusu olur. Bu tür ısı tekerlekleri, entalpi rotoru, sorpsiyon rotoru gibi isimlerle de anılmaktadırlar. Bir kanaldan diğerine nemin taşınması, o nemin buharlaştırılması için gerekli enerjinin de transferi demek olduğundan, bu tür ısı tekerlerinde duyulur ısının yanında gizli ısı da transfer edilmiş olur ve verimleri bu yüzden yüksektir.

IGKH'da kullanılan reküperatif ve rejeneratif eşanjörlerin birbirlerine göre üstünlük ve zayıflıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Reküperatif eşanjörler, kaçaklar dışında egzoz ve taze hava karışımına imkân vermediğinden istenilmeyen hava kirliliğini (kirletici, koku taşınması vs.) engeller. Ancak özellikle soğuk iklimlerde donma riski yüksektir. Rejeneratif eşanjörlerde donma problemi daha azdır ancak mekanik yapısı dolayısıyla önlenmesi mümkün olmayan aralıklardan taze havaya egzoz tarafından kirletici ve koku transferi olması söz konusudur.

2.2. Hava Transfer Ekipmanları (Fanlar)

Fan; kanatlı yapıda, bir ya da daha fazla döner çark aracılığıyla akışkana enerji aktaran makinadır. İçinden geçen çalışma akışkanının (hava ya da bir diğer gaz) basıncı artırılır. Fanlar genel olarak, havanın çark üzerinden akış doğrultusuna bağlı olarak, radyal (merkezkaç, santrifüj) veya aksiyel (eksenel) olarak

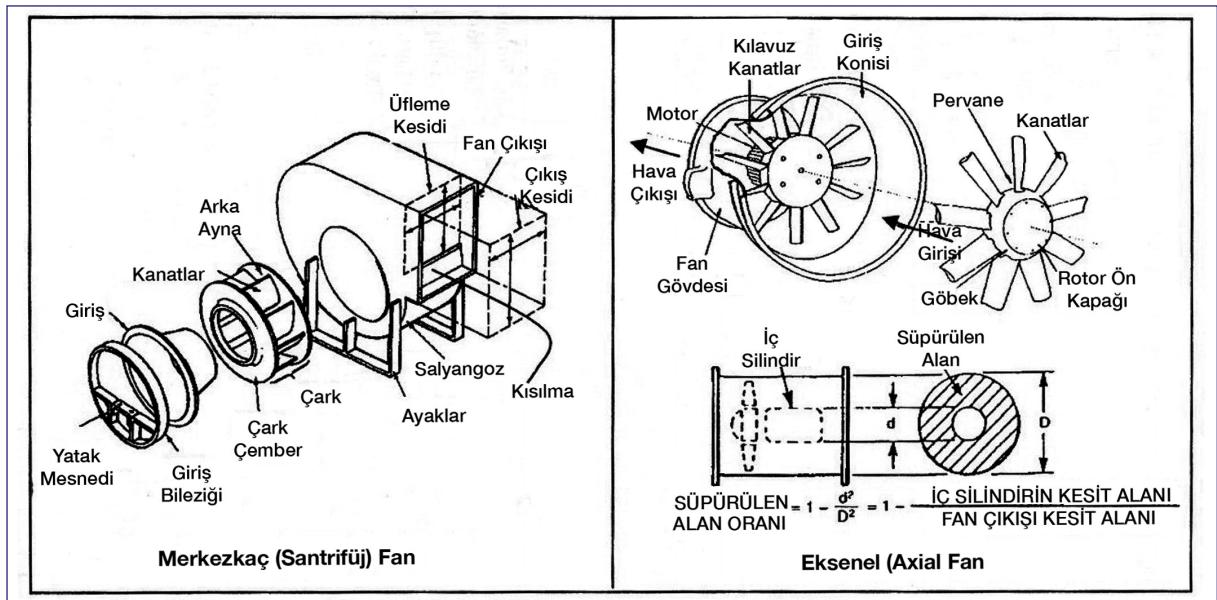
Tablo 3. Reküperatif ve Rejeneratif Eşanjörlerin Karşılaştırılması

Üstünlükler	Zayıflıklar
Rekuperatör eşanjörler	
Eşanjörde taze hava ve egzoz havası karışımı yoktur.	Özellikle soğuk iklimlerde donma olasılığı yüksektir.
Kirlilik ve koku transferi yoktur.	Verim düşüktür.
Rejeneratif eşanjörler	
Donma olasılığı azdır.	Eşanjörde taze hava ve egzoz havası karışımı vardır.
Verim yüksektir.	Kirlilik ve koku transferi vardır.

sınıflandırılırlar. Bunlara ek olarak karışık akımlı fanlar da mevcut olup uygulama alanları daha azdır.

Aksiyel tip fanlarda havanın hareketi aksel yöndedir. Endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan başlıca tipleri:

- Pervane kanatlı tip: Alçak, orta ve yüksek basınçlı genel ısıtma, havalandırma ve klima uygulamalarında kullanılırlar.
- Silindir kanat tip: Alçak ve orta basınçlı sistemlerde ve kurutma ve boyama kabinlerinin egzozlarında kullanılırlar.
- Kılavuzlu silindir tip: Alçak statik basınçlı, büyük hava debileri için kullanılırlar.



Şekil 9. Radyal (Merkezkaç, Santrifüj) ve Aksiyel (Eksenel) Fanlar [9]



Şekil 10. Endüstriyel Uygulamalarda Karşılaşılan Başlıca Aksiyel Tipleri

Radyal tip fanlarda ise havanın hareketi santrifüj (merkezkaç) kuvveti doğrultusundadır. Başlıca tipleri:

- Radyal (eğimsiz) tip: Endüstriyel tesislerde malzeme nakli için veya yüksek basınçlı klima tesislerinde kullanılır.
- Öne eğimli kanatlı tip: Alçak basınçlı havalandırma sistemlerinde, paket klima cihazları ve ev tipi sıcak hava apareyleri ve fanlı serpantinlerde kullanılırlar.
- Geriyeye eğimli kanat tip: Genel havalandırma sistemlerinde kullanılırlar.
- Aerodinamik kanatlı tip: Genel havalandırma sistemlerinde, özellikle büyük hava debilerinde kullanılırlar.

Geriyeye eğik kanatlı fanlar en verimli radyal fanlardır. Fan muhafazasına (salyangoza) ihtiyaç duymazlar. Bu sayede daha kompakt bir yapıya sahiptirler. Öne eğik sık kanatlı fanlara göre daha fazla tercih edilmelerine rağmen çalışma aralığında basınç değişimine karşılık debi değişimi daha azdır ve gürültü seviyeleri daha yüksektir. Bu sebeple değişken hava debisine sahip sistemlerde, hız kontrolü kullanılması gerekmektedir.

İyi bir fan istenilen performansı yerine getirirken az enerji tüketen (yüksek verimli), mümkün olduğunca az gürültü ve mümkünse az maliyetli olan fanlardır. Fan

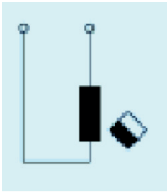
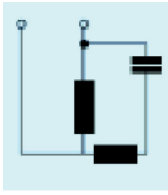
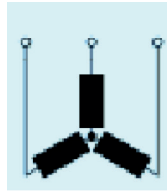
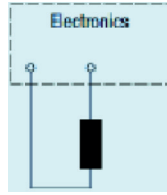
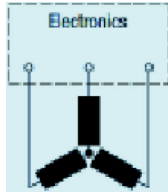
ve fan sistemlerinde enerjinin verimli kullanılması seçim, imalat ve işletme süreçlerinin optimum olması ile sağlanabilir. Çünkü fanlar ömürleri boyunca ilk yatırım maliyetlerinin yüzlerce katı enerji tüketmektedirler. Bunun anlamı; bir işletme için en iyi fanın en ucuz fan olmadığıdır. Bu nokta çok önemli olup fan satın alınırken ve fanın çalıştırılacağı sistem projelendirilip yapılırken buna çok dikkat edilmelidir.

Ekonomik ve yüksek verimli fan seçimi için aşağıda verilen temel bilgilere sahip olunması gerekmektedir:

- Fanın transfer etmesi gereken havanın debisi,
- Çalışma esnasında fanın sağlaması gereken statik veya toplam basınç,
- Fanın içerisinden geçecek olan havanın özellikleri,
- Fanın çalışacağı ortamda kabul edilebilen gürültü seviyesi,
- Fanın monte edileceği yer ve kanal montaj bağlantı durumu.

Fan motoru ve tahrik sistemi, fan sistemi verimliliğinin en önemli parçalarından biridir. Fan motor teknolojisi hızla değişmekte ve yeni teknolojinin kullanımı hızla yayılmaktadır. Özellikle AB ülkelerinde bu konuda ciddi sınırlamalar getirilmektedir. Fan motoru tiplerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Fan Motoru Tipleri

	AC Motor			EC Motor	
	Tek kutuplu	Bölünmüş kapasitörlü	3 faz indüksiyon	Tek çekirdekli	3 çekirdekli
Devre dizaynı					
Güç beslemesi	1 faz AC	1 faz AC	3 faz AC	1 faz AC veya DC	3 faz AC
Hız kontrol	Harici	Harici	Harici	Dahili	Dahili
Rotor tipi	Sincap kafes	Sincap kafes	Sincap kafes	Manyetik	Manyetik
Verim	Kötü	Orta	İyi	Daha İyi	En iyisi
Gürültü	Kötü	Orta	İyi	Orta	İyi

Küçük kapasiteli IGKH cihazlarında; tek kutuplu AC motorlar, ucuz ve güvenilir oldukları için tercih edilmekte ve yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu motorların enerji verimliliği çok kötü ve hız kontrol uygulaması büyük sorunlara sahiptir. Özellikle düşük kapasite çalışmalarında motordan aşırı gürültü gelmekte ve çok düşük enerji veriminden dolayı çok fazla enerji harcamaktadırlar. Günümüzde pahalı olmalarına rağmen düşük kapasitede yüksek enerji verimliliği ve düşük ses seviyelerinden dolayı EC motorlar tercih edilmeye başlanmış ve kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Yüksek kapasiteli cihazlara bakıldığında, eski havalandırma sistemlerinde salyangozlu çift emişli radyal fanlar kullanılmış ve tek fazlı motorlara göre daha verimli ve daha az gürültüye sahip oldukları için 3 faz motorlar tercih edilmiştir. Kayış kasnak sistemindeki %10'a varan verim kayıpları bu uygulamaların bırakılıp direk akuple uygulamalara dönülmesine sebep olmuştur. Günümüzde enerji verimliliği ön plana çıkmış ve hız kontrolü standart olarak istenir olmuştur. 3 fazlı motorlarda motor ve hız kontrol ünitesi fiyatı neredeyse EC motor fiyatına eşittir. Ayrıca EC motor hız kontrolünde çok geniş çalışma aralığına sahiptir.

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte tüketilen enerjinin azaltılması, çalışan sistemlerde verimliliğin artırılması çok önem kazanmıştır. Özellikle IGKH cihazları gibi enerji kazanım sistemlerinde, bu işi yapabilmek için harcanan enerjinin miktarı çok daha önemlidir. Standart IGKH cihazında (ısı geri kazanım eşanjörü, taze hava fanı, egzoz fanı ve filtrelerden oluşan) ana enerji tüketimi fanlardan oluşmaktadır. Otomasyon sistemi ve tekerlek tipi ısı geri kazanım eşanjörü motoru da düşüğe olsa bir enerji tüketir ama fanlarda harcanan enerjinin yanında çok düşük değerdedirler. Fan veya cihaz verimliliği, birim hava hacimsel debisi başına harcanan güç olarak (Özgül Fan Gücü, SFP) tanımlanır.

AB normlarında bu değerler sınırlandırılmış olup her geçen yıl verimlilik değerleri daha da arttırılmaktadır. Bunun yanında ulusal gereksinimler de farklılıklar göstermekte ve farklı ülkelerde farklı sınırlamalar getirilebilmektedir.

Category	PSFP in (W/(m ³ /s))
SFP 1	<500
SFP 2	500-750
SFP 3	750-1,250
SFP 4	1,250-2,000
SFP 5	2,000-3,000
SFP 6	3,000-4,500
SFP 7	<4,500

Şekil 11. EN 13779'a Göre Fan Başına Özgül Fan Gücünün Sınıflandırılması

Fanlardaki SFP değeri fanın çektiği güç ile fanın hava debisi arasındaki orandan bulunurken, bir IGKH cihazında ise cihazın çektiği güç ile cihaz hava debisinin (taze hava debisi) oranından bulunmaktadır. Özgül Fan Gücü SFP fanın çektiği güç ile doğru orantılıdır. Fan gücü fanın karşılaması gereken statik basınç ile ilişkilidir. Standart IGKH cihazında fan hem cihaz dışı statik basıncı (hava kanallarından ve ekipmanlarından kaynaklanan) hem de cihaz içerisinde oluşan statik basıncı yenmesi gereklidir. Cihaz içerisindeki statik basınç ısı geri kazanım eşanjörü, filtre ve kanallardan meydana gelmektedir. IGKH cihazındaki eşanjör ve filtre yapısı büyütüldüğünde SFP azalmakta ancak maliyet ve cihaz büyümektedir. Eşanjör ve filtre yapısı küçültüldüğünde ise cihaz küçülmekte, maliyet azalmakta ama SFP artmakta ve cihaz verimliliği de azalmaktadır. Burada tasarımcının optimum boyut, maliyet ve verimlilik çalışması yapılması gereklidir.

2.3. Kabuk ve Kanallar

IGKH cihazlarının ekipmanlarını (fan, ısı eşanjörü, filtre, vb.) koruyan ve cihaz içi hava akışını yönlendiren gövde 2 ana yapıda değerlendirilebilir: (1) Dış yüzeyi oluşturan kabuk ve (2) İç hava akışını ve ekipmanları tutan iç gövde. Dış yüzeyi oluşturan kabuk, farklı malzemelerden ve farklı kombinasyonlardan oluşabilmektedir. Temel olarak cihazın dış etkilerden korunmasını sağlayan bu yapı çoğunlukla galvanizli sacdan üretilmektedir. Uygulamalarda karşılaşılan başlıca kabuklar:

a. EPP (expanded polypropylene) gövde: Konut tipi

uygulamalarda tercih edilir. Cihazın küçük olması ve kullanılan ekipmanların hafif olması bu tür yapının kullanılmasına olanak sağlar. EPP malzeme izolasyon özelliğine sahip olduğundan dolayı ek uygulamaya ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca metal sac kabuk uygulamalarında hem cihaz ağırlığı çok artmakta hem de küçük detayların oluşturulmasında sorunlar yaşanmaktadır. Özellikle yüksek adetli üretimlerde EPP gövde kullanımı hız ve kaliteyi arttırmaktadır. Bunun yanında EPP için kalıp yapılması gerekliliği düşük adetli üretimde cihaz maliyetini olumsuz yönde etkilerken, EPP'nin dış ortam koşullarına dayanımının az olması cihazın mahal içerisinde kullanımını zorunlu kılmaktadır.

b. Metal sac kabuk (tek cidar): Düşük ve orta kapasiteli ticari tip (özellikle tavan tipi) cihazlarda tercih edilir. Çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Cihaz büyüklüğüne göre tespit edilen sac kalınlığına bağlı olarak kabuk metal sac'tan üretilir. Cihaz içi ve bulunduğu ortamdaki sıcaklık farkından dolayı kabuğun izole edilmesi gerekir. Bu izolasyon genellikle iç yüzeye uygulanır, bu sayede ısı izolasyonunun yanında, fan da meydana gelen mekanik sesi ve iç hava kanallarındaki hava sesini sönümlemeye de yarar.

IGKH cihazının dış ortam emiş bölgesinde kış aylarında dış ortam sıcaklığının çok düşük olması kabuk içi izolasyonun yetersiz kalmasına neden olabilir. Bu durumda kabuk dış yüzeyinin ek olarak izole edilmesinde fayda vardır. Tek cidar kabuklar dış ortam koşullarına uygun olmadıkları için bu tip cihazlar mutlaka mahal içerisinde kullanılmalıdır.

c. Metal sac kabuk (çift cidar): Yüksek kapasiteli cihazlarda, cihaz dayanımını arttırmak, iyi bir ısı ve ses izolasyonu sağlamak ve dış ortam etkilerine karşı cihazı korumak amacıyla, cihaz büyüklüğüne göre tespit edilen sac kalınlığına bağlı olarak çift cidar kabuk kullanılmaktadır. Genellikle dış cidar dış ortam etkilerine karşı elektrostatik boya ile korunmakta, iç cidar çoğunlukla galvanizli sacdan imal edilmektedir. Bazı özel uygulamalarda (hijyen, havuz, vb.) iç cidar sacı elektrostatik boya ile boyanmakta veya farklı malzeme (paslanmaz gibi) kullanılmaktadır.

Standart bir IGKH cihazında ekipmanların cihaz içerisine montajını yapmak, hava akışını düzenlemek özellikle egzoz ve taze havanın karışmasını engellemek için kabuk içerisine iç gövde oluşturulur. İç gövdenin ana fonksiyonu ekipmanların sabitlenme-



Şekil 12. EPP (Expanded Polypropylene) Gövde Uygulamaları



Şekil 13. Metal Sac Kabuk Uygulamaları

si olsa da, cihaz içi hava akışında meydana gelen kayıpların azaltılması da çok önemlidir. Özellikle çapraz akışlı ve karşıt akışlı ısı geri kazanım eşanjörlerinde kullanılan by-pass damperi cihaz içi akışta ciddi önlemler alınmasını gerektirir. Normal çalışma anında tüm hava ısı geri kazanım eşanjörü üzerinden geçerken, by-pass damperinin açılması ile hava akışı yön değiştirmektedir. Bu tip uygulamalarda tasarımının her iki durumu da göz önüne alarak iç gövdeyi tasarlaması gerekir.

İç gövdenin sac malzemedan yapılması yaygın bir uygulamadır. Özellikle küçük kapasiteli (ev tipi veya tavan tipi) cihazlarda iç gövdedeki küçük sac malzemeye form verilmesi zor bir işlemdir. Bu konu ile ilgili farklı uygulamalar geliştirilmiştir.

EPP kabuk yapısına sahip cihazlarda kabuk ile iç gövde birlikte üretilir. Bu sayede kabuk ve iç gövde bir bütünlük oluşturarak özellikle üretimde çok büyük kolaylık sağlar. Sac olarak üretimi çok zor olan kavisli yüzeylerin EPP de elde edilmesi cihaz içi hava akışını kolaylaştırmakta ve cihaz içi kayıpların azalmasına sebep olmaktadır.

Son yıllarda özellikle ticari tavan tipi düşük kapasiteli IGKH cihazlarında kabuk sac malzemedan üretilmesine rağmen iç gövde de EPS malzeme kullanımı artmıştır. Bu tip cihazlarda kullanılan ekipmanın ve cihaz boyutlarının büyük olması cihaz gövdesinin EPP'den üretilmesine olanak vermemektedir. Bu sebeple tasarımcılar kabuğun dayanımını arttırmak için sac malzemedan, iç gövdeyi ise hem cihazın ağırlığını azaltmak hem de hava akışını düzenlemek için EPS'den dizayn etmektedirler. EPS yalıtkan bir malzeme olduğu için bazı uygulamalarda cihazın izolasyonu içinde kullanılmaktadır.

2.4. Hava Temizleme Ekipmanları –Filtreler

Hava filtreleri, bir iklimlendirme sisteminin temel elemanlarından ve pek çok işlevi yerine getirirler. Ancak en önemli işlevleri, insan sağlığı ve konforu açısından solunan havadaki tanecikleri ve kötü kokuları süzmek, ısı değiştirgeçlerinin, menfezlerin, duvar ve tavanların kirlenmesini en aza indirmektir. Filtrelerin türleri:

- Yapısal açıdan sınıflandırma
 - a. Panel Filtreler
 - b. Otomatik makaralı filtreler
 - c. Elektrostatik filtreler
- Verim açısından sınıflandırma
 - a. Düşük verimli (kaba): Temizlenmeyen panel filtre, yıkanabilir panel filtre ve otomatik makaralı filtre.
 - b. Orta / yüksek verimli: Torba, elektrostatik.
 - c. Çok yüksek verimli: HEPA (“high efficiency particulate air”), ULPA (“ultra low penetration air”)

Filtre seçimi için sahip olunması gereken temel bilgiler:

- a. Filtreden çıkan hava için şart koşulan temizlik düzeyi (verim),
- b. Havadan alınan tozun nasıl atılacağı,
- c. Filtrelenecek olan havadaki tozun türü ve miktarı,
- d. Hava akışına direnç (basınç düşümü),
- e. Filtre için kullanılacak hacim şartları,
- f. İlk maliyet ve ömür,
- g. İşletme, bakım ve değiştirme maliyetleri,
- h. Filtreleme ile sağlanan tasarruf.

Filtre seçimindeki en önemli 2 özellik; “Filtreden çıkan hava için şart koşulan temizlik düzeyi” ve “Hava akışına direnç”tir.

Günümüzde yaşamımızın büyük bir bölümünün kapalı ortamlarda geçmesi, bu ortamlardaki hava kalitesinin de artırılmasını gerektirmektedir. Hava kalitesi düşünüldüğünde ilk akla gelen hava içerisindeki partikül miktarıdır ve bu değeri etkileyen en önemli faktör havalandırma sisteminde kullanılan filtrelerin verimlilikleridir. Ne kadar yüksek verimde filtre kullanılır ise hava içerisindeki partiküllerin filtrelenmesi o kadar iyi olacaktır. Fakat yüksek verimli filtreler hava akışına daha fazla direnç göstermektedir. Bu da fanın çalışma basıncını ve tüketilen enerjiyi arttırmaktadır. Özellikle IGKH cihazlarında, ortama üflenen havanın büyük bir bölümü (genellikle tamamı) dış havadır. Tasarım aşamasında dış ortam havasının iç ortam havasından daha temiz olduğu ve daha fazla oksijen içerdiği kabul edilse de dış ortam hava kalitesi filtre seçiminde büyük rol oynar. AB araştırmalarında, insan yoğun bölgelerde “ince toz” miktarının

sağlık limitleri üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu partiküller, taşıyıcı madde görevi görmekte, solunum yolu hastalıkları, astım, akciğer kanseri ve alerji gibi rahatsızlıkların artmasına sebep olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün çeşitli çalışmalarında da yukarıda sayılan rahatsızlıkların bir bölümünün nedeninin dış hava olduğu tespit edilmiştir. "Filtreden çıkan hava

için temizlik düzeyi" birçok ülkede sınırlandırılmış ve minimum filtre verimlilik değerleri tespit edilmiştir. IGKH cihazındaki bileşenlerin etkinliğini korumak için üfleme ve egzoz havasında en azından bir kaba filtre (G4 veya F5) uygulanması gerekmektedir. İnsan sağlığı açısından ise üfleme havasına ince toz filtresi (F7) uygulanmalıdır. Bu durumda ince toz

Tablo 5. EN 779:2012'e Göre Filtrelerin Sınıflandırılması

EN 779:2002 Standardı		Filtre Sınıfına Göre Madde Örnekleri			
Kaba > 1µm	G1 EU1	Yapraklar, böcekler, kumaş iplikleri, insan saçı, kum, kül, su damlacıkları Plaj kumu, bitki sporları, polen, sis			
	G2 EU2				
	G3 EU3				
	G4 EU4				
İnce 0,4 µm	F5 EU5	Sporlar, çimento tozu (kaba kısmı), parçacıklar, toz			
	F6 EU6	Büyük bakteriler, parçacıklarla taşınan mikroplar, PM10			
	F7 EU7	Kurum, akciğer tahribatı yapan tozlar (PM2.5), PM2.5-tozlar, çimento tozları			
	F8 EU8	Tütün dumanı (kaba kısmı), yağ dumanı, bakteriler			
	F9 EU9				
EN 1822-1 Standardı					
HEPA 0,3 µm	H10 EU10	Mikroplar, tütün dumanı, metalurjik is, parçacıklarla taşınan virüsler, carbon isi. Yağ isi, metalurjik is, deniz tuzu taneciği, virüsler, radyoaktif parçacıkları, tüm hava ile taşınan PM ISO 4 temiz olda filtresi, hastanelerin ameliyat odaları			
	H11 EU11				
	H12 EU12				
	H13 EU13				
	H14 EU14				
ULPA 0,12 µm	U15 EU15	ISO 3 temiz olda filtresi			
	U16 EU16	ISO 2 temiz olda filtresi			
	U17 EU17	ISO 1 temiz olda filtresi			
	U18 EU18				
Gaz Adsorpsiyonu					
A gazı	Aktif karbon	VOC'lar, katran/petrol isi, solvent buharı, kokular			
	Emdirilmiş aktif kar.	Asidik gazları SO _x , NO _x , HCl, H ₂ SO ₄ , H ₂ S, HF, Cl ₂			
	Emdirilmiş aktif kar.-Polimerler	Aminler, NH ₃ , NH ₄ , NMP, HMDS			
Filtre Tipi	Yeni EN779 Sınıfı	Ortalama Yakalama (%)	Ortalama Verim (%) @ 0,4 µm	Nihai Basınç Düşümü (Pa)	Minimum Verim @ 0,4 µm
Kaba filtre	G1	50≤Am<65		250	
	G2	65≤Am<80		250	
	G3	80≤Am<90		250	
	G4	90≤Am		250	
Orta Filtre	M5		40≤Em<60	450	
	M6		60≤Em<80	450	
İnce Filtre	F7		80≤Em<90	450	35
	F8		90≤Em<95	450	55
	F9		95≤Em	450	70

filtresinin kullanım ömrünü arttırmak için üfleme havasında 2 aşamalı filtre uygulaması önerilmektedir. Egzoz tarafında ise genellikle kaba filtre kullanılırken, bazı Avrupa ülkelerinde ince toz filtre kullanımı zorunlu tutulmuştur.

Filtredeki “Hava akışına direnç” temel olarak, filtre verimine ve kullanılan filtre miktarına bağlıdır. Yüksek verimli filtreler havaya daha fazla direnç gösterirler ve bu direnci azaltmak için filtre birim alınındaki hava hızının düşürülmesi gerekir. Bir araştırmaya göre havalandırma cihazında tüketilen enerjinin %30’u filtrelerden kaynaklanmaktadır. Bu da filtre seçiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

2.5. Kontrol Elemanı

Ortamın iç hava kalitesini temin edebilmek amacıyla kullanılan IGKH cihazları diğer iklimlendirme cihazlarına göre yapısal olarak ve çalışma şekli olarak çok farklılık gösterdiği için daha özel otomasyon sistemine sahip olması gerekmektedir. Farklı uygulamalar ve özel talepler doğrultusunda çok farklı ekipmanlar söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle; tüm ekipmanların kontrolü, kullanıcı taleplerinin karşılanması ve son kullanıcının basit ve kolay kullanılabilmesi için IGKH cihazları otomatik kontrol sistemine ihtiyaç duyarlar. Basit olarak, Cihaz aç/kapa ve fanların hız kontrolünün yapılması yeterli gözüktüğü de, bir IGKH cihazının tüm ekipmanlarının kontrol edilmesi ve değişen ortam koşullarına göre çalışma şartlarının otomatik ayarlanması gerekir.

Cihazın aç/kapa kontrolü özellikle ticari uygulamalarda otomatik yapılması istenmektedir. Zaman saati uygulaması çok yaygın uygulamalardan biridir. Bunun yanı sıra modbus, Bacnet gibi haberleşme yöntemleri sayesinde bina otomasyon sistemi üzerinden IGKH cihazının tüm fonksiyonları kontrol edilebilmektedir.

Ortamların taze hava ihtiyacının hesaplanması sırasında insan sayısına ya da hacmin fiziksel özelliklerine göre pik durum göz önüne alınmaktadır. Uygulamada ise bu pik durumların yılın belli bir bölümü için gerekli iken, yılın önemli bir bölümünde ise daha

az taze hava debisinin yeterli olacağı görülmektedir. Taze hava miktarının ihtiyaca göre ayarlanması iç ortamın iklimlendirilmesinde kullanılan sistemlerin enerji tüketimini azaltacağı gibi, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazının enerji tüketimini de azaltmaktadır. Taze hava miktarı arttıkça iç ortamın iklimlendirme ihtiyacı da artmaktadır. Otomatik kontrole eklenecek bu özellik sayesinde ihtiyaç kadar havalandırma mümkün olmaktadır. Dönüş kanalına ya da taze hava ihtiyacı olan hacime yerleştirilen iç hava kalite sensörü ya da CO₂ sensörü konfor noktasına ayarlanarak, gelen taze hava ihtiyacı sinyali doğrultusunda cihazın debisi otomatik olarak ayarlanır.

IGKH cihazlarında özellikle plakalı ısı eşanjörüne sahip cihazlarda, By-pass modülü, yaz/kış mevsimi geçiş sürelerinde taze havanın ısı geri kazanım eşanjöründen geçirilmeden iç ortama verilmesini sağlamak için tasarlanmıştır. Kontrol, dış hava, dönüş havası ve set sıcaklık değerlerine bakarak by-pass’ın açılıp açılmayacağına karar verir.

Dış hava sıcaklığının düşük olduğu bölgelerde ısı geri kazanım eşanjörünün donma riski vardır. Yoğuşan suyun donması ısı eşanjörünün zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı düşük dış hava koşulu bulunan bölgelerde kullanılacak IGKH cihazlarının korunması için kontrol sisteminde önlem alınması (özel çalışma koşulu oluşturulması) veya ön ısıtıcı kullanılması gerekmektedir.

Bazı uygulamalarda taze havanın konfor koşuluna göre şartlandırılması istenmektedir. Bu gibi durumlarda ısıtma veya soğutma ekipmanı kullanılmaktadır. Tüm bunların yanında kullanılan ekipmanların özellikle fanların arızalarını takip edilmesi ve filtre doluluk kontrolünün de yapılması gereklidir.

3. ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA ÜNİTELERİNDE PERFORMANS STANDARLARI

Tipine (konut dışı, konut dışı) bağlı olsa da en genel anlamda bir ısı geri kazanım cihazının 11 grupta (Tablo 6) toplanabilecek 150’ye yakın özelliği vardır. Bu özelliklerin pek çoğu uluslararası (EN, ISO,...) ve ulusal (TR, DIN, BRE,...) standartlarla tanımlanmış

sınırlar ve sınıflara göre düzenlenmeli ve standart testlerle denetlenmelidir. Bu bildiride, ilgisi itibarıyla IGKH cihazlarının sadece ısıl performansı ve onu etkileyen özelliklerini çerçeveleyen standartlar göz önünü alınmıştır.

Tablo 6. IGKH Cihazı Özellik Grupları (Tasarım Parametre Grupları)

1	Kabuk	7	Kontrol Ünitesi
2	Sürücüler/Bileşenler	8	Kontrol Fonksiyonları
3	Fanlar	9	Yazılıma Erişim
4	Performans	10	Ses-Gürültü Özellikleri
5	Isı Eşanjörü	11	Sertifikasyon
6	Isıtıcı/Soğutucu Üniteler		

Isı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının performansını gösteren ve farklı cihazların karşılaştırılmasında kullanılan cihaz ısıl verimi TS EN 13053 normuna göre tanımlanmıştır. Cihaz ısıl verimi

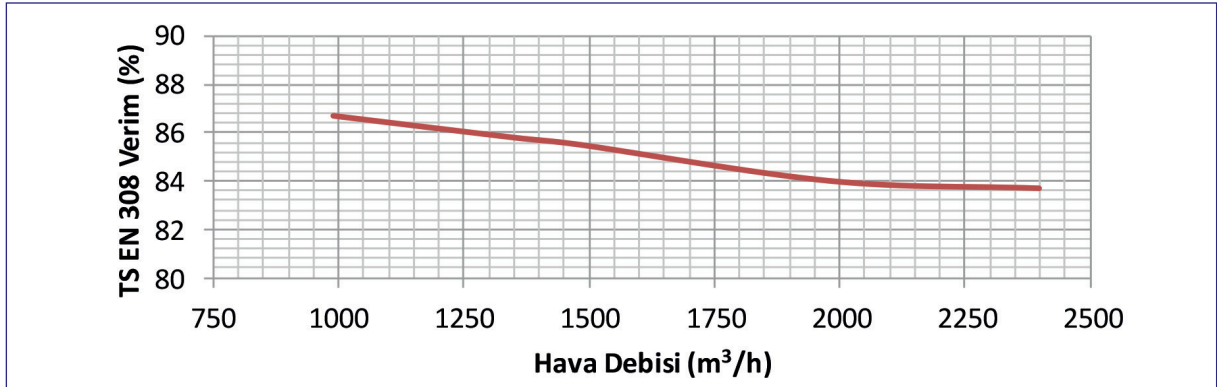
Denklem 1’de verildiği gibi TS EN 308 normuna göre hesaplanmış iki değişken (sıcaklık verimi η_t ve performans katsayısı ϵ) kullanılarak tanımlanır.

$$\eta_e = \eta_t (1 - 1/\epsilon) \quad (1)$$

Farklı cihazların karşılaştırılmasında, bu iki değişkenin, ilgili standartlarda (TS EN 308 ve TS EN 13141-7) tanımlanan standart şartlarda belirtilen sıcaklıklarda (Tablo 7a, 7b ve 7c) ve atmosferik basınçta, farklı hava debilerinde gerçekleştirilmiş deneyler sonucu elde edilen değerlerini temel alarak hesaplanmış cihaz ısıl veriminin değişimi kullanılmalıdır. Şekil 14’te IGKH cihazlarının TS EN 308 normuna göre test edilmesi için inşa edilmiş bir laboratuvarın test esnasındaki görüntüsü, Şekil 15’te de test sonucuna göre elde edilmiş konut dışı bir IGKH cihazının sıcaklık verim eğrisi verilmiştir.



Şekil 14. TS EN 308 Sıcaklık Verimi Test Laboratuvarı



Şekil 15. Sıcaklık-Verim Eğrisi

Tablo 7a: IGKH Cihazlarında Sıcaklık Verimi Test Sıcaklıkları: Konut Dışı Bina Cihazları (T_{db} : Kuru Termometre Sıcaklığı, T_{wb} : Yaş Termometre Sıcaklığı, Φ : Havanın Bağıl Nemi, T_{dp} : Çiğlenme Noktası Sıcaklığı)

EN 308		KONUT DIŞI BİNALAR İÇİN ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA CİHAZLARI							
		KATEGORİLER							
		ISITMA				(I) Reküperatör (II) Transfer akışkanlı (IIIa) Regeneratör (Duyulur)		(IIIb) Regeneratör (Higroskopik)	
		T_{db}	T_{wb}	Φ	T_{dp}	T_{db}	T_{wb}	Φ	T_{dp}
Isıtmada yoğuşma yoksa	Eksoz havası giriş	25	<14	<28	5.12	25	18	51	14.1
	Besleme havası giriş	5				5	3	72	0.3
TEST TANIMI		Reküperatör							
Yoğuşma varsa	Eksoz havası giriş	25	18	51	14.1				
	Besleme havası giriş	5							
Soğuk İklim	Eksoz havası giriş	15	10	53	5.48				
	Besleme havası giriş	-15							

Tablo 7b: IGKH Cihazlarında Sıcaklık Verimi Test Sıcaklıkları: Konut Cihazları

EN 13141		KONUT İÇİN ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA CİHAZLARI									
		TEST TANIMI		(I) Reküperatör				(II) Regeneratör			
				T_{db}	T_{wb}	Φ	T_{dp}	T_{db}	T_{wb}	Φ	T_{dp}
Zorunlu test	Eksoz havası giriş	20	12	38	5.13	20	12	38	5.13		
	Besleme havası giriş	7				7					
Zorunlu test	Eksoz havası giriş					20	15	59	11.8		
	Besleme havası giriş					2	1	84	-0.39		
Opsiyonel test	Eksoz havası giriş	20	12	38	5.13	20	12	38	5.13		
	Besleme havası giriş	-7	-8	72	-10.66	-7	-8	25	-0.76		
Opsiyonel test	Eksoz havası giriş	20	15	59	11.8						
	Besleme havası giriş	2	1	84	-0.39						
Soğuk iklim testi(*) opsiyonel	Eksoz havası giriş	20	10	59	11.77	20	10	59	11.8		
	Besleme havası giriş	-15				-15					
Belirsizlik		$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	hava debisi		(*) Cihaz dış sıcaklığı, -15 °C'den daha düşük bir yer için tasarlanmıyorsa bu test yapılmalı					
				$\pm 3\%$							

Tablo 7c: Isı Pompalı IGKH Cihazları

		ISI POMPALI IGKH CİHAZLARI				
		TEST TANIMI (*)	T_{db}	T_{wb}	ϕ	T_{dp}
EN 13141	Zorunlu Test Noktası 1 Isıtma	Eksoz havası giriş	20	12	38	5.13
		Besleme havası giriş	7	6	87	4.97
	Zorunlu Test Noktası 1 Isıtma	Eksoz havası giriş	20	12	38	5.13
		Besleme havası giriş	2	1	84	-0.39
	Zorunlu Test Noktası 1 Isıtma	Eksoz havası giriş	20	12	38	5.13
		Besleme havası giriş	-7	-8	72	-10.66
	Zorunlu Test Noktası 1 Soğutma	Eksoz havası giriş	27	19	47	14.7
		Besleme havası giriş	35	24	40	19.52
	Opsiyonel Test Noktası 2 Soğutma (**)	Eksoz havası giriş	27	19	47	14.7
		Besleme havası giriş	27	19	47	14.7
	(*) Isı pompaları HRU'ların kapasite ve COP tanımları EN 14511'de yapılmış, yukarıdaki test şartları EN 14511-2'de verilmiştir.					
	(**) Standart'da opsiyonel olan soğutma şartlarında neden giriş ve çıkışın aynı şartlarda (27/19)					

4. ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA ÜNİTELERİNDE PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Isı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının ısı verimini etkileyen iki değişken (Denklemler 1), sıcaklık verimi (η) ve performans katsayısı (COP, ϵ), göz önüne alındığında, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının TS EN 13053 normuna göre belirlenen ısı verimini etkileyen faktörler ve bunların alt kırılımları genel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

1. TS EN 308 normuna göre tanımlanan sıcaklık oranı (sıcaklık verimi):
 - a. Eşanjör tipi,
 - b. Eşanjör büyüklüğü,
 - c. Dış – iç kaçaklar, by pass,
 - d. Eşanjör etkinliği,
 - i. Eşanjör girişindeki hız dağılımı,
 - ii. Eşanjör malzemesi,
 - iii. Egzoz edilen havanın kütleli debisi ile taze havanın kütleli debisi arasındaki oran.
2. Özgül Fan Gücü:
 - a. Fan cinsi,
 - b. Hava debisi,
 - c. Dış kaçaklar,
 - d. İç kaçaklar,
 - e. Cihaz basınç düşümü:
 - i. Isı eşanjöründeki basınç düşümü,
 - a. Eşanjör - kanal geometrisi,

- ii. Filtrelerdeki basınç düşümü,
- iii. Kanallardaki, basınç düşümü,
- iv. Fandaki basınç düşümü.

Literatür incelendiğinde Isı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının performansını (ısı verimini) geliştirmek üzere pek çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bu araştırmaların değerlendirilmesine geçmeden önce yukarıda belirtilen bazı faktörlerin etkileri aşağıda verilmiştir.

4.1. Isı Geri Kazanım Cihazlarında Dış, İç ve By-Pass Akımlarının Cihaz Performansına Etkisi

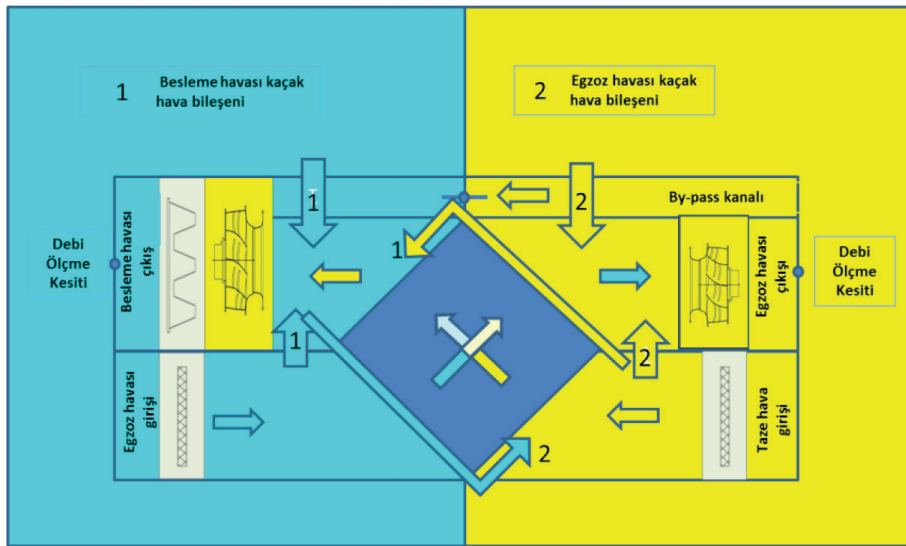
IGKH cihazlarının ısı performansını etkileyen faktörlerden biri Şekil 16'da gösterilen kaçaklardır. Hava kaçakları IGKH cihazı taşıyıcı gövdesinin konstrüksiyonu, üretim yöntemi ve montajı ile yakından ilgilidir. Hava kaçaklarının miktarı ile orantılı olarak sıcaklık verimi ve cihaz ısı verimi düşmektedir. Bu yüzden de TS EN 308 normunda belirtilen izotermal basınç testlerinde iç ve dış kaçaklar %3 değerinden fazla oldukları takdirde sıcaklık verim testleri yapılmamaktadır.

IGKH cihazlarında, by-pass kanalı kapalı olmasına rağmen, bir miktar hava by-pass kanalından geçerek şartlandırılan mahallere gönderilen hava içinde yer alabilir. Yine fan konumundan dolayı cihaz içinde negatif basınçlar söz konusu ise, içe olan kaçaklar

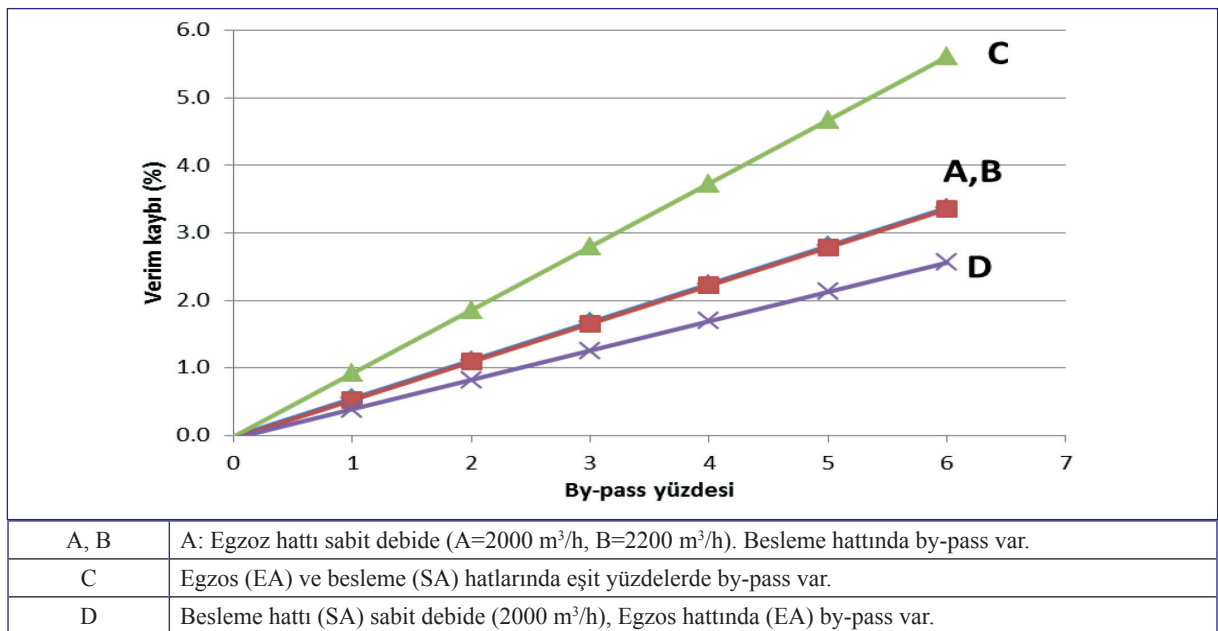
nedeniyle üfleme debilerinde eşanjörden geçmeyen kaçak akımlar söz konusu olabilir. Üfleme debileri istenilen-anılan debilerde olmasına rağmen, üfleme debileri içine eşanjörü by-pass ederek katılmış bu akımlar ısı değiştirgecinin ve dolayısıyla ısı geri kazanım cihazının verimini etkiler. Bu etkiyi göstermek üzere ısı eşanjörü firmalarının yazılımları kullanılarak, by-pass hava akımlarının yaklaşık olarak üfleme debileri içindeki yüzdeleri oranında sıcaklık verimine etkilediği hesaplanmıştır. Şekil 17'de by-

pass akım yüzdesine göre cihaz veriminin değişimi görülmektedir.

Kaçak hava akımlarının cihaz ısıl verimine etkisini göstermek üzere 1.000-2.000 m³/h debi aralığında çalışan bir IGKH cihazında, eş akımlı, her iki akım yönünde kaçak yüzdesine göre eş düşümlü debilerin olduğu kabul edilerek yine eşanjör firma yazılımlar kullanılarak bir inceleme yapılmıştır.



Şekil 16. IGKH Cihazında Muhtemel İç ve Dış Kaçak Alanlarının Sembolik Gösterimi



Şekil 17. By-Pass Akımlarının Sıcaklık Verimine Etkisi

Cihazda öngörülen ve eşanjör yazılımdan hesaplanan basınç düşümlerine göre hesaplanan özgül fan gücü değeri kullanılarak her kaçak yüzdesi için IGKH cihazının önce COP değeri sonrada toplam eşanjör verimi kullanılarak EN 13053'e göre enerji verimleri hesaplanmıştır. Eşanjörün toplam veriminden kaçak ve by-pass hava akımları nedeniyle olabilecek değişimler Şekil 18'da gösterilmiştir.

4.2. Isı Tekerleğinde İç Kaçaklar

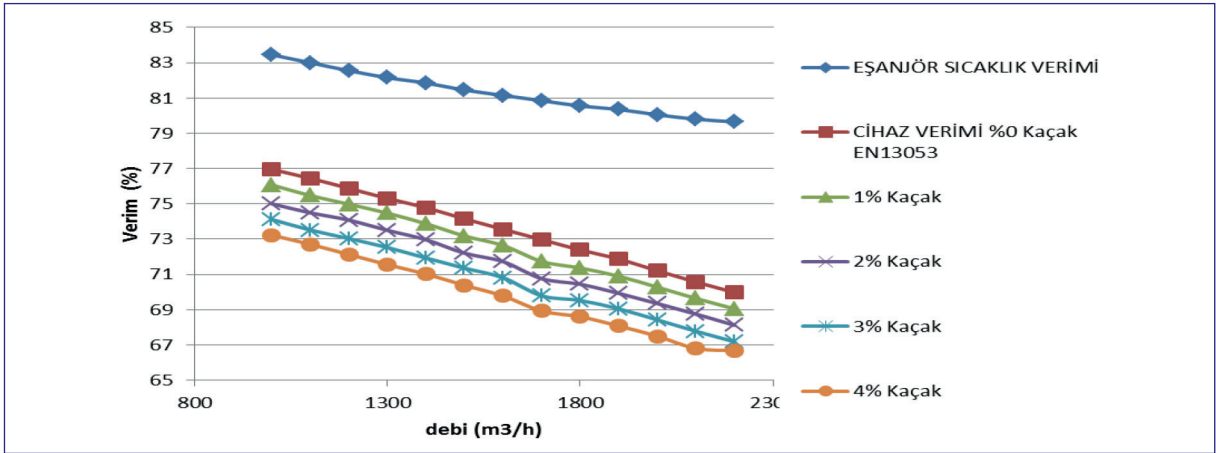
Isı tekeri, IGKH cihazı içinde dönen bir bileşen olduğu için, sabit gövde ile dönen teker arasındaki boşluklardan kaçınılmaz hava kaçakları oluşur. Söz

konusu hava kaçakları Şekil 19'da gösterilmiştir. Bu kaçakların hesabı için yöntemler geliştirilmiştir [10]. Bu yöntemlerde hassas adım, kullanılan sızdırmazlık elemanlarına ait katsayıların belirlenmesidir.

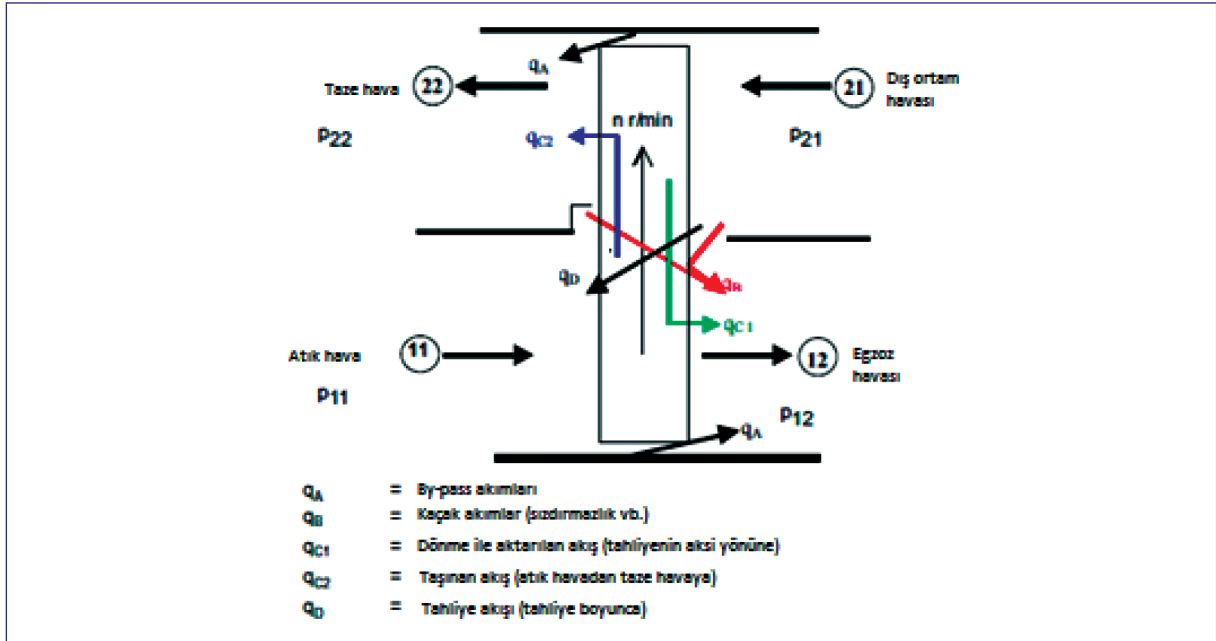
4.3. Eşanjör Girişindeki Hız Dağılımı

Eşanjör girişindeki hız dağılımlarının eş düzeyli olup olmaması eşanjörün etkinliğini dolayısıyla ısıl verimi etkileyen önemli bir faktördür [11, 12, 13, 14]. Hız dağılımdaki eş düzeyliliği eşanjördeki basınç düşümüne de etkilemektedir.

IGKH cihazlarının endüstriyel tasarımında eşanjör



Şekil 18. Cihaz Kaçak Akımların Isıl Verime Etkisi



Şekil 19. Isı Tekerinde Çevresel ve By-Pass Hava Kaçakları [10]

girişindeki hız dağılımının eş düzeyliliği şekil faktörü olarak tanımlanan bir parametre ile sayısallaştırılmıştır. Şekil faktörü eşanjör yüzeyindeki maksimum hız ile ortalama hız arasındaki farkın ortalama hıza oranıdır.

Şekil 20’de, şekil faktörünün eşanjör sıcaklık verimine etkisi, bir eşanjör yazılımı kullanılarak, çapraz akımlı 500 m³/h ve 1000 m³/h debileri için gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, debiye bağlı olmak kaydıyla eşanjör veriminde %4’e varan düşüşler olasıdır.

5. PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER ÜZERİNDE YAPILAN ARAŞTIRMA VE GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

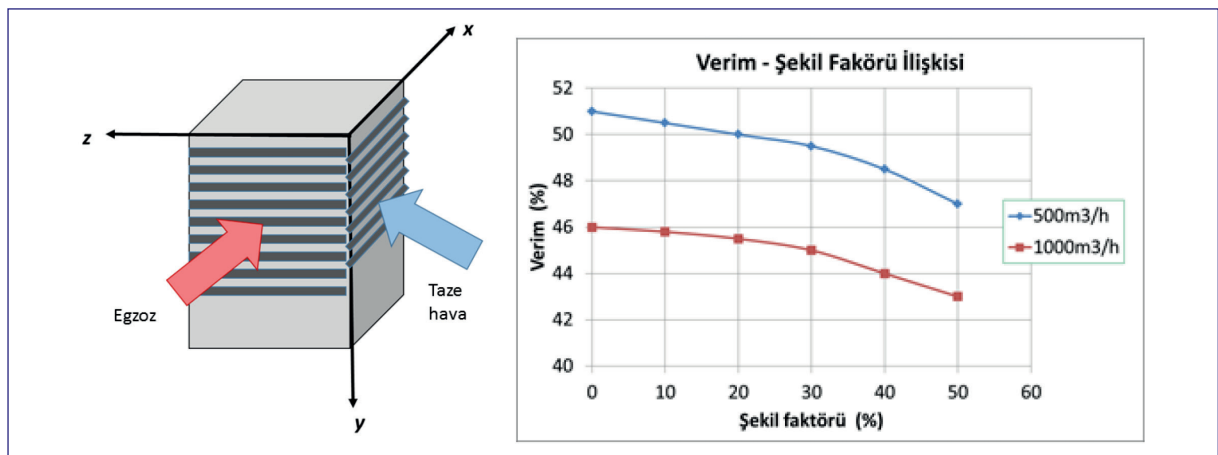
5.1. Eşanjör Veriminin Arttırılması

IGKH cihazının en önemli bileşeni olan eşanjör, cihazın genel performansında belirleyici role sahiptir. Basınç düşümü, boyut ve maliyet gibi kriterlerdeki kısıtlar dahilinde en yüksek ısı transferine olanak veren tasarıma ulaşmak arzu edilir. Eşanjörün performans karakteristikleri (basınç düşümü, ısı transfer katsayısı), ana hatları standartlarla tarif edilen testler (örn. TS EN 308) gerçekleştirilerek belirlenir. Bu testlerde basınç ve sıcaklık ölçümlerinin yüksek doğrulukla yapılabilmesi için akış, olabildiğince uniform hız dağılımı hedeflenerek düzeltilir. Ayrıca, eşanjörde gerçekleşen ısı transferinin teorik temellere dayalı hesabında (örn. ϵ -NTU, LMTD yöntemleri), eşanjör girişinde akışın uniform özelliklere sahip olduğu kabul edilir. Ancak uygulamada, eşanjörün giriş ve

çıkış yüzeylerinde uniform olmayan hız dağılımları söz konusu olacak şekilde çalışacağı durumlarla karşılaşılır. Böylesi çalışma koşullarında, eşanjör performansı düşer. Uniform hız dağılımından sapmanın ölçüsü için uygun katsayıların tanımlanması ve farklı tip eşanjörler için bu katsayıların belirlenmesi, eşanjör veriminin arttırılmasına yönelik çalışmalarda yol göstericidir. Chiou [15], çapraz akışlı bir eşanjörün yalnızca giriş ya da yalnızca çıkış yüzeyindeki uniform olmayan hız dağılımının eşanjör etkenliğine etkisini teorik olarak incelemiştir. Enerji denkleminin sonlu farklar yöntemine dayalı çözümleri ile ilgili akışkan tarafı için yüzey sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan dört farklı tip uniform olmayan hız dağılımı, eşanjör testlerinden alınan verilerle oluşturulmuştur. Bunlardan ilk üçü, fanın eşanjöre yakın olduğu duruma, dördüncüsü ise eşanjör başlığı kesit alanının eşanjör yüzey alanından küçük olduğu duruma aittir. Isıl performans sapma faktörü (τ), eşanjör etkenliği (ϵ) cinsinden;

$$\tau = \frac{\epsilon_{\text{uniform}} - \epsilon_{\text{uniformolmayan}}}{\epsilon_{\text{uniform}}} \quad (2)$$

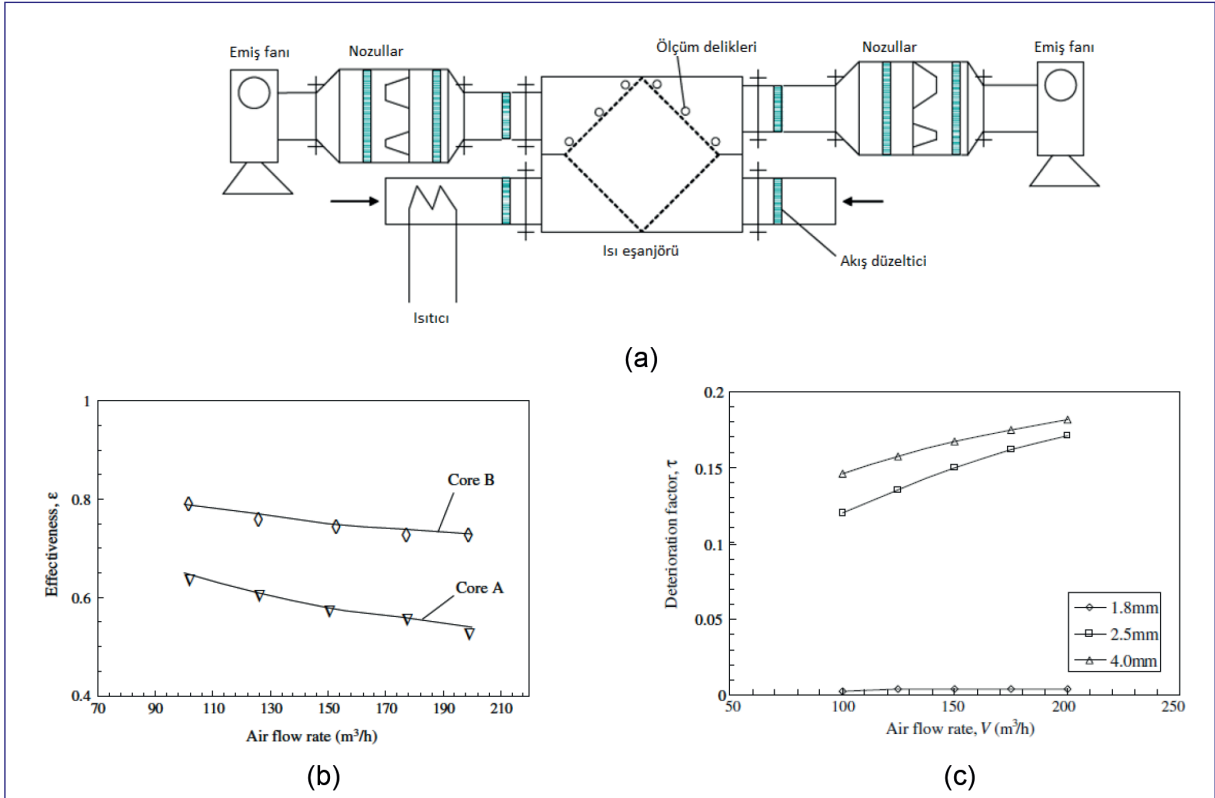
ile tanımlanmış ve incelenen durumlar için %10 ila %20 arasında değerler aldığı belirlenmiştir. Ranganayakulu vd. [11], plakalı-kanatlı, çapraz akışlı, kompakt bir eşanjörün hem sıcak hem de soğuk akışkan girişlerindeki uniform olmayan hız dağılımlarının performansa olan etkisini teorik olarak incelemiştir. Fourier serisi formunda tanımlanan giriş



Şekil 20. Şekil Faktörünün Eşanjör Sıcaklık Verimine Etkisi

yüzeyindeki iki boyutlu hız dağılımı ile uniform dağılımdan sapma miktarı kontrol edilerek, Chiou [15] tarafından daha önce verilmiş olan dört farklı giriş hız dağılımı türetilmiştir. Enerji denkleminin sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözümleri ile yüzeylerdeki sıcaklık dağılımları hesaplanmıştır. Isıl performans sapma faktörünün incelenen durumlar için %20'ye varan değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Lalot vd. [16], bir elektrikli ısıtıcının başlığındaki uniform olmayan hız dağılımını deneysel ve sayısal (HAD) olarak incelemiştir. Bu tip bir dağılımın yoğunlaştırucular ve ters akışlı eşanjörlerde olması durumunda etkenliğin, %7'ye; çapraz akışlı eşanjörlerde olması durumunda ise %25'e varan miktarda düştüğü belirlenmiştir. Yuan [12], üç akışkanlı, çapraz akışlı bir eşanjörün girişindeki uniform olmayan hız dağılımının ısıl performans etkisini sayısal olarak incelemiştir. Enerji denkleminin sonlu farklar yöntemine dayalı çözümü ile etkenliğin ve ısıl performans sapma faktörünün NTU'ya bağlı değişimleri

hesaplanmış, yüzey sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Zhang [14], çapraz akışlı, plakalı kanatlı bir ısı eşanjörüne sahip bir IGKH cihazı için uniform olmayan hız dağılımlarının performansa etkisini hem sayısal hem de deneysel olarak incelemiştir. Sonlu hacimler yöntemine dayalı HAD simülasyonlarında, eşanjör bölgesi gözenekli ortam olarak modellenmiş, basınç kaybı-hız ilişkisi Darcy-Weisbach denklemi ile tanımlanmıştır. Sayısal çözümlerden bulunan hız alanı, ε -NTU yöntemine dayalı ısı transferi hesabı için kullanılmıştır. Böylece, eşanjör yüzeylerindeki hız ve sıcaklık dağılımları ile eşanjör basınç düşümü sayısal olarak belirlenmiştir. Bulgular, eşanjör test düzeneğinden (Şekil 21a) elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuş ve doğrulanmıştır (Şekil 21b ve 21c). Eşanjör gözenek boyutları 1,8 mm; 2,5 mm ve 4 mm için ısıl performans sapma faktörü belirlenmiş ve uniform olmayan hız dağılımından dolayı etkenliğin %10 ila %20 oranında düştüğü ortaya konmuştur.



Şekil 21. Zhang [14] Tarafından Gerçekleştirilen Çalışmaya İlişkin (a) Eşanjör Test Düzeneği, (b) Deneysel ve HAD Sonuçlarının Karşılaştırılması (Sürekli Çizgiler HAD Sonuçlarını Göstermektedir), (c) Isıl Performans Sapma Faktörünün Hacimsel Debiye Bağlı Değişimi

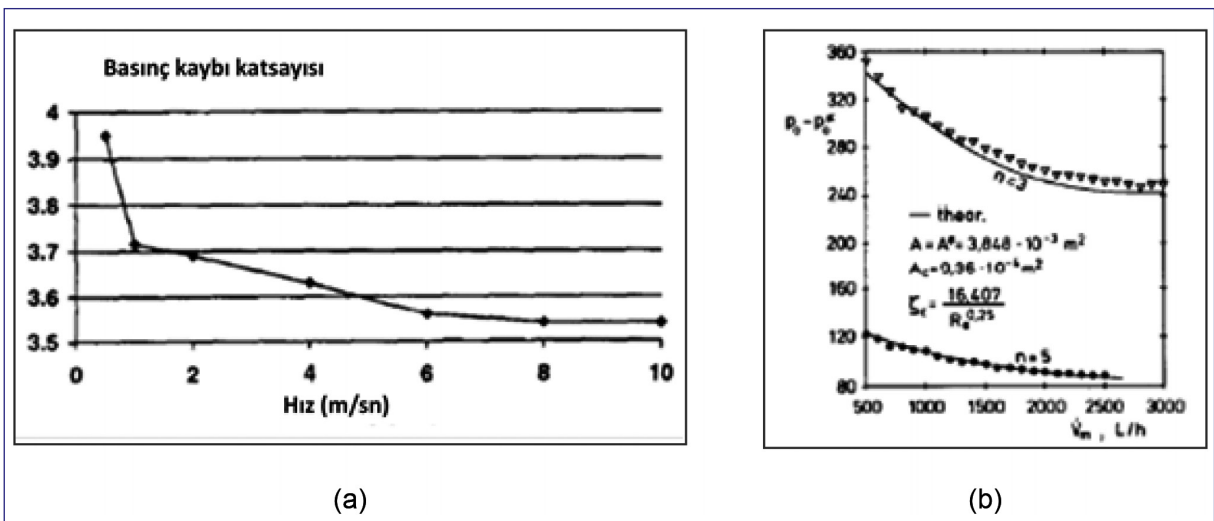
5.2. Dış ve İç Kaçaklar (Kısa Devre Akımlar)

IGKH cihazlarının TS EN 308 normuna göre performans testlerine alınabilmesi için kaçakların %3'den az olması istenmektedir. Bu şart sağlandıktan sonra verim testlerine geçilmektedir. Ancak kaçak miktarının kendisi ısı performans analizlerinde göz önüne alınmamaktadır. Söz konusu kaçak hava miktarının cihaz verimine etkisini göstermek üzere yapılan bir çalışmada [17], iki yeni verim ve bir katsayı tanımlanmıştır. Verimlerden biri, "Cihazın Havalandırma Verimidir (Ventilation Efficiency of the Units)". Havalandırma verimi, cihazın testi esnasında ölçülen hava debileri ve gaz izleme (gas tracing) yoluyla belirlenmiş konsantrasyonlara bağlı olarak tanımlanmıştır. İkinci verim ise "Isı Yükünü Azaltma Verimi"dir (Efficiency of Heating Load Reduction) ve havalandırma verimi, debiler, sıcaklık verimi, transfer edilen enerji değişkenleriyle hesaplanmaktadır. Geliştirilen yeni katsayı, "Elektro-Termal Yükseltme (ETA: Electro-Thermal Amplification) Katsayısı", havalandırma ve ısı yükü azaltma verimlerini de göz önüne alarak tanımlanmış performans katsayısıdır (COP).

5.3. Basınç Düşümünün Azaltılması

IGKH cihazlarında tercih edilen kompakt eşanjörler, yapıları itibarıyla akışkan basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır. Bu da IGKH cihazının şebeke- den çekeceği gücü, dolayısıyla, cihazın enerji verim-

liliğini etkiler. IGKH cihazları içindeki akış yolunun yerel kayıpları arttıran tasarımı, fan-eşanjör arasındaki mesafe, eşanjör öncesi kesit alanı-eşanjör giriş alanı arasında ani genişleme gibi faktörler de basınç düşümüne olumsuz etki yaparlar. Ranganayakulu vd. [11], uniform olmayan hız dağılımlarının performansa olan etkisini inceledikleri çalışmada, eşanjördeki basınç düşümünü, 10x10 hücreye ayrılan eşanjörün yüzeylerindeki değişken hızlar için ayrı ayrı hesaplayarak bulmuşlardır. Basınç düşümünün uniform akış için 4,8 kPa olduğu; uniform olmayan hız dağılımlarında ise, bu değer 17 katına varan basınç düşümü gerçekleşen hücreler olduğu vurgulanmıştır. Manz ve Huber [18], konutların bacalarından ısı geri kazanımı için geliştirdikleri alüminyum profillerden ibaret modüler IGKH cihazı için sürtünme faktörünün (f) Reynolds sayısına bağlı değişimini deneysel olarak belirlemişlerdir. Shao vd. [19], binalarda uygulanan, yerel sıcaklık farklarından dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak gerçekleştirilen pasif havalandırmada ısı geri kazanımı için, ısı borulu bir sistem önermişlerdir. Sistemin basınç düşümünü temsil eden kayıp katsayısının ($\Delta P / \frac{1}{2} \rho V^2$) hava hızına bağlı değişimi, deneysel olarak belirlenmiştir (Şekil 22a). Bassiouny ve Martin [20], U-tipi bir plakalı ısı eşanjöründeki basınç düşümünün hesaplanması için teorik bir yöntem önermişlerdir. Basınç düşümü karakteristikleri deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Şekil 22b).



Şekil 22. Basınç Kayıp Katsayısının Değişimi (a) Shao vd. [19] Tarafından İncelenen Isı Borulu Sistem (b) Bassiouny ve Martin [20] Tarafından İncelenen U-Tipi Bir Plakalı Isı Eşanjörü

5.4. Tasarım İçin Model Geliştirme

5.4.1. HAD Çalışmaları

HAD, akışkan hareketini tanımlayan temel denklemlerin, nümerik yöntemlere dayalı çözümlerinin elde edilmesini kapsar. Bu denklemlerin analitik çözümleri, denklemlerin doğrusal olmayan yapısından ötürü bazı temel problemler dışında mevcut değildir. Diğer taraftan deneysel araştırma yöntemleri maliyetli, zaman ve uzmanlık gerektiren yöntemlerdir. Bu açıdan HAD, hızla gelişmekte olan bilgisayar teknolojisi sayesinde, gerek akademik gerekse endüstriyel problemlerin incelenmesinde önemli bir araştırma yöntemi haline gelmiştir. Ağ çözünürlüğü ile sınırlı olmak kaydıyla, doğrulanmış HAD sonuçlarına ulaşıldığında, herhangi bir problem parametresinin davranışı deney verilerinin de ötesinde bir detay ile masaya yatırılabilir. HAD benzetimleri ile incelenen sınır değer problemi için Süreklilik, Navier-Stokes ve Enerji Denklemleri'nin nümerik çözümleri araştırılır. Bu denklemler en genel halde,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} (\rho \mathbf{V}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot \bar{\tau} + \rho \mathbf{g} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot (\rho h \mathbf{V}) = \nabla \cdot (\mathbf{k} \nabla) \quad (5)$$

olup burada hız alanı $\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$, basınç alanı P , gerilme tensörü $\bar{\tau} = \mu \left\{ \left[\nabla \mathbf{V} + (\nabla \mathbf{V})^T \right] - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{V} \mathbf{I} \right\}$ yerçekimi ivmesi $\mathbf{g} = g_x\mathbf{i} + g_y\mathbf{j} + g_z\mathbf{k}$, entalpi h , ısı iletim katsayısı \mathbf{k} ve sıcaklık alanı T ile gösterilmektedir. Bir IGKH cihazının temel bileşenleri olan eşanjörler, fanlar, dış kabuk ve kanallar ile filtreler için uygun HAD modelleme yöntemleri kullanılarak deneysel verilerle yüksek uyum içinde sonuçlara ulaşmak mümkündür.

Eşanjörlerin HAD analizlerinde yaygın olarak tercih edilen yöntemlerden biri, giriş koşullarının uniform kabul edildiği periyodik modelleme yaklaşımıdır. Bu yöntemde eşanjör kanallarından biri için akış ana-

lizleri gerçekleştirilir. Daha sonra eşanjörden geçen toplam hacimsel debinin veya ısı akısının hesabı için sonuçlar kanal sayısı ile çarpılır. Böylelikle hesaplama yükünde önemli bir tasarruf sağlanır. Eşanjör giriş yüzeyindeki uniform olmayan hız dağılımının kendisi önem arz ettiğinde ise bu yöntemi kullanmak uygun olmamaktadır. Böylesi durumlarda: (1) Eşanjör gözenekli ortam olarak modellenir, bulunan hız dağılımı ve ε -NTU yöntemine dayalı ısı transferi hesabı yapılır [14]. (2)

Eşanjör tüm kanalları ile birlikte modellenir. Süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri yanında enerji denklemi de çözülür. Ancak ağ boyutu çok büyük. Günümüzde turbomakinelerin tasarımında HAD kullanımı artık standart bir prosedür haline gelmiştir. Endüstriyel fanların da (radyal, aksel, karışık akımlı) performans karakteristikleri bu yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu hedef doğrultusunda öne çıkan iki yöntem: (1) Kayan ağ (Sliding mesh) modeli ve (2) Çoklu referans düzlemleri (ÇRD, Multiple reference frames) modelidir. Kayan ağ modeli, zamana bağlı çözüm gerektirmekte olup, türbinlerde rotor-stator etkileşimi gibi zamansal değişimi söz konusu olan parametrelere ihtiyaç duyulduğunda özellikle tercih edilir. ÇRD yöntemi ise, akışı daimi kabul eder. Problem bölgesi, alt bölgelere ayrılır. Alt bölgelere dönme ve/veya öteleme hareketi tanımlanabilir. Hareketsiz bölgelerde, sabit referans düzlemi (koordinat eksen takımı) için, dönme içeren hareketli bölgelerde ise hareketli referans düzlemi için tanımlı süreklilik ve Navier-Stokes denklemlerinin sayısal çözümü araştırılır. Bu yöntemleri, IGKH cihazının HAD simülasyonlarında kullanmak mümkündür.

Cihaz içinde yer alan filtre ve damper gibi bileşenlerin geometrik detayları fazla olmakla birlikte, basınç düşümü-debi karakteristikleri üretici firmalar tarafından halihazırda verilmektedir. Ağ boyutunu (dolayısıyla hesap süresini) arttırmamak için, bu bileşenleri doğrudan modellemek yerine, gözenekli ortam yaklaşımı ile bir basınç kuyusu olarak modellemek bir alternatiftir. Bilinen basınç düşümü-debi karakteristikleri HAD yazılımına tanımlanabilir. Bilinmiyorsa test ile belirlenebilir.

2000 m³/h anma debisine sahip bir IGKH cihazı için tamamlanan HAD simülasyonuna ilişkin problem geometrisi Şekil 23'te görülmektedir. Bu çalışmada, sonlu hacimler yöntemi temelli ANSYS Fluent 15 yazılımı ile daimi, üç boyutlu, sıkıştırılamaz, türbülanslı, ısı transferi içeren akış kabulleri altında çözüm yapılmıştır. İki adet ters ve iki adet çapraz akışlı ısı değiştiriciden oluşan ısı eşanjörü grubunun kanalları, ürünün gerçek yapısına uygundur. Modelin toplam hücre sayısı 61.688.923'tür. Analiz sonucunda, eşanjörde gerçekleşen basınç düşümü %9,4, eşanjör çıkış sıcaklıkları ise %5,12 bağıl hata ile hesaplanmıştır (Şekil 24).

5.4.3. Deneysel Çalışmalar

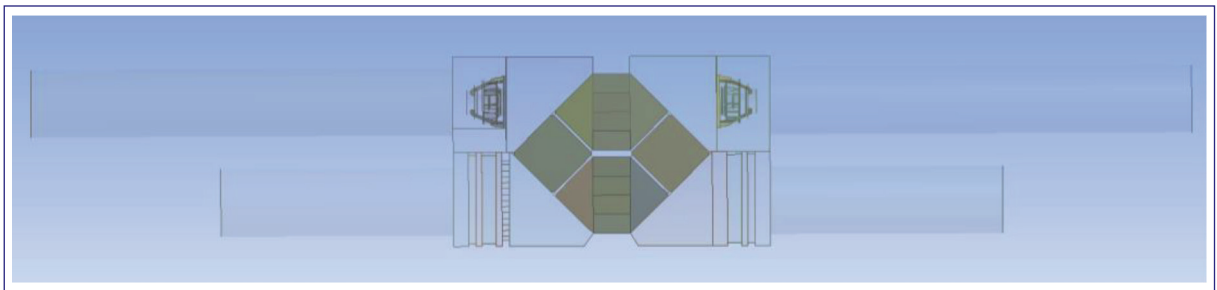
Deneysel araştırma süreci, analitik inceleme yöntemlerinin kısıtlı olduğu IGKH cihazı tasarımında ve performansının belirlenmesinde temel teşkil eder. Buna ek olarak, HAD sonuçlarının güvenilir olması için deneysel olarak doğrulanması zorunludur. Avrupa Komisyonu tarafından, binalarda havalandırmada enerji tüketimini azaltmak üzere IGKH cihazlarının enerji verimlerinin 2017'de minimum %71 dege-

rinde olması öngörülmektedir. Dolayısıyla, IGKH cihazı üreticisi firmaların gerek akredite test kuruluşlarında gerekse kendi imkanları ile cihaz performanslarını belirlemelerini gerektirmektedir. IGKH cihazlarının performans testlerine ilişkin ana hatlar ulusal ve/veya uluslar arası standartlarla çizilmiştir [21, 22]. Şekil 25'te, IGKH cihazlarının testi için hazırlanmış olan bir test odasında, 2000 m³/h nominal debiye sahip bir IGKH cihazının performans testi görülmektedir.

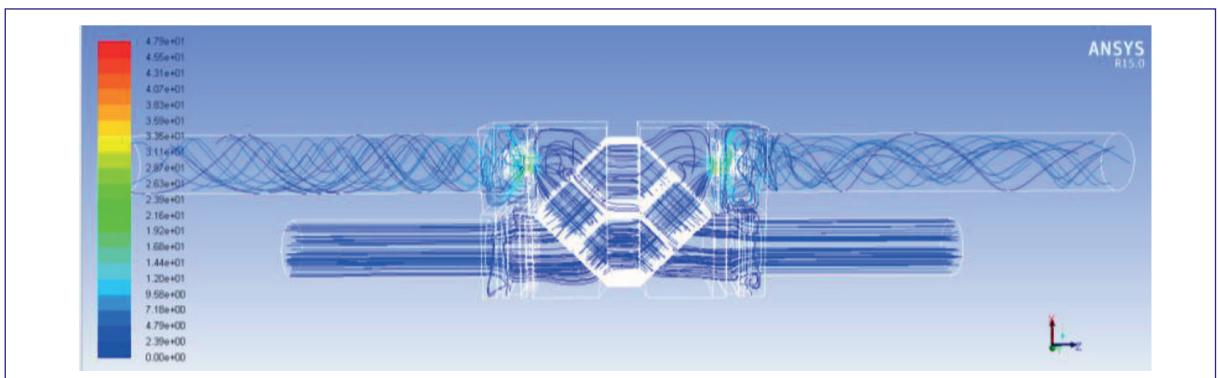
Bu cihazın Şekil 25'te görülen test düzeneğinden elde edilen sıcaklık ve enerji verimleri ile TÜV NORD tarafından gerçekleştirilen testlerden elde edilen sıcaklık ve enerji verimleri, Şekil 26'da karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, IGKH teknolojisine ilişkin genel kavramlara yer verilmiş, cihaz bileşenleri, güncel teknolojiler, test yöntemleri ve tasarım kriterleri ana hatlarıyla verilmiştir. IGKH cihaz teknolojisinde enerji tüketimi ve transferi açısından en verimli bile-



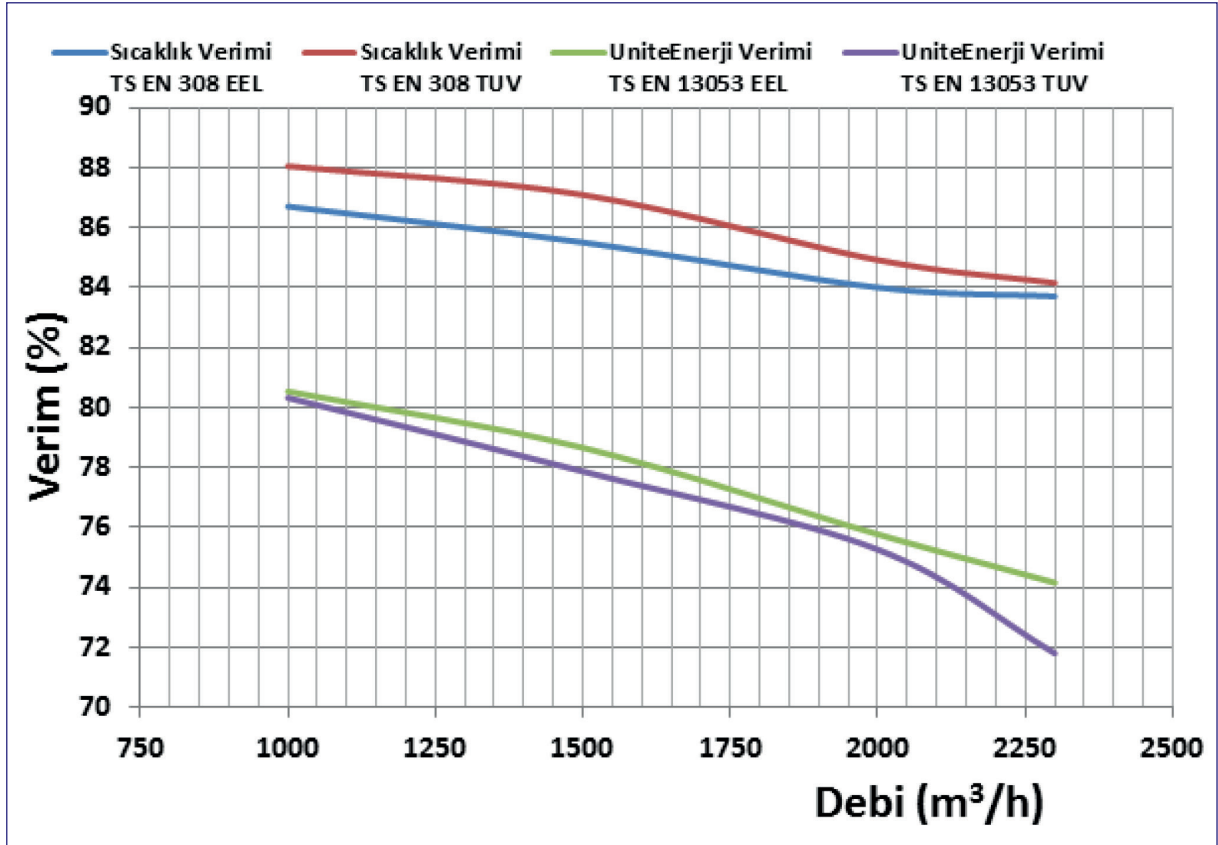
Şekil 23. Akış Bölgesi Şekil



24. Cihaz İçindeki Akım Çizgileri



Şekil 25. 2000 m³/h Nominal Debiye Sahip Bir IGKH Cihazının Performans Testi



Şekil 26. 2000 m³/h Nominal Debiye Sahip Bir IGKH Cihazının Sıcaklık ve Enerji Verimliliğine İlişkin Deneysel Sonuçlar

şenlerin (fan ve eşanjör) seçilmesi gerek şarttır ama yeter şart değildir. Bir bütün olarak IGKH cihazının performansı, bileşenlerin performanslarının dışında kanal ve bileşenlerin oluşturduğu geometrik konfigürasyonun etkilediği hava hızından, kabuk ve kanalların sızdırmazlığının belirlediği hava kaçaklarından etkilenmektedir. Bu bildiride temel inceleme alanı da bu iki parametre üzerine olmuştur. Literatürde görülen kompleks analizler bir yana, tasarımda kullanılan araçlarla hava hızlarının uniform olmayışının, iç-dış ve by pass hava kaçaklarının cihazların ısı performansını önemli derecede etkilediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Handel, K., "Ventilation With Heat Recovery is A Necessity in "Nearly Zero Energy Buildings", *Rehva Journal*, May 2011.
- [2] Alonso, M. J., Liu, P., Mathisen, H. M., Ge, G., Simonson, C., "Review Of Heat/Energy Recovery Exchangers For Use In Zebs In Cold Climate Countries", *Building And Environments* 84, 2015.
- [3] Rıffat, S. B., Madiana-Idayu, A., "Riview On Heat Recovery Technologies For Building Applications", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. 16, 2012.
- [4] Heat Recovery Ventilators, Energy Publications, Office Of Energy Efficiency, Revised February, 2012.
- [5] [Http://www.moisturemaster.co.nz](http://www.moisturemaster.co.nz), "Important Heat Exchange Design Features", Erişim Tarihi: 28.01.2015.
- [6] Kim, G. H., Lee, D., Shanker, A., Shao, L., Kwon, M. S., Gidley, D., Kim, J., Pipe, K. P., "High Thermal Conductivity In Amorphous Polymer Blends By Engineered İnterchain İnteractions", *Nature Materials*, 2014.
- [7] Van Holsteijn And Kemna, "Lot 6: Air-Conditioning And Ventilation Systems. Final Report Task 5", 2012.
- [8] [Http://www.dac-hvac.com](http://www.dac-hvac.com), Erişim Tarihi: 28.01.2015.
- [9] Çakmanus, İ., "Endüstriyel Fanlar: Tasarım, İmalat ve Enerji Verimliliği", Doğa Yayıncılık, 2012.
- [10] Eurovent 6/8, "Recommendations For Calculations Of Energy Consumption For Air Handling Units", 2005.
- [11] Ranganayakulu, C. H., Seetharamu, K. N., Sre-
evatsan, K. V., "The Effects Of Inlet Fluid Flow Nonuniformity On Thermal Performnace And Pressure Drops In Crossflow Plate-Fin Compact Heat Exchangers", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 40 (1), 1996.
- [12] Yuan, P., "Effect Of Inlet Flow Maldistribution On The Thermal Performance Of A Three-Fluid Crossflow Heat Exchanger", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 46 (20), 2003.
- [13] Mishra, M., Das, P. K., Sarangi, S., "Effect Of Temperature An Flow Nonuniformity On Transient Behaviour Of Vrossfloww Heat Exchanger", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 51 (9-10), 2008.
- [14] Zhang, L., "Flow Maldistribution And Thermal Performance Deterioration In A Cross-Flow Air To Air Heat Exchanger With Plate-Fin Cores", *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 52, 2009.
- [15] Chiou, J. P., "Thermal Performance Deterioration In Crossflow Heat Exchanger Due To The Flow Nonuniformity", *Asme Journal Of Heat Transfer*, 100, 1978.
- [16] Lalot, S., Florent, P., Lang, S. K., Bergles, A. E., "Flow Maldistribution In Heat Exchangers", *Applied Thermal Engineering* 19, 1999.
- [17] Manz, H., Huber, H., D., Helfinger, D. "Impact Of Air Leakages And Short Circuits In Ventilation Units With Heat Recovery On Ventilation Efficiency And Energy Requirements For Heating". *Energy And Buildings*, 33, 2001.
- [18] Manz, H., Huber, H., "Experimental And Numerical Study Of A Duct/Heat Exchanger Unit For Building Ventilation", *Energy And Buildings*, 32, 2000.
- [19] Shao, L., Rıffat, S. B., Gan, G., "Heat Recovery With Low Pressure Loss For Natural Ventilation", *Energy And Buildings*, 28, 1998.
- [20] Bassiouny, M. K., Martin, H., "Flow Distribution And Pressure Drop In Plate Heat Exchangers "I U-Type Arrangement", *Chemical Engineering Science*, 39 (4), 1984.
- [21] TS EN 308: Isı Eşanjörleri-Havadan Havaya ve Atık Gazlardan Isı Kazanımı Cihazlarının Performansının Tayini İçin Deney Metotları, 1997.
- [22] BS EN 13053:2006+A1:2011: Ventilation For Buildings. Air Handling Units, Rating And Performance For Units, Components And Sections, 2006.