

ISI POMPASI ENTEGRE EDİLMİŞ ISI GERİ KAZANIMLI HAVALANDIRMA CİHAZLARININ TASARIM KRİTERLERİ

Design Criteria Of Heat Pump Integrated Heat Recovery Ventilation Units

Orhan EKREN
Sinan AKTAKKA
Macit TOKSOY

ÖZET

Sürdürülebilir binalar oluşturabilmek için enerji dönüşüm sistemlerinin yüksek verime sahip olması gerekir. Bir binada enerji kullanımının yoğun olduğu ısıtma-soğutma, havalandırma sistemleri bu anlamda önemli olup ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kullanımı enerjinin verimli kullanımına katkı sağlayabilir. Örneğin Avrupa Birliği, binalarda enerji tüketiminin düşürülmesi için havalandırma sistemlerinde ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının kullanımını zorunlu tutarak bunlar için Ecodesign kurallarını uygulamaktadır. Bu kurallara göre ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının enerji verimlerini 2016'da minimum %67 iken 2018 yılından itibaren %73 e çıkarmıştır.

Isı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının ısı performans değerlendirilmesi için sıcaklık verimi, performans katsayısı, ısı verim, özgül fan gücü gibi EN308 ve EN13053'te tanımlanmış eşitlikler kullanılır. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde verimi doğrudan etkileyen temel ekipman olan ısı değiştirgeçleri reküperatif (plakalı) veya rejeneratif (rotorlu) olabilir. Günümüz teknolojisi ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında sıcaklık verimi (EN308'e göre) için, kullanılan havadan havaya ısı değiştirgeçlerine bağlı olarak, belirli maksimum değerlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Genel olarak denilebilir ki, uygulama sınırları içinde olası maksimum sıcaklık verimi çapraz akımlı ısı değiştirgeçlerinde en düşük, ters akımlı olarak adlandırılan çapraz-ters-çapraz akımlı değiştirgeçlerde daha yüksek, rotorlu ısı değiştirgeçlerinde en yüksek değerdedir. Isı geri kazanımı yapılan havalandırma sistemlerinde, besleme havasının iç ortam sıcaklığına getirilmesi için değişen dış hava sıcaklığına göre gereksinim duyulan enerjinin, egsoz edilen yüksek sıcaklıklı havayı kullanarak mümkün olan en düşük enerji kullanımı (en büyük COP) ile sağlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında bir binada enerji kullanımının yoğun olduğu ısıtma-soğutma, havalandırma sistemleri oldukça önemli olup ısı pompalı ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kullanımı enerjinin verimli kullanımına katkı sağlama potansiyeli yüksektir. Bu nedenle bu çalışmada, ısı geri kazanımlı havalandırma ünitelerinde ısı pompası entegrasyonunun optimum tasarım kriterleri ve verimin ifadesi ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı geri kazanımı, ısı pompası, sıcaklık verimi, havalandırma sistemi, plakalı ısı değiştirgeci, rotorlu ısı geri değiştirgeci, EN 308, EN13053, ASHRAE62.1, enerji verimliliği.

ABSTRACT

In order to build for sustainable buildings we need high energy efficient energy conversion systems. For this reason, heating ventilation and air conditioning systems which have high amount of energy utilization in a building are crucial and ventilation system with heat recovery may help for efficient utilization of energy. For example, in Europe Ecodesign rules are applied and utilization of heat recovery is mandatory in order to reduce energy consumption in buildings. According to these rules, energy efficiency of ventilation system with heat recovery is increased from 67% (in 2016) to 73% (in 2018).

For the thermal evaluation of ventilation unit with heat recovery, temperature efficiency, performance coefficient, thermal efficiency, specific fan power are used and these are introduced in EN308 and EN13053. Heat exchangers which have direct effect on efficiency of ventilation with heat recovery

systems can be recuperative (plate type) and regenerative (rotary). In the current technic, temperature efficiency (according to EN308) of heat recovery ventilation system can be reach a maximum efficiency value depending to the air to air heat exchangers. In general, possible maximum temperature efficiency in the application ranges is the lowest in crossflow, higher in counter flow and the highest in roatary type heat exchangers. In ventilation systems with heat recovery, energy requirement to equalize the supply and indoor air temperature at different ourdor air temperatures is met by using high temperature exhaust air with the highest coefficient of performance. When viewed from this aspect, heating ventilation and air conditioning systems which have high amount of enegy utilization in a building and utiliation ventilation systems with heat recovery and heat pump has great potential for higher efficiocy. Therefore, in this study, optimum design criteria and efficiency expression for the heat pump integration to heat recovery ventilation units have been addressed.

Key Words: Heat recovery, heat pump, temperature efficiency, ventilation system, plate heat exchanger, rotary heat exchanger, EN308, EN13053, AHSRAE 62.1, energy efficiency.

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir binalar oluşturabilmek için enerji dönüşüm sistemlerinin yüksek verime sahip olması gerekir. Bir binada enerji kullanımının yoğun olduğu ısıtma-soğutma, havalandırma sistemleri bu anlamda önemli olup ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kullanımı enerjinin verimli kullanımına katkı sağlayabilir. Örneğin Avrupa Birliği, binalarda enerji tüketiminin düşürülmesi için havalandırma sistemlerinde ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının kullanımını zorunlu tutarak bunlar için Ecodesign kurallarını uygulamaktadır. Bu kurallara göre ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının enerji verimlerini 2016'da minimum %67 iken 2018 yılından itibaren %73 e çıkarmıştır. Günümüzde ısı geri kazanım cihazları neredeyse standart bir ürün olarak enerji tasarrufu sağlamak üzere kullanılmaktadır. İç ortam havalandırılmasında enerjinin geri kazanılması için kullanılan ısı geri kazanım cihazlarının TS EN 308 standardına göre sınıflandırılması Tablo 1'de görülmektedir[1].

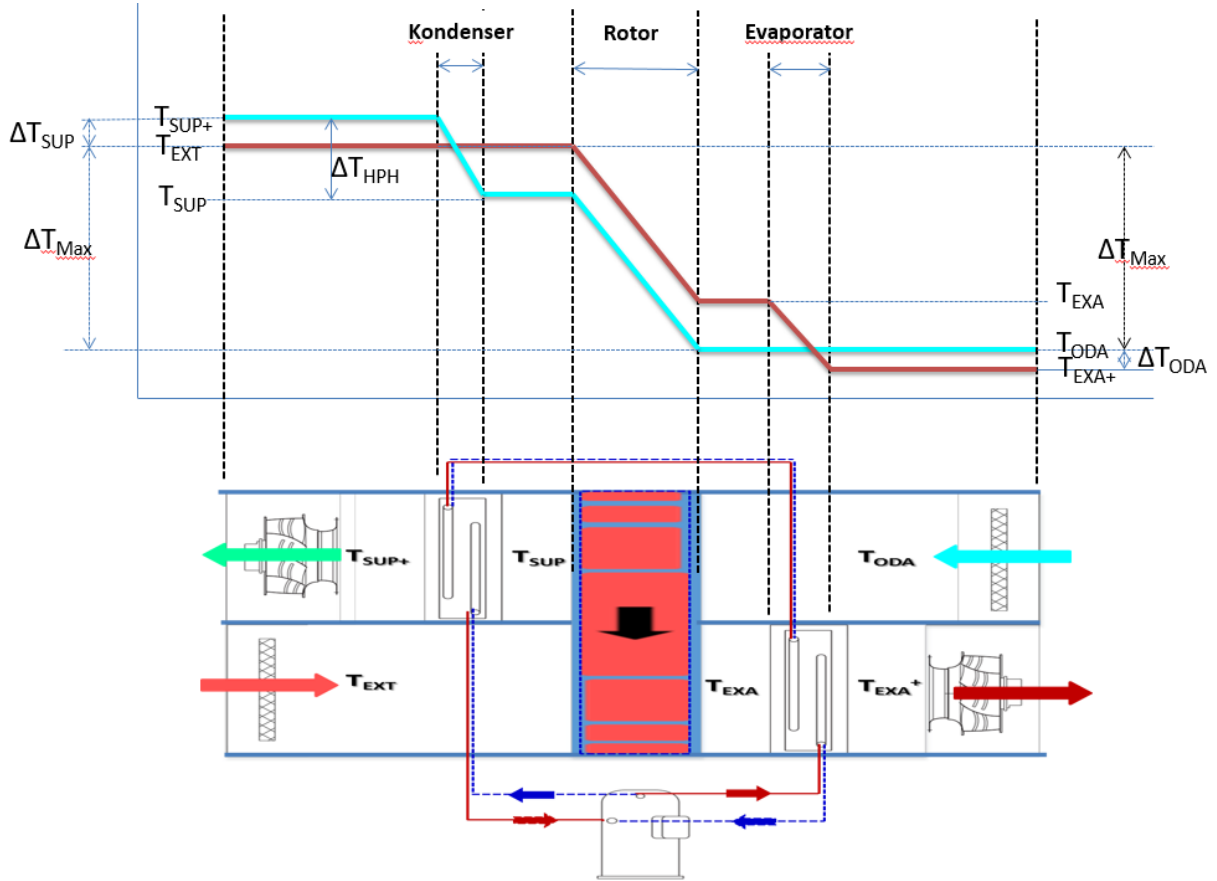
Tablo 1. Isı geri kazanım cihazlarının sınıflandırması [1]

	Kategoriler		
	Kategori-1	Kategori-2	Kategori-3
Özellikler	Rekuperatörler	Isı transferi için ara bir akışkan kullananlar: <ul style="list-style-type: none">• Faz değişimli• Faz değişimsiz	Rejeneratörler <ul style="list-style-type: none">• Higroskopik• Higroskopik olmayan

Bütün ısı geri kazanım cihazı kategorilerinde fanlar, ısı transfer elemanları, filtreler kanallar ve kontrol ekipmanları temel elemanlardır. Buna ek olarak ortaya çıkan ısıtma ve/veya soğutma yüklerini karşılamak amacıyla ısıtma-soğutma bataryaları, elektrikli ısıtıcılar, ısı pompaları gibi çeşitli ekipmanlar kullanılabilir. Bu çalışmanın konusu ısı geri kazanımlı havalandırma sisteminde eksoz hava kanalı ile taze hava besleme kanalı arasında çalışan bir ısı pompası kullanılması durumunda ısı pompası entegrasyonunun optimum tasarım kriterleri ve verim ifadesinin belirlenmesidir.

Günümüzde ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde çoğunlukla on/off kontrollü ısı pompaları kullanılmaktadır. Isı pompalarında işletme sırasında yük değişimi olabilir buna neden olan faktörler; dış hava şartlarındaki değişimler, ortamda bulunan insan sayısının değişimi, aydınlatma, elektrikli cihazların devreye girmesi/çıkması ve endüstriyel sistemlerde ürün kaynaklı değişimler sayılabilir. Bu yük değişimlerine karşın, ısı pompası kapasitesi ile yükün eşitlenmesi "kapasite modülasyon" yöntemlerini kullanarak mümkündür. Kapasite modülasyonu kompresörde yada diğer ekipmanlarda (örnek pompalar, fanlar vs.) yapılabilir. Amaç sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisini değiştirmektir. Isı pompalarında sağlanan ısıtma/soğutma miktarı ile gerekli yükü eşitlemek için yapılan kapasite modülasyonu özellikle yükün az olduğu "kısmi yük" durumunda (örneğin geçiş

kullanılır. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde verimi doğrudan etkileyen temel ekipman olan ısı değiştirgeçleri reküperatif (plakalı) veya rejeneratif (rotorlu) olabilir. Günümüz teknolojisi ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında sıcaklık verimi (EN308 e göre) için, kullanılan havadan havaya ısı değiştirgeçlerine bağlı olarak, belirli maksimum değerlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Genel olarak denilebilir ki, uygulama sınırları içinde olası maksimum sıcaklık verimi çapraz akımlı ısı değiştirgeçlerinde en düşük, ters akımlı olarak adlandırılan çapraz-ters-çapraz akımlı değiştirgeçlerde daha yüksek, rotorlu ısı değiştirgeçlerinde en yüksek değerdedir. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde, besleme havasının iç ortam sıcaklığına getirilmesi için değişen dış hava sıcaklığına göre gereksinim duyulan enerjinin, egsoz edilen yüksek sıcaklıklı havadan alınarak enerji kullanımı en düşük değerde (COP en büyük) olmaktadır. Bu bağlamda, ısı pompalı bir ısı geri kazanımlı havalandırma ünitesi için hava sıcaklık mertebeleri farklı kısımlar için Şekil 2. de gösterilmiştir.



Şekil 2. Isı pompalı ısı geri kazanım ünitesi içinde sıcaklık değişimi

Isı geri kazanımlı havalandırma sisteminde besleme havası sıcaklığı göz önüne alındığında ısı pompalı sistemlerde sıcaklık verimlerini $>100\%$ yapmak mümkündür. Bunun önüne geçerek bazı yeni tanımlar getirilebilir. Önemli olan ısı pompası uygulamasında egsoz havası sıcaklığının dış hava sıcaklığından daha düşük olmaması ($T_{EXA+} \geq T_{ODA}$), besleme havası sıcaklığının da dönüş havası sıcaklığından büyük olmamasıdır ($T_{SUP+} \leq T_{EXT}$). Bu iki şart sağlanırsa ısı geri kazanımlı havalandırma ünitesi için en uygun ısı pompası yapılmış olunur. Burada, ΔT_{SUP} aşırı ısıtma miktarı olup, T_{SUP+} ile T_{EXT} sıcaklıkları arasındaki farkı, ΔT_{ODA} ise aşırı soğutma olup, T_{EXA+} ile T_{ODA} sıcaklıkları arasındaki farkı göstermektedir. Bu sıcaklık farkları önemlidir çünkü, tasarım iç ve dış sıcaklıklarında, rotor veriminde ısı pompasının sağlaması gereken ısı yükü ΔT_{SUP} ve ΔT_{ODA} sıcaklık farkları içindir.

Rotorlu tip bir ısı geri kazanım cihazının yüksek sistem verimi elde edilmesi amacıyla sürekli kapasite kontrollü ısı pompalı olarak geliştirilmesi sonucu ortaya çıkacak cihaz için verim ifadeleri hesaplama yöntemi aşağıda verilmiştir. Burada ilk olarak ısı geri kazanım cihazlarında halihazırda kullanılan temel verim ifadesi olan sıcaklık verimi ve SFP değeri sırasıyla verilmiştir.

$$\eta_T = \frac{T_{SUP} - T_{ODA}}{T_{EXA} - T_{ODA}} \quad (1)$$

$$SFP_{int} = \frac{\sum Pressuredrop_{component} \times Power}{q_{ventilation} (Pressuredrop_{unit} + \sum Pressuredrop_{component} + Pressuredrop_{add})} \quad (2)$$

Isı pompalı ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi duyulur ısı transferi ifadesi,

$$E_V = mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) \quad (3)$$

$$E_{HRV} = \eta_T mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) \quad (4)$$

$$E_{HRV+HP} = \eta_T mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) + COP_{HP} W_C \quad (5)$$

$$E_{HRV+ALT} = \eta_T mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) + COP_{ALT} W_{ALT} \quad (6)$$

Isı pompalı sistem için performans katsayısı olan COP değeri;

$$COP_{HRV+HP} = \frac{\eta_T mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) + COP_{HP} W_C}{W_C + W_f + W_R} \quad (7)$$

$$COP_{HRV+ALT} = \frac{\eta_T mc_p (T_{EXT} - T_{ODA}) + COP_{ALT} W_{ALT}}{W_{ALT} + W_f + W_R} \quad (8)$$

Burada kullanılan,

T_{ODA} : dış hava sıcaklığı

T_{SUP} : dış havanın ısı geri kazanım rotorundan sonraki dış hava sıcaklığı

T_{SUP+} : HP ısı değiştiricisinden geçerek odaya üflenen taze hava sıcaklığı

T_{EXT} : odadan alınan mahal hava sıcaklığı

T_{EXA} : odadan alınan mahal havasının rotordan sonraki sıcaklığı

T_{EXA+} : HP ısı değiştiricisinden geçerek dış ortama atılan eksoz havası sıcaklığını ifade etmektedir.

Verim ve enerji ifadelerinde kullanılan,

V : sadece havalandırma yapılan durum

HRV : ısı geri kazanımlı havalandırma yapılan durum

$HRV+HP$: ısı geri kazanımlı havalandırma sisteminde eksik kalan ısıtma ve soğutma yükünün ısı pompasıyla karşılandığı durum

$HRV+ALT$: ısı geri kazanımlı havalandırma sisteminde eksik kalan ısıtma ve soğutmanın alternatif kaynakla karşılandığı durumu ifade etmektedir. Burada W gücü, COP performans katsayısını ifade etmektedir. Ayrıca m kütleli debiyi, c_p hava özgül ısısını ve η_T ise sıcaklık verimini ifade etmektedir. Burada W gücü alt indisleri olan, C : kompresörü, f : fanı, R : ısı geri kazanım rotorunu, ALT : ise alternatif kaynağı ifade etmektedir.

2.1. Isı Pompalı (HP) Isı Geri Kazanım (HR) Cihazının Tasarımı

Bu kısımda, ısı pompalı ve ısı geri kazanımlı (HP+HR) bir havalandırma ünitesi tasarım aşamaları ele alınmıştır. Öncelikle burada ele alınan sistem “rotorlu ısı geri kazanımı” ve “sürekli kapasite kontrollü” ısı pompası kullanılan bir havalandırma ünitesidir. Sürekli kapasite kontrollü ısı pompasında değişken hızlı bir kompresör ve elektronik tip genişleme elemanı kullanımı söz konusudur. On/Off ya da kademeli kontrollü ısı pompaları kısmi yüklerde yüksek güç kullanımı nedeniyle verimleri sürekli kapasite kontrollü sistemlere göre daha düşüktür. On/Off kontrollü sistemlerde kontrol edilen sıcaklıklarda meydana gelen aşırı salınımlar nedeniyle iç ortam konforunun bozulmasıdır. Bu durum Şekil 4 ve 5 de görülmektedir.

2.1.1. HP+HR Cihaz Tasarımda Kullanılan Standartlar

Isı geri kazanımlı bir havalandırma ünitesine entegre edilecek bir ısı pompası tasarımını gerçekleştirebilmek için farklı standartların birlikte kullanılması gerekmektedir. Örneğin bir havalandırma sistemi ve ısı geri kazanım cihazı tasarlarken veya performans analiz yaparken TS EN 13053, TS EN 308, EN 13779, Eko Tasarım kriterleri yeterli olurken ısı pompası entegre edilmiş bir sistem için ayrıca ısı pompası performansını ifade edebilmek için EN 14511 ve EN 14825 standartlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, havalandırma ihtiyacını belirlemek için ASHRAE 62.1 standardı kullanılmaktadır. Burada adı geçen standartlar,

- TS EN 13053: Binaların havalandırılması-hava taşıma birimleri-birimler, bileşenler ve bölümlerin performans ve oranlarını,
- TS EN 308: Isı eşanjörleri-havadan havaya ve atık gazlardan ısı kazanımı cihazlarının performansının tayini için deney metodlarını,
- EN 13779: Havalandırma- konut amaçlı olmayan- havalandırma ve oda iklimlendirmesi sistemleri için performans özelliklerini,
- Avrupa Birliği Standardı (EU) No 1253/2014 (07.07.2014) ErP yönetmeliği (“Eko Tasarım Yönetmeliği” ve “Enerji Etiketleme Yönetmeliği”): Elektrik kullanan tüm cihazlarda ekolojik gereksinimleri belirler. Bir ürünün tüm yaşam döngüsünü kapsayan (tasarım, üretim, ambalajlama, nakliye, kullanım ve bertaraf etmek) kaynak tüketimi ve kirletici emisyonları azaltılmasını,
- EN14511-3: Mekan ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- Bölüm 3: Deney Yöntemlerini,
- EN 14825: Mekan ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları- kısmi yük koşullarında değerlendirme ve deney ile mevsimsel performansın hesaplanmasını konu almaktadır.

Temel olarak amaç ürün tasarımına çevreci bakış açısını getirerek ürün yaşam süresi boyunca çevreci performansı arttırmaktır. Kullanım sırasında enerji tükettikleri için ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları ve ısı pompaları enerji ile ilişkili ürünler tanımına girmektedir. Bu nedenle enerji verimliliği tanımları ve ölçümleri için yeni kurallara uymak zorunluluğu bulunmaktadır. Bu standartlardan ErP yönetmeliği (“Eko Tasarım Yönetmeliği” ve “Enerji Etiketleme Yönetmeliği”) ülkemizde yürürlükte olsada herhangi bir denetim veya yaptırım mekanizması bulunmamaktadır. Ancak, Avrupa Birliği ülkelerine ürün satışı söz konusu ise bu durumda ülkemizde üretilen cihazlar için de bu kurallara uyulması ve etiket yapıştırılması gerekli olmaktadır. Buna göre, 2018 yılında yürürlüğe giren standarda göre ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde enerji verimliliği minimum %67 den %73 e çıkarılmıştır.

2.1.2. Havalandırma Debisinin Belirlenmesi

Tasarımda ilk aşama hava debisinin (hacimsel ve kütleli olarak) belirlenmesidir. İç ortamların havalandırma debisi, genellikle ASHRAE 62.1 standardındaki “Havalandırma Debisi Prosedürüne” (Ventilation Rate Procedure) göre iç ortamın kullanım amacı göz önüne alınarak standardın içindeki Tablo 6.2.2.1’de verilen birim havalandırma debileri kullanılarak belirlenmektedir. Bu tablonun altındaki notlara bakılırsa verilen birim havalandırma debileri “Standard Atmosfer” basıncında (101.3 kPa) ve 21 °C sıcaklığındaki değerlerdir. Bu değerlerin kullanılmasıyla elde edilen toplam havalandırma debileri yine genellikle tasarımcılar tarafından havalandırılması söz konusu olan iç ortamın bulunduğu yerin coğrafi özellikleri (yükseklik, basınç) ve konfor şartları (sıcaklık ve nem) göz önüne alınmaksızın proje dokümanlarında yer almaktadır. Bu durumda havalandırma cihazının seçiminde iç ortam için sağlanması gereken havalandırma debisinin söz konusu standart şartlarda (101.3 kPa ve 21 °C) seçildiği mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Bir başka deyişle:

- Eğer havalandırma debisi proje dokümanlarda yukarıda belirtilen standart şartlarda verilmişse, ki genel olarak herhangi bir not düşülmeden bu yapılmaktadır, HP+HR havalandırma cihazı seçilirken cihazın söz konusu standart şartlarda verilmiş performansı göz önüne alınmalıdır.



- Eğer havalandırma debisi proje dokümanlarında iç ortamın coğrafi konumu ve konfor şartlarında ifade edilmişse, cihazın bu coğrafi konum ve konfor şartlarındaki performansı göz önüne alınmalıdır.

2.1.3. HP+HR Cihaz Tasarım Aşamaları

HR+HP havalandırma cihazlarının tasarımı aşağıdaki tasarım parametreleri ve kontrol parametreleri birlikte göz önüne alınarak performans ve ekonomik anlamda optimize edilmelidir.

i- Optimizasyon parametreleri

- Taze hava üfleme sıcaklığının emiş sıcaklığına eşit veya ondan en fazla 1°C büyük (yaz için küçük) olması.
- Egzoz havası sıcaklığının dış hava sıcaklığına eşit veya ondan en fazla 1°C küçük (yaz için büyük) olması (sıcaklık oranı minimum yüzde yüz olmalı).
- Mevcut ürünlerle karşılaştırılabilir maksimum COP_{sys} değerine ulaşılması.
- Isı geri kazanım rotoru ve ısı pompası maliyetlerinin toplamının minimum olması.

ii- Tasarım parametreleri ve performans kontrolü

- (C1) EN 14511-2 (2007)'de Tablo 2'de verilen test koşulları [15]

Isı pompası test koşulları EN 14511-2 (2007) içinde verilmiştir. HP+HR olarak imal edilen havalandırma sisteminin bu koşullarda test edilmesi gerekmektedir.

- (C2) HP+HR havalandırma cihazının iklim şartlarına göre kümelenmiş dış tasarım sıcaklıkları.

Üretilen cihazlar her ne kadar C1 şartlarındaki test sonuçlarıyla deklere edilse de, bu cihazlar dış tasarım koşulları farklı coğrafi konumlarda kullanılacaklardır. Bu yüzden farklı T_{ODA} sıcaklıklarında farklı ısı pompası sistemlerinin tasarımının gerekliliği araştırılmalıdır. Farklı coğrafik bölgeler için kümelenmiş dış tasarım sıcaklıkları üzerinde çalışılmalı, bu tasarım sıcaklıklarına göre tasarım farklılıklarının gerekliliği araştırılmalı ve sonuçlara göre tasarım yapılmalıdır. Bu sayede Avrupa, Türkiye ve diğer ülkeler için kümelenmiş dış tasarım şartları belirlenir.

- (C3) Debi ve kullanılabilir basınç.

ErP normuna göre, ev tipi cihazlar için verim deklarasyon hava debisi nominal hava debisi olarak referans hava debisinde yani 0.70 q_{max} olarak belirlenmiştir. Ancak konut dışı cihazlar için böyle bir tanımlama yoktur. Konut dışı cihazlar için ErP direktifinin deklarasyon debisi (nominal flow rate) konusunda bir eksik tanımlama içinde olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın yazarları aynı şartın konut dışı cihazlar için de geçerli olması gerektiğini aksi halde çok farklı uygulamaların olabileceğini düşünmektedirler. Ayrıca sistem tasarımında cihaz seçilirken çalışma şartlarında ErP verim şartını yerine getirdiği de gösterilmelidir. Bu yüzden tasarım başlangıç noktası olarak ASHRAE 62.1-2013 koşullarındaki (101.3 kPa basınç ve 21°C, %0 nem) debiye karşılık gelen, iç ortam şartlarındaki dönüş havası debisi bulunup (Return Air Volume), rotor seçiminde bu debiye karşılık gelen yazılım "standart" hava debisi (Standard Air Volume) veya kütleli hava debisi değeri kullanılmalıdır. Öneri olarak,

1-Konut dışı cihazlar için ev tipi cihazlarda olduğu gibi deklarasyon hava debisi yerine nominal hava debisi tanımı getirilebilir. Maksimum ve nominal hava debisi arasında bir ilişki kurulabilir (ev tipi cihazlarda olduğu gibi).

2-Her cihaz için kullanım noktasında deklerasyon yapılabilir. Bu durum işleyiş açısından çok zor olabilir. Çünkü üretilen cihaz direk son kullanıcıya satılmıyor. Arada distribütör ve/veya ara satıcılar yer alabiliyor. Bu durumda üreticinin sattığı cihazın hangi çalışma noktasında kullanıldığını bilmesine imkan yok.

3-Eco design kurallarına (cihaz üzerine yapıştırılan enerji etiketi üzerine) cihazın deklerasyon hava debisinden daha yüksek bir hava debisinde kullanılmayacağı ibaresi eklenebilir.

- (C4) Tasarım için.
 - COP_{sys} değerini maksimum yapan rotor verimi
 - Diğer debi ve basınçlarda performans kontrolü
 - EN 308 test şartları, yapılan tasarımın performansının kontrolü yapılmalıdır.

Isı pompalı ve ısı geri kazanımlı (HP+HR) bir havalandırma ünitesi teorik tasarım aşamaları Şekil 3. de detaylı olarak özetlenmiştir.

Tablo 2. Havadan-havaya ısı pompası test şartları [15]

		Isıtma Modu			
		Dış ortam ısı değiştirici		İç ortam ısı değiştirici	
		KT(°C)	YT(°C)	KT(°C)	YT(°C)
Standart Şartlar	Dış hava/geri kazanım havası	7	6	20	Maks. 15
	Eksoz havası/ geri kazanım havası	20	12	20	12
	Eksoz havası/dış ortam havası	20	12	7	6
Uygulama şartları	Dış otam havası/ geri kazanım havası	2	1	20	Maks. 15
	Dış otam havası/ geri kazanım havası	-7	-8	20	Maks. 15
	Dış otam havası/ geri kazanım havası	-15	-	20	Maks. 15
	Eksoz havası/dış ortam havası	20	12	2	1
	Eksoz havası/dış ortam havası	20	12	-7	-8
		Soğutma Modu			
		Dış ortam ısı değiştirici		İç ortam ısı değiştirici	
		KT(°C)	YT(°C)	KT(°C)	YT(°C)
Standart Şartlar	Konfor (dış hava/geri kazanım havası)	35	24	27	19
	Konfor (dış hava/geri kazanım havası)	27	19	27	19
	Konfor (dış hava/geri kazanım havası)	27	19	35	24
	Tek kanal	35	24	35	24
	Kontrollü kabin	35	24	35	24
	Kapalı kontrol	35	24	24	17
Uygulama şartları	Konfor (dış hava/geri kazanım havası)	27	19	21	15
	Tek kanal	27	19	21	19
	Konfor (dış hava/geri kazanım havası)	46	24	29	19
	Kontrollü kabin	50	30	35	24
	Kapalı kontrol	27	19	21	15

Tablo 3. Isı Pompalı Rotorlu Isı Geri Kazanım Ünitesi Tasarım şartları

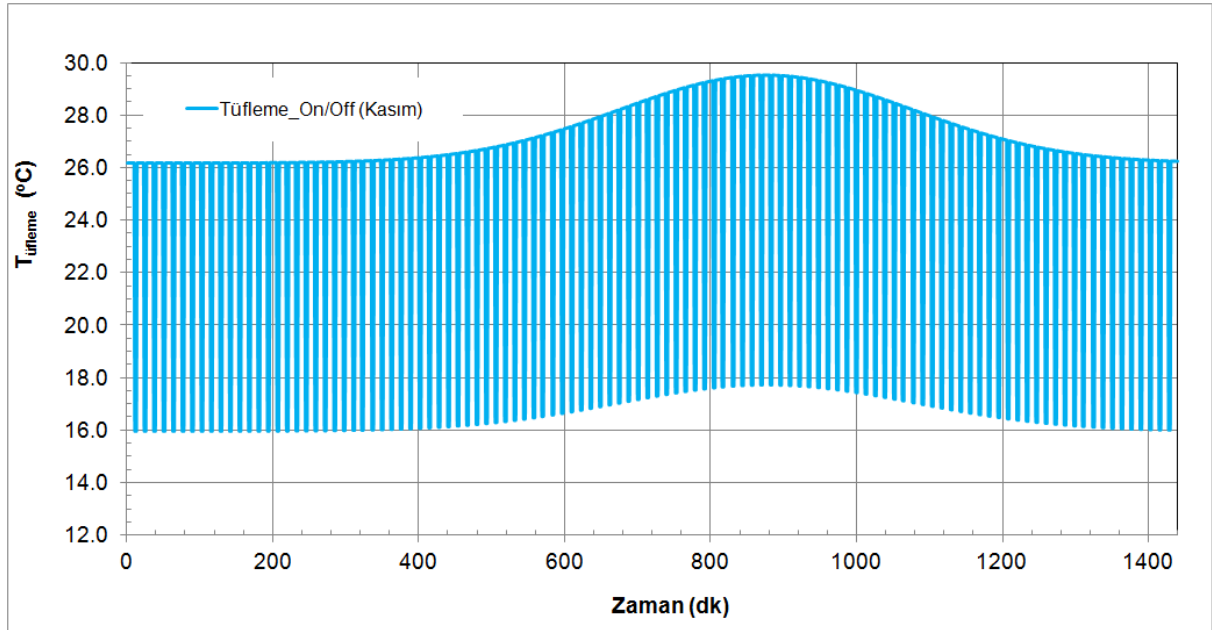
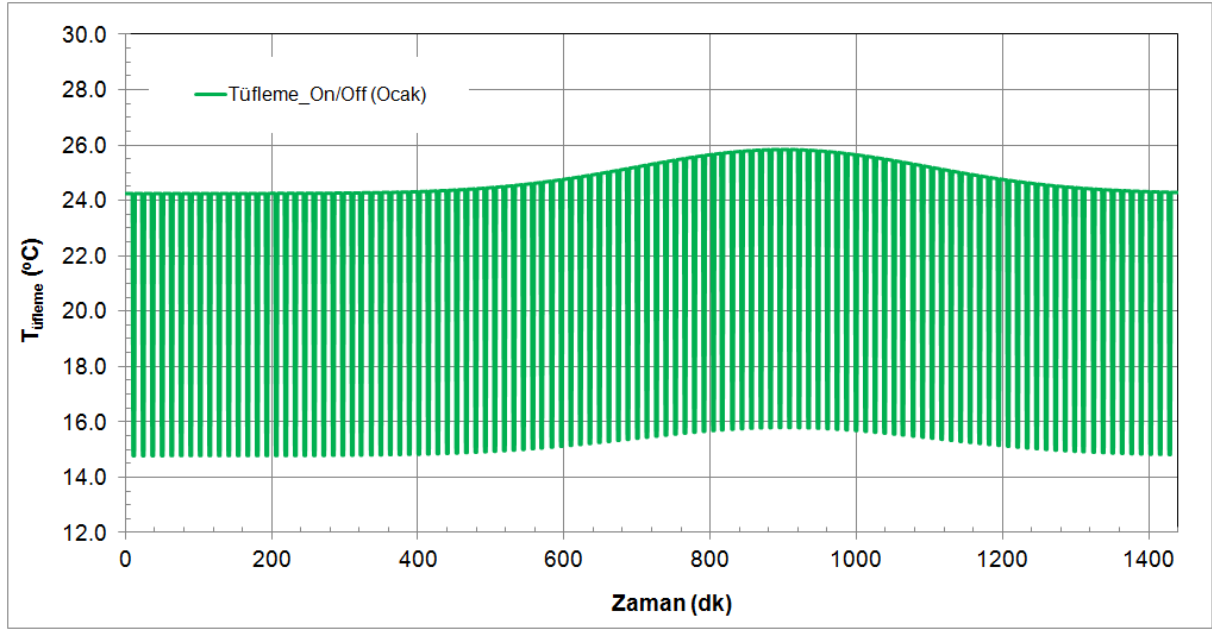
Sistem Tasarım Girdileri	
Taze Hava Debisi (kg/h)	3360
Mahal Dönüş Hava Sıcaklığı (°C)	20
Mahal Dönüş Hava Bağıl Nemi (%)	72.2
Dış Hava Sıcaklığı (°C)	-10
Taze Hava Sıcaklığı (On/Off Üfleme) (°C)	20.5
Isıtma ihtiyacı (kW)	8.0

Bu tasarım şartları için seçilen sistemde sürekli kapasite kontrollü ve on-off kontrollü ısı pompası olması durumunun karşılaştırıldığı performans çıktıları aşağıda verilmiştir. Tasarlanan sistemde taze havanın 0°C/+1°C derece tolerans ile üflenmesi (T_{SUP+}), eksoz edilen havanın (T_{EXA+}) ise dış hava sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta 0°C/-1°C tolerans ile atılması hedeflenmiştir. Sistem ekipmanlarının kapasiteleri, ısı pompası verim değerleri tasarım şartlarına göre Tablo 4'de verilmiştir. Hesaplamalar, bina ısı kaybıyla ısı kazancının eşit olduğu sıcaklık değeri olan denge sıcaklığının 15°C olduğu aylar için yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalarda On/Off modu için üfleme ayar sıcaklığı 20.5 °C alınmıştır. Ancak üfleme sıcaklığının 25°C lere kadar ulaştığı görülmüştür. Sürekli kapasite kontrollü durumda T_{SUP+} ile T_{EXT} arası sıcaklık farkı olan ΔT_{SUP} :1°C olacak şekilde analiz yapılmıştır.

Tablo 4. Örnek ısı pompalı rotorlu ısı geri kazanım ünitesi performans çıktıları

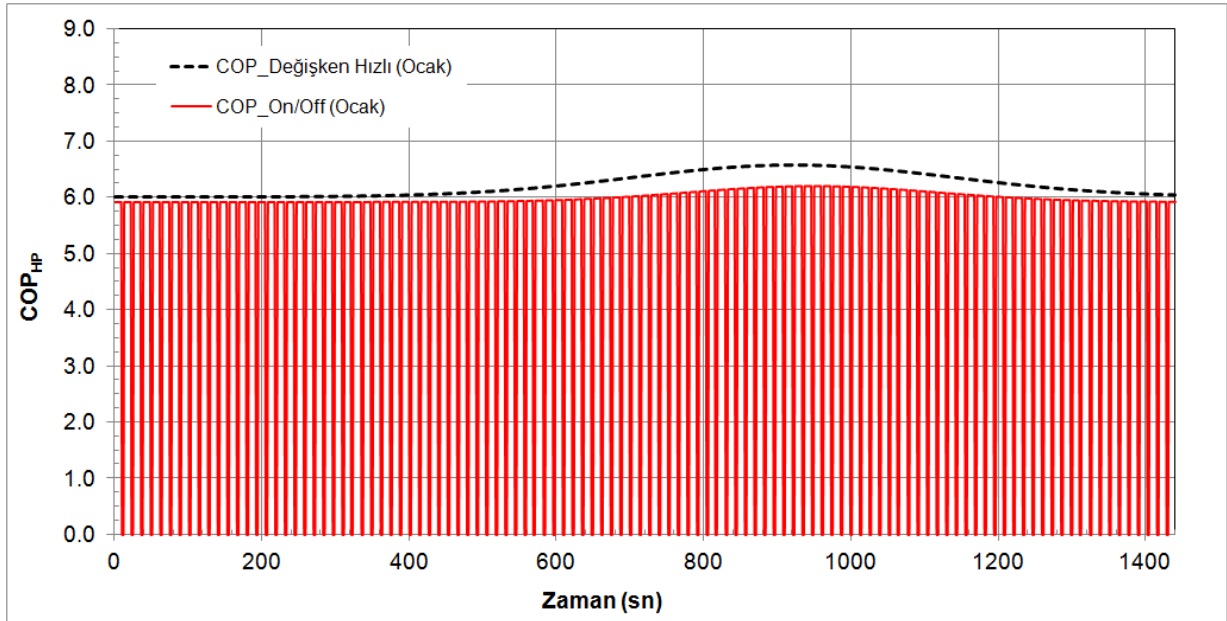
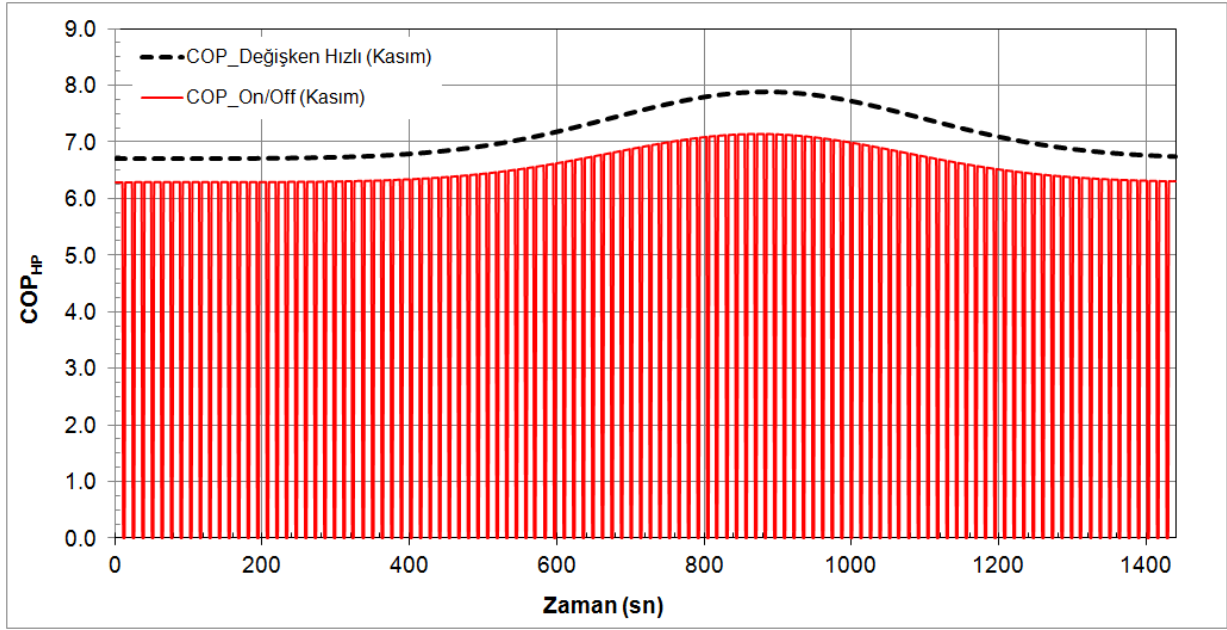
		OCAK (ANKARA)																									
Zaman (saat)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Sürekli Kapasite Kontrollü	T_{EXT} (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	ΔT_{SUP} (°C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	T_{ODA} (°C)	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.2	-1.3	-1.3	-1.3	-0.6	0.3	1.3	2.2	2.8	3.1	3.1	2.8	2.1	1.4	1.0	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.4	
	$T_{ODA,avg}$ (°C)	-1.9	-2.1	-2.2	-2.3	-2.4	-2.5	-2.6	-2.5	-2.1	-1.4	-0.6	0.0	0.4	0.8	0.8	0.6	0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.1	-1.4	-1.6	-1.8	-1.8	
	η_t (%)	75.1	75.4	75.0	75.2	75.0	75.1	75.1	75.1	75.2	75.1	75.4	75.3	75.0	75.1	75.1	75.0	75.4	75.3	75.3	75.1	75.0	75.4	75.2	75.0	75.0	75.0
	T_{SUP} (°C)	14.9	14.9	14.8	14.8	14.7	14.7	14.7	14.7	14.9	15.1	15.4	15.6	15.7	15.8	15.8	15.7	15.6	15.4	15.3	15.2	15.1	15.1	15	14.9	14.9	14.9
	T_{SUP+} (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	ΔT_{EXA} (°C)	6.1	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.1	5.9	5.6	5.4	5.3	5.2	5.2	5.3	5.4	5.6	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	Q (kW)	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1	5.0	4.9	4.9	5.0	5.1	5.3	5.4	5.5	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7
	W_{comp} (kW)	0.94	0.94	0.97	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.94	0.89	0.84	0.79	0.76	0.74	0.74	0.76	0.79	0.83	0.84	0.86	0.89	0.89	0.92	0.94	0.94
T_{EXA} (°C)	5.3	5.2	5.1	5	4.9	4.9	4.9	4.9	5.2	5.6	6.2	6.7	7.1	7.4	7.4	7.1	6.6	6.3	6.1	6	5.8	5.6	5.5	5.3	5.3	5.3	
T_{EVAP} (°C)	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.6	1.2	1.7	2.1	2.4	2.4	2.1	1.6	1.3	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	
T_{KOND} (°C)	29.9	29.9	29.8	29.8	29.7	29.7	29.7	29.7	29.9	30.1	30.4	30.6	30.7	30.8	30.8	30.7	30.6	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.0	29.9	29.9	29.9	
COP _{HP}	6.09	6.06	6.02	6.00	5.98	5.96	5.96	5.96	6.06	6.19	6.28	6.44	6.53	6.60	6.60	6.53	6.41	6.31	6.37	6.32	6.25	6.19	6.15	6.09	6.09	6.09	
On/Off	Q_{desig} (kW)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
	$W_{desig,comp}$ (kW)	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	
	T_{EXA} (°C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	T_{EVAP} (°C)	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
	T_{KOND} (°C)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	
	COP _{HP}	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	
	\dot{Q}_{sup}	71.8	71.8	72.9	72.9	74.1	74.1	74.1	74.1	71.8	69.4	65.9	63.5	62.4	61.2	61.2	62.4	63.5	65.9	67.1	68.2	69.4	69.4	70.6	71.8	71.8	
	η_t (%)	75.1	75.4	75.0	75.2	75.0	75.1	75.1	75.1	75.2	75.1	75.4	75.3	75.0	75.1	75.1	75.0	75.4	75.3	75.3	75.1	75.0	75.4	75.2	75.0	75.0	
			KASIM (ANKARA)																								
	Zaman (saat)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Sürekli Kapasite Kontrollü	T_{EXT} (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
	ΔT_{SUP} (°C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	ΔT_{ODA} (°C)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.5	0.5	0.4	0.6	1.2	1.7	2.0	2.3	2.6	2.6	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	
	T_{ODA} (°C)	4.3	4.0	3.7	3.5	3.2	3.1	2.9	3.5	5.0	6.7	8.2	9.4	10.4	10.6	10.5	9.9	8.7	7.6	6.8	6.2	5.8	5.2	4.8	4.5	4.5	
	$T_{ODA,avg}$ (°C)	2.5	2.4	2.2	2.0	1.9	1.9	1.7	2.3	3.1	4.3	5.1	5.7	5.8	6.2	6.1	6.0	5.2	4.6	4.2	4.1	3.7	3.1	2.9	2.6	2.6	
	T_{SUP} (°C)	16.1	16	16	15.9	15.8	15.8	15.8	15.9	16.3	16.7	17.1	17.4	17.6	17.7	17.7	17.5	17.2	16.9	16.7	16.6	16.5	16.3	16.2	16.2	16.2	
	T_{SUP+} (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
	ΔT_{EXA} (°C)	4.9	5	5	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1	4.7	4.3	3.9	3.6	3.4	3.3	3.3	3.5	3.8	4.1	4.3	4.4	4.5	4.7	4.8	4.8	4.8	
	Q (kW)	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	4.4	4.0	3.7	3.4	3.2	3.1	3.1	3.3	3.6	3.8	4.0	4.1	4.2	4.4	4.5	4.5	4.5	
	W_{comp} (kW)	0.67	0.70	0.70	0.72	0.73	0.73	0.74	0.71	0.64	0.56	0.49	0.44	0.41	0.39	0.39	0.42	0.48	0.52	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.65	0.66	
T_{EXA} (°C)	8.3	8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.9	8.8	10	11.2	12.1	12.8	13	12.9	12.4	11.5	10.7	10.1	9.7	9.4	8.9	8.6	8.4	8.4		
T_{EVAP} (°C)	3.3	3.0	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.9	3.8	5.0	6.2	7.1	7.8	8	7.9	7.4	6.5	5.7	5.1	4.7	4.4	3.9	3.6	3.4	3.4		
T_{KOND} (°C)	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.8	30.8	30.9	31.3	31.7	32.1	32.4	32.6	32.7	32.7	32.5	32.2	31.9	31.7	31.6	31.5	31.3	31.2	31.2	31.2		
COP _{HP}	6.82	6.75	6.69	6.67	6.68	6.65	6.63	6.73	6.94	7.24	7.41	7.64	7.86	7.92	7.88	7.74	7.49	7.44	7.28	7.17	7.09	6.96	6.89	6.83	6.83		
On/Off	Q_{desig} (kW)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
	$W_{desig,comp}$ (kW)	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63		
	T_{EXA} (°C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	T_{EVAP} (°C)	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
	T_{KOND} (°C)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	
	T_{SUP+} (°C)	24.1	24.0	24.0	23.9	23.8	23.8	23.8	23.9	24.3	24.7	25.1	25.4	25.6	25.7	25.7	25.5	25.2	24.9	24.7	24.6	24.5	24.3	24.2	24.2	24.2	
	COP _{HP}	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	
	\dot{Q}_{sup}	57.6	58.8	58.8	60.0	61.2	61.2	61.2	60.0	55.3	50.6	45.9	42.4	40.0	38.8	38.8	41.2	44.7	48.2	50.6	51.8	52.9	55.3	56.5	56.5	56.5	
	η_t (%)	75.2	75.0	75.5	75.2	75.0	75.1	75.4	75.2	75.3	75.2	75.4	75.5	75.0	75.5	75.8	75.2	75.2	75.0	75.0	75.4	75.4	75.0	75.0	75.0	75.0	

On-off kontrollü sistem sıcaklık dağılımları teorik olarak hesaplanmış ve Şekil 4'de verilmiştir.



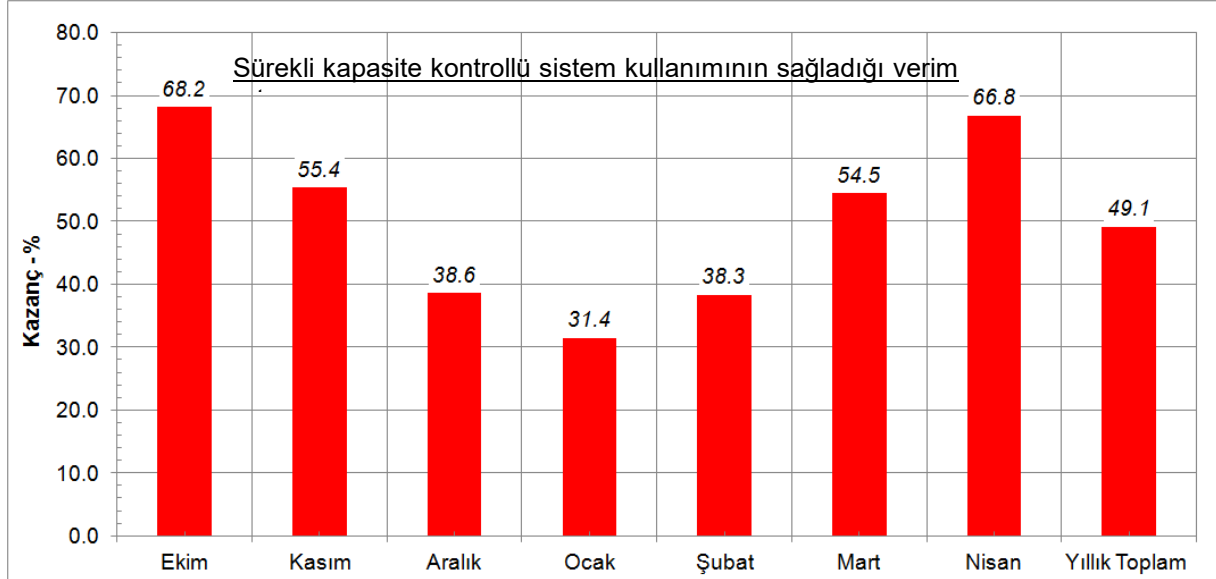
Şekil 4. Ocak ve Kasım aylarında On-off kontrollü sistemin üfleme sıcaklıkları

Sürekli kapasite kontrollü sistem ile on-off kontrollü sistem performans göstergesi olan COP değerleri teorik olarak hesaplanmış ve Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Örnek sistem COP değerleri değişimi

Sürekli kapasite kontrollü sistem ile on-off kontrollü sistem karşılaştırması % kazanç olarak hesaplanmış ve Şekil 6'da verilmiştir. Burada kompresörün on-off ve değişken hızlı çalışması durumunda enerji tüketimleri arasındaki fark göz önüne alınarak kazanç hesabı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Örnek sistem on-off ile sürekli kapasite kontrollü ısı pompalı sistem kazanç karşılaştırması

SONUÇ

Bu çalışmada, ısı pompası entegre edilmiş havalandırma ünitesi için optimum tasarım kriterleri ve verimin ifadesi ele alınmıştır. On/Off ya da kademeli kontrollü ısı pompaları kısmi yüklerde yüksek güç kullanımı nedeniyle ısı pompasının on-off çalışma yerine sürekli kapasite kontrollü olarak tasarlanması düşünülmüştür.

Bilindiği üzere binalarda enerji performansının yüksek olması için enerji dönüşüm sistemlerinin yüksek verime sahip olması gerekir. Bu açıdan bakıldığında bir binada enerji kullanımının yoğun olduğu ısıtma-soğutma, havalandırma sistemleri oldukça önemli olup ısı pompalı ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kullanımı enerjinin verimli kullanımına katkı sağlama potansiyeli yüksektir. Çünkü, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında egzoz kanalı ile taze hava besleme kanalı arasında çalışan ısı pompası ile üfleme havasının iç ortam sıcaklığına getirilmesi ile taze havanın odanın bir başka kaynaktan soğutulması veya ısıtılması gereksinimi ortadan kalkar. Ayrıca ısı pompasının ısı kaynağının (soğutma çevriminde soğuk kaynağın) ısı değiştirici verimi nedeniyle henüz dış ortam sıcaklığına ulaşmamış egzoz havası olması nedeniyle ısı pompasının (soğutma çevriminin) verimi artar. Avrupa Birliği ülkelerinde yürürlükte olan ErP yönetmeliği ("Eko Tasarım Yönetmeliği") ve "Enerji Etiketleme Yönetmeliği") gereği bu ülkelere ürün satışı söz konusu ise bu durumda ülkemizde üretilen cihazlar için bu kurallara uyulması ve etiket yapıştırılması gerekli olmaktadır. 2018 yılında yürürlüğe giren standarda göre ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde enerji verimliliği minimum %67 den %73 e çıkarılmıştır.

Bu kriterlerin sağlanabilmesi için, söz konusu ısı geri kazanımlı ısı pompalı havalandırma cihazlarının tasarımında uyulması istenen parametreler şu şekilde belirlenmiştir,

- Taze hava üfleme sıcaklığının emiş sıcaklığına eşit veya ondan en fazla 1°C büyük (yaz için küçük) olması.
- Egzoz havası sıcaklığının dış hava sıcaklığına eşit veya ondan en fazla 1°C küçük (yaz için büyük) olması (sıcaklık oranı minimum yüzde yüz olmalı).
- Mevcut ürünlerle karşılaştırılabilir maksimum COP_{sys} değerine ulaşılması.
- ısı geri kazanım rotoru ve ısı pompası maliyetlerinin toplamının minimum olması.

ısı pompası performans testleri yapılmalı ayrıca kullanılacağı coğrafi konuma göre (farklı T_{ODA} sıcaklıklarında) tasarımının gerekliliği araştırılmalıdır. Bir diğer önemli husus tasarımda COP_{sys} değerini maksimum yapan rotor verimi ve EN 308 test şartlarına göre yapılan tasarımın performansının kontrolü yapılmalıdır.

Isı pompalı ve ısı geri kazanımlı (HP+HR) havalandırma ünitesi için çalışma şartlarında ErP verim şartını yerine getirdiği de gösterilmelidir. Konut dışı cihazlar için ErP direktifinin deklarasyon debisi (nominal flow rate) konusunda bir eksik tanımlama içinde olduğu düşünülmektedir. Cihazların deklarasyon debileriyle ilgili olarak öneriler,

- Konut dışı cihazlar için ev tipi cihazlarda olduğu gibi deklarasyon hava debisi yerine nominal hava debisi tanımı getirilebilir. Maksimum ve nominal hava debisi arasında bir ilişki kurulabilir (ev tipi cihazlarda olduğu gibi).
- Her cihaz için kullanım noktasında deklarasyon yapılabilir. Bu durum işleyiş açısından çok zor olabilir. Çünkü üretilen cihaz direk son kullanıcıya satılmıyor. Arada distribütör ve/veya ara satıcılar yer alabiliyor. Bu durumda üreticinin sattığı cihazın hangi çalışma noktasında kullanıldığını bilmesine imkan yok.
- Eco design kurallarına (cihaz üzerine yapıştırılan enerji etiketi üzerine) cihazın deklarasyon hava debisinden daha yüksek bir hava debisinde kullanılamayacağı ibaresi eklenebilir.

Sürekli kapasite kontrollü ve ısı pompalı havalandırma ünitesi verilen şartlarda performans analizi incelendiğinde on/off çalışma durumuna göre yıllık ortalama %49 luk bir kazanç sağladığı, hava üfleme sıcaklıklarının tasarım kriterlerinde ifade edilen 1°C lik toleranslarda kaldığı (on/off çalışmada 4-6°C lere ulaşmaktadır), performans katsayısının on/off çalışmadan daha yüksek olarak 7 lere ulaştığı görülmüştür. Sonuç olarak, ısı geri kazanımlı ısı pompalı havalandırma ünitelerinde tasarım parametreleri ve kontrol parametreleri birlikte göz önüne alınarak performans ve ekonomik anlamda optimize edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Türk Standartları, TS EN 308, “Isı eşanjörleri-Havadan havaya ve atık gazlardan ısı kazanımı cihazlarının performansının tayini için deney metotları”, 21.10.1997.
- [2] Almeida, A.T., Fonseca, P., Falkner, H., Bertoldi, P., “Market transformation of energy-efficient motor technologies in the EU”. Energy Pol. 31 (6), 2003.
- [3] Olympia Zogou and Anastassios Stamatelos, “Effect Of Climatic Conditions Onthe Design Optimization Of Heatpump Systems For Space Heating and Cooling”, Energy Convers. Mgmt Vol. 39, No. 7, pp. 609-622, 1998.
- [4] S. A. Tassou, R. K. Green and D. R. Wilson, “Energy conservation through the use of capacity control in heat pumps”, J. Inst. Energy 54, 30-34 (1981).
- [5] S. A. Tassou, C. J. Marquand and D. R. Wilson, “The effect of capacity modulation on the performance of vapour compression heat pump system”, International Syrup. on the Industrial Application of Heat Pumps, UK, 1982, pp. 187 195.
- [6] K. Lida, T. Yamamoto, T. Kuroda and H. Hibi, “Development of an energy-saving-oriented variable-capacity system heat pump”, ASHRAE Trans. 88, 441~49 (1982).
- [7] S. A. Tassou, C. J Marquand, D. R. Wilson, “Comparison of the performance of capacity-controlled and conventional-controlled heat pumps”, Appl. Energy 14, 241 256 (1983).
- [8] C. J. Marquand, S. A. Tassou, Y. T. Wang and D. R. Wilson, “An economic comparison of a fixed speed, a two speed, and a variable speed vapour compression heat pump”, Applied Energy Volume 16, Issue 1, 1984, Pages 59-66
- [9] C. K. Rice, “Efficiency characteristics of speed-modulated drives at predicted torque conditions for air-to-air-heat pumps”, ASHRAE Trans. 94, 892 921 (1988).
- [10] S. A. Tassou, “Experimental investigation of the dynamic performance of variable-speed heat-pumps”, J. Inst. Energy 64, 95 98 (1991).
- [11] C. K. Rice, “Benchmark performance analysis of an ECM-modulated air-to-air heat pump with a reciprocating compressor”, ASHRAE Trans. 98, 430 450 (1992)
- [12] R.S.Adhikari, N.Aste, M.Manfren and D.Marini, “Energy Savings through Variable Speed Compressor Heat Pump Systems”, Energy Procedia 14 (2012) 1337 – 1342
- [13] Young Sung Park, Ji Hwan Jeong, Byoung Ha Ahn, “Heat pump control method based on direct measurement of evaporation pressure to improve energy efficiency and indoor air temperature stability at a low cooling load condition”, Applied Energy 132 (2014) 99–107

- [14] Amir A. Safa, Alan S. Fung, Rakesh Kumar, "Performance of two-stage variable capacity air source heat pump: Field performance results and TRNSYS simulation Energy and Buildings", 94 (2015) 80–90.
- [15] Türk Standartları, EN14511, "Mekan ısıtma ve soğutma için elektrikle tahrik edilen kompresör ile çalışan iklimlendirme cihazları, sıvı soğutma paketleri ve ısı pompaları", 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Orhan EKREN

1976 yılı İzmir doğumlu olan Orhan Ekren, lisans eğitimini Dokuz Eylül Üniversitesi(DEÜ) Makina Mühendisliği bölümünde 1999 yılında, yüksek lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Enerji Mühendisliği'nde 2003 yılında, doktorasını ise DEÜ Makina Mühendisliği bölümü Termodinamik anabilim dalında 2009 yılında tamamlamıştır. 2000-2003 yılları arasında İYTE makina mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2005 yılından buyana Ege Üniversitesi'nde çalışan Dr. Ekren, 2008 ve 2011 yıllarında akademik çalışmalar için, Amerika Birleşik Devletleri'nde iki farklı üniversitede Makina Mühendisliği bölümünde ziyaretçi araştırmacı olarak bulunmuştur. 2014 yılından buyana Ege Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma konuları arasında; Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Hibrid Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması, Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, Isı Pompası Sistemleri, Alternatif Soğutma Yöntemleri yer almaktadır.

Sinan AKTAKKA

1972 yılında Kütahya / Tavşanlı'da doğmuştur. 1989 yılında Çınarlı Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde lise eğitimini, 1993 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini ve 1997 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 1995 yılından bu yana HVAC sektöründe çeşitli firmalarda Proje ve Tasarım Mühendisi olarak görev almıştır. 2011 yılından bu yana ENEKO A.Ş.'de Ar-Ge yöneticisi olarak görev yapmaktadır. 2004 yılından itibaren MMO'da MİEM ve PBK kapsamında Havalandırma Tesisatı ve Klima Tesisatı Eğitimlerini vermektedir. MMO, TTMD ve ASHRAE üyesidir.

Macit TOKSOY

1972'de İTÜ Makina Fakültesini bitirdi. 1976'da Ege Üniversitesinde Mühendislik Fakültesinde Doktora çalışmasını tamamladı. Ege Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde öğretim elemanı ve öğretim üyesi olarak çalıştı. 1978 - 1980 seneleri arasında North Carolina Eyalet Üniversitesinde misafir öğretim üyesi olarak çalıştı. 2013 senesinde endüstride çalışmak üzere emekli oldu. 2013-2018 yıllarında tam zamanlı olarak Eneko A.Ş.'de çalıştı. 2019 başından bu yana tesisat sektöründe danışmanlık yapıyor.

Üniversitelerde çeşitli kademelerde yöneticilik yaptı. 2005 İzmir Üniversiyade Yaz Oyunları'nda Genel Koordinatör Yardımcısı, 2011 Erzurum Üniversiyade Kış Oyunlarında Genel Sekreter, 2013 Mersin Akdeniz Oyunlarında Genel Koordinatör Yardımcısı olarak görev aldı. Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinde ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinde yöneticilik yaptı, her iki kuruluşun çalışmalarına aktif olarak katkı koyuyor. MMO'nun düzenlediği Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresine ve TTMD'nin Uluslararası Yapıda Tesisat Sempozyumu organizasyonlarında yürütme kurullarında görev yaptı. MMO, TTMD, ASHRAE ve TIBTD üyesi, İSKİD Onur Üyesi, REHVA ve EUROVENT çalışmalarına katıldı..

Akademik çalışma alanları ısı transferi, güneş enerjisi, jeotermal enerjini doğrudan ve dolaylı uygulamaları. Diğer ilgi alanları: Üniversite Eğitimi, Proje Yönetimi, Uluslararası Spor Etkinliği Yönetimi, Dijitalleşme, Ortaçağda Aydınlanma.170 civarında makale ve bildirinin yazarı. REHVA'nın bir ek kitabının yazarlarından biri. Evli iki çocuklu.